

**Boden und Vegetation
im Bereich von Huachacalla
(Altiplano – Bolivien) –
unter besonderer Berücksichtigung
der Bodenversalzung**

Band I

Inaugural -Dissertation

zur

**Erlangung des Doktorgrades der
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf**

**vorgelegt von
Carola Dörrie
aus Gronau (Leine)**

Düsseldorf

2001

Gedruckt mit der Genehmigung der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Referent: Prof. Dr. Ekkehard Jordan

Korreferent: Prof. Dr. Wolfgang Schirmer

Tag der mündlichen Prüfung: 30. Januar 2001

<http://www.ulb.uni-duesseldorf.de/diss/mathnat/2001/doerrie.html>

Kurzfassung

Die Dissertation stellt die Ergebnisse der Untersuchung des Bodens und der Vegetation im Bereich von Huachacalla – unter besonderer Berücksichtigung der Bodenversalzung – dar. Die Ortschaft Huachacalla befindet sich auf dem Altiplano in Bolivien, etwa 30 km nördlich des Salar de Coipasa, in 3740 m über Meeresniveau, am Fuß zweier Gebirgsmassive, welche die Hochebene um etwa 1000 m überragen. Die Vegetation im Untersuchungsgebiet ist baumlos und licht (meist < 25 % Deckung), setzt sich aspektprägend aus (Dorn-) Sträuchern, Horstgräsern, Sukkulente und Polsterpflanzen zusammen – in der Regenzeit treten an den meisten Standorten ephemere Arten hinzu – und ist der Vegetationsformation der semiariden Puna zuzuordnen.

Zielsetzungen der Arbeit waren: a) die Bestimmung des Einflusses des Reliefs auf die Ausbildung des Bodens (u.a. Vorkommen von löslichen Salzen, Gips und Carbonaten), b) die Bestimmung des Einflusses des Bodens und des Reliefs auf die Ausbildung und der Vegetation, insbesondere des Einflusses der löslichen Salze im Boden auf die Vegetation und c) die Untersuchung der sich saisonal mit dem Wechsel von Trocken- und Regenzeit ändernden Verteilung der löslichen Salze innerhalb der Bodenprofile.

Die Aufnahme der Lage-, Boden- und Vegetationsparameter erfolgte in der Trockenzeit an 16 nach dem Catena-Prinzip ausgewählten Standorten; in der Regenzeit wurde die Untersuchung auf 35 Standorte ausgedehnt. Es wurden insgesamt 316 Bodenproben und 21 Grund- und Oberflächenwasserproben entnommen und im Labor auf verschiedene physikalische und chemische Parameter untersucht.

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Gelände- und Laborarbeiten wurden für das Untersuchungsgebiet drei Haupteinheiten und zwei Übergangseinheiten ausgeschieden, die durch ähnliche geomorphologische, pedologische und vegetationskundliche Parameter gekennzeichnet sind:

- 1 Gebirge mit flachgründigen, relativ gering entwickelten Böden ((Lithic) Ustorthents nach der Soil Taxonomy (USDA) und Ranker oder Braunerden nach DBG) und (dorn-)strauch-, horstgras- und kaktusenreicher *Fabiana densa* - Vegetation; ehemals ackerbaulich und weidewirtschaftlich genutzt
- 2 Übergangsbereich des Hangfußes
- 3 äolisch geprägte Alluvialebene mit gering entwickelten Böden (insbesondere Entisols nach der Soil Taxonomy (USDA) und Lockersyroeme nach DBG) und *Lampaya castellani* - Vegetation mit hohen Anteilen an *Festuca orthophylla* ('Iru-Ichu', 'Paja brava') und *Parastrephia lepidophylla* ('Tola'); extensiv weidewirtschaftlich genutzt (Lama- und/oder Alpakaweide)
- 4 Übergangsbereich der schwach grundwasser- und salzbeeinflussten Alluvialebene
- 5 grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene mit Salznatriumböden nach RICHARDS (1954) ($EC_e > 4$ mS/cm, SAR > 13 und $pH_e < 8.5$) (Halaquepts nach der Soil Taxonomy (USDA)), mit phytotoxischen Konzentrationen (für Feldfrüchte) an löslichem Bor, Natrium und Chlorid im Boden und Grundwasser und mit *Distichlis humilis* - *Salicornia pulvinata* - *Anthobryum triandrum* - Vegetation (Halophytenvegetation mit polsterförmig und in Kurzrasen wachsenden Arten); z.T. intensiv weidewirtschaftlich als Lama-, Alpa- und/oder Schafweide genutzt

Aufgrund des Vorherrschens des kapillaren Aufstiegs salzhaltigen Grundwassers gegenüber der Versickerung von Niederschlagswasser in den Böden der Tiefenbereiche der Alluvialebene, kommt es zu einer starken Anreicherung von löslichen Salzen in diesen Böden, wobei die Verteilung der Salze im Boden von der saisonal wechselnden Niederschlagsmenge abhängt: in der Trockenzeit nimmt der Salzgehalt von unten nach oben im Bodenprofil zu, in der Regenzeit befindet sich die höchste Konzentration löslicher Salze wenige Dezimeter unterhalb der Bodenoberfläche.

Resumen

La disertación presenta los resultados de investigaciones sobre el suelo y la vegetación en el área de Huachacalla, con énfasis en la salinización del suelo. La población de Huachacalla se encuentra en el altiplano central en Bolivia, aproximadamente 30 km al norte del Salar de Coipasa, a 3740 m s.n.m., al pie de dos cerros que se levantan 1000 m sobre la llanura. La vegetación del área de estudio carece de arboles, es rala (la cobertura de la vegetación es normalmente menor al 25 %), está constituida por arbustos (espinosos), gramíneas en matas, suculentas y plantas en cojines. En la época de lluvia aparecen especies efímeras. La vegetación del área de estudio pertenece a la formación de la puna.

Los objetivos del trabajo fueron: a) la determinación de la influencia del relieve en la formación del suelo (p.e. existencia de sales solubles, yeso y carbonatos), b) la determinación de la influencia del suelo y del relieve en la formación de la vegetación, especialmente la influencia de las sales solubles en la vegetación y c) la determinación de principios de la distribución de las sales solubles en los perfiles del suelo con relación a las estaciones (época de lluvia y época seca).

La toma de los parámetros del lugar, del suelo y de la vegetación se realizó en la época seca en 16 sitios (elegido por el principio de catena); en la época de lluvia la investigación se extendió a 35 sitios. En total fueron tomadas 316 muestras de suelo y 21 muestras de agua (agua subterránea y superficial) y analizadas según diferentes parámetros físicos y químicos.

Con base en los resultados de los trabajos de campo y de laboratorio fueron segregadas tres unidades principales y dos unidades de transición, caracterizadas por parámetros geomorfológicos, pedológicos y botánicos similares:

- 1 Sierra con suelos de poca profundidad y poco desarrollado ((Lithic) Ustorthents según el Soil Taxonomy (USDA) y Ranker o Braunerde según el sistema alemán) y con una vegetación caracterizada por *Fabiana densa*, que contiene arbustos (espinosos), gramíneas en matas y cacti; anteriormente con uso agropecuario
- 2 Área de transición de piedemonte
- 3 Llanura aluvial con formas eólicas, con suelos poco desarrollados (esp. Entisols según el Soil Taxonomy (USDA) y Lockersyroseme según el sistema alemán) y con una vegetación caracterizada por *Lampaya castellani* con *Festuca orthophylla* ('iru-ichu', 'paja brava') y *Parastrephia lepidophylla* ('tola'); usada extensivamente como pasto para llamas y alpacas
- 4 Área de transición de la llanura poco influida por agua subterránea
- 5 Llanura aluvial influida por agua subterránea y sales con suelos salinos y sódicos según RICHARDS (1954) ($EC_e > 4$ mS/cm, $SAR > 13$ y $pH_e < 8.5$) (Halaquepts según el Soil Taxonomy (USDA)), con un contenido fitotóxico (para cultivos) de boro, sodio y cloruro soluble en suelos y agua subterránea y con vegetación caracterizada por *Distichlis humilis*, *Salicornia pulvinata* y *Anthobryum triandrum* (halofitas que crecen en cojines o como césped); usada como pasto intensivo para llamas, alpacas y/u ovejas

Por el predominio del ascenso capilar del agua subterránea salina y sódica sobre la rezumación de la precipitación en los suelos de las depresiones de la llanura existe una acumulación fuerte de las sales solubles en estos suelos. La distribución de las sales solubles depende de la cantidad de las precipitaciones pluviales que varían durante el año: en la época seca el contenido de las sales solubles aumenta con la altura en el perfil, en la época de lluvia la concentración más alta está unos diez centímetros debajo de la superficie del suelo.

Abstract

The dissertation represents the results of investigations of soil and vegetation in the area of Huachacalla – with particular emphasis on the salinization and alkalization of the soil. The small town of Huachacalla is located in the Bolivian Altiplano, about 30 km north of Salar de Coipasa, 3,740 meters above sea level, at the foot of two volcanic cones which extend 1,000 meters above plateau. The vegetation in the study area is treeless, open (mostly < 25 % cover) and is composed of (thorny) shrubs, bunch grasses, succulents and hard cushion plants. In the rainy season at most sites ephemeral species appear. It is to be assigned to the vegetation formation of semiarid puna.

The main aims of the study were: a) the determination of the influence of relief on the nature of soil (especially the occurrence of soluble salts, gypsum and carbonates), b) determination of the influence of soil and relief on the nature of the vegetation, in particular the influence of soluble salts in the soil on vegetation and c) investigation of the distribution of soluble salts in the soil profile and of the seasonal changes in the distribution according with the alternation of dry and rainy season.

The survey of the location, soil and vegetation parameters was carried out during the dry season in 1996 at 16 sites selected according to the catena principle; during the following rainy season the investigation was extended to 35 sites. In total 316 soil samples and 21 ground water and surface water samples were taken and analyzed in the laboratory for different physical and chemical parameters.

On the basis of the results of field and laboratory work there were identified three main units and two transition units which are characterized by similar geomorphological, pedological and vegetational parameters:

- 1 Mountain range with shallow, weakly developed soils ((Lithic) Ustorthents according to Soil Taxonomy (USDA) and Ranker or Braunerde according to the German Soil Classification System (DBG)) and *Fabiana densa* - Vegetation with (thorny) shrubs, bunch grasses and cacti; formerly used for agriculture and grazing
- 2 Transition area of pediment
- 3 Alluvial plain with eolian forms, with weakly developed soils (i.e. Entisols according to Soil Taxonomy (USDA) and Lockersyroseme according to the German Soil Classification System (DBG)) and *Lampaya castellani* - Vegetation with *Festuca orthophylla* ('iru-ichu', 'paja brava') and *Parastrephia lepidophylla* ('tola'); extensively used as lama and/or alpaca pasture
- 4 Transition area of alluvial plain weakly influenced by groundwater and salts
- 5 Alluvial plain influenced by groundwater and salts with saline-alkali soils according to RICHARDS (1954) ($EC_e > 4$ mS/cm, SAR > 13 and $pH_e < 8.5$) (Halaquepts according to Soil Taxonomy (USDA)), with phytotoxic amounts (to crops plants) of soluble boron, sodium and chloride in soil and groundwater and with *Distichlis humilis* - *Salicornia pulvinata* - *Anthobryum triandrum* - Vegetation (halophytes that grow in cushions or short lawns); partly intensely used as lama, alpaca and/or sheep pasture

The predominance of the capillary rise of saline-alkali groundwater opposed to the seepage of precipitation in soils of depressions on the alluvial plain results in an accumulation of soluble salts in these areas. The distribution of the salts in the soil depends on the seasonally changing amount of precipitation: in the dry season the salinity increases with the height in the soil profile, in the rainy season the highest concentration of soluble salts is located a few decimeters below the soil surface.

Vorwort

Die Auswahl des Untersuchungsgebietes und des Themas der vorliegenden Arbeit erfolgte im Anschluss an einen Südamerikaaufenthalt im Frühjahr 1996, bei dem mir mein Doktorvater Prof. Dr. Jordan verschiedene Gebiete und Problemstellungen vorstellte. Die Dissertation wurde auf der Grundlage der Ergebnisse von zwei weiteren Geländeaufenthalten in Bolivien und umfangreichen Laboranalysen am Geographischen Institut der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, erstellt. Die Anfertigung der Arbeit nahm insgesamt fünf Jahre in Anspruch. Die im Rahmen der Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin von Prof. Dr. Jordan, vor allem bei der Vorbereitung und Durchführung bodenkundlich-geoökologischer Laborpraktika, gewonnenen Kenntnisse und Erfahrungen, konnten für die Arbeit an der Promotion genutzt werden.

Die für die Aufenthalte in Bolivien hilfreichen Kontakte verdanke ich ebenfalls meinem Betreuer Prof. Dr. Jordan. Über diese Kontakte war es mir möglich im Huachacalla während meiner mehrmonatigen Geländeaufenthalte in einer Offizierwohnung (ohne Offizier) der dortigen Kaserne mietfrei zu wohnen. Hier möchte ich Ing. Angel Condo vom Instituto Geográfico Militar (I.G.M.) in La Paz, Coronel Saavedra, der zur Zeit meiner Geländearbeiten Kommandant der Kaserne in Huachacalla war, sowie Mayor Nogales und seiner Familie, die mich in den ersten zwei Wochen meines Aufenthalts in Huachacalla in ihrem Haus aufnahmen, ganz besonders danken. Mit vielen Angehörigen des bolivianischen Militärs und ihren Familien verbindet mich bis heute ein freundschaftliches Gefühl. Auch die einheimischen Bewohner von Huachacalla und der umliegenden Orte, die überwiegend der Volksgruppe der Aymará angehören, waren aufgeschlossen und sehr freundlich. Meine längeren Aufenthalte in La Paz zur Organisation der Geländeaufenthalte, zur Beschaffung von Literatur und Karten und zur Erweiterung meiner Spanischkenntnisse sind auch mit sehr positiven Erinnerungen verbunden. Die Verbindungen von Prof. Dr. Jordan zur Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) in La Paz haben mir sehr geholfen. An dieser Stelle möchte ich den Biologinnen Jasivia Gonzales Rocabado und Rosa Isela Meneses für die Bestimmung der Pflanzen im Herbarium in La Paz sehr danken. Besonders möchte ich auch Frau Prof. Dr. Ruthsatz (Universität Trier) für die Überprüfung der Pflanzenbestimmungen und Durchsicht meiner Vegetationstabelle danken.

Für die Unterstützung bei den Laborarbeiten danke ich den studentischen Hilfskräften Martina Hanisch, Sonja Vieten und Nina Erdmann, die mit großem Einsatz und Interesse bei der Arbeit waren. Die Erstellung der Karte des Untersuchungsgebietes im Anhang ist Nina Erdmann zu verdanken, die von ihrem Kommilitonen Volker Heck und meinem Kollegen Dr. Dr. Wilfried Linder, der das Programm für die Digitalisierung der Karte und Berechnung des digitalen Geländemodells (LISA) geschrieben hat, unterstützt wurde. Besonders möchte ich mich auch bei Dipl.-Biol. Geogr. M.A. Tanja Picker, meiner Nachfolgerin am Institut, für die anregenden Diskussionen und guten Tipps bedanken. Für die Lösung meiner Soft- und Hardwareprobleme bedanke ich mich bei Dipl.-Math. Michael Braitmeier. Für die Durchsicht der Skripte danke ich besonders Herrn Dr. Fey, Dr. Alexander Iking und Tanja Picker. Herrn Prof. Dr. Schirmer möchte ich für die konstruktive Kritik und für die Bereitschaft danken das zweite Gutachten für die vorliegende Arbeit zu schreiben.

Für meine Finanzierung nach dem Auslauf der Stelle als wissenschaftliche Mitarbeiterin im Frühjahr 1999 danke ich dem Ausschuss der Graduiertenförderung der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf für die Bewilligung eines Abschlussstipendiums sowie meinen Eltern.

Düsseldorf, im Juni 2001

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abbildungen	XI
Verzeichnis der Tabellen	XVIII
Verzeichnis der Fotos	XXXI
Verzeichnis der Karten	XXXVI
Verzeichnis der Abkürzungen	XXXVII
1 Einleitung	1
1.1 Allgemeines	1
1.2 Stand der Forschung	2
1.3 Zielsetzung und Vorgehensweise	5
1.4 Kartenmaterial und Luftbilder	7
2 Bodenversalzung – allgemeine Grundlagen	8
2.1 Definition des Begriffs Bodenversalzung sowie Definition, Kennzeichnung der Eigenschaften und Klassifikation von Salz- und Natrium- bzw. Alkaliböden	8
2.2 Herkunft der Salze und Einfluss des Klimas und des Reliefs	12
2.3 Transport und Verteilung der Salze im Boden	13
2.3.1 Einfluss des Bodenwassers	13
2.3.2 Einfluss der Löslichkeit der Salze	19
2.4 Auswirkungen der Bodenversalzung	22
2.5 Melioration von Salz- und Natriumböden	25
3 Methodik	26
3.1 Geländearbeiten	26
3.1.1 Allgemeines	26
3.1.2 Auswahl der Standorte	26
3.1.3 Aufnahme der Titeldaten und Aufnahmesituation	27
3.1.4 Aufnahme der Bodenparameter und Entnahme der Boden- und Grund- wasserproben	28
3.1.5 Aufnahme der Vegetation	31
3.2 Laboranalysen	32
3.2.1 Bestimmung der physikalischen Bodenparameter Anteil des Grobbodens, Bodenart des Feinbodens, Lagerungsdichte, Porenvolumen und Wasser- gehalt	32
3.2.2 Bestimmung der Bodenfarbe nach MUNSELL	35

3.2.3	Bestimmung der chemischen Bodenparameter austauschbare Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ , $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$, Salz-, Carbonat-, Humus- und Gipsgehalt ..	35
3.2.4	Chemische Analysen der Bodensättigungsextrakte sowie der Grund- und Oberflächenwasserproben	40
3.2.4.1	Herstellung der Bodensättigungsextrakte und Filtern der Grund- und Oberflächenwasserproben	40
3.2.4.2	Messung des pH-Wertes und der elektrischen Leitfähigkeit der Bodensättigungsextrakte sowie der Grund- und Oberflächenwasserproben ($\text{pH}_{\text{e/w}}$ und $\text{EC}_{\text{e/w}}$)	41
3.2.4.3	Analyse der löslichen Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ und NH_4^+ in den Bodensättigungsextrakten sowie in den Grund- und Oberflächenwasserproben	43
3.2.4.4	Analyse der löslichen Anionen CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} und NO_3^- in den Bodensättigungsextrakten sowie in den Grund- und Oberflächenwasserproben	43
3.2.4.5	Analyse des löslichen Bors in den Bodensättigungsextrakten sowie in den Grund- und Oberflächenwasserproben	44
3.2.4.6	Kontrolle der Ergebnisse der chemischen Analysen des Bodensättigungsextraktes	46
3.2.4.7	Berechnung des SAR und ESP	46
3.2.4.8	Ausscheidung von Normal-, Salz-, Salzalkali und Alkaliböden	47
3.3	Erstellen einer Vegetationstabelle	47
3.4	Bodenklassifikation	48
4	Das Untersuchungsgebiet – Betrachtung der Geofaktoren	49
4.1	Geologie	49
4.2	Geographische Lage, Geomorphologie, (Paläo-)Hydrologie, Topographie sowie Infrastruktur	51
4.3	Klima	57
4.4	Böden (Klassifikation der Böden)	62
4.5	Vegetation und Nutzung	64
4.6	Standort-, Boden- und Vegetationseinheiten im Untersuchungsgebiet	70
5	Analyse der Einzelstandorte – Ergebnisse der pedologischen und vegetationskundlichen Aufnahmen im Gelände sowie der bodenkundlichen Laboranalysen	71
5.1	Catena I – Esmeralda	71
5.1.1	Standort I.1 (Gebirge)	72
5.1.2	Standort I.2 (Gebirge)	74
5.1.3	Standort I.3 (Gebirge)	74
5.1.4	Standort I.4 (Gebirge)	76

5.1.5	Standort I.5 (Hangfuß)	76
5.1.6	Standort I.6 (äolisch geprägte Alluvialebene)	77
5.1.7	Standort I.7 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene)	78
5.1.8	Standort I.8 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene)	82
5.2	Catena II – Cerro Saya Vinto	86
5.2.1	Standort II.1 (Gebirge)	86
5.2.2	Standort II.2 (Gebirge)	88
5.2.3	Standort II.3 (äolisch geprägte Alluvialebene)	88
5.2.4	Standort II.4 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene)	91
5.3	Catena III – Huachacalla	93
5.3.1	Standort III.1 (Gebirge)	94
5.3.2	Standort III.2 (Gebirge)	95
5.3.3	Standort III.3 (Hangfuß)	95
5.3.4	Standort III.4 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene)	96
5.3.5	Standort III.5 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene)	99
5.3.6	Standort III.6 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene)	104
5.4	Catena IV – Payrumani	106
5.4.1	Standort IV.1 (Gebirge)	106
5.4.2	Standort IV.2 (Hangfuß)	106
5.4.3	Standort IV.3 (äolisch geprägte Alluvialebene)	107
5.4.4	Standort IV.4 (äolisch geprägte Alluvialebene)	108
5.4.5	Standort IV.5 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene)	109
5.4.6	Standort IV.6 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene)	109
5.5	Standortgruppe V – Reliefsequenz im Bereich höherer Dünen	112
5.5.1	Standort V.1 (äolisch geprägte Alluvialebene)	112
5.5.2	Standort V.2 (äolisch geprägte Alluvialebene)	112
5.5.3	Standort V.3 (äolisch geprägte Alluvialebene; Dünenhang)	113
5.5.4	Standort V.4 (äolisch geprägte Alluvialebene; Dünenkuppe)	114
5.5.5	Standort V.5 (äolisch geprägte Alluvialebene; Dünenhang)	115
5.5.6	Standort V.6 (äolisch geprägte Alluvialebene; Dünental)	115
5.6	Standortgruppe VI – ein schwach grundwasser- und salzbeeinflusster Standort und zwei äolisch geprägte Standorte in der Alluvialebene ohne Catenenzu- gehörigkeit	115
5.6.1	Standort VI.1 (schwach grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene) ...	116
5.6.2	Standort VI.2 (äolisch geprägte Alluvialebene)	121
5.6.3	Standort VI.3 (äolisch geprägte Alluvialebene)	121

5.7	Standortgruppe VII – grundwasser- und salzbeeinflusste Standorte nahe dem Río Lauca	123
5.7.1	Standort VII.1 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene)	123
5.7.2	Standort VII.2 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene)	127
5.8	Flusswasser-, Oberflächenwasser- und Leitungswasserproben	130
6	Synthese der pedologischen Ergebnisse	132
6.1	Änderung der Bodenparameter im Relief	132
6.2	Änderung der Bodenparameter innerhalb der Bodenprofile der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte unter Berücksichtigung der saisonalen Unterschiede	146
6.3	Abhängigkeit verschiedener Bodenparameter untereinander	159
7	Die Ausscheidung von Vegetationseinheiten – Analyse des Einflusses verschiedener Parameter auf die Ausbildung der Vegetation	178
7.1	Allgemeines	178
7.2	Die Vegetationseinheiten im Untersuchungsgebiet	181
7.2.1	<i>Fabiana densa</i> - Vegetationseinheit	181
7.2.2	Übergang zwischen der <i>Fabiana densa</i> - und der <i>Lampaya castellani</i> - Vegetationseinheit	186
7.2.3	<i>Lampaya castellani</i> - Vegetationseinheit	187
7.2.4	Übergang zwischen der <i>Lampaya castellani</i> - Vegetationseinheit und der <i>Distichilis humilis</i> - Vegetationseinheit	190
7.2.5	<i>Distichilis humilis</i> - Vegetationseinheit	192
8	Fazit	197
9	Zusammenfassung	198
10	Quellen	201
10.1	Literatur	201
10.2	Karten und Luftbilder	206
Anhang		
	Tabellen	Band II A1
	Fotos	Band II A 118
Anlagen		
	Karte 1	
	Tab. 20 a und 20 b	

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1:	Beziehung zwischen Wassergehalt und Wasserspannung bei einem Sandboden (S), einem tonigen Schluffboden (U) und einem Tonboden (T)	14
Abb. 2:	Wasserleitfähigkeit in Abhängigkeit vom Wassergehalt, abgetragen als pF-Wert, eines Sand-, Schluff- und Tonbodens	15
Abb. 3:	Hydraulisches Potential, Matrixpotential, Gravitationspotential und Wassergehalt in einer homogenen Bodensäule im Gleichgewicht, bei Versickerung und kapillarem Aufstieg	17
Abb. 4:	Einfluss der Jahresniederschlagsmenge auf die Lage der Kalk-, Gips- und Salzanreicherungszone in mittelkörnigen Böden arider Klimate (ohne Grundwassereinfluss)	20
Abb. 5:	Einfluss der Bodenart auf die Lage der Kalk-, Gips- und Salzanreicherungszone bei 350 mm Jahresniederschlag (ohne Grundwassereinfluss)	21
Abb. 6:	Verhältnis zwischen dem EC_e und den Ernteerträgen von Feldfrüchten	23
Abb. 7:	Verhältnis des Salzgehaltes im Boden zu dem osmotischen Druck und der elektrischen Leitfähigkeit des Sättigungsextraktes (EC_e) bei unterschiedlichen Sättigungsprozentensätzen	41
Abb. 8:	Formel zur Berechnung des SAR	46
Abb. 9:	Formel zur Berechnung des ESP	47
Abb. 10:	WALTER-Klimadiagramm der Station Huachacalla	57
Abb. 11:	Düsseldorfer Klimadiagramm der Station Huachacalla	58
Abb. 12:	Evapotranspiration (pET), Niederschlag (N) und Frostwechseltage (senkrechte Balken) der Station Oruro	59
Abb. 13:	Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 140 cm u. GOF des Standortes RZ I.7 (Regenzeit)	80
Abb. 14:	Austauschbare Kationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium (austauschbare Basen) der Bodenhorizonte bis 140 cm u. GOF des Standortes RZ I.7 (Regenzeit)	81
Abb. 15:	Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/w} \cdot 10$, SAR, $pH_{e/w}$ und lösliches Bor des Bodensättigungsextraktes der Bodenhorizonte bis 140 cm u. GOF und des Grundwassers (ab 130 cm u. GOF; abgetragen ab 140 cm u. GOF) des Standortes RZ I.7 (Regenzeit)	81
Abb. 16:	Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 83 cm u. GOF des Standortes TZ I.8 (Trockenzeit)	84
Abb. 17:	Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 82 cm u. GOF des Standortes RZ I.8 (Regenzeit)	84
Abb. 18:	Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/w} \cdot 10$, SAR, $pH_{e/w}$ und lösliches Bor des Bodensättigungsextraktes der Bodenhorizonte bis 52 cm u. GOF und des Grundwassers (ab 100 cm u. GOF) des Standortes TZ I.8 (Trockenzeit)	85
Abb. 19:	Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/w} \cdot 10$, SAR, $pH_{e/w}$ und lösliches Bor des Bodensättigungsextraktes der Bodenhorizonte bis 34 cm u. GOF und des Grundwassers (ab 80 cm u. GOF) des Standortes RZ I.8 (Regenzeit)	85
Abb. 20:	Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 140 cm u. GOF des Standortes RZ II.3 (Regenzeit)	89

Abb. 21: Austauschbare Kationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium (austauschbare Basen) der Bodenhorizonte bis 140 cm u. GOF des Standortes RZ II.3 (Regenzeit)	90
Abb. 22: Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/w} \cdot 10$, SAR, $pH_{e/w}$ und lösliches Bor des Bodensättigungs-extraktes der Bodenhorizonte bis 140 cm u. GOF des Standortes RZ II.3 (Regenzeit); für den Boden-horizont zwischen 65 und 70 cm u. GOF liegen keine Ergebnisse für die Parameter des Bodensätti-gungsextraktes vor	90
Abb. 23: Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 150 cm u. GOF des Standortes RZ II.4 (Regenzeit)	91
Abb. 24: Austauschbare Kationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium (austauschbare Basen) der Bodenhorizonte bis 150 cm u. GOF des Standortes RZ II.4 (Regenzeit)	92
Abb. 25: Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/w} \cdot 10$, SAR, $pH_{e/w}$ und lösliches Bor des Bodensättigungs-extraktes der Bodenhorizonte bis 150 cm u. GOF und des Grundwassers (ab 150 cm u. GOF) des Standortes RZ II.4 (Regenzeit)	92
Abb. 26: Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 100 cm u. GOF des Standortes RZ III.4 (Regenzeit)	97
Abb. 27: Austauschbare Kationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium (austauschbare Basen) der Bodenhorizonte bis 100 cm u. GOF des Standortes RZ III.4 (Regenzeit)	98
Abb. 28: Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/w} \cdot 10$, SAR, $pH_{e/w}$ und lösliches Bor des Bodensättigungs-extraktes der Bodenhorizonte bis 70 cm u. GOF und des Grundwassers (ab 80 cm u. GOF) des Standortes RZ III.4 (Regenzeit)	98
Abb. 29: Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 135 cm u. GOF des Standortes TZ III.5 (Trockenzeit)	101
Abb. 30: Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 40 cm u. GOF des Standortes RZ III.5 (Regenzeit)	101
Abb. 31: Austauschbare Kationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium (austauschbare Basen) der Bodenhorizonte bis 40 cm u. GOF des Standortes TZ III.5 (Trockenzeit)	102
Abb. 32: Austauschbare Kationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium (austauschbare Basen) der Bodenhorizonte bis 40 cm u. GOF des Standortes RZ III.5 (Regenzeit)	102
Abb. 33: Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/w} \cdot 10$, SAR, $pH_{e/w}$ und lösliches Bor des Bodensättigungs-extraktes der Bodenhorizonte bis 79 cm u. GOF und des Grundwassers (ab 130 cm u. GOF) des Standortes TZ III.5 (Trockenzeit)	103
Abb. 34: Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/w} \cdot 10$, SAR, $pH_{e/w}$ und lösliches Bor des Bodensättigungs-extraktes der Bodenhorizonte bis 40 cm u. GOF und des Grundwassers (ab 40 cm u. GOF) des Standortes RZ III.5 (Regenzeit)	103
Abb. 35: Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 120 cm u. GOF des Standortes RZ III.6 (Regenzeit)	105
Abb. 36: Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/w} \cdot 10$, SAR, $pH_{e/w}$ und lösliches Bor des Bodensättigungs-extraktes der Bodenhorizonte bis 74,5 cm u. GOF und des Grundwassers (ab 120 cm u. GOF) des Standortes RZ III.6 (Regenzeit)	105
Abb. 37: Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 131 cm u. GOF des Standortes RZ IV.5 (Regenzeit)	110

Abb. 38:	Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/w} \cdot 10$, SAR, $pH_{e/w}$ und lösliches Bor des Bodensättigungs-extraktes der Bodenhorizonte bis 30 cm u. GOF des Standortes RZ IV.5 (Regenzeit)	110
Abb. 39:	Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 107,5 cm u. GOF des Standortes RZ IV.6 (Regenzeit)	111
Abb. 40:	Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/w} \cdot 10$, SAR, $pH_{e/w}$ und lösliches Bor des Bodensättigungs-extraktes der Bodenhorizonte bis 37,5 cm u. GOF des Standortes RZ IV.6 (Regenzeit)	111
Abb. 41:	Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 80 cm u. GOF des Standortes TZ VI.1 (Trockenzeit); ab 80 cm u. GOF anstehendes Festgestein	118
Abb. 42:	Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 80 cm u. GOF des Standortes RZ VI.1 (Regenzeit); ab 80 cm u. GOF anstehendes Festgestein	118
Abb. 43:	Austauschbare Kationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium (austauschbare Basen) der Bodenhorizonte bis 80 cm u. GOF des Standortes TZ VI.1 (Trockenzeit); ab 80 cm u. GOF anstehendes Festgestein	119
Abb. 44:	Austauschbare Kationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium (austauschbare Basen) der Bodenhorizonte bis 80 cm u. GOF des Standortes RZ VI.1 (Regenzeit); ab 80 cm u. GOF anstehendes Festgestein	119
Abb. 45:	Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/w} \cdot 10$, SAR, $pH_{e/w}$ und lösliches Bor des Bodensättigungs-extraktes der Bodenhorizonte bis 80 cm u. GOF des Standortes TZ VI.1 (Trockenzeit); ab 80 cm u. GOF anstehendes Festgestein	120
Abb. 46:	Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/w} \cdot 10$, SAR, $pH_{e/w}$ und lösliches Bor des Bodensättigungs-extraktes der Bodenhorizonte bis 80 cm u. GOF des Standortes RZ VI.1 (Regenzeit); ab 80 cm u. GOF anstehendes Festgestein	120
Abb. 47:	Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 120 cm u. GOF des Standortes TZ VI.3 (Trockenzeit)	122
Abb. 48:	Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 120 cm u. GOF des Standortes RZ VI.3 (Regenzeit)	122
Abb. 49:	Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 110 cm u. GOF des Standortes TZ VII.1 (Trockenzeit)	125
Abb. 50:	Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 70 cm u. GOF des Standortes RZ VII.1 (Regenzeit)	125
Abb. 51:	Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/w} \cdot 10$, SAR, $pH_{e/w}$ und lösliches Bor des Bodensättigungs-extraktes der Bodenhorizonte bis 70 cm u. GOF und des Grundwassers (ab 110 cm u. GOF) des Standortes TZ VII.1 (Trockenzeit)	126
Abb. 52:	Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/w} \cdot 10$, SAR, $pH_{e/w}$ und lösliches Bor des Bodensättigungs-extraktes der Bodenhorizonte bis 70 cm u. GOF und des Grundwassers (ab 60 cm u. GOF, abgetragen ab 70 cm u. GOF) des Standortes RZ VII.1 (Regenzeit)	126
Abb. 53:	Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 50 cm u. GOF des Standortes RZ VII.2 (Regenzeit)	129
Abb. 54:	Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/w} \cdot 10$, SAR, $pH_{e/w}$ und lösliches Bor des Bodensättigungs-extraktes der Bodenhorizonte bis 50 cm u. GOF und des Grundwassers (ab 50 cm u. GOF des Standortes RZ VII.2 (Regenzeit)	129

Abb. 55: Salzgehalt (nach EC_5) der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Trockenzeit-Standorte)	134
Abb. 56: Salzgehalt (nach EC_5) der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Regenzeit-Standorte)	134
Abb. 57: Elektrische Leitfähigkeit des Sättigungsextraktes (EC_e) der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Trockenzeit-Standorte); die Grenze zwischen Nichtsalz- und Salzböden liegt nach RICHARDS (1954) bei einem EC_e von 4 mS/cm.....	135
Abb. 58: Elektrische Leitfähigkeit des Sättigungsextraktes (EC_e) der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Regenzeit-Standorte); die Grenze zwischen Nichtsalz- und Salzböden liegt nach RICHARDS (1954) bei einem EC_e von 4 mS/cm.....	135
Abb. 59: SAR der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Trockenzeit-Standorte); die Grenze zwischen Alkali- bzw. Natriumböden und Nichtalkali- bzw. Nichtnatriumböden liegt nach RICHARDS (1954) bei einem SAR von 13	136
Abb. 60: SAR der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Regenzeit-Standorte); die Grenze zwischen Alkali- bzw. Natriumböden und Nichtalkali- bzw. Nichtnatriumböden liegt nach RICHARDS (1954) bei einem SAR von 13	136
Abb. 61: Anteil des austauschbaren Na^+ an der Summe der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Trockenzeit- und Regenzeit-Standorte)	137
Abb. 62: pH_{CaCl_2} der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Trockenzeit-Standorte)	138
Abb. 63: pH_{CaCl_2} der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Regenzeit-Standorte)	138
Abb. 64: pH_e der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Trockenzeit-Standorte)	139
Abb. 65: pH_e der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Regenzeit-Standorte)	139
Abb. 66: Borgehalt des Sättigungsextraktes der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Trockenzeit-Standorte); eine Schädigung empfindlicher Pflanzen erfolgt bereits bei 0,3 mg/l Bor im Sättigungsextrakt	140
Abb. 67: Borgehalt des Sättigungsextraktes der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand; eine Schädigung empfindlicher Pflanzen erfolgt bereits mval/l 0,3 mg/l Bor im Sättigungsextrakt	140
Abb. 68: Humusgehalt der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Trockenzeit-Standorte)	142
Abb. 69: Humusgehalt der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Regenzeit-Standorte)	142
Abb. 70: Bodenart der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Trockenzeit-Standorte)	143
Abb. 71: Bodenart der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Regenzeit-Standorte)	143

Abb. 72: Carbonatgehalt der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Trockenzeit-Standorte)	144
Abb. 73: Carbonatgehalt der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Regenzeit-Standorte)	144
Abb. 74: Summe der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ (austauschbaren Basen) der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Trockenzeit- und Regenzeit-Standorte)	145
Abb. 75: Salzgehalt (nach EC_5) der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Trockenzeit-Standorte)	148
Abb. 76: Salzgehalt (nach EC_5) der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Regenzeit-Standorte)	148
Abb. 77: Elektrische Leitfähigkeit des Sättigungsextraktes (EC_e) der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Trockenzeit-Standorte)	149
Abb. 78: Elektrische Leitfähigkeit des Sättigungsextraktes (EC_e) der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Regenzeit-Standorte)	149
Abb. 79: SAR des Sättigungsextraktes der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Trockenzeit-Standorte)	150
Abb. 80: SAR des Sättigungsextraktes der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Regenzeit-Standorte)	150
Abb. 81: Anteil des löslichen Natriums an der Summe der löslichen Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ im Sättigungsextrakt der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Trockenzeit-Standorte)	151
Abb. 82: Anteil des löslichen Natriums an der Summe der löslichen Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ im Sättigungsextrakt der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Regenzeit-Standorte)	151
Abb. 83: Anteil des löslichen Chlorids an der Summe der löslichen Anionen CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , $\text{B}(\text{OH})_4^-$ und NO_3^- im Sättigungsextrakt der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Trockenzeit-Standorte)	152
Abb. 84: Anteil des löslichen Chlorids an der Summe der löslichen Anionen CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , $\text{B}(\text{OH})_4^-$ und NO_3^- im Sättigungsextrakt der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Regenzeit-Standorte)	152
Abb. 85: Borgehalt im Sättigungsextrakt der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Trockenzeit-Standorte) ; eine Schädigung empfindlicher Pflanzen erfolgt bereits mval/l 0,3 mg/l Bor im Sättigungsextrakt	153
Abb. 86: Borgehalt im Sättigungsextrakt der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Regenzeit-Standorte); eine Schädigung empfindlicher Pflanzen erfolgt bereits mval/l 0,3 mg/l Bor im Sättigungsextrakt	153
Abb. 87: $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Trockenzeit-Standorte)	154

Abb. 88: $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Regenzeit-Standorte)	154
Abb. 89: pH_e der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Trockenzeit-Standorte)	155
Abb. 90: pH_e der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Regenzeit-Standorte)	155
Abb. 91: Anteil des austauschbaren Natriums an der Summe der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Trockenzeit- und Regenzeit-Standorte)	156
Abb. 92: Humusgehalt der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Trockenzeit-Standorte)	157
Abb. 93: Humusgehalt der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Regenzeit-Standorte)	157
Abb. 94: Carbonatgehalt der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Trockenzeit-Standorte)	158
Abb. 95: Carbonatgehalt der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Regenzeit-Standorte)	158
Abb. 96: Summe der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Trockenzeit- und Regenzeit-Standorte)	159
Abb. 97: Beziehung zwischen der Summe der löslichen Anionen und dem Anteil des löslichen Carbonats (CO_3^{2-}) an der Summe der löslichen Anionen im Sättigungsextrakt der Horizonte	160
Abb. 98: Beziehung zwischen der Summe der löslichen Anionen und dem Anteil des löslichen Hydrogencarbonats (HCO_3^-) an der Summe der löslichen Anionen im Sättigungsextrakt der Horizonte	160
Abb. 99: Beziehung zwischen der Summe der löslichen Anionen und dem Anteil des löslichen Sulfats (SO_4^{2-}) an der Summe der löslichen Anionen im Sättigungsextrakt der Horizonte	161
Abb. 100: Beziehung zwischen der Summe der löslichen Anionen und dem Anteil des löslichen Chlorids (Cl^-) an der Summe der löslichen Anionen im Sättigungsextrakt der Horizonte	161
Abb. 101: Beziehung zwischen der Summe der löslichen Kationen und dem Anteil des löslichen Calciums (Ca^{2+}) an der Summe der löslichen Kationen im Sättigungsextrakt der Horizonte	162
Abb. 102: Beziehung zwischen der Summe der löslichen Kationen und dem Anteil des löslichen Magnesiums (Mg^{2+}) an der Summe der löslichen Kationen im Sättigungsextrakt der Horizonte	163
Abb. 103: Beziehung zwischen der Summe der löslichen Kationen und dem Anteil des löslichen Kaliums (K^+) an der Summe der löslichen Kationen im Sättigungsextrakt der Horizonte	163
Abb. 104: Beziehung zwischen der Summe der löslichen Kationen und dem Anteil des löslichen Natriums (Na^+) an der Summe der löslichen Kationen im Sättigungsextrakt der Horizonte	164
Abb. 105: Korrelation zwischen dem austauschbarem Calcium (Ca^{2+}) und der Summe der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ der Horizonte	165
Abb. 106: Korrelation zwischen dem austauschbarem Magnesium (Mg^{2+}) und der Summe der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ der Horizonte	165

Abb. 107: Korrelation zwischen dem austauschbarem Kalium (K^+) und der Summe der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ der Horizonte	166
Abb. 108: Korrelation zwischen dem austauschbarem Natrium (Na^+) und der Summe der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ der Horizonte	166
Abb. 109: Beziehung zwischen dem NH_4OAc -extrahierbaren Calcium und dem Anteil des löslichen Calciums an dem NH_4OAc -extrahierbaren Calcium der Horizonte	167
Abb. 110: Beziehung zwischen dem NH_4OAc -extrahierbaren Magnesium und dem Anteil des löslichen Magnesiums an dem NH_4OAc -extrahierbaren Magnesium der Horizonte	168
Abb. 111: Beziehung zwischen dem NH_4OAc -extrahierbaren Kalium und dem Anteil des löslichen Kaliums an dem NH_4OAc -extrahierbaren Kalium der Horizonte	168
Abb. 112: Beziehung zwischen dem NH_4OAc -extrahierbaren Natrium und dem Anteil des löslichen Natriums an dem NH_4OAc -extrahierbaren Natrium der Horizonte	169
Abb. 113: Beziehung zwischen der Summe der NH_4OAc -extrahierbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ (Basen) und dem Anteil der löslichen Kationen an der Summe der NH_4OAc -extrahierbaren Kationen der Horizonte	169
Abb. 114: Korrelation zwischen der Summe der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ (austauschbaren Basen) und dem Humusgehalt der Horizonte	170
Abb. 115: Korrelation zwischen der Summe der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ (austauschbaren Basen) und dem Carbonatgehalt der Horizonte	171
Abb. 116: Korrelation zwischen der Summe der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ (austauschbaren Basen) und der Bodenart der Horizonte	171
Abb. 117: Scheinkorrelation zwischen der Summe der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ (austauschbaren Basen) und dem Salzgehalt (nach EC_5) der Horizonte	172
Abb. 118: Scheinkorrelation zwischen der Summe der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ (austauschbaren Basen) und dem pH_{CaCl_2} der Horizonte	172
Abb. 119: Korrelation zwischen dem Carbonatgehalt und dem austauschbaren Calcium der Horizonte	173
Abb. 120: Beziehung zwischen dem pH_e und dem SAR der Horizonte	174
Abb. 121: Beziehung zwischen dem pH_e und dem Borgehalt der Horizonte	174
Abb. 122: Fehlende Korrelation zwischen der Bodenart und dem Salzgehalt (nach EC_5) der Horizonte	175
Abb. 123: Fehlende Korrelation zwischen der Bodenart und dem EC_e der Horizonte	175
Abb. 124: Korrelation zwischen der Bodenart und dem Carbonatgehalt der Horizonte	176
Abb. 125: Beziehung zwischen pH_{CaCl_2} und pH_e	177
Abb. 126: Beziehung zwischen dem Salzgehalt und dem Quotienten aus pH_e und pH_{CaCl_2}	177

Mit Ausnahme der Abb. 11 wurden alle Abbildungen von der Verfasserin erstellt.

Die Abb. 1 bis 10 und 12 wurden anderen Veröffentlichungen entnommen (s. Quellenangabe) und von der Verfasserin in die digitale Form überführt.

Die Abb. 13 bis 126 beruhen auf den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1:	Lösliche Salze in Böden	19
Tab. 2:	Toleranz verschiedener Feldfrüchte gegenüber einem hohen Anteil an austauschbarem Natrium (gemessen als ESP) bei Nichtsalzböden	24
Tab. 3:	Toleranz verschiedener Feldfrüchte gegenüber einem hohen Borgehalt im Sättigungsextrakt	24
Tab. 4:	Schätzung des Verfestigungsgrades des Bodens im Gelände	29
Tab. 5:	Schätzung der effektiven Lagerungsdichte nach der Gefügeausbildung und dem Verfestigungsgrad im Gelände	29
Tab. 6:	Merkmale zur Schätzung des Bodenfeuchtezustandes nicht bindiger Böden (< 17 % Ton) bei geringer und mittlerer effektiver Lagerungsdichte im Gelände	30
Tab. 7:	Klassen der Durchwurzelungsintensität und Faktoren zur Berechnung des gewichteten Mittels (unter Berücksichtigung der Durchwurzelungsintensität und der Mächtigkeit der Horizonte) von Bodenparametern im Wurzelraum	30
Tab. 8:	Klassen der Deckungsgrade der Arten, der Vegetationsschichten und des gesamten Vegetationsbestandes	31
Tab. 9:	Gemengeanteilklassen des Grobbodens	32
Tab. 10:	Kornfraktionen des Feinbodens (< 2 mm) nach USDA	33
Tab. 11:	Korngrößenzusammensetzung der Bodenartenklassen nach USDA	34
Tab. 12:	Klassen der Summe der austauschbaren Basen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+)	36
Tab. 13:	Einstufung der Böden nach dem $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ -Wert (USDA)	37
Tab. 14:	Klassen des Carbonatgehaltes	38
Tab. 15:	Klassen des C_{org} - und Humusgehaltes	39
Tab. 16:	Klassen des Salzgehaltes der Böden nach EC_5 und des Versalzungsgrades der Böden und des Wassers nach EC_e bzw. EC_w	42
Tab. 17:	Klassen der Borkonzentration im Sättigungsextrakt	45
Tab. 18:	Cross-Checkings der Ergebnisse der chemischen Analysen des Bodensättigungsextraktes	46
Tab. 19:	Grenzwerte von Normal-, Salz-, Salzalkali und Alkaliböden	47
Tab. 20 a:	Vegetationstabelle für den Bereich von Huachacalla (Regenzeit)	Anlage
Tab. 20 b:	Vegetationstabelle für den Bereich von Huachacalla (Trockenzeit)	Anlage
Tab. 21:	Agroklimatische Daten der Station Salinas de Garci Mendoza (3680 m ü. M.) Klimadaten: 1947-1985	60
Tab. 22:	Agroklimatische Daten der Station Corque (3929 m ü. M.) Klimadaten: 1976-1983	60
Tab. 23:	Standort-, Boden- und Vegetationseinheiten der untersuchten Standorte	70
Tab. 24:	Lageparameter Standort I.1	A 1
Tab. 25:	Vegetation Standort TZ I.1	A 1
Tab. 26:	Profilbeschreibung Standort TZ I.1	A 1
Tab. 27:	Physikalische Bodenparameter Standort TZ I.1	A 2

Tab. 28:	Chemische Bodenparameter Standort TZ I.1	A 2
Tab. 29:	Vegetation Standort RZ I.1	A 2
Tab. 30:	Profilbeschreibung Standort RZ I.1	A 2
Tab. 31:	Physikalische Bodenparameter Standort RZ I.1	A 2
Tab. 32:	Chemische Bodenparameter Standort RZ I.1	A 3
Tab. 33:	Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ I.1	A 3
Tab. 34:	Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval / 100 g Boden Standort RZ I.1	A 3
Tab. 35:	Lageparameter Standort I.2	A 3
Tab. 36:	Vegetation Standort TZ I.2	A 4
Tab. 37:	Profilbeschreibung Standort TZ I.2	A 4
Tab. 38:	Physikalische Bodenparameter Standort TZ I.2	A 4
Tab. 39:	Chemische Bodenparameter Standort TZ I.2	A 4
Tab. 40:	Vegetation Standort RZ I.2	A 5
Tab. 41:	Profilbeschreibung Standort RZ I.2	A 5
Tab. 42:	Physikalische Bodenparameter Standort RZ I.2	A 5
Tab. 43:	Chemische Bodenparameter Standort RZ I.2	A 5
Tab. 44:	Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ I.2	A 5
Tab. 45:	Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval / 100 g Boden Standort RZ I.2	A 6
Tab. 46:	Lageparameter Standort I.3	A 6
Tab. 47:	Vegetation Standort TZ I.3	A 6
Tab. 48:	Profilbeschreibung Standort TZ I.3	A 6
Tab. 49:	Physikalische Bodenparameter Standort TZ I.3	A 7
Tab. 50:	Chemische Bodenparameter Standort TZ I.3	A 7
Tab. 51:	Vegetation Standort RZ I.3	A 7
Tab. 52:	Profilbeschreibung Standort RZ I.3	A 7
Tab. 53:	Physikalische Bodenparameter Standort RZ I.3	A 8
Tab. 54:	Chemische Bodenparameter Standort RZ I.3	A 8
Tab. 55:	Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ I.3	A 8
Tab. 56:	Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval / 100 g Boden Standort RZ I.3	A 8
Tab. 57:	Lageparameter Standort I.4	A 8
Tab. 58:	Vegetation Standort RZ I.4	A 9
Tab. 59:	Profilbeschreibung Standort RZ I.4	A 9

Tab. 60:	Physikalische Bodenparameter Standort RZ I.4	A 9
Tab. 61:	Chemische Bodenparameter Standort RZ I.4	A 9
Tab. 62:	Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ I.4	A 10
Tab. 63:	Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval / 100 g Boden Standort RZ I.4	A 10
Tab. 64:	Lageparameter Standort I.5	A 10
Tab. 65:	Vegetation Standort TZ I.5	A 10
Tab. 66:	Profilbeschreibung Standort TZ I.5	A 11
Tab. 67:	Physikalische Bodenparameter Standort TZ I.5	A 11
Tab. 68:	Chemische Bodenparameter Standort TZ I.5	A 11
Tab. 69:	Vegetation Standort RZ I.5	A 11
Tab. 70:	Profilbeschreibung Standort RZ I.5	A 12
Tab. 71:	Physikalische Bodenparameter Standort RZ I.5	A 12
Tab. 72:	Chemische Bodenparameter Standort RZ I.5	A 12
Tab. 73:	Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ I.5	A 12
Tab. 74:	Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval / 100 g Boden Standort RZ I.5	A 13
Tab. 75:	Lageparameter Standort I.6	A 13
Tab. 76:	Vegetation Standort TZ I.6	A 13
Tab. 77:	Profilbeschreibung Standort TZ I.6	A 14
Tab. 78:	Physikalische Bodenparameter Standort TZ I.6	A 14
Tab. 79:	Chemische Bodenparameter Standort TZ I.6	A 15
Tab. 80:	Vegetation Standort RZ I.6	A 15
Tab. 81:	Profilbeschreibung Standort RZ I.6	A 15
Tab. 82:	Physikalische Bodenparameter Standort RZ I.6	A 16
Tab. 83:	Chemische Bodenparameter Standort RZ I.6	A 16
Tab. 84:	Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ I.6	A 16
Tab. 85:	Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval / 100 g Boden Standort RZ I.6	A 16
Tab. 86:	Lageparameter Standort I.7	A 17
Tab. 87:	Vegetation Standort RZ I.7	A 17
Tab. 88:	Profilbeschreibung Standort RZ I.7	A 17
Tab. 89:	Physikalische Bodenparameter Standort RZ I.7	A 19
Tab. 90:	Chemische Bodenparameter Standort RZ I.7	A 19
Tab. 91:	Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ I.7	A 19

Tab. 92: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval / 100 g Boden Standort RZ I.7	A 20
Tab. 93: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser Standort RZ I.7	A 20
Tab. 94: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser bezogen auf mval/l Standort RZ I.7	A 20
Tab. 95: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ I.7	A 21
Tab. 96: $EC_{e/w}$, SAR, $pH_{e/w}$, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte und des Grundwassers Standort RZ I.7	A 21
Tab. 97: Lageparameter Standort I.8 (grundwasserbeeinflusste Alluvialebene)	A 21
Tab. 98: Vegetation Standort TZ I.8	A 22
Tab. 99: Profilbeschreibung Standort TZ I.8	A 22
Tab. 100: Physikalische Bodenparameter Standort TZ I.8	A 24
Tab. 101: Chemische Bodenparameter Standort TZ I.8	A 24
Tab. 102: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser Standort TZ I.8	A 24
Tab. 103: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser bezogen auf mval/l Standort TZ I.8	A 25
Tab. 104: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort TZ I.8	A 25
Tab. 105: $EC_{e/w}$, SAR, $pH_{e/w}$, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte und des Grundwassers Standort TZ I.8	A 25
Tab. 106: Vegetation Standort RZ I.8	A 25
Tab. 107: Profilbeschreibung Standort RZ I.8	A 26
Tab. 108: Physikalische Bodenparameter Standort RZ I.8	A 28
Tab. 109: Chemische Bodenparameter Standort RZ I.8	A 28
Tab. 110: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser Standort RZ I.8	A 29
Tab. 111: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser bezogen auf mval/l Standort RZ I.8	A 29
Tab. 112: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ I.8	A 29
Tab. 113: $EC_{e/w}$, SAR, $pH_{e/w}$, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte und des Grundwassers Standort RZ I.8	A 30
Tab. 114: Lageparameter Standort II.1	A 30
Tab. 115: Vegetation Standort RZ II.1	A 30
Tab. 116: Profilbeschreibung Standort RZ II.1	A 31
Tab. 117: Physikalische Bodenparameter Standort RZ II.1	A 31
Tab. 118: Chemische Bodenparameter Standort RZ II.1	A 31
Tab. 119: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ II.1	A 31
Tab. 120: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval / 100 g Boden Standort RZ II.1	A 31
Tab. 121: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten Standort RZ II.1	A 32

Tab. 122: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten bezogen auf mval/l Standort RZ II.1	A 32
Tab. 123: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ II.1	A 32
Tab. 124: EC _e SAR, pH _e , Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte Standort RZ II.1	A 32
Tab. 125: Lageparameter Standort II.2	A 32
Tab. 126: Vegetation Standort RZ II.2	A 33
Tab. 127: Profilbeschreibung Standort RZ II.2	A 33
Tab. 128: Physikalische Bodenparameter Standort RZ II.2	A 33
Tab. 129: Chemische Bodenparameter Standort RZ II.2	A 34
Tab. 130: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ II.2	A 34
Tab. 131: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval / 100 g Boden Standort RZ II.2	A 34
Tab. 132: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten Standort RZ II.2	A 34
Tab. 133: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten bezogen auf mval/l Standort RZ II.2	A 34
Tab. 134: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ II.2	A 35
Tab. 135: EC _e , SAR, pH _e , Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte Standort RZ II.2	A 35
Tab. 136: Lageparameter Standort II.3	A 35
Tab. 137: Vegetation Standort RZ II.3	A 35
Tab. 138: Profilbeschreibung Standort RZ II.3	A 36
Tab. 139: Physikalische Bodenparameter Standort RZ II.3	A 37
Tab. 140: Chemische Bodenparameter Standort RZ II.3	A 37
Tab. 141: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ II.3	A 38
Tab. 142: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval / 100 g Boden Standort RZ II.3	A 38
Tab. 143: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten Standort RZ II.3	A 38
Tab. 144: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten bezogen auf mval/l Standort RZ II.3	A 39
Tab. 145: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ II.3	A 39
Tab. 146: EC _e , SAR, pH _e , Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte Standort RZ II.3	A 39
Tab. 147: Lageparameter Standort II.4	A 40
Tab. 148: Vegetation Standort RZ II.4	A 40
Tab. 149: Profilbeschreibung Standort RZ II.4	A 40
Tab. 150: Physikalische Bodenparameter Standort RZ II.4	A 42
Tab. 151: Chemische Bodenparameter Standort RZ II.4	A 42

Tab. 152: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ II.4	A 43
Tab. 153: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval / 100 g Boden Standort RZ II.4	A 43
Tab. 154: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser Standort RZ II.4	A 43
Tab. 155: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser bezogen auf mval/l Standort RZ II.4	A 44
Tab. 156: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ II.4	A 44
Tab. 157: $EC_{e/w}$, SAR, $pH_{e/w}$, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte und des Grundwassers Standort RZ II.4	A 44
Tab. 158: Lageparameter Standort III.1	A 45
Tab. 159: Vegetation Standort RZ III.1	A 45
Tab. 160: Profilbeschreibung Standort RZ III.1	A 45
Tab. 161: Physikalische Bodenparameter Standort RZ III.1	A 46
Tab. 162: Chemische Bodenparameter Standort RZ III.1	A 46
Tab. 163: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ III.1	A 46
Tab. 164: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval / 100 g Boden Standort RZ III.1	A 46
Tab. 165: Lageparameter Standort III.2	A 47
Tab. 166: Vegetation Standort RZ III.2	A 47
Tab. 167: Profilbeschreibung Standort RZ III.2	A 47
Tab. 168: Physikalische Bodenparameter Standort RZ III.2	A 48
Tab. 169: Chemische Bodenparameter Standort RZ III.2	A 48
Tab. 170: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ III.2	A 48
Tab. 171: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval / 100 g Boden Standort RZ III.2	A 48
Tab. 172: Lageparameter Standort III.3	A 49
Tab. 173: Vegetation Standort RZ III.3	A 49
Tab. 174: Profilbeschreibung Standort RZ III.3	A 49
Tab. 175: Physikalische Bodenparameter Standort RZ III.3	A 50
Tab. 176: Chemische Bodenparameter Standort RZ III.3	A 50
Tab. 177: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ III.3	A 51
Tab. 178: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval / 100 g Boden Standort RZ III.3	A 51
Tab. 179: Lageparameter Standort III.4	A 51
Tab. 180: Vegetation Standort RZ III.4	A 52
Tab. 181: Profilbeschreibung Standort RZ III.4	A 52

Tab. 182: Physikalische Bodenparameter Standort RZ III.4	A 53
Tab. 183: Chemische Bodenparameter Standort RZ III.4	A 53
Tab. 184: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ III.4	A 53
Tab. 185: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval / 100 g Boden Standort RZ III.4	A 54
Tab. 186: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser Standort RZ III.4 ...	A 54
Tab. 187: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser bezogen auf mval/l Standort RZ III.4	A 54
Tab. 188: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ III.4	A 54
Tab. 189: $EC_{e/w}$, SAR, $pH_{e/w}$, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte und des Grundwassers Standort RZ III.4	A 55
Tab. 190: Lageparameter Standort III.5	A 55
Tab. 191: Vegetation Standort TZ III.5	A 55
Tab. 192: Profilbeschreibung Standort TZ III.5	A 56
Tab. 193: Physikalische Bodenparameter Standort TZ III.5	A 57
Tab. 194: Chemische Bodenparameter Standort TZ III.5	A 57
Tab. 195: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort TZ III.5	A 57
Tab. 196: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval / 100 g Boden Standort TZ III.5	A 58
Tab. 197: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser Standort TZ III.5	A 58
Tab. 198: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser bezogen auf mval/l Standort TZ III.5	A 58
Tab. 199: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort TZ III.5	A 58
Tab. 200: $EC_{e/w}$, SAR, $pH_{e/w}$, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte und des Grundwassers Standort TZ III.5	A 58
Tab. 201: Vegetation Standort RZ III.5	A 59
Tab. 202: Profilbeschreibung Standort RZ III.5	A 59
Tab. 203: Physikalische Bodenparameter Standort RZ III.5	A 59
Tab. 204: Chemische Bodenparameter Standort RZ III.5	A 59
Tab. 205: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ III.5	A 60
Tab. 206: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval / 100 g Boden Standort RZ III.5	A 60
Tab. 207: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser Standort RZ III.5 ...	A 60
Tab. 208: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser bezogen auf mval/l Standort RZ III.5	A 60
Tab. 209: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ III.5	A 60

Tab. 210: $EC_{e/w}$, SAR, $pH_{e/w}$, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte und des Grundwassers Standort RZ III.5	A 60
Tab. 211: Lageparameter Standort III.6	A 61
Tab. 212: Vegetation Standort RZ III.6	A 61
Tab. 213: Profilbeschreibung Standort RZ III.6	A 61
Tab. 214: Physikalische Bodenparameter Standort RZ III.6	A 63
Tab. 215: Chemische Bodenparameter Standort RZ III.6	A 63
Tab. 216: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser Standort RZ III.6 ...	A 63
Tab. 217: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser bezogen auf mval/l Standort RZ III.6	A 64
Tab. 218: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ III.6	A 64
Tab. 219: $EC_{e/w}$, SAR, $pH_{e/w}$, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte und des Grundwassers Standort RZ III.6	A 64
Tab. 220: Lageparameter Standort IV.1	A 65
Tab. 221: Vegetation Standort TZ IV.1	A 65
Tab. 222: Profilbeschreibung Standort TZ IV.1	A 65
Tab. 223: Physikalische Bodenparameter Standort TZ IV.1	A 66
Tab. 224: Chemische Bodenparameter Standort TZ IV.1	A 66
Tab. 225: Vegetation Standort RZ IV.1	A 66
Tab. 226: Profilbeschreibung Standort RZ IV.1	A 66
Tab. 227: Physikalische Bodenparameter Standort RZ IV.1	A 66
Tab. 228: Chemische Bodenparameter Standort RZ IV.1	A 67
Tab. 229: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ IV.1	A 67
Tab. 230: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval / 100 g Boden Standort RZ IV.1	A 67
Tab. 231: Lageparameter Standort IV.2	A 67
Tab. 232: Vegetation Standort TZ IV.2	A 68
Tab. 233: Profilbeschreibung Standort TZ IV.2	A 68
Tab. 234: Physikalische Bodenparameter Standort TZ IV.2	A 68
Tab. 235: Chemische Bodenparameter Standort TZ IV.2	A 68
Tab. 236: Vegetation Standort RZ IV.2	A 69
Tab. 237: Profilbeschreibung Standort RZ IV.2	A 69
Tab. 238: Physikalische Bodenparameter Standort RZ IV.2	A 69
Tab. 239: Chemische Bodenparameter Standort RZ IV.2	A 69
Tab. 240: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ IV.2	A 70

Tab. 241: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval / 100 g Boden Standort RZ IV.2	A 70
Tab. 242: Lageparameter Standort IV.3	A 70
Tab. 243: Vegetation Standort TZ IV.3	A 70
Tab. 244: Profilbeschreibung Standort TZ IV.3	A 71
Tab. 245: Physikalische Bodenparameter Standort TZ IV.3	A 71
Tab. 246: Chemische Bodenparameter Standort TZ IV.3	A 71
Tab. 247: Vegetation Standort RZ IV.3	A 72
Tab. 248: Profilbeschreibung Standort RZ IV.3	A 72
Tab. 249: Physikalische Bodenparameter Standort RZ IV.3	A 72
Tab. 250: Chemische Bodenparameter Standort RZ IV.3	A 72
Tab. 251: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ IV.3	A 72
Tab. 252: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval / 100 g Boden Standort RZ IV.3	A 73
Tab. 253: Lageparameter Standort IV.4	A 73
Tab. 254: Vegetation Standort TZ IV.4	A 73
Tab. 255: Profilbeschreibung Standort TZ IV.4	A 73
Tab. 256: Physikalische Bodenparameter Standort TZ IV.4	A 74
Tab. 257: Chemische Bodenparameter Standort TZ IV.4	A 74
Tab. 258: Vegetation Standort RZ IV.4	A 75
Tab. 259: Profilbeschreibung Standort RZ IV.4	A 75
Tab. 260: Physikalische Bodenparameter Standort RZ IV.4	A 75
Tab. 261: Chemische Bodenparameter Standort RZ IV.4	A 76
Tab. 262: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ IV.4	A 76
Tab. 263: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval / 100 g Boden Standort RZ IV.4	A 76
Tab. 264: Lageparameter Standort IV.5	A 76
Tab. 265: Vegetation Standort RZ IV.5	A 77
Tab. 266: Profilbeschreibung Standort RZ IV.5	A 77
Tab. 267: Physikalische Bodenparameter Standort RZ IV.5	A 78
Tab. 268: Chemische Bodenparameter Standort RZ IV.5	A 79
Tab. 269: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten Standort RZ IV.5	A 79
Tab. 270: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten bezogen auf mval/l Standort RZ IV.5	A 79
Tab. 271: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ IV.5	A 79

Tab. 272: EC _e , SAR, pH _e , Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte Standort RZ IV.5	A 79
Tab. 273: Lageparameter Standort IV.6	A 80
Tab. 274: Vegetation Standort RZ IV.6	A 80
Tab. 275: Profilbeschreibung Standort RZ IV.6	A 80
Tab. 276: Physikalische Bodenparameter Standort RZ IV.6	A 81
Tab. 277: Chemische Bodenparameter Standort RZ IV.6	A 82
Tab. 278: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten Standort RZ IV.6	A 82
Tab. 279: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten bezogen auf mval/l Standort RZ IV.6	A 82
Tab. 280: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ IV.6	A 82
Tab. 281: EC _e , SAR, pH _e , Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte Standort RZ IV.6	A 82
Tab. 282: Lageparameter Standort V.1	A 83
Tab. 283: Vegetation Standort TZ V.1	A 83
Tab. 284: Profilbeschreibung Standort TZ V.1	A 83
Tab. 285: Physikalische Bodenparameter Standort TZ V.1	A 84
Tab. 286: Chemische Bodenparameter Standort TZ V.1	A 84
Tab. 287: Vegetation Standort RZ V.1	A 84
Tab. 288: Profilbeschreibung Standort RZ V.1	A 85
Tab. 289: Physikalische Bodenparameter Standort RZ V.1	A 86
Tab. 290: Chemische Bodenparameter Standort RZ V.1	A 86
Tab. 291: Lageparameter Standort V.2	A 86
Tab. 292: Vegetation Standort RZ V.2	A 87
Tab. 293: Profilbeschreibung Standort RZ V.2	A 87
Tab. 294: Physikalische Bodenparameter Standort RZ V.2	A 88
Tab. 295: Chemische Bodenparameter Standort RZ V.2	A 88
Tab. 296: Lageparameter Standort V.3	A 88
Tab. 297: Vegetation Standort RZ V.3	A 89
Tab. 298: Profilbeschreibung Standort RZ V.3	A 89
Tab. 299: Physikalische Bodenparameter Standort RZ V.3	A 89
Tab. 300: Chemische Bodenparameter Standort RZ V.3	A 90
Tab. 301: Lageparameter Standort V.4	A 90
Tab. 302: Vegetation Standort RZ V.4	A 90
Tab. 303: Profilbeschreibung Standort RZ V.4	A 91
Tab. 304: Physikalische Bodenparameter Standort RZ V.4	A 91

Tab. 305: Chemische Bodenparameter Standort RZ V.4	A 91
Tab. 306: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ V.4	A 91
Tab. 307: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval / 100 g Boden Standort RZ V.4	A 92
Tab. 308: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten Standort RZ V.4	A 92
Tab. 309: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten bezogen auf mval/l Standort RZ V.4	A 92
Tab. 310: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ V.4	A 92
Tab. 311: EC _e , SAR, pH _e , Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte Standort RZ V.4	A 92
Tab. 312: Lageparameter Standort V.5	A 93
Tab. 313: Vegetation Standort RZ V.5	A 93
Tab. 314: Profilbeschreibung Standort RZ V.5	A 93
Tab. 315: Physikalische Bodenparameter Standort RZ V.5	A 94
Tab. 316: Chemische Bodenparameter Standort RZ V.5	A 94
Tab. 317: Lageparameter Standort V.6	A 94
Tab. 318: Vegetation Standort RZ V.6	A 95
Tab. 319: Profilbeschreibung Standort V.6	A 95
Tab. 320: Physikalische Bodenparameter Standort RZ V.6	A 96
Tab. 321: Chemische Bodenparameter Standort RZ V.6	A 96
Tab. 322: Lageparameter Standort VI.1	A 96
Tab. 323: Vegetation Standort TZ VI.1	A 97
Tab. 324: Profilbeschreibung Standort TZ VI.1	A 97
Tab. 325: Physikalische Bodenparameter Standort TZ VI.1	A 97
Tab. 326: Chemische Bodenparameter Standort TZ VI.1	A 98
Tab. 327: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort TZ VI.1	A 98
Tab. 328: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval / 100 g Boden Standort TZ VI.1	A 98
Tab. 329: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten Standort TZ VI.1	A 98
Tab. 330: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten bezogen auf mval/l Standort TZ VI.1	A 98
Tab. 331: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort TZ VI.1	A 99
Tab. 332: EC _e , SAR, pH _e , Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte Standort TZ VI.1	A 99
Tab. 333: Vegetation Standort RZ VI.1	A 99
Tab. 334: Profilbeschreibung Standort RZ VI.1	A 99
Tab. 335: Physikalische Bodenparameter Standort RZ VI.1	A 100

Tab. 336: Chemische Bodenparameter Standort RZ VI.1	A 100
Tab. 337: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ VI.1	A 101
Tab. 338: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval / 100 g Boden Standort RZ VI.1	A 101
Tab. 339: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten Standort RZ VI.1	A 101
Tab. 340: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten bezogen auf mval/l Standort RZ VI.1	A 101
Tab. 341: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ VI.1	A 102
Tab. 342: EC _e , SAR, pH _e , Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte Standort RZ VI.1	A 102
Tab. 343: Lageparameter Standort VI.2	A 102
Tab. 344: Vegetation Standort TZ VI.2	A 103
Tab. 345: Profilbeschreibung Standort TZ VI.2	A 103
Tab. 346: Physikalische Bodenparameter Standort TZ VI.2	A 104
Tab. 347: Chemische Bodenparameter Standort TZ VI.2	A 104
Tab. 348: Vegetation Standort RZ VI.2	A 104
Tab. 349: Profilbeschreibung Standort RZ VI.2	A 104
Tab. 350: Physikalische Bodenparameter Standort RZ VI.2	A 105
Tab. 351: Chemische Bodenparameter Standort RZ VI.2	A 105
Tab. 352: Lageparameter Standort VI.3	A 105
Tab. 353: Vegetation Standort TZ VI.3	A 106
Tab. 354: Profilbeschreibung Standort TZ VI.3	A 106
Tab. 355: Physikalische Bodenparameter Standort TZ VI.3	A 107
Tab. 356: Chemische Bodenparameter Standort TZ VI.3	A 107
Tab. 357: Vegetation Standort RZ VI.3	A 107
Tab. 358: Profilbeschreibung Standort RZ VI.3	A 107
Tab. 359: Physikalische Bodenparameter Standort RZ VI.3	A 108
Tab. 360: Chemische Bodenparameter Standort RZ VI.3	A 108
Tab. 361: Lageparameter Standort VII.1	A 109
Tab. 362: Vegetation Standort TZ VII.1	A 109
Tab. 363: Profilbeschreibung Standort TZ VII.1	A 109
Tab. 364: Physikalische Bodenparameter Standort TZ VII.1	A 110
Tab. 365: Chemische Bodenparameter Standort TZ VII.1	A 110
Tab. 366: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser Standort TZ VII.1	A 110
Tab. 367: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser bezogen auf mval/l Standort TZ VII.1	A 111

Tab. 368: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort TZ VII.1	A 111
Tab. 369: $EC_{e/w}$, SAR, $pH_{e/w}$, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte und des Grundwassers Standort TZ VII.1	A 111
Tab. 370: Vegetation Standort RZ VII.1	A 111
Tab. 371: Profilbeschreibung Standort RZ VII.1	A 111
Tab. 372: Physikalische Bodenparameter Standort RZ VII.1	A 112
Tab. 373: Chemische Bodenparameter Standort RZ VII.1	A 112
Tab. 374: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser Standort RZ VII.1 ..	A 113
Tab. 375: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser bezogen auf $mval/l$ Standort RZ VII.1	A 113
Tab. 376: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ VII.1	A 113
Tab. 377: $EC_{e/w}$, SAR, $pH_{e/w}$, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte und des Grundwassers Standort RZ VII.1	A 113
Tab. 378: Lageparameter Standort VII.2	A 114
Tab. 379: Vegetation Standort RZ VII.2	A 114
Tab. 380: Profilbeschreibung Standort RZ VII.2	A 114
Tab. 381: Physikalische Bodenparameter Standort RZ VII.2	A 115
Tab. 382: Chemische Bodenparameter Standort RZ VII.2	A 115
Tab. 383: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser Standort RZ VII.2 ..	A 115
Tab. 384: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser bezogen auf $mval/l$ Standort RZ VII.2	A 116
Tab. 385: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ VII.2	A 116
Tab. 386: $EC_{e/w}$, SAR, $pH_{e/w}$, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte und des Grundwassers Standort RZ VII.2	A 116
Tab. 387: Lösliche Kationen und Anionen in den Fluss-, Oberflächen- und Leitungswasserproben	A 116
Tab. 388: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Fluss-, Oberflächen- und Leitungswasserproben	A 117
Tab. 389: EC_w , SAR, pH_w , Bor- und Salzgehalt der Fluss-, Oberflächen- und Leitungswasserproben	A 117
Tab. 390: Liste der Vegetationseinheiten im Bereich von Huachacalla	180

Die Inhalte der Tab. 1 bis 19 und 21 bis 22 wurden anderen Veröffentlichungen entnommen (s. Quellenangabe) und z.T. von der Verfasserin ergänzt.

Die Inhalte der Tab. 20 und 23 bis 390 stellen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit dar.

Die mit A gekennzeichneten Seiten befinden sich im Anhang (Band II der Arbeit)

Verzeichnis der Fotos

Foto 1:	Die Ortschaft Huachacalla (3740 m ü. M.; im Mittelgrund) im Übergangsbereich von der Cerro Pacha Kkollu (im Vorder- und rechtem Mittelgrund) zur Ebene; im Hintergrund die Cerro Inca Camacho; im Vordergrund Puna-Vegetation der Gebirge; fotografiert vom Standort III.1 (3820 m ü. M.) Richtung Südosten; Aufnahmedatum: 19. Januar 1997	55
Foto 2:	Blick vom Pass (3846 m ü. M.) zwischen den Cerros Pacha Kkollu (rechter Vordergrund) und Inca Camacho (linker Vordergrund) nach SSW in die Ebene (3700 m. ü. M.; schmaler heller Streifen im Mittelgrund); die Cerros im Hintergrund befinden sich im Bereich der Südgrenze bzw. außerhalb des Untersuchungsgebietes; Aufnahmedatum: 19. Januar 1997	55
Foto 3:	Furt (3690 m ü. M.) an der Südgrenze des Untersuchungsgebietes (nahe Standort VI.3) , welche die Straße Nr. 601 durch den Río Sabaya führt; rechts im Hintergrund die Cerro Pumiri, dahinter im Bild (links im Hintergrund) die 20 km südlich der Furt gelegene Cerro Pariani. Unmittelbar östlich der Cerro Pariani erreicht das Flussdelta des Río Sabaya den Salar de Coipasa; Aufnahme-Richtung: SSW; Aufnahmezeit: Januar 1997	56
Foto 4:	Betonbrücke (3710 m ü. M.) über den Río Lauca an der Nordgrenze des Untersuchungsgebietes (nahe den Standorten VII.1 und VII.2); rechts im Hintergrund die Cerro Pacha Kkollu; links im Hintergrund die Cerro Inca Camacho. Aufnahme-Richtung: SW; Aufnahmezeit: Januar 1997	56
Foto 5:	Trombe im Bereich der Ebene im Süden des Untersuchungsgebietes (3700 m ü. M.) in der Trockenzeit; im Vordergrund Puna-Vegetation der äolisch geprägten Ebene; im Hintergrund die Cerro Pumiri; Aufnahmezeit: Oktober 1996	61
Foto 6:	Puna-Vegetation der Gebirge mit <i>Fabiana densa</i> und <i>Stipa ssp.</i> im Bereich des Standorts I.2 (3820 m ü. M.) in der Trockenzeit; Aufnahmedatum: 1. Oktober 1996	67
Foto 7:	Puna-Vegetation der äolisch geprägten Alluvialebene mit <i>Parastrephia lepidophylla</i> ("Tola") und <i>Lampaya castellani</i> im Bereich des Standorts I.6 (3702 m ü. M.) in der Regenzeit (die Phänologie dieses Standorts ist in der Trocken- und Regenzeit ähnlich, da die beiden o.g. Arten immergrün sind); Aufnahmedatum: 10. Januar 1997	67
Foto 8:	Puna-Vegetation der schwach grundwasser- und salzbeeinflussten Alluvialebene mit <i>Festuca orthophylla</i> ("Iru-Ichu") im Bereich des Standorts VI.1 (3709 m ü. M.) in der Trockenzeit; Aufnahmedatum: 26. September 1996	68
Foto 9:	Weidende Lamas und/oder Alpakas im Bereich des Standortes III.5 (3720 m ü. M.; <i>Distichilis humilis</i> - Halophytenvegetation) in der Regenzeit; Aufnahmezeit: 23. Januar 1997	68
Foto 10:	Durch Lesesteinmauern gegliederte Gebirgshänge im Bereich des Nordhanges der Colina Jaco Jatha (im Mittelgrund) und der Cerro Inca Camacho (im Hintergrund); im Vordergrund der Standort IV.2 (3750 m ü. M.); Aufnahmedatum: 12. Januar 1997	69
Foto 11:	Vermutlich durch Brandrodung verursachter Rauch im Bereich des Nordhanges der Cerro Inca Camacho; Aufnahme in der Trockenzeit von einem quer zur Straße Nr. 601, etwa 4 km nordöstlich von Huachacalla, verlaufendem „Höhenrücken“ aus Schottermaterial, der aufgrund der geringen Höhe von etwa 3 Metern nicht in der Topographischen Karte 1:50.000 eingetragen ist; Aufnahmepunkt 3710 m ü. M.; Aufnahmezeit: Oktober 1996	69
Foto 12:	Dornstrauchreiche <i>Fabiana densa</i> - <i>Baccharis incarum</i> - <i>Adesmia ssp.</i> - <i>Stipa ssp.</i> - <i>Parastrephia lepidophylla</i> - Vegetationseinheit im Bereich des Standorts TZ I.1 (Gebirge; 3850 m ü. M.; Trockenzeit); im Mittelgrund die Straße Nr. 601 im Bereich des Passes und die Estancia Willkhi Nuevo; im Hintergrund die Cerro Pacha Kkollu; Aufnahmedatum: 03. Oktober 1996	73

Foto 13:	Lithic Ustorthent bzw. Braunerde am Standort TZ I.1 (Gebirge; 3850 m ü. M.; Trockenzeit), entstanden aus in situ verwittertem Gestein vulkanischen Ursprungs; Aufnahme­datum: 03. Oktober 1996 ...	73
Foto 14:	Typische <i>Fabiana densa</i> - <i>Baccharis incarum</i> - <i>Adesmia</i> ssp. - <i>Stipa</i> ssp. - <i>Parastrephia lepidophylla</i> - Vegetationseinheit im Bereich des Standorts TZ I.3 (Gebirge; 3810 m ü. M.; Trockenzeit); Aufnahme­datum: 02. Oktober 1996	75
Foto 15:	Ustorthent bzw. Braunerde aus vulkanischem Gestein am Standort TZ I.3 (Gebirge; 3810 m ü. M.; Trockenzeit); Aufnahme­datum: 02. Oktober 1996	75
Foto 16:	Ustorthent bzw. Lockersyrosem aus äolisch abgelagertem Sand über fluviatil abgelagertem, grob­bodenreichem Sand, über anstehendem Festgestein vulkanischen Ursprungs am Standort TZ I.5 (Hangfuß; 3710 m ü. M.; Trockenzeit); Aufnahme­datum: 13. September 1996	77
Foto 17:	Ustipsamment bzw. Lockersyrosem aus überwiegend fluviatil abgelagertem Grobsand (in den oberen Bodenzentimetern loser, äolisch abgelagerter Sand) am Standort TZ I.6 (äolisch geprägte Alluvial­ebene; 3702 m ü. M.; Trockenzeit); <i>Parastrephia lepidophylla</i> - Strauch (in der oberen Bildmitte) und <i>Lampaya castellani</i> - Zwergsträucher, Aufnahme­datum: 10. September 1996	77
Foto 18:	Halaquept am Standort RZ I.7 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene mit dichter Ha­lophytenvegetation; 3695 m ü. M.; Regenzeit); Aufnahme­datum: 9. Januar 1997	80
Foto 19:	Halaquept am Standort TZ I.8 (weitgehend vegetationsfreie, grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene; 3692 m. ü. M.; Trockenzeit) mit starken Salzausscheidungen an der Bodenoberfläche und Carbonatkrusten innerhalb des Bodenprofils; Grundwasserstand zur Zeit der Aufnahme 1,0 m u. GOF; Aufnahme­datum: 5. September 1996	83
Foto 20:	Halaquept am Standort RZ I.8; der RZ-Standort befindet sich nur wenige Meter von dem TZ-Standort entfernt und zeigt eine völlig andere alluviale Schichtung (auf den Fotos erkennbar an der Lage der Carbonatkrusten); Grundwasserstand zur Zeit der Aufnahme 0,8 m u. GOF; Aufnahme­datum: 8. Ja­nuar 1997	83
Foto 21:	Mächtiges <i>Anthobryum triandrum</i> - Polster im Bereich des Standortes RZ I.8 (extrem vegetationsar­me, grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene; Salztonebene; 3692 m. ü. M.; Regenzeit); die Pfahlwurzeln des Polsters erreichen auch in der Trockenzeit das Grundwasser; oben im Bild Salzausscheidungen an der Bodenoberfläche der wenige Zentimeter tiefer gelegenen Bereiche; Auf­nahme­datum: 8. Januar 1997	83
Foto 22:	<i>Fabiana densa</i> - <i>Baccharis boliviensis</i> - <i>Opuntia</i> ssp. - <i>Adesmia</i> ssp. - <i>Stipa</i> ssp. - Vegetationseinheit der steileren, ostexponierten Gebirgshänge im Bereich des Standorts RZ II.1 (Gebirge; 3845 m. ü. M.; Regenzeit); im Mittelgrund die Cerro Pacha Kkollu; im Hintergrund die Cerro Inca Camacho; Auf­nahme­richtung SSE; Aufnahme­datum: 27. Januar 1997	87
Foto 23:	Lithic Ustorthent bzw. Braunerde am Standort RZ II.1 (Gebirge; 3845 m. ü. M.; Regenzeit) entstanden aus in situ verwittertem Gestein vulkanischen Ursprungs; die dunkleren und intensiveren Farben des Bodens, im Vergleich zu den auf den Fotos 13 und 15 abgebildeten Ustorthents, beruhen auf der hö­heren Bodenfeuchte; Aufnahme­datum: 27. Januar 1997	87
Foto 24:	Feuchtbereich nördlich von Huachacalla mit wassergefüllten, oberirdischen Abflussbahnen in der Regenzeit (Lage der Standorte RZ III.4, TZ III.5 und RZ III.5); zwischen dem Feuchtbereich und der Cerro Pacha Kkollu bzw. seinem Ausläufer Cerro Kapiri zieht sich ein schmaler, durch Lesestein­mauern gegliederter Bereich mit geringerer Vegetationsbedeckung (Lage des Standortes RZ III.3); fotografiert vom Standort RZ III. 1 (Gebirge; 3820 m. ü. M.; Regenzeit) Richtung NE; Aufnahme­datum: 19. Januar 1997	94

Foto 25:	Lithic Ustorthent bzw. Ranker am Standort RZ III.1 (Gebirge, 3820 m. ü. M.; Regenzeit) in der Cerro Pacha Kkollu; Aufnahmedatum: 19. Januar 1997	94
Foto 26:	Halaquept mit Rostfleckung am Standort RZ III.4 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene mit dichter Halophytenvegetation; 3730 m ü. M; Regenzeit); Aufnahmedatum: 22. Januar 1997	97
Foto 27:	Bodengrube (Blick auf die Treppe der Grube) am Standort TZ III.5 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene mit dichter Halophytenvegetation; 3720 m ü. M; Trockenzeit) im Vordergrund; trockene Abflussbahnen im Mittelgrund (vor dem gemieteten Fahrzeug der Verfasserin); die Cerro Kapiri im Hintergrund; Aufnahmedatum: 10. Oktober 1996	100
Foto 28:	Halaquept am Standort TZ III.5 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene mit dichter Halophytenvegetation; 3720 m ü. M; Trockenzeit); das in 1,3 m u. GOF stehende Grundwasser, das in die Bodengrube gelaufen war, wurde für das Foto mit einem Eimer herausgeschöpft; aufgrund des ab 110 cm u. GOF anstehenden Schluffs, der im Vergleich zu Ton und Sand eine geringere gesättigte Wasserleitfähigkeit hat, lief das Grundwasser relativ langsam nach; im Hintergrund die Cerro Inca Camacho; Aufnahmedatum: 10. Oktober 1996	100
Foto 29:	<i>Distichilis humilis</i> (Gras), <i>Salicornia pulvinata</i> (hellgrüne, sukkulente Blätter) und <i>Anthobryum triandrum</i> (dunkelgrün mit weißen Blüten) im Bereich des Standortes RZ III.6 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene; 3708 m ü. M.; Regenzeit); die <i>Distichilis humilis</i> - Individuen auf dem Foto sind etwa 1 cm hoch; Aufnahmedatum: 8. Januar 1997	104
Foto 30:	Ustorthent bzw. Braunerde aus Kolluvialmaterial über fluviatil abgelagertem Material am Standort TZ IV.2 (Hangfuß; 3750 m ü. M.; Trockenzeit); Aufnahmedatum: 04. Oktober 1996	107
Foto 31:	Ustifluent bzw. Lockersyrosem aus fluviatil (und äolisch) abgelagertem Lockergestein am Standort TZ IV.3 (äolisch geprägte Alluvialebene; 3725 m ü. M.; Trockenzeit); oben im Bild <i>Lampaya castellani</i> - Zwergsträucher und <i>Festuca orthophylla</i> - Horstgras; Aufnahmedatum: 7. Oktober 1996	107
Foto 32:	Ustifluent bzw. Lockersyrosem aus äolisch über fluviatil abgelagertem Lockergestein am Standort TZ IV.4 (äolisch geprägte Alluvialebene; 3712 m ü. M.; Trockenzeit); die dunklere Farbe ab etwa 70 cm u. GOF ist durch einen höheren Wassergehalt (ombrogenes Wasser) bedingt; oben im Bild <i>Festuca orthophylla</i> - Horstgras; Aufnahmedatum: 8. Oktober 1996	108
Foto 33:	Haplustept bzw. Lockersyrosem aus fluviatil (und äolisch) abgelagertem Lockergestein am Standort RZ V.2 (äolisch geprägte Alluvialebene; 3695 m ü. M.; Regenzeit); die dunklere Farbe bis etwa 38 cm u. GOF ist durch einen höheren Wassergehalt (ombrogenes Wasser) bedingt; die Bodenart der durchfeuchteten Horizonte ist feinsandiger Lehm bzw. Lehm; Aufnahmedatum: 1. Februar 1997 ..	113
Foto 34:	2 bis 3 m hohe Dünen mit <i>Lampaya castellani</i> , <i>Festuca orthophylla</i> , <i>Parastrephia lepidophylla</i> und <i>Parastrephia phyllicaeformis</i> ; im Vordergrund nordexponierter Dünenhang in dem die Bodengrube RZ V.3 (äolisch geprägte Alluvialebene; 3696 m ü. M.; Regenzeit) angelegt wurde; Aufnahmedatum: 1. Februar 1997	114
Foto 35:	Ustipsamment bzw. Lockersyrosem im Bereich der Dünenkuppe einer 2 m hohen Düne am Standort RZ V.4 (äolisch geprägte Alluvialebene; 3697 m ü. M.; Regenzeit); in dem Sandboden reicht die Durchfeuchtungszone bis 69 cm u. GOF; in dem Lehmboden am Standort RZ V.2 (vgl. Foto 33), der nur wenige Meter entfernt liegt, reicht die Durchfeuchtungszone an demselben Tag, zur gleichen Zeit nur bis 38 cm u. GOF (Grund: unterschiedliche Porengrößenverteilung, vgl. Kap. 2); Aufnahmedatum: 1. Februar 1997	114

- Foto 36: Haplustept bzw. Lockersyrosem am Standort TZ VI.1 (schwach grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene; 3709 m ü. M.; Trockenzeit); der Boden ist ab 5 cm u. GOF schwach feucht, hat jedoch, mit Ausnahme der oberen 5 cm, keine erhöhten Salzgehalte (Hinweis auf ombrogenes Wasser); oben im Bild trockene *Festuca orthophylla* - Horstgräser; Aufnahmedatum: 26. September 1996 117
- Foto 37: Haplustept bzw. Lockersyrosem am Standort RZ VI.1 (schwach grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene; 3709 m ü. M.; Regenzeit); der Boden ist in den unteren Horizonten sichtbar feuchter und die Salzgehalte sind ab 15 cm u. GOF erhöht (Hinweis auf lateralen, ungesättigten Grundwasserzufluss durch GW-Anstieg in der Regenzeit); durch die gute Wasserversorgung haben die *Festuca orthophylla* - Horstgräser frisch ausgeschlagen; Aufnahmedatum: 11. Januar 1997 117
- Foto 38: Ustorthent bzw. Lockersyrosem am Standort TZ VI.2 (äolisch geprägte Alluvialebene; 3695 m ü. M.; Trockenzeit); der Boden ist im unteren Horizont (110-120 cm u. GOF) schwach feucht; die Salzgehalte sind im gesamten Profil extrem gering (Hinweis auf ombrogenes Wasser); Rostfleckung zwischen 70 und 83 cm u. GOF (Pseudovergleyung); Aufnahmedatum: 14. September 1997 121
- Foto 39: Halaquept am Standort TZ VII.1 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene; 3705 m ü. M.; Trockenzeit) nahe dem Río Lauca; die hellen Flecken auf der Profilwand sind Salzausscheidungen (die Wand wurde vor der Aufnahme des Fotos nicht frisch abgestochen); oben im Bild Polster von *Anthobryum triandrum* und *Salicornia pulvinata* (*Distichilis humilis* ist an diesem Standort nur mit < 5 % Deckung vertreten), dazwischen Salzausscheidungen an der Bodenoberfläche; Aufnahmedatum: 24. September 1996 124
- Foto 40: Halaquept am Standort RZ VII.2 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene; 3705 m ü. M.; Regenzeit) nahe dem Río Lauca; durch starke Niederschläge bedingt, befinden sich keine Salzausscheidungen an der Bodenoberfläche; der Boden lässt undeutlich eine Schichtung erkennen; der Horizont zwischen 22 und 31 cm u. GOF ist vermutlich ein "buried A-horizon"; Aufnahmedatum: 30. Januar 1997 128
- Foto 41: *Distichilis humilis* - *Salicornia pulvinata* - *Anthobryum triandrum* - *Festuca orthophylla* - *Parastrephia phyllocaeformis* - Bestand mit Dominanz von *Festuca orthophylla* im Bereich des Standortes RZ VII.2 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene; 3705 m ü. M.; Regenzeit) nahe dem Río Lauca; das Grundwasser steht zur Zeit der Aufnahme in 50 cm u. GOF an; Aufnahmedatum: 30. Januar 1997 128
- Foto 42: Salzausscheidungen am Ufer des Río Sabaya in der Trockenzeit; im Hintergrund die Cerro Pumiri; Aufnahmezeit: Oktober 1996 131
- Foto 43: Ufer des Río Sabaya in der Regenzeit; wo in der Trockenzeit noch Salzausscheidungen an der Bodenoberfläche das Bild bestimmten, hat sich in der Regenzeit 1996/97 (erste sehr stark ausgeprägte Regenzeit nach 15 Jahren) Halophytenvegetation (vermutlich *Distichilis humilis*) entwickelt; im Hintergrund die Cerro Pumiri; Aufnahmezeit: Januar/Februar 1997 131

Foto 44:	<i>Fabiana densa</i> Remy SOLANACEAE (regengrün) in der Regenzeit	A 118
Foto 45:	<i>Fabiana densa</i> Remy SOLANACEAE (regengrün) in der Trockenzeit	A 118
Foto 46:	<i>Baccharis incarum</i> Wedd. ASTERACEAE (immergrün) in der Trockenzeit	A 118
Foto 47:	<i>Opuntia</i> ssp. Mill. CACTACEAE in der Regenzeit	A 119
Foto 48:	<i>Adesmia</i> ssp. DC. FABACEAE in der Trockenzeit	A 119
Foto 49:	<i>Mayeniopsis</i> CACTACEAE in der Trockenzeit	A 120
Foto 50:	CACTACEAE [kugelförmig] in der Regenzeit	A 120
Foto 51:	<i>Tetraglochin cristatum</i> (Britton) Rothm. ROSACEAE (regengrün) in der Regenzeit	A 121
Foto 52:	<i>Tetraglochin cristatum</i> (Britton) Rothm. ROSACEAE (regengrün) in der Trockenzeit	A 121
Foto 53:	<i>Junellia seriphioides</i> (Gillies & Hook.) Moldenke VERBENACEAE in der Regenzeit	A 121
Foto 54:	<i>Ephedra</i> cf. <i>rupestris</i> Benth. EPHEDRACEAE in der Regenzeit	A 122
Foto 55:	<i>Baccharis boliviensis</i> (Wedd.) Cabrera ASTERACEAE (regengrün) in der Regenzeit	A 122
Foto 56:	<i>Baccharis boliviensis</i> (Wedd.) Cabrera ASTERACEAE (regengrün) in der Trockenzeit	A 122
Foto 57:	<i>Stevia</i> ssp. Cav. ASTERACEAE (ephemer) in der Regenzeit	A 123
Foto 58:	<i>Portulaca</i> ssp. L. PORTULACACEAE (ephemer) in der Regenzeit	A 123
Foto 59:	<i>Cheilanthes pruinata</i> Kaulf. PTERIDOPHYTA in der Regenzeit	A 124
Foto 60:	IRIDACEAE (ephemer) in der Regenzeit	A 124
Foto 61:	<i>Stipa</i> ssp. L. POACEAE in der Trockenzeit	A 125
Foto 62:	<i>Parastrephia lepidophylla</i> (Wedd.) Cabrera oder <i>Parastrephia quadrangularis</i> (Meyen) Cabrera (immergrün) in der Trockenzeit	A 125
Foto 63:	<i>Hoffmannseggia</i> ssp. Cav. FABACEAE (ephemer) in der Regenzeit	A 126
Foto 64:	<i>Festuca orthophylla</i> Pilg. POACEAE in der Regenzeit	A 126
Foto 65:	<i>Festuca orthophylla</i> Pilg. POACEAE in der Trockenzeit	A 126
Foto 66:	<i>Lampaya castellani</i> Moldenke VERBENACEAE (immergrün) in der Regenzeit	A 127
Foto 67:	<i>Parastrephia phyllicaeformis</i> (Walp.) Cabrera ASTERACEAE (immergrün) in der Trockenzeit	A 127
Foto 68:	<i>Junellia minima</i> (Meyen) Moldenke VERBENACEAE in der Regenzeit	A 128
Foto 69:	<i>Distichilis humilis</i> Phil. POACEAE in der Regenzeit	A 128
Foto 70:	<i>Salicornia pulvinata</i> R.E. Fr. CHENOPODIACEAE (hellgrüne, sukkulente Blätter) und <i>Anthobryum triandrum</i> (Remy) Surgis FRANKENIACEAE (dunkelgrüne Blätter und weiße Blüten) in der Regenzeit	A 129
Foto 71:	<i>Anthobryum triandrum</i> (Remy) Surgis FRANKENIACEAE in der Trockenzeit	A 129

Alle Fotos wurden von der Verfasserin während ihrer Geländeaufenthalte aufgenommen

Verzeichnis der Karten

Karte 1: Das Untersuchungsgebiet im Bereich von Huachacalla (Altiplano – Bolivien) – Standort-, Boden- und Vegetationseinheiten	Anlage
Karte 2: Geologie der bolivianischen Anden und Lage des Untersuchungsgebietes (1:5.000.000)	50
Karte 3: Höhenstufenkarte von Bolivien auf der Grundlage eines Digitalen Geländemodells (DGM) und Lage Boliviens auf dem südamerikanischen Kontinent (Clipart-Map)	52
Karte 4: Schematische Darstellung der klimatisch bedingten Differenzierung der Puna auf dem Altiplano nach TROLL	65

Die Kartengrundlagen bzw. -inhalte wurden (z.T. vereinfacht) Karten anderer Verfasser und Institutionen entnommen (s. Quellenangabe), in die digitale Form überführt und z.T. von der Verfasserin ergänzt.

Verzeichnis der Abkürzungen

DBG	Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft; auch Bodenklassifikation nach der "Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland" (DBG 1985)
DVWK	Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.
EC ₅	Elektrische Leitfähigkeit der 1:5-Bodensuspension (von Electrical Conductivity)
EC _e	Elektrische Leitfähigkeit des Bodensättigungsextraktes (von Electrical Conductivity)
ERTS	Earth Resources Technology Satellite / Satelite Tecnologico de Recursos Naturales
ESP	Exchangeable Sodium Percentage
GEOBOL	Servicio Geológico de Bolivia
GOF	Geländeoberfläche
GTZ	Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit
GW	Grundwasser
IBTA	Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria (Bolivianisches Institut für landwirtschaftliche Technologie)
I.G.M.	Instituto Geográfico Militar
NRSC	National Resources Conservation Service (USA)
NSSC	National Soil Survey Center (USA)
ORSTOM	Instituto Frances de Investigaciones científicas para el Desarrollo en Cooperación / l'Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (Französisches Institut für wissenschaftliche Untersuchungen für Entwicklung in Zusammenarbeit)
RZ	Regenzeit
SAR	Sodium Adsorption Ratio
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología y Hidrología (Nationaler meteorologischer und hydrologischer Dienst [Bolivien])
TZ	Trockenzeit
ü. M.	über Meeresniveau
u. GOF	unter Geländeoberfläche
USDA	United States Department of Agriculture (Landwirtschaftsministerium der Vereinigten Staaten von Amerika); auch Bodenklassifikation nach den "Keys to Soil Taxonomy" bzw. der "Soil Taxonomy" (SOIL SURVEY STAFF 1998 bzw. 1999)
WRB	World reference base for soil resources

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag zur Kenntnis der räumlichen Verbreitung von Boden- und Vegetationseinheiten im Bereich der semiariden Puna Boliviens leisten und den wechselseitigen Einfluss verschiedener Parameter der Geofaktoren Geologie, Relief, Klima, Boden, Boden- und Grundwasser, Oberflächengewässer, Vegetation und anthropozoogener Faktor (vgl. LESER und KLINK 1988, 9 ff.; ZEPP und MÜLLER 1999, 5 f.) beurteilen, wobei der Parameter Bodenversalzung eine besondere Stellung einnimmt und auch hinsichtlich der zeitlichen Variabilität (durch den Wechsel zwischen Trockenzeit und Regenzeit bedingte Änderung der Menge und Zusammensetzung der löslichen Salze innerhalb der Bodenprofile) untersucht wird.

Das Gebiet um Huachacalla wurde für die Untersuchungen ausgewählt, da sich hier, wie bei einem ersten Geländeaufenthalt im April 1996 festgestellt wurde, auf engem Raum drei, vorwiegend reliefbedingte, Standorteinheiten befinden: die Hänge der Gebirgsmassive, die äolisch geprägte Alluvialebene und die grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene.

Huachacalla befindet sich in den südlichen Randtropen in einer Höhe von 3740 m ü. M., etwa 30 km nördlich des Salar de Coipasa, am Fuß zweier Gebirgsmassive der Westkordillere der Anden, welche die Sedimentationsebene des Altiplano um etwa 1000 m überragen. Das Klima ist durch eine Regenzeit im Sommer sowie durch extreme Tagesschwankungen der Temperatur (Tageszeitenklima) mit häufigem Frostwechsel gekennzeichnet (ERIKSEN 1986, 1 ff.). Die Jahresmitteltemperatur liegt bei etwa 8 °C. Der Jahresniederschlag unterliegt einer hohen Variabilität und beträgt im Durchschnitt etwa 400 bis 500 mm. Das Klima ist als semiarid (s.o.) zu bezeichnen (RUTHSATZ 1983, 541).

Im Untersuchungsgebiet stehen in der Ebene quartäre Sedimente an, bei den Gebirgsmassiven handelt es sich um quartäre Schichtvulkane (Geologische Karte 1:100.000 Huachacalla Hoja No. 5937, hrsg. v. GEOBOL).

Die Böden im Untersuchungsgebiet sind aufgrund der klimatischen Bedingungen gering entwickelt und in den Hangbereichen der Gebirgsmassive flachgründig (vgl. „Estudio Integrado de los Recursos Naturales del Departamento de Oruro“, GEOBOL-ERTS 1978, 250 ff.). Die grundwasserbeeinflussten Tiefenbereiche der Alluvialebene im Bereich von Huachacalla sind durch eine starke Versalzung der Böden sowie des Grund- und Oberflächenwassers gekennzeichnet. Sichtbar wird dieses durch Salzausscheidungen an der Bodenoberfläche, insbesondere in der Trockenzeit, sowie durch eine Halophytenvegetation (azonale Vegetation).

Die äolisch geprägten Bereiche der Alluvialebene und die Hänge der Gebirgsmassive werden im Bereich von Huachacalla von der Trocken-Puna eingenommen; die Gesamtdeckung der Vegetation liegt meist unter 25 %. Die Puna ist die zonale Vegetationsformation des Altiplano, ist durch Gräser, insbesondere Horstgräser, (Zwerg)-Sträucher, oft Dornsträucher, Polsterpflanzen und Sukkulente gekennzeichnet und lässt sich nach dem Klima und der Zusammensetzung der Lebensformen in eine Feucht-, Trocken-, Dorn-Sukkulente und Wüsten-Puna untergliedern (TROLL 1959, 51 ff.; CABRERA 1968, 94 f). Abgesehen von vereinzeltem Auftreten von Arten der Gattung *Polylepis* im Übergang zu der altoandinen Stufe ist die Puna baumlos (JORDAN 1983, 101 ff.; RUTHSATZ 1983, 545). Nach RUTHSATZ (1983, Kartenbeilage) nimmt die Puna die hochmontane Höhenstufe zwischen 3400/3500 und 4000/4100 m ü. M. in der andinen Hochebene Süd-Perus,

Bolivians und Nordwest-Argentiniens ein und geht nach Norden mit zunehmendem Niederschlag in die Páramo über (TROLL 1959, 38 und 51). Der Begriff Puna stammt aus der Quechua/Aymará-Sprache und heißt „hochgelegenes Gebiet“ (BECK und GARCIA 1991, 86).

Eine eingehende Darstellung des Untersuchungsgebietes erfolgt in Kapitel 4.

1.2 Stand der Forschung

TROLL (1959, 1968) nahm eine Gliederung der tropischen Gebirge (Südamerikas) nach geoökologischen Kriterien vor und wies für den Altiplano vier klimatisch bedingte Zonen der Puna aus (Abfolge von NE nach SW): Feuchtpuna, Trockenpuna, Dorn- und Sukkulente-puna und Wüstenpuna (s.o.); zu einer ähnlichen Zonierung der Puna kamen RUTHSATZ (1983) und CABRERA (1957 und 1968) (s. Kap. 4).

In der semiariden Puna im Bereich von Huaraco (Puna central) wurden zwischen 1980 und 1993 im Rahmen eines Projektes, das von dem Instituto de Ecología der Universidad Mayor de San Andrés mit Unterstützung der GTZ (DE MORALES 1994) durchgeführt wurde, umfangreiche geoökologische Untersuchungen vorgenommen. Das Untersuchungsgebiet Huaraco, das wie das Gebiet im Bereich von Huachacalla Gebirgshänge und z.T. salzbeeinflusste Ebenen umfasst, befindet sich etwa 200 km nördlich von Huachacalla.

SALM und GEHLER (1987, 37-48) haben die Versalzung des Bodens und ihren Einfluss auf die Vegetation im Raum Huaraco untersucht. Die o.g. Autoren haben im Juli 1983 (Trockenzeit) an insgesamt 100 Standorten des etwa 100 km² Untersuchungsraumes eine Mischprobe, bestehend aus drei Einzelproben, aus 0 bis 20 cm Bodentiefe entnommen und die Vegetation kartiert. Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Versalzung des Bodens und ihrem Einfluss auf die Vegetation haben SALM und GEHLER 1987 (s.o.) veröffentlicht (s. auch SALM und GEHLER 1989) und zeigen eine räumliche (vorwiegend reliefbedingte) Änderung der Bodenversalzung und der Vegetation: a) Gebirge und Hangfuß mit nicht versalzten Böden (< 0,5 g Salz pro kg Boden), Dominanz von Sträuchern (*Parastrephia lepidophylla* und *Baccharis incarum*) und ackerbaulicher und/oder weidewirtschaftlicher Nutzung, b) Ebene mit gering versalzten Böden (0,5 bis 2 g Salz pro kg Boden, Dominanz von Gräsern (*Calamagrostis orbygniana* und *Hordeum muticum*) und überwiegend weidewirtschaftlicher Nutzung und c) Ebene mit mittel bis sehr stark versalzten Böden (2 bis 15-20 g Salz pro kg Boden), mit dem Salzgehalt zunehmendes Auftreten von Halophyten (*Distichlis humilis*, *Anthobryum triandrum* und *Salicornia pulvinata*) und Zurücktreten anderer Arten (Verschwinden *Festuca dolichophylla* bei 8 g Salz pro kg Boden) und extensiver Weidenutzung und d) vegetationslose Ebene mit extrem versalzten Böden (> 15-20 g Salz pro kg Boden). Eine Analyse der Zusammensetzung der löslichen Salze wurde für 9 Proben verschiedener Gesamtsalzgehalte im 1:1-Bodenextrakt vorgenommen. Bei den Kationen nimmt der Natriumanteil mit zunehmenden Salzgehalt bis auf 90 % zu. Bei den Anionen dominiert Sulfat vor Chlorid. Bei verschiedenen Böden wurden für empfindliche Pflanzen toxische Mengen an Bor festgestellt. Eine Aussage über die Verteilung der Salze innerhalb der Bodenprofile und ihre zeitliche Variabilität (Änderungen durch den Wechsel von Trockenzeit und Regenzeit) lassen diese Untersuchungen jedoch nicht zu.

Die Bodennutzung und ihren Einfluss auf die Pflanzendecke im Gebiet Huaraco haben RUTHSATZ und FISEL (1984) untersucht. Kartoffeln werden bis 4000 m ü. M. angebaut, darüber nur noch die frostresistenten Bitterkartoffeln, die als "chuño" konserviert werden. Gerste braucht eine bessere

Wasserversorgung als die Kartoffel, kann jedoch bis 4200 m ü. M. angebaut werden. Quinoa zeichnet sich durch seine relativ hohe Trocken- und Salzresistenz aus. Daneben werden die Knollenfrüchte "Oca", "Ullucu" und "Isañu" angebaut. Als typische Fruchtfolge wird 1 Jahr Kartoffel, 1-2 Jahre Gerste, 1 Jahr Quinoa gefolgt von 7 bis 15 Jahren Brache, in denen sich die strauchreiche Punavegetation entwickelt, genannt. Die Brachen werden wie das Grasland und die Salzvegetation von Lamas und Schafen beweidet. Die jahrtausendelange Nutzung der Puna hat zu einer Degradation und zur Schaffung anthropozoogener Ersatzgesellschaften geführt (RUTHSATZ 1983).

Die „Mineralstoffgehalte von Salzböden und Halophyten des bolivianischen Altiplano“ nördlich von Oruro hat GEHLER (1992) im Rahmen ihrer Dissertation untersucht. Es wurden hierbei die Bodenproben der Horizonte bis etwa 100 cm Tiefe von 9 Bodenprofilen auf die elektrische Leitfähigkeit im 1:1-Extrakt und die Konzentration der löslichen Kationen und von Chlorid und Sulfat bestimmt. Aufgrund der zur Zeit der Untersuchungen schwach ausgeprägten Regenzeit ließen sich keine verlässlichen Aussagen über die saisonale Verlagerung der löslichen Salze machen. Die höchsten elektrischen Leitfähigkeitswerte liegen bei 60 mS/cm, die höchste Summe der Kationen bzw. Anionen bei 1400 mval/l. Die höchsten Salzkonzentrationen befanden sich im oberen Bodenhorizont bzw. in max. 20 cm Tiefe. Die Ionenkonzentrationen in mval/l von Natrium und Magnesium sind erstaunlicherweise bei den untersuchten Bodenproben meist ähnlich hoch. Bei den Anionen dominiert Sulfat mit 80-90 % vor Chlorid mit 10 bis 20 %. Bei der rechnerischen Kontrolle der Ergebnisse (EC in mS/cm * 10 entspricht der Summe der löslichen Kationen bzw. Anionen in mval/l in der Lösung; s. Kap. 3), vorgenommen von der Verf. der vorliegenden Arbeit, ergab sich jedoch eine Unstimmigkeit: die Werte verhalten sich wie 1:2 und nicht wie 1:1 (s. Methodikkapitel). Die Stetigkeit der Arten bei den untersuchten Salzstandorten nimmt in folgender Reihenfolge zu: *Distichlis humilis*, *Salicornia pulvinata*, *Anthobryum triandrum*, *Atriplex nitrophiloides*, *Suaeda foliosa* und *Festuca orthophylla*.

Eine Veröffentlichung über die Ökophysiologie ausgewählter Halophyten erschien bereits 1984 (LORINI, GEYGER und LIBERMAN). Für die Bestimmung des Salzgehaltes des Bodens wurden in der Trockenzeit aus 4 verschiedenen Bodentiefen bis max. 30 u. GOF Bodenproben entnommen und der 1:1-Bodenextrakt untersucht. In oberen Bodenhorizonten wurden Leitfähigkeiten um 50 mS/cm (32 g Salz / kg Boden) gemessen, darunter um 15 mS/cm (9,6 g Salz / kg Boden). Ein mS/cm entspricht einem osmotischen Druck von 0,36 bar (s. Abschn. 3.2.4.2). Die bestimmte Saugspannung von drei ausgewählten Halophyten betrug: bei *Suaeda cf. foliosa* max. 44 bar, bei *Hymenoxys robusta* max. 23 bar und bei *Senecio pampae* max. 13 bar.

GARABITO et al. (1995) haben in der Provinz Aroma im Departamento La Paz (3555 m ü. M.) eine Untersuchung zum Einfluss verschiedener Parameter (EC_e , pH_e , Bodenart und Tiefe des Grundwasserniveaus u. GOF) auf die Zusammensetzung von Halophytengesellschaften durchgeführt. Die in dieser Studie untersuchten Bestände setzen sich aus *Distichlis humilis*, *Salicornia pulvinata* und *Anthobryum triandrum* zusammen. Die Deckung von *D. humilis* ist bei einem EC_e zwischen 1 und 20 mS/cm am höchsten, liegt zwischen 20 und 83 mS/cm unter 6 %; über 83 mS/cm kam kein *D. humilis* mehr vor. Die Deckung von *S. pulvinata* nimmt zwischen 3 und 76 mS/cm zu, bei einem EC_e von größer 132 mS/cm kommt *S. pulvinata* nicht mehr vor. Die höchste Deckung von *A. triandrum* wurde zwischen 1 bis 22 mS/cm, ein Vorkommen bis 132 mS/cm festgestellt.

Im Rahmen des „Estudio integrado des los recursos naturales en el departamento de Oruro“ (GEOBOL-ERTS 1978.; Literatur und Karten) wurden u.a. die Geologie, die Hydrologie, der Boden und die Vegetation für das Gebiet des Departamento Oruro untersucht. Die Ergebnisse liegen in Form eines Projektberichtes (s.o.) sowie thematischer Karten im Maßstab 1:250.000 vor (s.u.). Bei der o.g. Untersuchung wurde das Bodenprofil ausgewählter Standorte im Departamento Oruro bis in Tiefen von max. 160 cm analysiert. Die Entnahme der Bodenproben erfolgte überwiegend im März und April 1978 (Ende Regenzeit). Die Vegetation wurde nach den dominanten Lebensformen als „paja brava“ (vermutlich *Festuca orthophylla* oder andere Horstgräser wie *Stipa ssp.*), „thola“ (vermutlich Sträucher der Gattung *Parastrephia*, *Baccharis*, *Fabiana* oder *Lampaya*) oder „yareta“ (vermutlich Polsterpflanzen, wie *Anthobryum triandrum*, *Salicornia pulvinata* oder in größerer Höhe ü. M. *Azorella compacta*, die Art, die auch in der Fachliteratur als yareta bezeichnet wird) bzw. nach der angebauten Feldfrucht kartiert. Aussagen über das Vorkommen oder Fehlen einzelner Arten als Reaktion auf die Bodenverhältnisse an den untersuchten Standorten konnten somit im Rahmen dieses Projektes vermutlich nicht gemacht werden.

Detaillierte Ergebnisse von Bodenuntersuchungen auf dem bolivianischen Altiplano sind ebenfalls bei ESCHENBRENNER (1982) ("Los suelos de la region de Challapata Bolivia") sowie in den Projektberichten "Estudio de tenencia y uso de la tierra en el departamento de Oruro. Proyecto BOL / 089 / R07 / MC" (1991a, 1991b) veröffentlicht. Dem letztgenannten Projektbericht liegen dieselben Bodenaufnahmen zugrunde, wie dem o.g. Projektbericht „Estudio integrado des los recursos naturales en el departamento de Oruro“. Eine Analyse der löslichen Anionen z.B. wurde jedoch nur für wenige Proben durchgeführt.

SQUEO et al. (1993) haben in dem andinen Wüstengebiet Chiles zwischen 3200 und 4500 m ü. M. den Einfluss der Höhe und verschiedener Parameter des Bodens und des Klimas auf das Vorkommen von Arten und Lebensformen untersucht. Die Vegetation setzt sich aus Zwergsträuchern, perennierenden Kräutern, Polsterpflanzen und Annuellen zusammen.

Die Arbeiten zur Paläohydrologie und -klimatologie des Gebietes von SERVANT und FONTES (1978), LAVENU (1991) sowie RISACHER und FRITZ (1991a, 1991b) geben Aufschluss über das Vorkommen ausgedehnter Paläoseen auf dem Altiplano, deren Relikte die Salare von Uyuni und Coipasa sind: Lago Escara (Seehöchststand bei 3780 m ü. M., ältester nachgewiesener Paläosee, nicht datiert), Lago Minchín (Seehöchststand 3760 m ü. M. > 27.000 BP) und Lago Tauca (Seehöchststand 3700 bis 3720 m ü. M. zwischen 12.5000 und 11.000 BP).

Das Standardwerk zur Untersuchung von Salz- und Alkaliböden „Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils“ wurde von der Salinity Laboratory Staff des United States Department of Agriculture (USDA) erarbeitet und 1954 von RICHARDS herausgegeben. Die spanischsprachige Ausgabe des Werkes ist unter dem Titel "Diagnostico y rehabilitación de suelos salinos y sodicos" 1962 erstmals erschienen und lag der Verf. als siebter Nachdruck (1993) der sechsten Auflage (1973) vor. Die 1954 von RICHARDS veröffentlichten Methoden zur Untersuchung von Salz- und Alkaliböden haben heute noch Gültigkeit und finden auch in den neueren Veröffentlichungen zum Thema Bodenuntersuchung, -versalzung bzw. -klassifikation, die von der Verfasserin genutzt wurden, Eingang; insbesondere die Klassifikation von Bodenhorizonten und Böden nach der elektrischen Leitfähigkeit des Bodensättigungsextraktes (EC_e), der Sodium Adsorption Ratio (SAR) und dem pH des Bodensättigungsextraktes (pH_e) als Normal soils, Saline soils, Nonsaline-alkali soils und Saline-alkali soils (s. Kap. 2 und 3).

1.3 Zielsetzung und Vorgehensweise

Auf der Grundlage der Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen zur Geoökologie des Altiplano und der Bodenversalzung, wurden fünf Annahmen getroffen, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit für das Untersuchungsgebiet im Bereich von Huachacalla bestätigt und soweit möglich quantifiziert werden sollen:

1. Annahme:

Es gibt eine regelhafte Abfolge von Bodeneinheiten im Relief (Catena-Prinzip).

2. Annahme:

Die Vegetationseinheiten sind über die Bodenparameter (Bodenart, Gründigkeit, Bodenwasser, Nährstoffversorgung, pH-Wert, Salzgehalt, toxische Stoffe u.a.) an bestimmte Bodeneinheiten gebunden. Das Relief hat durch seinen Einfluss auf das Mesoklima (Niederschlag, Strahlung, Temperatur etc.) ebenfalls Auswirkungen auf die Zusammensetzung der Vegetation. Die Vegetation ist anthropozoogen überprägt.

3. Annahme:

Durch die Paläoseen Lago Escara, Lago Minchín und Lago Tauca in höheren Bereichen abgelagerte leicht lösliche Salze, Gips und Carbonate wurden durch das Niederschlagswasser gelöst und mit dem Boden- oder Oberflächenwasser, gesteuert durch das Relief, verlagert. Das Wasser sammelt sich in Tiefenbereichen als Grund- (und Oberflächen-)wasser. Bei hochanstehendem Grundwasser kommt es durch Evapo(transpi)ration zu einer Anreicherung der Salze im Wasser und im Boden.

Bei dem herrschenden semiariden Klima sind erhöhte Gehalte leicht löslicher Salze nur in grundwasserbeeinflussten Böden vorzufinden. Hier treten neben Salzböden, Salzalkali- und Alkaliböden auf (Klassifikation nach RICHARDS 1954, 4 ff.).

Im Bereich ehemaliger Hochstände der Paläoseen sind Relikte von Kalkkrusten vorhanden. Aufgrund der höheren Löslichkeit von Calciumsulfat gegenüber Calciumcarbonat ist Gips oberhalb des aktuellen Grundwassereinflussbereichs nicht vorhanden.

4. Annahme:

Die vertikale Verlagerung der Salze im Bodenprofil durch deszendierendes und aszendierendes Wasser ist von der Menge und Löslichkeit der Salze im Boden, dem Vorhandensein und der Lage des Grundwasserniveaus im Bodenprofil, dem Salzgehalt des Grundwassers, dem Niederschlag, der Evapotranspiration sowie der Bodenart der Horizonte abhängig. Die Verteilung (und Menge) der einzelnen Salze im Bodenprofil ist in der Trocken- und der Regenzeit unterschiedlich.

5. Annahme:

Es erfolgt ein äolischer Transport von Salzen aus den grundwasser- und salzbeeinflussten Tiefenbereichen der Alluvialebene in höhere Bereiche sowie ein Eintrag von Salzen durch Niederschlagswasser. Der Salzgehalt der tieferen Bodenhorizonte der Profile der Gebirgsstandorte wird maßgeblich durch das Bodenausgangsmaterial beeinflusst.

Die **Zielsetzungen der Arbeit** und die **Vorgehensweise** werden nachfolgend näher erläutert.

Ein Ziel der vorliegenden Arbeit ist es eine Aussage bezüglich der regelhaften räumlichen Verbreitung der Bodeneinheiten unter Berücksichtigung des Reliefs, des Ausgangsgesteins, des

Oberflächen- und Grundwassers, des Mesoklimas sowie der Vegetation und Nutzung zu machen (1. Annahme). Hierfür wurden Standorte nach dem Catena-Prinzip ausgewählt und hinsichtlich verschiedener Lage-, Boden- und Vegetationsparameter im Gelände und/oder im Labor untersucht. Die Standorte wurden in Arealen homogener Vegetation angelegt, da die Vegetation als Gesamtausdruck der Geoökofaktoren gesehen werden kann (vgl. LESER und KLINK 1988).

Der Einfluss der natürlichen Gegebenheiten und soweit möglich der anthropozoogene Einfluss auf die Verbreitung der Vegetationseinheiten werden untersucht (2. Annahme). Unter anderem werden die unterschiedlichen Standortanforderungen der einzelnen Pflanzenarten und der Vegetationseinheiten hinsichtlich Energie-, Wasser- und Stoffhaushalt bestimmt. Hierbei werden insbesondere Aussagen über Resistenzen von Pflanzenarten gegenüber hohen Salzkonzentrationen und toxisch wirkenden Elementen wie Bor, Natrium und Chlorid getroffen.

Der Einfluss der Parameter Lage im Relief, Grundwasserflurabstand, Salzgehalt des Grundwassers, Bodenart, Niederschlag, Evapotranspiration etc. auf die Bodenversalzung wird durch die Auswertung der Aufnahmen im Gelände und der Laboranalyseergebnisse untersucht. Es erfolgt über die Ermittlung der Leitfähigkeit des Bodensättigungsextraktes, des Natriumadsorptionsverhältnisses im Sättigungsextrakt (SAR, s.u.) und des pH-Wertes des Sättigungsextraktes eine Unterscheidung in Neutralsalz, Salzkali- und Alkaliböden gemäß der Klassifikation der United States Salinity Laboratory Staff (RICHARDS 1954, 4), da neben der Gesamtmenge der Salze, die Zusammensetzung der Salze, insbesondere der Natriumanteil, und der pH-Wert des Bodens von entscheidender Bedeutung für die Vegetation und die Bodenentwicklung sind. (3. Annahme)

Neben der räumlichen Verbreitung der Bodenversalzung wird die saisonale vertikale Verlagerung der Salze im Boden, vorwiegend bedingt durch die Änderung der Niederschlagsmenge und des Grundwasserstandes, untersucht (4. Annahme). Hierfür wurde für die Standorte eine Analyse des Bodens in der Trockenzeit und eine in der Regenzeit durchgeführt.

Die Frage nach dem äolischen Transport von Salzen (5. Annahme) wird mit Hilfe von Beobachtungen (Windstärke, Materialtransport) und über die Entnahme und Analyse von Bodenproben aus dem/n obersten Bodenzentimeter/n des Bodenprofils beantwortet.

Auf die Einleitung der vorliegenden Arbeit folgt eine Darstellung der allgemeinen Grundlagen der Bodenversalzung (Kapitel 2), der angewendeten Methoden (Kapitel 3) sowie des Untersuchungsraumes (Kapitel 4). Die Einzelergebnisse der Geländeaufnahmen und Laboranalysen der Standorte werden in Kapitel 5 in Form von Text, Tabellen, Graphiken und Fotos dargestellt; die Tabellen (mit Text und numerischen Daten) befinden sich im Anhang (Band II); im Anhang befinden sich ebenfalls Fotos zahlreicher im Untersuchungsgebiet aufgenommener Taxa. Die Standorte sind nach Catenen- (I-IV) bzw. Standortgruppenzugehörigkeit (V-VII) geordnet; die Daten der in der Trockenzeit aufgenommenen Standorte sind den entsprechenden in der Regenzeit aufgenommenen Standorten vorangestellt. Eine Synthese der Einzelergebnisse wird in Kapitel 6 für den Boden und in Kapitel 7 für die Vegetation vorgenommen. Im Kapitel 7 erfolgt die Erläuterung der Ausscheidung der Vegetationseinheiten sowie die Beurteilung des Einflusses verschiedener Parameter (z.B. der Einfluss des EC_e auf die Artenzusammensetzung der Vegetation). Zudem wird in diesem Kapitel erläutert, inwiefern die Ergebnisse der bisher zu den Themen Boden, Bodenversalzung und Vegetation auf dem Altiplano durchgeführten Untersuchungen auch für den Bereich von Huachacalla Gültigkeit haben. Die Lage der Standorte und ihre Zugehörigkeit zu den ausgeschiedenen Standort-, Boden- und Vegetationseinheiten sind auf einer digitalisierten Karte im Maßstab 1:50.000 dargestellt (Karte 1 in der Anlage). Ebenfalls in der Anlage befindet sich eine Vegetationstabelle für das Untersuchungsgebiet (Tab. 20 a und 20 b). Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit folgt dem Fazit (Kap. 8) in Kapitel 9. Ein Verzeichnis der verwendeten Literatur sowie der genutzten Karten und Luftbilder ist in Kapitel 10 aufgeführt.

1.4 Kartenmaterial und Luftbilder

Für das Gebiet liegen topographische Karten im Maßstab 1:250.000 und 1:50.000 erstellt vom Instituto Geográfico Militar (I.G.M.), La Paz - Bolivien vor. Das Blatt SE 19-11 Corque sowie das sich südlich anschließende Blatt SE 19-15 Salinas de Garci Mendoza im Maßstab 1:250.000 (América del Sur, Bolivia) stellen als Übersichtskarten die Topographie der weiteren Umgebung des Untersuchungsgebietes (ca. 150 km x 110 km) dar. Es handelt sich bei diesen Karten um Generalisierungen der topographischen Karten im Maßstab 1:50.000 (Carta Nacional, Bolivia). Diese wurden 1969 auf der Grundlage photogrammetrischer Auswertungen von Luftbildern, die im Jahre 1963 aufgenommen wurden, erstellt. Feldaufnahmen zur topischen Daten- und Namenshebung wurden im Jahre 1965 durchgeführt. Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich über vier Blätter (span. Hojas) der Carta Nacional, Bolivia 1:50.000: Hoja 5937 I Río Lauca, Hoja 5937 II Escara, Hoja 5937 III Yunguyo und Hoja 5937 IV Huachacalla, wobei sich auf dem Blatt Escara keine im Rahmen der vorliegenden Arbeit untersuchten Standorte befinden. Die Isohypsen auf der TK 50 sind reliefunabhängig, einheitlich im Abstand von 20 Höhenmetern eingetragen und geben für die Ebenen nur unzureichende Information über das Relief und somit über die Grund- und Oberflächenwasserbewegungen. Die topographische Karten wurden im I.G.M. (Instituto Geográfico Militar) in La Paz beschafft.

Für das Untersuchungsgebiet liegt ein geologisches Kartenwerk im Maßstab 1:100.000, erstellt vom SERVICIO GEOLOGICO DE BOLIVIA (GEOBOL) vor. Das Blatt 5937 Huachacalla, herausgegeben 1965, deckt das Untersuchungsgebiet ab. Das sich im Süden anschließende Blatt 5936 Sabaya zeigt den nördlichen Bereich des Salar de Coipasa.

Im Rahmen des Projektes „Estudio integrado de los recursos naturales del departamento de Oruro“ (GEOBOL-ERTS) wurden thematische Karten im Blattschnitt der topographischen Karte 1:250.000 erstellt. Die Blätter SE 19-11 und SE 19-15 (vgl. Topographische Karten) liegen als Lichtpausen für folgende Themen vor: Geologie / Lithologie, Mineralogie, Hydrologie, Geomorphologie, Boden und Bodennutzung. Die Aussagefähigkeit der Karten ist eingeschränkt, da sich die Grenzen der Einheiten („Unidades“) der drei letztgenannten Karten exakt decken und auf physiographischen Einheiten („Unidades fisiográficas“) basieren und überwiegend auf reiner Satellitenbildinterpretation ohne angemessene Feldkontrollen beruhen. Bei den Bodenkarten werden z.B. dominante und assoziierte „soil subgroups“ nach der „Soil Taxonomy“ (SOIL SURVEY STAFF) für die einzelnen physiographischen Einheiten genannt.

Luftbilder für das Untersuchungsgebiet liegen als Schwarzweiß-Orthophotos im Maßstab 1:40.000 (KUCERA 1963) vor (Nr. 4159, 4161, 4276, 4318, 4320, 4322, 4324, 4718, 4720, 4722, 4761, 4763 und 4765). Seit der Aufnahme im Jahre 1963 haben sich u.a. die Flächennutzung, der Verlauf von Straßen sowie von Oberflächengewässern geändert. Die vorliegenden Topographischen Karten wurden auf der Grundlage dieser Luftbilder erstellt und bisher nicht aktualisiert.

2 Bodenversalzung – allgemeine Grundlagen

Wie aus der Einleitung hervorgeht ist die Bodenversalzung ein wesentlicher Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Aus diesem Grund werden in diesem Kapitel die Kenntnisse dargestellt, welche die Grundlage für die Bearbeitung und das Verständnis des Themenkomplexes bilden.

Neben der Bodenversalzung (Anreicherung von löslichen Salzen im Boden) wird die Anreicherung von Carbonaten und Gips im Boden in diesem Kapitel behandelt.

2.1 Definition des Begriffs Bodenversalzung sowie Definition, Kennzeichnung der Eigenschaften und Klassifikation von Salz- und Natrium- bzw. Alkaliböden

FINCK (1963, 146) versteht unter Bodenversalzung „eine Salzanreicherung im Oberboden und damit im Wurzelraum der Kulturpflanzen“: Böden in Wüstengebieten mit einer geringmächtigen Salzkruste sind jedoch nicht als Salzböden zu bezeichnen, da die Salzmenge bezogen auf den Wurzelraum zu gering ist; für eine Lösung und Verlagerung größerer Mengen Salzes fehlt es hier an Niederschlägen (FINCK 1963, 146). Er unterscheidet bei den kontinentalen Salzböden (Salzböden, die außerhalb des Einflussbereichs des Meerwassers entstanden sind) zwischen primären und sekundären Salzböden. Die primäre Versalzung ist durch die natürlichen Gegebenheiten, die sekundäre Versalzung ist anthropogen, durch Bewässerung bedingt. Die entsprechenden Begriffe „primary and secondary salinisation“ für „natural and human-induced salinisation“ finden sich auch in der englischsprachigen Literatur (vgl. GHASSEMI, JAKEMAN und NIX 1995, 31). Im Bereich von Huachacalla handelt es sich um primäre Bodenversalzung.

Der Begriff Bodenversalzung steht in der vorliegenden Arbeit zum einen für die Prozesse der Bodenversalzung, die in der englischsprachigen Literatur als „salinization“ und „alkalization“ bezeichnet werden (vgl. RICHARDS 1954, 3 f.) und zum anderen für die Eigenschaften bzw. Merkmale salz- und/oder natriumbeflusster Böden, die in der englischsprachigen Literatur als „salinity“ und „sodicity“ (vgl. LANDON 1984, 157) bezeichnet werden. In der spanischsprachigen Literatur werden die Begriffe „salinización“, „alkalinización“ bzw. „sodificación“, „salinidad“ und „sodicidad“ verwendet (vgl. CHILON 1996, 173 ff.). YOUNG (1976, 204 f.) zieht den Begriff „solonization“ dem Begriff „alkalization“ vor, da der Prozess durch eine merkliche Natriumsättigung an dem Austauschkomplex des Bodens (s.u.) gekennzeichnet ist. Erfolgt im Auswaschungshorizont von Solonetzen (s.u.) ein Eintausch von Wasserstoffionen, so bezeichnet man diesen Prozess, bei dem der Oberboden versauert als „solodization“, den Boden als Solod (YOUNG 1976, 205; SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1984, 400).

Die englischsprachige Literatur betont, dass es sich bei der „salinisation“, auch „salinization“, um die Akkumulation löslicher Salze („soluble salts“; Salze löslicher als Gips) im Bodenprofil handelt (vgl. u.a. RICHARDS 1954, 1; YOUNG 1976, 204).

Beträgt nach RICHARDS (1954, 4) der Natriumanteil an der Summe der löslichen Kationen mehr als etwa 50 %, so sind auch erhebliche Mengen an Natrium an den Austauschern (Tonminerale, Huminstoffe und Sesquioxide) sorbiert. Den Prozess der Anreicherung von austauschbarem Natrium in Böden bezeichnet man in der englischsprachigen Literatur als „alkalization“ (vgl. RICHARDS 1954, 4).

„Saline soils“ (Salzböden) sind Böden, die so viel Salz enthalten, dass seine Produktivität beeinträchtigt wird; Böden, die sowohl hohe Salzgehalte als auch eine hohe Natriumsättigung enthalten, werden als „saline-alkali soils“ (Salzalkaliböden) bezeichnet; Böden die keine hohen Salzgehalte bei einer hohen Natriumsättigung (pflanzenschädigende Konzentrationen des phytotoxischen Elements) haben, werden „nonsaline-alkali soils“ (Alkaliböden) genannt (RICHARDS 1954, 1 ff.). Als Grenzwert für „saline soils“ (Salzböden) wurde eine elektrische Leitfähigkeit des Bodensättigungsextraktes (EC_e) von 4 mS/cm, gemessen bei 25 °C, festgelegt (s. Abschn. 3.2.4.8); Böden mit einem ESP („exchangeable sodium percentage“) > 15 bzw. einem SAR („sodium adsorption ratio“) > 13 (s. Abschn. 3.2.4.7) werden als „alkali soils“ (Alkaliböden) klassifiziert (RICHARDS 1954, 4 ff.). In der neueren Literatur wird oft der Begriff „sodic soils“ dem Begriff „alkali soils“ vorgezogen (LANDON 1984, 157). Ebenso wird in der deutschsprachigen Literatur der Begriff Alkaliböden zunehmend durch den Begriff Natriumböden ersetzt (u.a. SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1998, 394). Der pH-Wert des Bodensättigungsextraktes der „saline“ und „saline-alkali soils“ liegt nach RICHARDS (1954, 4 f.) meist unter 8,5; nach YOUNG (1976, 207) liegt er zwischen 7 und 8,5. Der pH-Wert des Bodensättigungsextraktes der „nonsaline-alkali soils“ ist meist größer als 8,5. (Erklärung s.u.), kann jedoch in Ausnahmefällen 6 erreichen (RICHARDS (1954, 5 f.)). Bei den untersuchten grundwasserbeeinflussten Böden im Raum Huachacalla handelt es sich nach RICHARDS (1954) ganz überwiegend um Salznatriumböden.

Die alkalischen pH-Werte der Salzböden beruhen auf dem hohen Anteil an basisch wirkenden Kationen. Die Basensättigung dieser Böden beträgt mehr als 80 % (vgl. auch AG BODEN 1994, 339), d.h. 80 bis 100 % der an den Austauschern adsorbierten Kationen sind basisch wirkende Kationen (Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium). Auch nicht versalzte Böden arider und semiarider Gebiete sind meist alkalisch, da die Niederschläge zu gering sind, um die bei der Verwitterung primärer Silikate freiwerdenden Alkali- und Erdalkali-Ionen (vgl. BRADY und WEIL 1996, 307; SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1998, 106 ff.) auszuwaschen. Eine Versauerung findet statt, wenn in den Boden mehr H^+ -Ionen eingetragen werden als es der Pufferkapazität des Bodens entspricht. Bsp.: bei der Reaktion von dem CO_2 der Bodenluft (vorwiegend gebildet durch Wurzelatmung und Oxidation von Biomasse) mit H_2O wird Kohlensäure (H_2CO_3) gebildet (nur bei pH-Werten über 5 bzw. 5,5), die schwach dissoziiert in H^+ und HCO_3^- ; durch die H^+ -Ionen erfolgt innerhalb des Pufferbereichs eine Verwitterung durch Säurewirkung; eine Erniedrigung des pH-Wertes erfolgt, wenn die Basen (z.B. HCO_3^- -Ionen oder Ca^{2+}) ausgewaschen werden (SCHROEDER 1992, 20; SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1998, 104 ff.).

Nach BRADY und WEIL (1996, 308) ist die Kationenaustauschkapazität alkalischer Böden im Allgemeinen höher als in sauren Böden mit vergleichbarer Textur, da zum einen in alkalischen Böden arider Klimate 2:1-Tonminerale (Dreischicht-Tonminerale), die eine relativ hohe Austauschkapazität besitzen, vorherrschen und zu anderen die variablen negativen Ladungen an den Kolloidalkomplexen, insbesondere von Huminstoffen und 1:1-Tonmineralen (Zweischicht-Tonmineralen), mit dem pH-Wert steigen (die funktionellen Gruppen der Ionenaustauscher, z.B. $SiOH$, dissoziieren mit steigendem pH zunehmend H^+ -Ionen ab, wodurch die negative Ladung zunimmt; vgl. SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL (1998, 88).

Im Kapitel 3 (Methodikkapitel, Abschnitt 3.2.4.8) sind die Grenzwerte (EC_e , ESP, SAR und pH_e) für die Klassifikation der Salz- und Alkaliböden nach RICHARDS (1954, 4 ff.) tabellarisch aufgeführt. Die Formeln zur Berechnung des ESP und SAR (s.o.) sowie des Salzgehaltes im Sättigungsextrakt und im Boden aus dem EC_e werden ebenfalls im Methodikkapitel dargestellt und erläutert.

Die Salz- und Salzkalkböden nach RICHARDS (1954) entsprechen nach YOUNG (1976, 204) in etwa den Solonchaks der FAO-Bodenklassifikation. Wie die Ausführungen im folgenden Absatz zeigen, ist die Übereinstimmung nicht so stark. Nach SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL (1998, 454) sind chloridreiche Solonchaks schwach alkalisch und gipsreiche neutral (oft $\text{pH} < 7$).

Die „World reference base for soil resources“ (kurz WRB) (FAO, ISRIC, ISSS 1998) hat die „FAO-Unesco Soil map of the World. Revised Legend“ (FAO-UNESCO 1990) ersetzt und die Klassifikation der Salz- und/oder Natriumböden weitgehend übernommen. Nach WRB muss ein Solonchak einen „salic horizon“ (von lat. sal), der innerhalb von 50 cm unter der Bodenoberfläche beginnt, als diagnostischen Horizont besitzen und darf bestimmte andere diagnostische Horizonte z.B. einen „natric horizon“ (s.u.) nicht besitzen; andere sog. „reference soil groups“, wie Fluvisols können jedoch auch einen „salic horizon“ haben (FAO, ISRIC, ISSS 1998, Key to the reference soil groups, 1 von 7 ff.; vgl. auch ISSS WORKING GROUP RB 1998).

Ein „salic horizon“ nach WRB (FAO, ISRIC, ISSS 1998, Ochric horizon, 5 von 8 f.) ist ein Horizont an der oder nahe der Bodenoberfläche mit einer sekundären Anreicherung leicht löslicher Salze, d.h. löslicher als Gips, und muss in der gesamten Tiefe folgende diagnostische Kriterien erfüllen:

1. a. eine elektrische Leitfähigkeit (EC) des Sättigungsextraktes von mehr als 15 dS m^{-1} [mS/cm] bei 25°C einige Zeit im Jahr; **oder**
b. einen EC-Wert von mehr als 8 dS m^{-1} bei 25°C , wenn der $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ des Sättigungsextraktes 8,5 übersteigt (bei alkalischen Carbonatböden) oder weniger als 3,5 (bei sauren Sulfatböden); **und**
2. mindestens 1 Prozent Salz; **und**
3. ein Produkt aus Mächtigkeit (in cm) und prozentualem Salzgehalt von 60 oder mehr; **und**
4. eine Mächtigkeit von 15 cm oder mehr aufweisen

Ein „salic horizon“ nach der „Soil Taxonomy“ (SOIL SURVEY STAFF 1999, 49) muss ebenfalls 15 cm mächtig sein und muss an mindestens 90 aufeinanderfolgenden Tagen in normalen Jahren:

1. eine elektrische Leitfähigkeit (EC) von 30 dS/m in der gesättigten Bodenpaste; **und**
2. ein Produkt aus EC und Horizontmächtigkeit von 900 oder mehr besitzen.

Auf der obersten Ebene der „Soil Taxonomy“, den „Orders“ (SOIL SURVEY STAFF 1999 159 ff.) werden weder Salz- noch Alkaliböden ausgeschieden. Einen „salic horizon“ können unter anderem Aridisols und Inceptisols haben.

Die „nonsaline-alkali soils“ (Natriumböden; Alkaliböden) entstehen meist infolge einer Grundwasserabsenkung oder einer Zunahme der Niederschläge durch Auswaschung der leicht löslichen Salze aus den „saline-alkali soils“ (Salzkalkböden), da hierbei das austauschbare Natrium an dem Austauschkomplex verbleibt. Die meist stark alkalische Bodenreaktion der „nonsaline-alkali soils“ beruht vor allem auf der Hydrolyse von Natriumcarbonat (Soda; Na_2CO_3) und des Natrium-Austauscher-Komplexes (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1998, 111; BRADY und WEIL 1996, 316). Die „nonsaline-alkali soils“ dürften den sodareichen Solonchaks, deren $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ nach SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL (1998, 455) oft > 9 ist, entsprechen.

Erfolgt in den „nonsaline-alkali soils“ eine Verlagerung der, aufgrund der hohen Natriumsättigung an den Austauschern und des geringen Gehaltes löslicher Salze, im feuchten Zustand peptisierten Tonkolloide aus dem Ober- in den Unterboden und die Bildung eines wasserstauenden Säulen- oder Prismengefüges im (bei humusreichen Böden, dunklen) Tonanreicherungshorizont, so ist der Boden, insofern bestimmte Kriterien erfüllt werden, gemäß der FAO-Klassifikation (FAO-UNESCO 1990) als Solonetz zu bezeichnen (vgl. RICHARDS 1954, 5). Nach SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL (1998, 455) erfolgt neben der Ton- und Humusverlagerung nach unten, bei Anwesenheit von Schluff „gleichzeitig eine Schluffwanderung im Wechsel von Quellung und Schrumpfung nach oben“.

Ein Solonetz muss nach WRB (FAO, ISRIC, ISSS 1998, Keys to the reference soil groups, 4 von 7) einen „natric horizon“ (von Natrium) besitzen. Nach WRB (FAO, ISRIC, ISSS 1998, Follic horizon, 5 von 8 ff.) ist ein „natric horizon“ ein dichter Unterbodenhorizont mit einem höheren Tongehalt als der/die darüberliegende(n) Horizont(e), besitzt einen hohen Gehalt an austauschbarem Natrium und/oder Magnesium und muss zahlreiche diagnostische Kriterien erfüllen, von denen hier nur die wichtigsten, z.T. vereinfacht, aufgeführt sind:

1. Bodenart sandiger Lehm oder feiner und mindestens 8 Prozent Ton in der Feinbodenfraktion; **und**
2. einen höheren Gesamtgehalt an Ton als ein darüberliegender gröberer Boden (abgesehen von Unterschieden, die nur aus einer gesteinsbedingten Unstetigkeit resultieren), wobei die notwendigen Tongehalte in „natric horizon“ mit dem Tongehalt des darüberliegenden Horizontes ansteigen (stark vereinfacht); **und**
3. ein Säulen- oder Prismengefüge in einigen Teilen des Horizontes (gekürzt); **und**
4. eine „exchangeable sodium percentage“ (ESP; s. Methodikkapitel) von mehr als 15 innerhalb der oberen 40 cm (gekürzt); **und**
5. eine Mächtigkeit von mindestens einem Zehntel der Summe der Mächtigkeiten aller darüberliegenden Horizonte und von mindestens 7,5 cm

Die diagnostischen Kriterien für einen „natric horizon“ nach der "Soil Taxonomy" (SOIL SURVEY STAFF 1999, 44 f.) sind ähnlich, wie die nach der WRB, zusätzlich ist der Grenzwert für den SAR (alternativ zum ESP) von 15 angegeben. Die Solonetze nach FAO gehören nach der "Soil Taxonomy" verschiedenen Ordnungen (z.B. Mollisols, Alfisols und Aridisols) an und werden durch die Silbe „Natr(i)“ gekennzeichnet (vgl. auch SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1998, 455).

Die Ausführungen im folgenden Absatz sollen den Einfluss der an den Tonmineralen adsorbierten Kationen (Natrium und Calcium) und des Salzgehaltes der Bodenlösung auf die Peptisations- und Flockungsvorgänge im Boden verdeutlichen. Die Informationen wurden dem „Lehrbuch der Bodenkunde“ (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1998, 148 ff.) entnommen.

Die Flockung und Peptisation von negativ geladenen Kolloiden (wie Tonmineralen) wird von den energetischen Wechselwirkungen zwischen den Bodenkolloiden bestimmt, die vor allem von der Konzentration der Lösung und der Wertigkeit der adsorbierten Kationen abhängen. Die Flockungsneigung der Austauscher nimmt mit der Wertigkeit der Gegenionen und dem Salzgehalt der Lösung zu. Werden Na^+ -gesättigte Tonminerale in salzfreien Wasser aufgeschlämmt, so bildet sich ein stabiles Sol, Ca^{2+} -gesättigte Tonminerale hingegen bilden ein instabiles Sol und flocken relativ schnell aus. Diesen Effekt macht man sich bei der Dispergierung (Peptisation) der Bodenproben mit Natriumpyrophosphat für die Korngrößenanalyse zu Nutze. Bei geringer Salzkonzentration, z.B. in der Bodenlösung von nicht versalzten Böden, hat die Wertigkeit der Kationen einen starken Einfluss auf die Geschwindigkeit des Flockungsprozesses. Bei einer hohen Salzkonzentration in der Bodenlösung ist die Wertigkeit der austauschbar gebundenen Kationen ohne Bedeutung; die Tonkolloide liegen hier im geflockten Zustand vor. Gibt man zu einem Sol natriumgesättigter Tonminerale (in reinem Wasser dispergiert) eine große Menge gelöster Salze so flocken die Tonminerale genau so schnell aus, wie entsprechend dispergierte calciumgesättigte Tonminerale.

Aus diesen Ausführungen ergibt sich, dass bei sehr hohem Salzgehalt Salzkalkaliböden eine genauso gute Gefügestabilität haben wie Salzböden, d.h. die Bodenaggregate bleiben bei Befeuchtung und mechanischer Belastung stabil. Auch MASSING und WOLFF (1987, 10) betonen, dass ein hoher Gehalt an Neutralsalzen im Boden flockend und somit strukturverbessernd wirkt. Ein Austrocknen des Bodens führt generell zur Überführung des Sols in ein Gel (Koagulation). Aus den ausgeflockten Kolloiden können zusammen mit den gröbereren Bodenpartikeln (Kolloide sind $< 2 \mu\text{m}$; vgl. SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1998, 149) Aggregatgefüge (bei hoher biologischer Aktivität Krümelgefüge, bei hohem Tongehalt und häufigem Wechsel von Befeuchtung und Austrocknung Säulengefüge etc.) oder Grundgefüge (bei hohem Sandgehalt Einzelkorngefüge, bei hohem Carbonatgehalt Kittgefüge etc.) entstehen; die Angaben in den Klammern sind mögliche Gefügefor-

men; wassergesättigte, nicht koagulierte Tone bilden ein Kohärentgefüge (vgl. AG BODEN 1994, 116 ff.).

2.2 Herkunft der Salze und Einfluss des Klimas und des Reliefs

In diesem Abschnitt wird nur die Versalzung kontinentaler Böden, wie sie im Bereich von Huachacalla vorkommt, besprochen, d.h. die durch den Einfluss von Meerwasser bedingte Bodenversalzung bleibt außer Betracht.

Nach LANDON (1984, 157) entstehen Salzböden („saline soils“), wenn die Freisetzung von Salzen in einem Boden und der Eintrag, durch z.B. Verwitterung, kapillaren Aufstieg, Niederschlag oder Überflutung [mit Einspülung] [sowie äolische Deposition], den Austrag, durch z.B. perkolierendes Wasser oder Überflutung [mit Ausspülung] [sowie Deflation], übersteigen, so dass die Verbreitung der Salzböden in etwa mit den Gebieten übereinstimmt, in denen die Evapotranspiration höher als der Niederschlag ist und eine längere Regenzeit fehlt. BRADY and WEIL (1996, 310) geben hierfür (ohne Angabe der Literaturquelle) Niederschlags-Verdunstungs-Verhältnisse („precipitation-to-evaporation ratios“) von $< 0,75$ an; rechnerisch ergibt sich daraus bei 500 mm Jahresniederschlag, wie er im Bereich von Huachacalla im langjährigen Mittel fällt, eine „erlaubte“ Evapo[transpi]ration von 667 mm im Jahr; die potentielle Evapotranspiration liegt nach den Daten nahegelegener Klimastationen im Raum Huachacalla bei etwa 1000 mm im Jahr (s. Abschn. 4.3). Die Evapotranspiration kann langfristig nur höher sein als der Niederschlag, wenn der Boden „Zuschusswasser“, (kapillar aufsteigendes oder an der Bodenoberfläche stehendes Grundwasser, sich mehr oder weniger parallel zur Bodenoberfläche bewegendes Bodenwasser, wie Hangwasser, zufließendes Oberflächenwasser und/oder Bewässerungswasser) erhält (s.o.). Nach den oben genannten Sachverhalten ist im Raum Huachacalla mit einer Versalzung des Bodens in Bereichen, in denen kapillar aufsteigendes Grundwasser an der Bodenoberfläche verdunstet, zu rechnen. Die Untersuchungen im Raum Huachacalla ergaben eine Versalzung der grundwasserbeeinflussten Böden, bei Salzfremheit der grundwasserfernen Böden.

Nach YOUNG (1976, 204) ist Bodenversalzung weitgehend auf Senken in ariden [und semiariden] Klimabereichen beschränkt, wo es zur Verdunstung von salzhaltigem Grundwasser kommt.

SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL (1998, 391) bezeichnet diesen Prozess als Grundwasserversalzung, und unterscheidet ihn von der Tagwasserversalzung, die auf atmo-gen eingetragene [und in situ durch Mineralverwitterung entstandene] Salze zurückzuführen ist und ausschließlich in ariden Klimaten stattfindet, da in feuchteren Klimaten die geringen Salzmengen schnell ausgewaschen werden.

BRESLER, MCNEAL und CARTER 1982, 6) geben die Mineralverwitterung, den Niederschlag, die menschlichen Aktivitäten (z.B. Bewässerung und Erhöhung von Stickstoff- und Schwefelverbindungen in der Atmosphäre) und „fossile“ Salze als Quelle der Salze an.

Unverwitterte (primäre) Minerale, wie sie für die Böden arider und semiarider Regionen charakteristisch sind, stellen nach BRESLER, MCNEAL und CARTER (1982, 3 ff.) einen wichtigen Lieferanten für Salze dar; sie führen die von RHOADES u.a. 1968 veröffentlichten Ergebnisse an, wonach die Salzkonzentration einer Lösung durch den Kontakt mit relativ unverwitterten Mineralen von Böden arider Klimagebiete nicht selten um 3 bis 5 mval/l ansteigt, wobei die Menge der gelösten Salze

stark von dem CO₂-Partialdruck abhängt, der wiederum eng an die biologische Aktivität im Boden gebunden ist.

GHASSEMI, JAKEMAN UND NIX (1995, 32) geben einen Gehalt von 10 bis 50 mg Salz pro Liter Niederschlagswasser an, wobei die Menge der atmosphärischen Salze mit der Entfernung von Meer, der Hauptquelle der Salze (weshalb NaCl bei den atmosphärischen Salzen dominiert), abnimmt (vgl. auch SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1998, 391); bei 10 mg Salz pro Liter Regenwasser (0,001 %) und 500 mm Jahresniederschlag, werden dementsprechend im Jahr 50 kg Salz pro ha bzw. 5 g Salz pro m² eingetragen.

Entsprechend hinterlässt salzarmes Bewässerungswasser von 0,03 % Salz, wie das Induswasser, bei einer Bewässerung von 300 mm pro Jahr auf unkultivierten Flächen 900 kg Salz pro Hektar und Jahr; häufig kommt es durch unsachgemäße Bewässerung (zu hohe Wassermengen und mangelnde Drainage) zur Anhebung des Grundwasserspiegels, so dass durch den kapillaren Aufstieg und die Verdunstung das Bodenwasser Salze im Oberboden angereichert werden (vgl. SCHEFFER/ SCHACHTSCHABEL 1998, 393).

„Fossile“ Salze aus geologischen Ablagerungen marinen Ursprungs und zu dieser Zeit entstandenen (und eingeschlossenen) Lösungen, werden entweder durch natürliche Prozesse oder durch menschliche Aktivitäten freigesetzt und „verteilt“ und führen in der Regel zu weit stärkeren Salzkumulationen im Boden als der Salzeintrag durch Mineralverwitterung und Niederschlag (BRESLER, MCNEAL und CARTER 1982, 6 f.). Die Herkunft der Salze im Raum Huachacalla beruht vermutlich überwiegend auf der Mineralverwitterung und der Freisetzung "fossiler" Salze, da das Gebiet nur wenige Dekameter oberhalb der Niveaus der nahegelegenen Salare de Coipasa und de Uyuni liegen, welche die tiefsten Bereiche des abflusslosen Altiplano und somit die "Sammelbecken" für das Wasser und die darin gelösten Salze auf dem südlichen Altiplano bilden.

2.3 Transport und Verteilung der Salze im Boden

2.3.1 Einfluss des Bodenwassers

Die Verlagerung der Salze im Boden ist weitgehend an das Bodenwasser gebunden. Die Transport der Salze erfolgt nach BRESLER, MCNEAL und CARTER (1982, 85 ff.) zum einen mit der Bewegung der Bodenlösung („Transport of Salt by Convection“) und zum anderen durch Diffusion („Transport by Diffusion without Solution Flow“), wobei in natürlichen Böden beide Vorgänge gleichzeitig ablaufen und mit abnehmender Fließgeschwindigkeit die Bedeutung der molekularen Diffusion zunimmt.

Die Beweglichkeit des Bodenwassers ist von der Art der Bindungen abhängig. Grund- (permanent vorhanden) und Stauwasser (saisonal vorhanden) wird „nicht durch Bindungen an der Bodenmatrix festgehalten“ (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1998, 183). Adsorptionswasser (ausgerichtete H₂O-Dipole) umgibt als Adhäsionswasser die festen Bodenpartikel und als Hydratationswasser die adsorbierten Kationen und ist stärker gebunden als das Kapillarwasser, das durch Adhäsionskräfte (zwischen den H₂O-Dipolen und der Bodenmatrix) und Kohäsionskräfte (zwischen H₂O-Dipolen) in Poren mit einem Durchmesser von weniger als etwa 10 µm (Mittel- und Feinporen) festgehalten wird; Adsorptions- und Kapillarwasser bilden zusammen das Haftwasser; in Poren mit einem Durchmesser von mehr als etwa 10 µm verlagert sich das Bodenwasser als Sickerwasser in tiefere Zonen (SCHROEDER 1992, 50 ff.).

Aufgrund der Saugspannung, die ein Boden durch den oben beschriebenen Einfluss der Bodenmatrix auf das Bodenwasser ausübt, steht das Bodenwasser unter einer Wasserspannung, die in cm Wassersäule, bar oder hPa gemessen wird; der pF-Wert ist der Logarithmus der Wassersäule in cm (p von Potenz, F von „Freier Energie“) (vgl. SCHROEDER 1992, 51 f.). Die Wasserspannung entspricht dem Matrixpotential; das Matrixpotential besitzt jedoch ein negatives Vorzeichen. Bei dem gleichen Wassergehalt im Boden (in Vol.-%) wird das Wasser in Abhängigkeit vom Porenvolumen und der Porengrößenverteilung mit unterschiedlicher Wasserspannung festgehalten. Diesen Zusammenhang verdeutlichen die Wasserspannungskurven (pF-Kurven) eines Sand-, eines tonigen Schluff- und eines Tonbodens (Abb. 1). Die Form der pF-Kurven variieren je nach Autor etwas, da vermutlich die untersuchten Böden entsprechende Unterschiede aufwiesen.

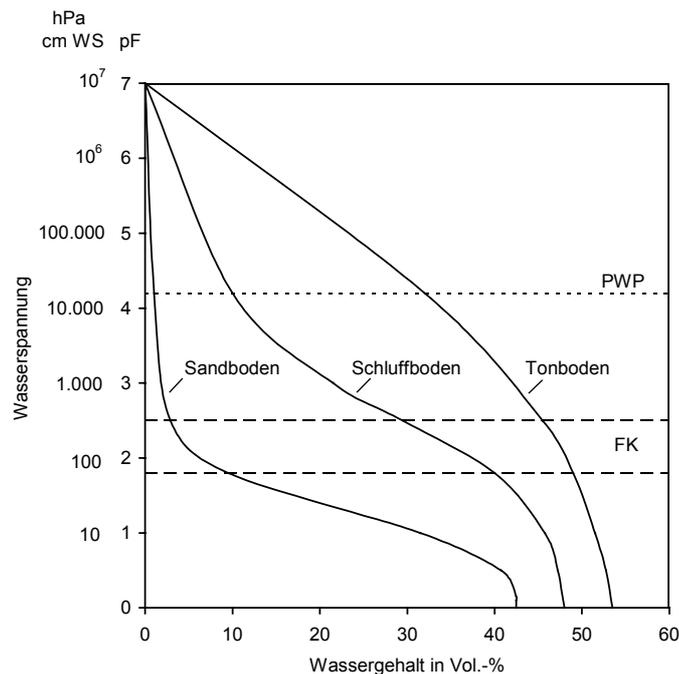


Abb. 1: Beziehung zwischen Wassergehalt und Wasserspannung bei einem Sandboden (S), einem tonigen Schluffboden (U) und einem Tonboden (T)

Quelle: SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1998, 189, ergänzt nach SCHROEDER 1992, 52

Bei gleichem Wassergehalt steigt die Bindungsstärke mit der Zunahme der adsorbierenden Oberfläche und der Abnahme des Porendurchmessers also vom Sand- über den Schluff- zu dem Tonboden; dieses ist auch der Grund, warum sich bei einem Wassergehalt von 20 % der Sandboden nass, der Schluffboden feucht und der Tonboden trocken anfühlt (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1998, 189 f.). Das als dünner Film an den Wänden der Grob- Mittel- und Feinporen sowie in den Feinporen (< 0,2 µm Durchmesser) gebundene Adsorptions- und Kapillarwasser besitzt eine Spannung von mehr als 15 bar (pF 4,2) und ist für die meisten Kulturpflanzen nicht verfügbar, so dass diese Pflanzen bei dieser Wasserspannung im Boden irreversibel welken (dies gilt jedoch nicht für Xerophyten und Halophyten). Der Wassergehalt bei pF 4,2 entspricht somit per Konvention dem permanenten Welkepunkt (PWP). Pflanzenverfügbar ist das in den Mittelporen (2-10 µm Durchmesser) als Kapillarwasser mit pF 2,5-4,2 gebundene Haftwasser sowie sich langsam, in den engen Grobporen (10-50 µm Durchmesser) bewegendes Sickerwasser, das mit pF 1,8-2,5 gebunden ist; der Wassergehalt bei einem pF zwischen 1,8 und 2,5 entspricht der Feldkapazität. Das mit pF < 1,8 in den weiten Grobporen (> 50 µm Durchmesser) festgehaltene Wasser bewegt sich bei ungehinderter Sickerung aufgrund der geringen Bindungsstärke zu schnell, um von den Pflanzenwurzeln aufgenommen zu werden. Bei grundwasserfernen Standorten ist somit der Wasseranteil, der im Wasserspannungsbereich zwischen permanentem Welkepunkt und Feldkapazität vorliegt, pflanzenverfügbar. Der Anteil der weiten Grobporen (> 50 µm Durchmesser) ist nur beim Sandboden mit über 30 Vol.-% sehr hoch, erkennbar daran (vgl. Wasserspan-

nungskurve für den Sandboden), dass bei Wasserentzug des gesättigten Sandbodens (ca. 42 Vol-% Wassergehalt; pF 0; eigentlich $pF = -\infty$; Grund- oder Stauwasser) bis zu einem Wassergehalt von etwa 10 Vol.-% der pF unter 1,8 bleibt. Bei weiterem Wasserentzug steigt die Wasserspannung zunehmend an. Beim Schluff- und Tonboden ist das Porenvolumen größer und die Porengrößenverteilung ausgeglichener, erkennbar an dem Verlauf der pF -Kurven. Beim Schluffboden ist der Anteil der Mittelporen mit 20 Vol.-% (pF -Bereich 2,5-4,2) und beim Tonboden der Anteil der Feinporen mit etwa 30 Vol.-% (pF -Bereich $> 4,2$) hoch.

Die Bodenwasserbewegung erfolgt in Richtung des niedrigeren Gesamtpotentials, das sich hauptsächlich aus dem Gravitationspotential (positives Vorzeichen; steigt mit der Höhe über der freien Wasseroberfläche, z.B. Grund- oder Stauwasseroberfläche), dem Matrixpotential (negatives Vorzeichen; bei abnehmendem Wassergehalt sinkt das Matrixpotential und steigt die Wasserspannung) und dem osmotischen Potential (negatives Vorzeichen; sinkt mit zunehmendem Salzgehalt, d.h. das Bodenwasser bewegt sich in Richtung höherer Salzgehalte im Boden) zusammensetzt (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1998, 185 ff.).

„Das Ausmaß der Wasserbewegung ist abhängig von dem antreibenden Potentialgefälle und der Durchlässigkeit oder Wasserleitfähigkeit des Bodens.“ (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL (1998, 191). Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf der o.g. Quelle (1998, 193 ff.).

Die Wasserleitfähigkeit wird durch die Porengrößenverteilung und den Wassergehalt des Bodens beeinflusst. Eine Verkleinerung des wasserleitenden Querschnitts im Boden, welche die Wasserleitfähigkeit herabsetzt, erfolgt sowohl durch eine Zunahme der Lagerungsdichte der festen Bodenbestandteile (durch z.B. Verschlammung Na-gesättigter Tonkolloide) als auch durch die Zunahme des Anteils von Bodenluft in den Poren. Eine teilweise Entwässerung der Poren verringert somit auch die Wasserleitfähigkeit des Bodens, d.h. die Leitfähigkeit nimmt mit dem Wassergehalt ab. Aufgrund der unterschiedlichen Porengrößenverteilung ist die Höhe der gesättigten Wasserleitfähigkeit und die Abnahme bei zunehmender Entwässerung des Bodens (ungesättigte Leitfähigkeit) in einem Sand-, einem Schluff- und einem Tonboden unterschiedlich; dieser Sachverhalt ist in Abb. 2 dargestellt.

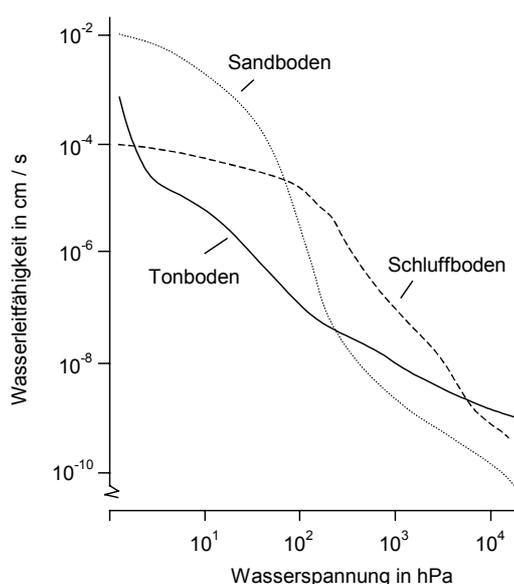


Abb. 2: Wasserleitfähigkeit in Abhängigkeit vom Wassergehalt, abgetragen als pF -Wert, eines Sand-, Schluff- und Tonbodens

Quelle: SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1998, 194; Sekundärquelle

Der Sandboden besitzt bei Wassersättigung aufgrund des höheren Anteils an Grobporen eine höhere Leitfähigkeit als der Schluff- und Tonboden. Durch die Entwässerung der Grobporen sinkt bei etwa pF 1,8 die Leitfähigkeit des Sandbodens unter die des Schluffbodens. Der Schluffboden besitzt im Bereich zwischen etwa pF 1,8 und 3,7 eine höhere Wasserleitfähigkeit als der Sand- und der Tonboden. Der Tonboden hat bei Wassersättigung aufgrund von Sekundärporen eine höhere Leitfähigkeit als der Schluffboden; diese sehr groben Poren werden aber bereits bei geringem Wasserentzug entleert. Der Schluffboden und vor allen der Tonboden, besitzen bei stärkerer Austrocknung deutlich höhere Wassergehalte (vgl. auch Abb. 1) als der Sandboden und haben daher größere Fließquerschnitte.

Eine geringe bzw. fehlende Wasserspannung ($pF < 1,8$) und somit eine sehr hohe Wasserleitfähigkeit tritt langfristig nur im geschlossenen Kapillarraum bzw. im spannungsfreien Grund- oder Stauwasser auf, da die weiten Grobporen ($> 50 \mu m$ Durchmesser) bei grundwasserfernen Böden durch Versickerung schnell entwässert werden.

Die Höhe des geschlossenen Kapillarraumes beträgt nach KUNTZE, ROESCHMANN und SCHWERDT-FEGER (1994, 182 ; vereinfacht) bei Grobsand < 10 cm, bei Mittelsand 10 cm, bei Feinsand sowie Ton 20 cm, bei lehmigem sowie schluffigem Sand und sandigem Lehm 30 cm, bei stark lehmigem oder tonigem Schluff sowie stark schluffigem Ton 40 cm und bei mittel lehmigem und tonigem Schluff 50 cm. In dem darüberliegenden offenen Kapillarraum sind mit zunehmender Höhe über der Grundwasseroberfläche aufgrund des steigenden Gravitationspotentials zunehmend nur noch kleinere Poren, die ein höheres negatives Matrixpotential besitzen, mit Wasser gefüllt.

Wassergehaltsänderungen vor allem durch Niederschlag, ggf. Bewässerung, zufließendes Oberflächenwasser, Kondensation, Anstieg der Grundwasseroberfläche, Evaporation und Transpiration verursachen ein Ungleichgewicht der Bodenwasserpotentiale und haben somit ausgleichende Bodenwasserbewegungen zur Folge.

Die Infiltration von Niederschlagswasser bewirkt eine Erhöhung des Matrixpotentials bzw. eine Verringerung der Wasserspannung. Das Potentialgefälle zur tiefer gelegenen Bodenzone bewirkt eine Wasserbewegung nach unten unabhängig von der Versickerung in Grobporen.

Bei einer Wassersättigung (eine Verringerung der Wasserspannung ist nicht mehr möglich) in den oberen Bodenzentimetern, z.B. bei Starkregen und geringer Wasserleitfähigkeit des Bodens, kommt es jedoch nicht zur Infiltration (bis sich die Sättigungszone nach unten verlagert hat), sondern bei geneigten Bodenoberflächen zum oberflächlichen Abfluss und bei ebenen Bodenoberflächen zur Überstauung. Ebenso verhindert an der Bodenoberfläche stehendes Grund- oder Stauwasser die Infiltration.

Die Verdunstung von Bodenwasser an der Bodenoberfläche und die Aufnahme von Bodenwasser durch Pflanzenwurzeln bewirken eine Erniedrigung des Matrixpotentials bzw. einer Erhöhung der Wasserspannung im Bereich der Bodenoberfläche bzw. im Wurzelraum (kleinräumig gesehen im Bereich einzelner Wurzeln), was eine Bodenwasserbewegung in Richtung Bodenoberfläche bzw. Wurzelraum (Wurzel) zur Folge hat, die von der Wasserleitfähigkeit und somit von der Bodenart und dem Wassergehalt des Bodens beeinflusst wird. Die Wasserverluste durch Transpiration im Wurzelraum und durch Evaporation an der Bodenoberfläche werden z.B. durch Infiltration von Niederschlagswasser und/oder kapillaren Aufstieg aus dem Grund- oder Stauwasserhorizont – langfristig gesehen – ausgeglichen, insofern es zu keiner Klimaänderung oder anhaltenden Änderung des Grundwasserniveaus kommt.

Die Zusammenhänge zwischen hydraulischem Potential, Matrixpotential, Gravitationspotential, Wassergehalt, Versickerung und kapillarem Aufstieg werden nachfolgend anhand der Abb. 3 erklärt.

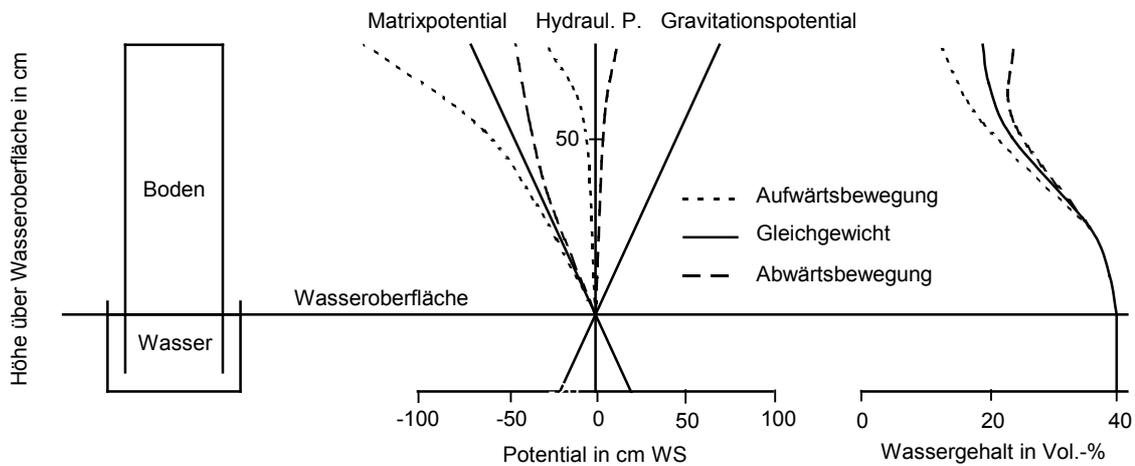


Abb. 3: Hydraulisches Potential, Matrixpotential, Gravitationspotential und Wassergehalt in einer homogenen Bodensäule im Gleichgewicht, bei Versickerung und kapillarem Aufstieg

Quelle: SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1998, 188

Das hydraulische Potential ist die Summe aus dem positiven Gravitationspotential und dem negativen Matrixpotential. Im Gleichgewicht ist das hydraulische Potential in der gesamten homogenen Bodensäule Null, d.h. es findet keine Bodenwasserbewegung statt. In diesem Gleichgewichtszustand ist auch die Tiefenfunktion des Matrixpotentials linear (die Tiefenfunktion des Gravitationspotentials ist immer linear und ändert sich nicht) und der Wassergehalt nimmt von der Oberfläche des freien Wassers (entsprechend Grundwasseroberfläche im Gelände), in dem die Bodensäule steht, nach oben hin (nicht linear) ab (rechter Teil der Abb.). Bei Störung des Gleichgewichtszustandes durch Verdunstung an der Bodenoberfläche, sinkt dort das Matrixpotential bzw. steigt die Wasserspannung und das hydraulische Potential wird negativ, da sich das Gravitationspotential nicht ändert. Da sich das Bodenwasser in Richtung auf das niedrigere Potential bewegt, wird von unten, zunächst ist „unten“ unmittelbar unter der „ausgetrockneten“ Bodenoberfläche, Wasser nach oben bewegt. Dieser Prozess setzt sich im Laufe der Zeit gemäß der Abbildung bis zur Grundwasseroberfläche fort und führt nach Beendigung der Störung (Verdunstung) durch den kapillaren Aufstieg langfristig wieder zu einem Gleichgewichtszustand mit linearen Tiefenfunktionen, wobei die Wasseroberfläche tiefer liegt und der prozentuale Wassergehalt in der Bodensäule in den selben Bodentiefen geringer ist als vor dem Verdunstungsverlust. Erfolgt eine Störung des Gleichgewichtszustandes in der anderen Richtung, durch Zunahme des Wassergehaltes an der Bodenoberfläche (durch z.B. Beregnung), steigt zunächst in der obersten Bodenschicht das Matrixpotential bzw. sinkt die Wasserspannung. Da das Matrixpotential unterhalb dieser Schicht geringer ist, d.h. die Wasserspannung höher ist, kommt es zu einer Bewegung des Wassers nach unten (Versickerung). Auch dieser Prozess setzt sich nach unten fort und führt nach Beendigung der Störung (Beregnung) zu einem Gleichgewichtszustand, der jedoch durch eine höher gelegene Wasseroberfläche und einen höheren prozentualen Wassergehalt in der Bodensäule, verglichen mit dem Zustand vor der Störung, gekennzeichnet ist.

Die kapillare Aufstiegsrate kann nach RENGER und STREBEL (1982, 25) für die stationäre Strömung (keine Änderung des Potentialgradienten, d.h. konstanter Wasserverlust durch Evapotranspiration bei gleichem Grundwasserstand) nach der DARCY-Gleichung aus der Wasserspannung, der Wasserleitfähigkeit und der Höhe über der Grundwasseroberfläche errechnet werden, wenn die Beziehung zwischen Wasserleitfähigkeit und der Wasserspannung bekannt ist. RENGER und STREBEL (1982, 27) haben mittlere kapillare Aufstiegsraten aus dem Grundwasser

bis zur Untergrenze des effektiven Wurzelraumes in Abhängigkeit von der Bodenart und der effektiven Lagerungsdichte bestimmt (s. auch AG BODEN 1994, 307 ff.): Bei Grobsand nimmt bei einer angenommenen Wasserspannung von 100 hPa an der Untergrenze des effektiven Wurzelraumes die Aufstiegsrate von 5,0 mm/Tag, wenn das Grundwasser 30 cm unterhalb der Untergrenze des effektiven Wurzelraumes liegt, auf < 0,1 mm/Tag, wenn das Grundwasser 70 cm unterhalb der Untergrenze des effektiven Wurzelraumes liegt, ab; bei Mittelsand (bei 120 hPa) von > 5 mm/Tag bei 40 cm Distanz auf < 0,1 bei 90 cm Distanz; bei Feinsand (bei 140 hPa) von > 5 mm/Tag bei 50 cm Distanz auf < 0,1 mm/Tag bei 120 mm Distanz; bei Schluff (250 hPa) von 5 mm/Tag bei 90 cm Distanz auf 0,15 mm/Tag bei 200 cm Distanz und bei Ton (700 hPa) von 4 mm/Tag bei 20 cm Distanz auf > 0,1 mm bei 200 cm Distanz; alle Werte für mittlere Lagerungsdichten. Bei einer höheren Wasserspannung an der Untergrenze des effektiven Wurzelraumes wird eine höhere kapillare Aufstiegsrate bei gleicher Aufstiegshöhe erreicht; betrachtet man eine bestimmte Aufstiegsrate, so wird diese mit zunehmender Wasserspannung in größeren Höhen über der Grundwasseroberfläche festgestellt.

Nach AG BODEN (1994, 308 ff.) beträgt die mittlere kapillare Aufstieghöhe bei einer kapillaren Aufstiegsrate von 0,3 mm/Tag und einer Wasserspannung von 10.000 hPa (pF 4) an der Untergrenze des effektiven Wurzelraumes bei Grobsand 60 cm (bei 100 hPa 60 cm), bei Mittelsand 90 cm (bei 120 hPa 70 bis 80 cm), bei Feinsand 170 cm (bei 140 hPa 90 cm), bei Schluff 270 cm (bei 250 hPa 170 bis 200 cm) und bei Ton 160 cm (bei 700 kPa 90 cm) (vgl. auch DVWK 1986, 7).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die kapillare Aufstiegsrate als wichtiger Parameter für die Intensität der Bodenversalzung mit abnehmendem Grundwasserflurabstand, abnehmenden Niederschlägen, zunehmender Evaporation, zunehmender Transpiration (wichtig sind hier die Durchwurzelungsintensität und das osmotische Potential der Pflanzen) zunimmt, da dies mit einem Anstieg des Wasserspannungsgradienten zwischen der Bodenoberfläche bzw. dem Wurzelraum und der spannungsfreien Grundwasseroberfläche verbunden ist und, dass die Bodenart bzw. die Schichtung verschiedener Bodenarten innerhalb des Bodenprofils durch ihren Einfluss auf die Wasserleitfähigkeit des Bodens bzw. der Schichten von großer Bedeutung sind.

Bei einer potentiellen Evapotranspiration (pET) von etwa 1000 mm/Jahr, wie sie für verschiedene Orte im Departamento Oruro berechnet wurde (MONTES DE OCA 1997, 142; VACHER, CHOQUECALLATA, PEREZ und MIRANDA 1994, o.S.) und einem Niederschlag von 500 mm, können 500 mm kapillar aufsteigendes Grundwasser verdunsten, dies entspricht etwa 1,4 mm/Tag. Bei geringen Wasserspannungen (etwas oberhalb der Feldkapazität) an der Untergrenze des effektiven Wurzelraumes bzw. der Bodenoberfläche wird diese Aufstiegsrate nach der Tabelle von RENGER und STREBEL (1982, 27) bei einer Aufstiegshöhe von etwa 40 cm bei Grobsand, von 60 cm bei Mittelsand, von etwa 70 cm bei Feinsand, von etwa 130 cm bei Schluff und von etwa 35 cm bei Ton erreicht. Bei größerer Aufstiegshöhe, d.h. bei tiefer anstehendem Grundwasser sind die Aufstiegsraten bei gleicher Wasserspannung an der Untergrenze des effektiven Wurzelraumes bzw. der Bodenoberfläche entsprechend geringer (s.o.). Bei 1 % löslichem Salz im Grundwasser entsprechen 500 mm Wasser 5 mm Salz, das im Jahr aus dem Grundwasser in den Wurzelraum oder an die Bodenoberfläche transportiert wird; hinzu kommt das mit dem Niederschlagswasser eingetragene Salz. Mit den Niederschlägen werden die Salze jedoch wieder zu großen Teilen in tiefere Bodenbereiche oder ins Grundwasser transportiert.

„When the water table rises to within 5 or 6 feet [1,5 bis 1,8 m] of the soil surface, groundwater moves upward into the root zone and to the soil surface. Under such conditions, groundwater, as well as irrigation water, contributes to the salinization of the soil.“ (RICHARDS 1954, 4).

2.3.2 Einfluss der Löslichkeit der Salze

Die Evaporation an der Bodenoberfläche und der Übergang von Wasser aus der flüssigen Phase in die gasförmige Phase innerhalb des Bodens bedingen eine Erhöhung der Konzentration der gelösten Salze in der Bodenlösung und ggf. ein Ausfällen der gelösten Salze, wobei die schwerer löslichen Salze früher und somit bei einer deszendierenden Bodenwasserbewegung, wie sie bei Tagwasserversalzung vorherrscht, in geringerer Bodentiefe und bei aszendierender Bodenwasserbewegung, wie sie bei Grundwasserversalzung vorherrscht, in größerer Bodentiefe als die leichter löslichen Salze ausgefällt werden.

In Böden, die sowohl Grundwassereinfluss besitzen als auch Niederschlagswasser erhalten, „pendeln“ die Salze, in Abhängigkeit von der Löslichkeit der Salze (abhängig von der Temperatur), der Bodenwassermenge als Lösungsmedium und der Wasserleitfähigkeit der Bodenschichten bzw. -horizonte unterschiedlich stark innerhalb des Bodenprofils.

Die Tab. 1 zeigt die Häufigkeit, die Löslichkeit und die Toxizität für Feldfrüchte der leicht löslichen Salze sowie von Gips und Calciumcarbonat im Boden.

Tab. 1: Lösliche Salze in Böden

Die Carbonate und Gips, die nicht als leicht lösliche Salze klassifiziert sind, sind zum Vergleich mit aufgeführt. Nach FAO (1973)

Salz	Chemische Formel	Vorkommen im Boden	Löslichkeit in H ₂ O bei 20 °C	Löslichkeit	Toxizität f. Feldfrüchte	Anmerkungen
Calciumcarbonat (Kalk)	CaCO ₃	sehr häufig	begrenzt	sehr gering	keine	Löslichkeit stark vom CO ₂ -Partialdruck abhängig
Calciumhydrogencarbonat	Ca(HCO ₃) ₂	s. Anmerkungen		gering	keine	Verwitterungszustand von Calciumcarbonat
Calciumsulfat (Gips)	CaSO ₄ · 2H ₂ O	häufig	2 g/l	gering	keine	kommt in hydratisierter Form vor
Natriumhydrogencarbonat	NaHCO ₃	selten	100 g/l	hoch		Akkumulation nur bei Abwesenheit von Gips
Natriumsulfat	Na ₂ SO ₄	sehr häufig	162 g/l	hoch	mäßig	kommt zusammen mit Natriumchlorid vor
Natriumcarbonat (Soda)	Na ₂ CO ₃	selten	210 g/l	hoch		Akkumulation nur bei Abwesenheit von Gips
Magnesiumsulfat	MgSO ₄ · 7H ₂ O	sehr häufig	269 g/l	hoch	hoch	kommt zusammen mit Natriumchlorid vor
Natriumchlorid	NaCl	sehr häufig	360 g/l	hoch	hoch	das häufigste lösliche Salz
Magnesiumchlorid MgCl ₂ -Hexahydrat	MgCl ₂ MgCl ₂ · 6H ₂ O	selten	1670 g/l	sehr hoch	hoch	kommt nur in Böden mit sehr hohem Salzgehalt vor

Magnesiumcarbonat, Kaliumcarbonat, Kaliumsulfat, Calciumchlorid und Kaliumchlorid sind in Böden sehr selten. Zu einer Akkumulation von Nitraten kommt es nur in außerordentlich trockenen Wüsten.

Quelle: YOUNG (1976, 203; aus dem Englischen übersetzt); ergänzt um die Löslichkeit im g/l nach MERCK (1996)

Den Einfluss der Jahresniederschlagsmenge und der Bodenart auf die Ausprägung und Lage des Kalk-, Gips- und Salzanreicherungshorizontes in nicht grundwasserbeeinflussten Böden (Tagwasserversalzung) zeigen die schematisierten Abb. 4 und 5. In diesen Böden dominiert die abwärtsgerichtete Bodenwasserbewegung, es kommt jedoch zwischen den Niederschlagsereignissen durch Evapo(transpi)ration auch zu aufsteigenden Bodenwasserbewegungen, wobei das Wasser bei ariden Verhältnissen meist vor Erreichen der Bodenoberfläche in den dampfförmigen Zustand übergeht (in trockenen Zonen mit einer Wasserspannung von mehr als pF 4,2, in denen die Bodenluft nicht annähernd wasserdampfgesättigt ist), so dass die gelösten Salze in tieferen Bodenzonen ausfallen. Die dampfförmige Wasserbewegung erfolgt entlang des Dampfdruckgefälles, das auf Temperatur- und bei starker Austrocknung ($pF > 4,2$) außerdem auf Saugspannungsunterschieden beruht (bei geringeren Wasserspannungen als pF 4,2 verdunstet soviel Bodenwasser, dass die relative Luftfeuchtigkeit im Boden $> 98-100\%$ beträgt; s.o.); der Wasserdampf bewegt sich von wärmeren zu kälteren Bodenzonen und in Richtung der Bodenzonen mit höherer Wasserspannung (SCHROEDER 1992, 55).

Die sekundäre Anreicherung von Calciumcarbonat im Boden wird als Carbonatisierung (engl. „calcification“) bezeichnet (vgl. SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1998, 390).

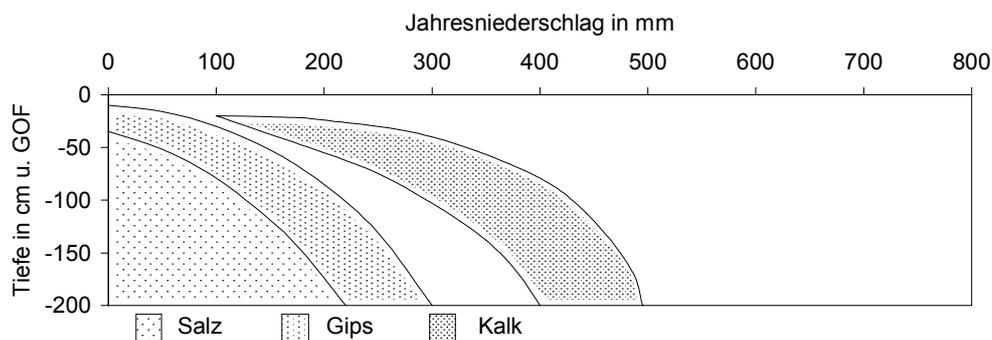


Abb. 4: Einfluss der Jahresniederschlagsmenge auf die Lage der Kalk-, Gips- und Salzanreicherungszone in mittelkörnigen Böden arider Klimate (ohne Grundwassereinfluss)

Quelle: SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1998, 391, Sekundärquelle

Bei mittelkörnigem Boden ohne Grundwassereinfluss kommt es nur bei Niederschlägen von weniger als 200 (220) mm im Jahr zu einer Akkumulation von löslichen Salzen innerhalb des Bodenprofils (bis 2 m u. GOF). Je höher die Niederschläge sind, desto mächtiger ist die Auswaschungszone. Die Gips Anreicherungszone liegt aufgrund der geringeren Löslichkeit oberhalb der Salzanreicherungszone. Die Gipsanreicherungszone ist geringmächtiger als die Salzanreicherungszone, da die einzelnen löslichen Salze unterschiedliche Löslichkeiten besitzen (s.o.) (Erklärung der Verfasserin der vorliegenden Arbeit). Kalk ist nur bei Anwesenheit einer Säure löslich. Bei den in ariden Klimaten vorherrschenden alkalischen Bodenreaktionen dürfte die schwache Kohlensäure (s.o.) vorwiegend für die geringe Lösung und Verlagerung des Kalks verantwortlich sein. Die mit dem Jahresniederschlag zunehmende Tiefe der Kalkanreicherungszone ist vermutlich auf die mit dem Niederschlag zunehmende Vegetation und den damit verbundenen Säureeintrag (Wurzelatmung etc.) zurückzuführen, da $CaCO_3$ in reinem Wasser praktisch unlöslich ist (MERCK 1996, 374). Nach der Abb. 4 ist bei mehr als 500 mm Jahresniederschlag, mittelkörnigem Boden und ungehinderter Versickerung keine Anreicherungszone innerhalb der oberen 2 m des Bodenprofils zu finden. D.h. im Raum Huachacalla ist bei mittelkörnigen Böden ohne Grundwassereinfluss nicht mit einer Anreicherung von Salz, Gips oder Carbonat zu rechnen. Bei Böden, die erst relativ kurz (pedologisch betrachtet) eine ungehinderte Versickerung aufweisen (z.B. durch Grundwasserabsenkung), sind Vorkommen von Carbonatanreicherungen aufgrund der geringen Löslichkeit von Carbonaten jedoch nicht auszuschließen (vgl. Hypothesen in Kap.1).

Den Einfluss der Bodenart auf die Lage der Kalk-, Gips- und Salzanreicherungszone in Böden ohne Grundwassereinfluss bei 350 mm Jahresniederschlag zeigt die Abb. 5.

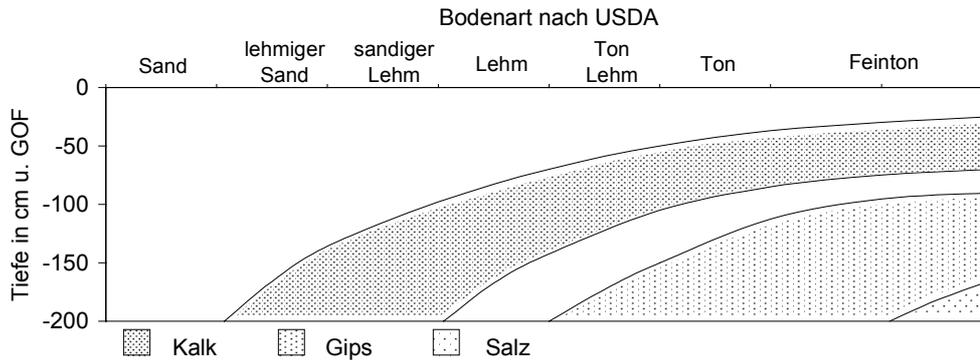


Abb. 5: Einfluss der Bodenart auf die Lage der Kalk-, Gips- und Salzanreicherungszone bei 350 mm Jahresniederschlag (ohne Grundwassereinfluss)

Quelle: SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1998, 391; Sekundärquelle

Bei 350 mm Niederschlag im Jahr werden bei reinem Sandboden die löslichen Salze, Gips und Kalk aus den oberen 2 m des Bodens ausgewaschen. Je feinkörniger der Boden wird, desto höher liegt die Kalk-, Gips- und Salzanreicherungszone. In lehmigem Sand, sandigem Lehm und Lehm wird Kalk innerhalb der oberen 2 m unter GOF angereichert. Bei Tonlehm- und Tonböden kommt es innerhalb des Bodenprofils (bis 2 m u. GOF) außerdem unter der Carbonatanreicherungszone zur Anreicherung von Gips. Bei 350 mm Jahresniederschlag erfolgt ohne Grundwassereinfluss nur bei extrem feiner Textur (Feinton) eine Anreicherung von löslichen Salzen oberhalb 2 m unter GOF, diese ist jedoch nach der Abb. auf Bereiche unterhalb 1,65 m beschränkt. Bei 500 mm Jahresniederschlag im Raum Huachacalla ist die Lage der verschiedenen Anreicherungshorizonte entsprechend tiefer.

Grundwasserbeeinflusste Böden, die keinen Niederschlag erhalten, zeigen eine entgegengesetzte Abfolge der Anreicherungshorizonte wie die Böden ohne Grundwassereinfluss; hier liegt die Salzanreicherungszone, über der Gipsanreicherungszone und diese wiederum über der Kalkanreicherungszone. In der Natur sind die in den Abb. 4 und 5 schematisch dargestellten Zonen, jedoch nicht so deutlich abzugrenzen.

Innerhalb der Salzanreicherungszone kommt es durch die unterschiedliche Löslichkeit der löslichen Salze ebenfalls zu einer räumlichen Differenzierung, wobei sich die Anreicherungszonen in der Regel überlagern.

Die Verteilung von löslichen Salzen, Gips und Carbonat in grundwasserbeeinflussten Böden, die auch Niederschlagswasser erhalten, wie sie im Raum Huachacalla in den Tiefenbereichen der Alluvialebene vorkommen, ist wesentlich komplexer und unterliegt einer stärkeren zeitlichen Variabilität, da sich hier aufsteigende und abwärts gerichtete Bodenwasserbewegungen zeitlich und räumlich abwechseln (s.o.): So transportiert z.B. das Regenwasser bei Niederschlagsereignissen einen Teil der, hauptsächlich durch den kapillaren Aufstieg, nach oben transportierten und z.T. ausgefällten Salze wieder in gelöster Form in tiefere Bereiche des Bodenprofils oder bis ins Grundwasser. Bei grundwasserbeeinflussten Böden hat der Niederschlag somit eine auswaschende Wirkung.

2.4 Auswirkungen der Bodenversalzung

Die negativen Auswirkungen von hohen Gehalten an löslichen Salzen im Boden auf Pflanzen beruhen zum einen auf dem niedrigen osmotischen Potential (der hohen Spannung) der Bodenlösung und zum anderen auf der übermäßigen Anreicherung von bestimmten Ionen, die bereits in geringen Konzentrationen phytotoxisch wirken (Bor und Lithium) oder zu einem Ungleichgewicht bei der Nährstoffversorgung (hohe Na^+ -Gehalte vermindern die Aufnahme von K^+ und Ca^{2+} , hohe Cl^- Gehalte die von NO_3^-) der Pflanzen führen (BRESLER, MCNEAL und CARTER 1982, 167).

Zwischen der elektrischen Leitfähigkeit (EC), die auch der näherungsweise Bestimmung des Salzgehaltes dient (s.o.), und dem osmotischen Potential einer Lösung besteht folgende lineare Beziehung: 1 mS/cm entspricht etwa -360 hPa (cm WS) bzw. etwa -0,36 atm (s. auch Abb. 7, Kap. 3), d.h. mit steigender EC_e bzw. steigendem Salzgehalt wird das osmotische Potential (negativer Wert) der Bodenlösung und somit das Potentialgefälle zwischen Boden und Pflanze geringer und die Wasseraufnahme durch die Pflanzenwurzeln zunehmend schwieriger („osmotic stress“; RICHARDS 1954, 17; BRESLER, MCNEAL und CARTER 1982, 167); hinzu kommen die spezifischen Ionen-Effekte (s.o.). Pflanzen, die unter „Salzstress“; (LARCHER 1994, 312) stehen, zeigen häufig einen kümmerlichen Wuchs und haben kleinere, oft jedoch dickere Blätter, als nicht „salzgestresste“ Pflanzen mit Nekrosen. Wird das Potentialgefälle zu gering, um für eine ausreichende Wasserversorgung der Pflanze zu sorgen oder kehrt sich das Potentialgefälle sogar um, z.B. durch Wasserverluste im Boden infolge zu starker Evapotranspiration oder wenn ein von halophoben Pflanzen mit einem osmotischen Potential zwischen -5.000 und -15.000 hPa (etwa pF 3,7 und pF 4,2) besiedelter Standort durch Grundwasseranstieg versalzt, so vertrocknen die Pflanzen. Bei Wasserentzug sinkt nicht nur das osmotische Potential, sondern auch das Matrixpotential des Bodens; die Kombination beider Potentiale wird als Wasserpotential bezeichnet. Halophyten akkumulieren bei sinkendem Wasserpotential im Boden Salze im Zellsaft, um eine Aufrechterhaltung der Wasseraufnahme zu gewährleisten; das osmotische Potential der Halophyten sinkt dabei bis unter -100.000 hPa (pF 5). Das Verhältnis der osmotischen Wirkung von löslichen Kohlenhydraten zu der osmotischen Wirkung von Salzen im Zellsaft ist bei einkeimblättrigen Halophyten (insbesondere Gräsern) höher als bei zweikeimblättrigen Halophyten (z.B. *Salicornia*).

Pflanzen, die auf salzbeeinflussten Böden wachsen, müssen salzresistent sein, d.h. sie müssen über Mechanismen verfügen, die auch bei hohen Salzgehalten im Boden die Aufrechterhaltung der lebensnotwendigen Funktionen gewährleisten.

„Salzresistenz ist die Fähigkeit einer Pflanze, ein Überangebot an Salzen in ihrem Substrat durch Salzregulation vom Protoplasma fernzuhalten oder eine erhöhte osmotische und ionentoxische Salzbelastung zu ertragen“ (LARCHER, 1994, 316).

Eine Regulation des Salzhaushaltes der Halophyten erfolgt nach LARCHER (1994, 316) durch Salzabschirmung (Transportunterbrechung in der Wurzel oder im Spross), durch Salzelimination (Rekretion über die Sprossoberfläche, Salzausscheidung durch Absalzdrüsen und Absalzhaare oder Entsalzung durch Abwurf von Pflanzenteilen), durch Salzsukkulenz (Verdünnung der Salze), durch Retranslokation von Salzen (Verlagerung aus der Blättern in andere Pflanzenteile) oder durch Salzspeicherung in den Vakuolen. Andere Arten tolerieren spezifische Ionenwirkungen und die osmotische Salzwirkung auf das Cytoplasma sowie ein gestörtes Ionenverhältnis, z.B. durch die Freisetzung von Stressproteinen.

Hinsichtlich ihrer Reaktion auf erhöhte Salzgehalte im Boden unterscheidet LARCHER (1994, 315) obligate Halophyten (z.B. *Salicornia*), die an salzbeeinflusste Böden gebunden sind und deren Wachstum durch die Aufnahme mittlerer Salzmengen gesteigert und hoher Salzmengen gehemmt wird, fakultative Halophyten (z.B. viele *Poaceen*), deren Wachstum bei geringer Salzaufnahme gefördert und bei stärkerer Salzaufnahme zunehmend gehemmt wird, salzindifferente Pflanzen, die geringe Salzgehalte im Boden tolerieren und halophobe Pflanzen, die bereits bei geringen Salzgehalten im Boden in ihrem Wachstum beeinträchtigt werden. Bei Überschreiten der „Toleranzgrenze“ nimmt die Wachstumsrate der Pflanzen schnell ab.

Nach LARCHER (1984, 320) wachsen Halophyten noch bei 2 bis 6 %, in Ausnahmen bei 20 % Salz im Boden, wobei Keimlinge und Jungpflanzen meist eine deutlich geringere Salzresistenz als die älteren Pflanzen besitzen. Die oben genannten Werte entsprechen bei einem angenommenen Sättigungsprozentsatz von 50 (die wassergesättigte Bodenpaste enthält 50 % H₂O, bezogen auf ofentrockenen Boden) einer elektrischen Leitfähigkeit der Bodenpaste (EC_s) bzw. des Bodensättigungsextraktes (EC_e) von 62,5, 187,5 und 625 mS/cm. Zum Vergleich: Meerwasser mit einem Salzgehalt von 3,5 % hat eine elektrische Leitfähigkeit von 55 mS/cm.

Die Abnahme der Erträge von Feldfrüchten, klassifiziert nach ihrer Salztoleranz, bei zunehmenden Gesamtsalzgehalten im Sättigungsextrakt des Wurzelraumes (gemessen als EC_e) zeigt die Abb. 6.

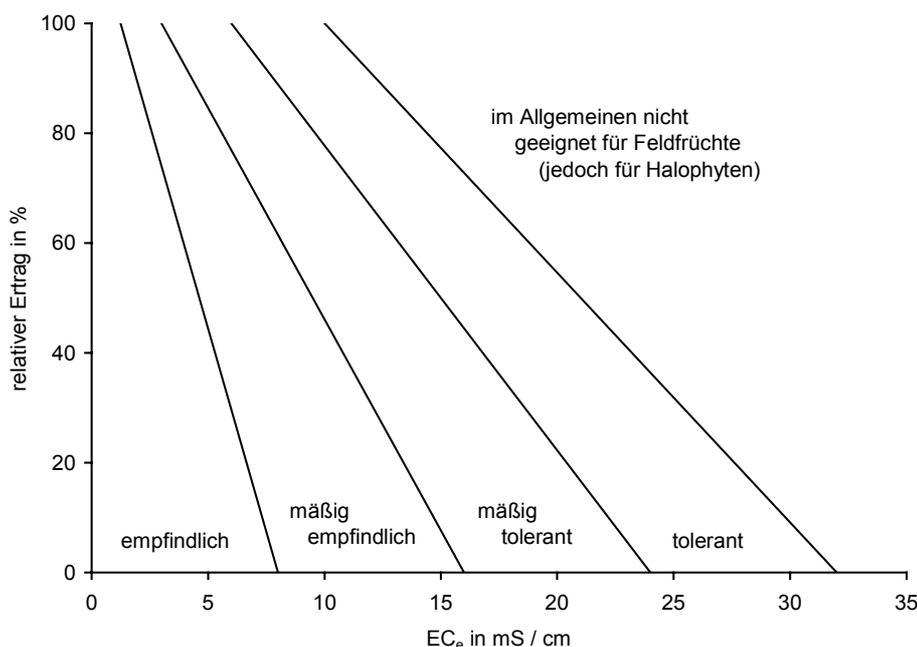


Abb. 6: Verhältnis zwischen dem EC_e und den Ernteerträgen von Feldfrüchten

Quelle: BRESLER, MCNEAL und CARTER 1982, 173 ff.

Empfindliche Feldfrüchte – Apfel, Avocado, Birne, Bohne, Karotte, versch. Steinfrüchte, Zitrone, Zwiebel u.a.

Mäßig empfindliche Feldfrüchte – Alfalfa, Erdnuss, Kartoffel, Klee, Mais, Reis, Tomate, Traube u.a.

Mäßig tolerante Feldfrüchte – versch. *Agropyron*-Arten, Hafer, Olive, Sojabohne, Weizen u.a.

Tolerante Feldfrüchte – versch. *Agropyron*-Arten, Baumwolle, Dattel, Gerste, Zuckerrübe, u.a.

Der Toleranzbereich verschiedener Feldfrüchte gegenüber einem hohen Anteil an austauschbarem Natrium (gemessen als ESP) bei Nichtsalzböden ist der Tab. 2 zu entnehmen.

Tab. 2: Toleranz verschiedener Feldfrüchte gegenüber einem hohen Anteil an austauschbarem Natrium (gemessen als ESP) bei Nichtsalzböden

ESP	Bezeichnung der Toleranz	Beispiele für Feldfrüchte
2 - 10	extrem empfindlich	Avocado, Zitrusfrüchte, versch. Apfel- und Steinfrüchte, Nuss
10 - 20	empfindlich	Bohne
20 - 40	mäßig tolerant	Klee, Hafer, Reis
40 - 60	tolerant	Alfalfa, Baumwolle, Gerste, Rüben, Tomate, Weizen
> 60	sehr tolerant	verschiedene <i>Agropyron</i> -Arten („wheatgrass“)

Quelle: BRESLER, MCNEAL und CARTER 1982, 180

Die Tab. 3 zeigt den Toleranzbereich verschiedener Feldfrüchte gegenüber einem hohen Borgehalt im Sättigungsextrakt.

Tab. 3: Toleranz verschiedener Feldfrüchte gegenüber einem hohen Borgehalt im Sättigungsextrakt

Bor im Sättigungsextrakt in mg/l	Bezeichnung der Toleranz	Beispiele für Feldfrüchte (Empfindlichkeit nimmt nach rechts ab)
0,3 - 1,0	empfindlich	Zitrone, Avocado, versch. Steinfrüchte, Orange, Traube, Birne, Apfel, Wallnuss
1,0 - 2,0	semitolerant	Hafer, Mais, Weizen, Gerste, Olive, Tomate, Baumwolle, Kartoffel, Sonnenblume
2,0 - 4,0	tolerant	Karotte, versch. Kohlarten, Zwiebel, Alfalfa, versch. Rübenarten, Dattel

Quelle: Bresler, McNeal und Carter 1982, 181

Neben den oben geschilderten osmotischen und spezifischen Ioneneffekten hoher Salzgehalte auf die Pflanzen, haben hohe Natriumgehalte in Nichtsalz-Alkaliböden einen sekundären Effekt über den Boden auf das Pflanzenwachstum. Bei hohen Tongehalten von Nichtsalz-Alkaliböden bewirken, die in Abschnitt 2.1 beschriebenen Prozesse Probleme bei der Infiltration von Wasser, der Belüftung und der Durchwurzelung.

Nach SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL (1998, 390) liegt bei kiesig-steinigen Böden ab 15 % Kalk, bei feinkörnigen Böden ab etwa 40 % Kalkanteil ein verfestigtes Kittgefüge vor, so dass sich auch hohe Calciumcarbonat-Anteile durch die Herabsetzung der Durchwurzelbarkeit des Bodens negativ auswirken.

Die den Pflanzenwuchs beeinflussenden Parameter übersteigen bei den untersuchten Salzböden im Raum Huachacalla meist um ein Vielfaches die o.g. Grenzwerte für den Anbau von Feldfrüchten.

2.5 Melioration von Salz- und Natriumböden

BRESLER, MCNEAL und CARTER (1982, 1993) geben folgende Faktoren an, die einer „reclamation of saline soils“ durch Auswaschen der löslichen Salze aus dem Wurzelraum der Pflanzen entgegenstehen: a) eine unzureichende Drainage aufgrund von hoch anstehendem Grundwasser, eine geringe hydraulische Leitfähigkeit des Bodens bzw. einzelner Bodenschichten oder beides, b) eine unzureichende Versorgung mit „good-quality leaching water“ und c) hohe Wasserkosten.

Bei Salznatrium- und Natriumböden sind zusätzlich die Kosten und die Verfügbarkeit einer Ca^{2+} -Quelle (z.B. Gips), die benötigt wird, um das adsorbierte Natrium auszutauschen, sowie die Probleme das Calcium in den Boden einzuarbeiten, zu berücksichtigen. Die Dispergierung und Verschlammung des Ton in natriumbeeinflussten Böden durch die Auswaschung lässt sich außer durch Einarbeitung von Gips auch durch das Auswaschen des Natriums mit Salzwasser verhindern, das sehr hohe Gehalte Ca^{2+} und Mg^{2+} besitzt; auf diese Weise wird vor der Auswaschung mit salzarmen Wasser ein Salznatrium- oder Natriumboden in einen Salzboden überführt. Bei Vorhandensein von Kalk im Boden, kann dieser durch die Reaktion mit z.B. Schwefelsäure das für den Austausch von Na^+ notwendige Ca^{2+} bereitstellen.

Die unzureichende Drainage, der Mangel an salzarmen Wasser und die Tatsache, dass es sich bei den Salzböden im Raum Huachacalla überwiegend um Salznatriumböden handelt, sprechen gegen den Versuch einer Melioration der Salzböden im Raum Huachacalla. Zudem stehen im Bereich der Cerros hinreichend Flächen zur Verfügung, die seit Jahrzehnten (wegen Wassermangels) nicht ackerbaulich genutzt werden. Zudem wird die Halophytenvegetation der grundwasser- und salzbeeinflussten Flächen weidewirtschaftlich, als Schaf- und Lama-/Alpakaweide, genutzt.

3 Methodik

3.1 Geländearbeiten

3.1.1 Allgemeines

Da angenommen wird (s. Abschn. 1.3), dass die Salze durch den Wechsel von Trockenzeit und Regenzeit im Jahresverlauf ihre Lage im Bodenprofil ändern, wurden die Geländearbeiten am Ende der Trockenzeit im September/Oktober 1996 und in der Mitte der Regenzeit im Januar/Februar 1997 durchgeführt. Aus organisatorischen Gründen (dienstliche Verpflichtungen) war es der Verfasserin nicht möglich die Untersuchungen 1997 gegen Ende der Regenzeit durchzuführen, so dass zur Zeit der Aufnahme und Probenentnahme u.a. die maximale Durchfeuchtung des Bodens und der höchste Stand des Grundwassers in dieser Saison noch nicht erreicht waren. Hinsichtlich der sehr stark grundwasserbeeinflussten Standorte in der Ebene erwies sich dieses jedoch als Vorteil, da die außergewöhnlich hohen Niederschläge in dieser Regenzeit („El Niño-Jahr“) eine Überschwemmung weiter Bereiche in der Ebene zur Folge hatten. Das Dorf Santa Ana de Chipaya in Südosten von Huachacalla musste nach mündlichen Auskünften aufgrund der Überschwemmungen evakuiert werden.

Die Erfassung von Boden und Vegetation wurde an ausgewählten Standorten vorgenommen. Die Untersuchung der Standorte im Gelände umfasste eine Aufnahme der Lageparameter, eine Aufnahme des Bodenprofils, eine Entnahme von Bodenproben und ggf. Grundwasserproben für Laboruntersuchungen sowie eine Kartierung der Vegetation. Zusätzlich wurden Oberflächenwasserproben aus regenzeitlichen Wasseransammlungen, die keine Verbindung zum Grundwasser haben, und aus dem Río Lauca und Río Sabaya entnommen; außerdem wurde eine Wasserprobe des Leitungswassers in Huachacalla in der Trockenzeit genommen.

Die Vegetation wurde entlang der Straße Nr. 106 (auf der Karte 1 in der Anlage span. Carretera No. 601) im Untersuchungsgebiet flächendeckend kartiert (mit Ausnahme der Vegetation der Gebirge).

Für die Kartierung im Gelände wurde ein Standortaufnahmeformular in Anlehnung an das „Handbuch und Kartieranleitung Geoökologische Karte 1:25.000“ (LESER und KLINK 1988, 308 ff.) und die „Bodenkundliche Kartieranleitung“ (AG BODEN 1994, 47) entworfen.

3.1.2 Auswahl der Standorte

Die Auswahl der Standorte erfolgte nach dem Catena-Prinzip. Die ungefähre Lage der Standorte wurde vorab unter Berücksichtigung der Erreichbarkeit mit Hilfe der Topographischen Karten und Luftbilder (s.o.) festgelegt. D.h. die Lage der Catenen orientiert sich an der Zugänglichkeit mit dem Auto. Aufgrund der benötigten Geräte und des hohen Gewichts der entnommenen Bodenproben wurden weitere Fußwege vermieden. Die genaue Lage der Standorte wurde vor Ort bestimmt. Hierbei wurde die Lage der Schürfguben der Abfolge der Vegetationseinheiten im Relief angepasst, da die Vegetation als Gesamtausdruck der Geofaktoren Relief, Boden, Bodenwasser, Oberflächenwasser, Ausgangsgestein, (Meso-)Klima und anthropo(zoo)gene Einflüsse gilt (vgl. LESER UND KLINK 1988). Hierbei wurden die Schürfguben in homogenen Flächen angelegt, d.h. in Flächen, die eine einheitliche Vegetation und erkennbare Bodenmerkmale aufweisen.

Zur Beantwortung der Frage nach der Regelmäßigkeit der räumlichen Abfolge der Boden- und Vegetationseinheiten im Relief wurden beim Geländeaufenthalt in der Trockenzeit (Anfang September bis Mitte Oktober 1996) insgesamt 16 Standorte untersucht und beim Aufenthalt in der Regenzeit (Anfang Januar bis Mitte Februar 1997) die 16 bereits in der Trockenzeit erfassten Standorte sowie 19 weitere Standorte, die z.T. die vorhandenen Catenen erweitern, z.T. neue Catenen bilden. Die Catenen umfassen Standorte im Bereich der Hänge der Gebirge (Cerros), des Hangfußes, der äolisch geprägten Alluvialebene sowie der ganzjährig grundwasserbeeinflussten Tiefenbereiche der Ebene.

Um eine Aussage bezüglich der Regelmäßigkeit der Änderung der Parameter, insbesondere des Versalzungsgrades des Bodens im Vergleich zwischen Trockenzeit und Regenzeit an einem Standort zu machen, wurden die bereits in der Trockenzeit aufgenommenen Standorte noch einmal in der Regenzeit erfasst (s.o.). Hierzu wurde an den Standorten, die in der Trockenzeit erhöhte Salzgehalte aufwiesen, noch einmal eine Schürfgrube in der Regenzeit aufgedigelt. Diese wurde in 1 bis 3 m Abstand von der in der Trockenzeit angelegten und zugeschütteten Grube aufgedigelt, da in der unmittelbaren Umgebung der Grube die natürlichen Verhältnisse, insbesondere der Bodenwasserhaushalt gestört sind.

Standorte, die in der Trockenzeit in keinem Bodenhorizont erhöhte Salzkonzentrationen aufwiesen, wurden in der Regenzeit nur durch Oberflächenschürfe erfasst, die z.T. durch Pürckhauer-Bohrungen ergänzt wurden. Hierbei wurden nur geringere Bodenmengen für Laboranalysen von etwa 100 bis 200 g entnommen.

3.1.3 Aufnahme der Titeldaten und Aufnahmesituation

In das Standortaufnahmeformular wurden folgende **Titeldaten** eingetragen: die Aufnahmezeit als Kürzel TZ (Trockenzeit) bzw. RZ (Regenzeit), die Nummer des Standorts (die aktuellen Nummern entsprechen nicht den im Gelände vergebenen Nummern), das Datum der Aufnahme, die Nummer der Topographischen Karte 1:50.000 (TK 50), die Nummer des Luftbilds (KUCERA 1963), die UTM-Koordinaten und die Höhe über Meeresniveau (M.) in Metern. Die Höhe des Standortes in m ü. M. wurde der TK 50 entnommen, da die mit dem Altimeter gemessenen Höhenangaben aufgrund tageszyklischer Luftdruckschwankungen zu ungenau waren.

Die **Aufnahmesituation** des Standortes umfasst reliefbezogene Daten, Hinweise auf Bodenabtrag bzw. Bodenauftrag (u.a. Dünen), an der Bodenoberfläche sichtbare Merkmale für Bodenversalzung (Salzausscheidungen), die (aktuelle) Bodennutzung und anthropogene Veränderungen.

Die **Neigung** (Inklination) am Aufnahmepunkt wurde in Altgrad mit einem Klinometer bestimmt. Die Neigungsrichtung (**Exposition**) wurde mit einem Kompass gemessen und als Kurzzeichen nach einer Windrose mit 8 Kreissegmenten sowie als Gradzahl in das Standortaufnahmeformular eingetragen. Als weitere reliefbezogene Parameter wurden die **Wölbung** und der **Reliefformtyp** eingetragen. Die Wölbung des Reliefs am Aufnahmepunkt wird durch die Wölbungsrichtung (vertikal, horizontal) und die Wölbungstendenz (konvex, gestreckt, konkav) gekennzeichnet. Der Reliefformtyp (Kulminationsbereich, Tiefenbereich, Hang) beschreibt die Fläche um den Aufnahmepunkt.

Die Erfassung der Aufnahmesituation erfolgte nach der „Bodenkundlichen Kartieranleitung“ (AG BODEN 1994, S. 56 ff).

3.1.4 Aufnahme der Bodenparameter und Entnahme der Boden- und Grundwasserproben

Die im Untersuchungsgebiet angelegten Bodengruben haben Tiefen zwischen 20 und 150 cm. Die Tiefe der an den Gebirgshängen (Cerros) angelegten Schürfgruben ist, bedingt durch oberflächennah anstehendes Festgestein, mit 20 bis 80 cm relativ gering. Bei hoch anstehendem Grundwasser in den Tiefenbereichen der Alluvialebene, empfahl es sich nicht tiefer als bis zum Grundwasserniveau zu graben, da sich andernfalls die Bodengrube relativ schnell mit Wasser füllt und eine Aufnahme des Bodenprofils und eine Entnahme der Bodenproben be- bzw. verhindert. Die Bodengruben in der Ebene wurden so angelegt, dass zur Zeit der Fertigstellung die Profilwand von der Sonne beleuchtet wurde. Dies erleichterte die Aufnahme der Daten des Bodenprofils und der Fotografien. Bei größeren Hangneigungen wurde von diesem Verfahren aus technischen Gründen abgegangen. Fotografien wurden von dem Bodenprofil, von einzelnen Horizonten sowie von der Lage des Standortes im Gelände aufgenommen.

Eine exakte Bezeichnung der ausgeschiedenen **Bodenhorizonte** erfolgte nach Abschluss der Laborarbeiten nach den „Keys to Soil Taxonomy“, herausgegeben von der SOIL SURVEY STAFF (1998, 311 ff.) des United States Department of Agriculture (USDA). Die Haupthorizontbezeichnungen O, A, E, B, C und R entsprechen bis auf R für "Hard Bedrock" (anstehendes Festgestein) und W für "Water" (wasserführenden Horizont) der Nomenklatur nach AG BODEN (1994, 79 ff.) und wurden bereits im Gelände vergeben. Die genetischen Bodenhorizonte und Bodenschichten der Soil Taxonomy entsprechen nicht den diagnostischen Horizonten der Soil Taxonomy, die zur Klassifizierung der Böden ausgeschieden werden (SOIL SURVEY STAFF 1998, 311). Beispiel: Ein genetischer Bodenhorizont bzw. eine Bodenschicht bekommt das Suffixsymbol z, wenn dieser bzw. diese eine Akkumulation von Salz löslicher als Gips zeigt. Akkumulation heißt hier (SOIL SURVEY STAFF 1998, 312 f.), dass der Horizont mehr Salz enthält als das Ausgangsmaterial. Der diagnostische Horizont „Salic horizon“ hingegen muss mindestens 15 cm mächtig sein und an mindestens 90 aufeinanderfolgenden Tagen in einem normalen Jahr eine elektrische Leitfähigkeit der gesättigten Bodenpaste (EC_s) von 30 mS/cm und ein Produkt der Mächtigkeit des Horizontes in cm und der EC_s in mS/cm vom mindestens 900 haben (SOIL SURVEY STAFF 1998, 21 und SOIL SURVEY STAFF 1999, 49) (vgl. Abschnitt 2.1).

Die Aufnahme der anderen Bodenparameter im Gelände erfolgte nach der „Bodenkundlichen Kartieranleitung“ (AG BODEN 1994): die **Bodenfarbe** (beschreibend, da die MUNSELL Soil Color Charts im Gelände nicht zur Verfügung standen), **Hydromorphie**merkmale wie Rostflecken und nassgebleichte Bereiche, die **Bodenart des Feinbodens** (Fingerprobe) (Tab. 11, Abschnitt 3.2.1), der geschätzte **Anteil des Grobbodens** (Skelettanteil) (Tab. 9, Abschnitt 3.2.1), das **Bodengefüge** als Grundgefüge (Einzelkorngefüge, Kittgefüge, Kohärentgefüge) bzw. als Aggregatgefüge (z.B. Krümelgefüge, Subpolyedergefüge), der geschätzte **Verfestigungsgrad** (Tab. 4), die geschätzte **Lagerungsdichte** (Tab. 5), die geschätzte **Bodenfeuchte** (Tab. 6) und die **Durchwurzelungsintensität** (Tab. 7), die Ausbildung der **Horizontuntergrenze** (diffus, deutlich, scharf), der **Humusgehalt** (Schätzung über Konsistenz und Farbe) (Tab. 15, Abschnitt 3.2.3) und der **Carbonatgehalt** (Test mit 10 % HCl) (Tab. 14, Abschnitt 3.2.3) der Bodenhorizonte.

Tab. 4: Schätzung des Verfestigungsgrades des Bodens im Gelände

Verhalten des Bodenmonolithen bei der Fallprobe	Bezeichnung in Profilbeschreibung
lose Einzelkörner in natürlicher Lagerung	nicht verfestigt
zerfällt schon bei der Entnahme	sehr schwach verfestigt
zerfällt beim Aufprall in zahlreiche Bruchstücke oder seine Einzelteile	schwach verfestigt
zerfällt beim Aufprall in wenige Bruchstücke, die von Hand weiter aufgeteilt werden können	mittel verfestigt
zerfällt beim Aufprall in wenige Bruchstücke, die von Hand nicht oder nur schwer aufgeteilt werden können	stark verfestigt
zerfällt beim Aufprall nicht oder kaum	sehr stark verfestigt

Quelle: AG BODEN 1994, 122, ergänzt

Tab. 5: Schätzung der effektiven Lagerungsdichte nach der Gefügeausbildung und dem Verfestigungsgrad im Gelände

Grundgefüge	Verfestigungsgrad	Aggregatgefüge	Größe in mm	g / cm ³	Bezeichnung in Profilbeschreibung
Einzelkorn Kohärent	sehr schwach sehr schwach bis schwach	- - Krümel Polyeder Fragmente	- - < 2 < 5 < 20	< 1,4	sehr geringe Lagerungsdichte
Einzelkorn Kohärent - - Riss	schwach schwach - - stark	- - Subpolyeder Polyeder Prismen Fragmente	- - 2 - 20 2 - 20 2 - 20 5 - 50	1,4 - 1,6	geringe Lagerungsdichte
Kohärent Einzelkorn/Kitt - Riss Riss -	mittel mittel - mittel bis stark mittel bis stark	- - Subpolyederfragm. Prismen Polyederfragm. Plattenfragm. Fragmente	- - 20 - 50 20 - 50 20 - 50 5 - 20 2 - 20	1,6 - 1,8	mittlere Lagerungsdichte
Kitt Riss Riss Kohärent	stark mittel mittel stark	- Prismen Polyederfragm. Platten -	- > 50 > 50 < 20 -	1,8 - 2,0	hohe Lagerungsdichte
Kitt Riss Säulen -	sehr stark schwach schwach	- Prismenfragm. - Platten	- > 50 - > 5	> 2,0	sehr hohe Lagerungsdichte

Quelle: AG Boden 1994, 126, vereinfacht

Tab. 6: Merkmale zur Schätzung des Bodenfeuchtezustandes nicht bindiger Böden (< 17 % Ton) bei geringer und mittlerer effektiver Lagerungsdichte im Gelände

Bodenmerkmale	Ungefährer pF-Bereich	Bezeichnung in Profilbeschreibung
helle Bodenfarbe, dunkelt bei Wasserzugabe stark nach, staubig	> 4	trocken
Bodenfarbe dunkelt bei Wasserzugabe noch etwas nach	4,0 - 2,7	schwach feucht
Finger werden etwas feucht, auch durch klopfen am Bohrer kein Wasseraustritt aus den Poren, dunkelt bei Wasserzugabe nicht nach	2,7 - 2,1	feucht
Finger werden deutlich feucht, durch Klopfen wahrnehmbarer Wasseraustritt	2,1 - 1,4	stark feucht
durch Klopfen deutlicher Wasseraustritt, Probe zerfließt, oft Kernverlust	> 1,4	nass
Kernverlust	0	stark nass

Quelle: AG BODEN 1994, 114

Tab. 7: Klassen der Durchwurzelungsintensität und Faktoren zur Berechnung des gewichteten Mittels (unter Berücksichtigung der Durchwurzelungsintensität und der Mächtigkeit der Horizonte) von Bodenparametern im Wurzelraum

Feinwurzeln / dm ²	Faktor	Bezeichnung in Profilbeschreibung
0	0	nicht durchwurzelt
1 - 2	1	sehr schwach durchwurzelt
3 - 5	2	schwach durchwurzelt
6 - 10	4	mittel durchwurzelt
11 - 20	8	stark durchwurzelt
21 - 50	20	sehr stark durchwurzelt
> 50	40	extrem stark durchwurzelt

Quelle: AG BODEN 1994, 130, Faktor eigene Entwicklung

Die Ergebnisse der im Gelände aufgenommenen Bodenparameter wurden z.T. durch die Ergebnisse von Laboranalysen der entnommenen Bodenproben ersetzt (Bodenart, Humus- und Carbonatgehalt) bzw. korrigiert (Skelettgehalt, s.u.).

Je Bodenhorizont wurde eine **Bodenprobe** aus dem gesamten Horizont unter Aussparung der Übergangsbereiche (vertikale Schlitzprobe) von etwa 600-800 g in 500 ml PE-Dosen für die Analysen im Labor entnommen. Wurde bei der Probennahme Skelett (Grobboden) aussortiert, so wurde der Anteil abgeschätzt und bei der nachfolgenden Bestimmung des Grobbodens im Labor berücksichtigt.

Für die Bestimmung des Wassergehaltes, des Porenvolumens und der Lagerungsdichte im Labor wurden in der Regenzeit zusätzlich **ungestörte Proben** mit Hilfe von 100 qcm fassenden **Stechzylindern** entnommen, insofern dies die Beschaffenheit des Bodens der Horizonte zuließ. Die Proben wurden luftdicht verpackt und in Düsseldorf eingefroren, um einen Wasserverlust bzw. das Schimmeln der Proben vor der Analyse im Labor zu vermeiden. Der Versuch, in der Trockenzeit ungestörte Bodenproben zu entnehmen, scheiterte sehr häufig an dem Einzelkorn- bzw. Kittgefü-

ge der Horizonte, so dass in der Trockenzeit auf die Entnahme von ungestörten Bodenproben vollständig verzichtet wurde bzw. die bereits entnommenen Proben verworfen wurden.

Für die Laboranalysen des Oberflächen- und des Grundwassers wurden **Wasserproben** in 200 ml PE-Fläschchen entnommen.

Nach Abschluss der Aufnahmen wurde die Bodengrube wieder zugeschüttet.

3.1.5 Aufnahme der Vegetation

Die Vegetation wurde an allen Standorten sowohl in der Trockenzeit als auch in der Regenzeit vollständig kartiert, da in der Regenzeit zu den perennierenden Arten ephemere in Erscheinung treten. Für die Bestimmung der Arten im Herbarium in La Paz wurde Pflanzenmaterial entnommen und getrocknet. Zusätzlich wurden die zu bestimmenden Pflanzen, mit Nummern gekennzeichnet, fotografisch aufgenommen. Erfasst wurden die Pflanzenarten, die durchschnittliche Höhe der Art im Bestand, die Zugehörigkeit zu einer Vegetationsschicht, die Deckung der Art, die Deckung der Schichten und die Gesamtdeckung der Vegetation. Folgende Schichten bzw. Lebensformen wurden unterschieden: Strauchschicht, Krautschicht I (hohe krautige Pflanzen), Krautschicht II (niedrige krautige Pflanzen), Cactaceen, Polsterpflanzen. Moose und Flechten wurden zwar an den Gebirgsstandorten vorgefunden, jedoch nicht vollständig kartiert. Die Bestimmung der Deckungsgrade der Vegetation (Tab. 8) erfolgte nach den Klassen von KNAPP (1971, 34). Diese Klassifikation geht im Wesentlichen auf BRAUN-BLANQUET (1964, 39) zurück.

Tab. 8: Klassen der Deckungsgrade der Arten, der Vegetationsschichten und des gesamten Vegetationsbestandes

Zeichen	Deckungsgrad
r	nur ganz wenige Individuen (1-5 Stück) mit sehr geringen Deckungsanteilen
+	wenig vorhanden; Deckungsanteile gering; gesprochen „Kreuz“
1	reichlich vorhanden, jedoch weniger als 5 % der Aufnahme­fläche deckend
2	5 bis 25 % der Aufnahme­fläche deckend, z.T. auch sehr zahlreiche Individuen, aber weniger als 5 % der Aufnahme­fläche deckend
3	25 bis 50 % der Aufnahme­fläche deckend
4	50 bis 75 % der Aufnahme­fläche deckend
5	75 bis 100 % der Aufnahme­fläche deckend

Quelle: KNAPP 1971, 34

Die Bestimmung der Pflanzen erfolgte im Herbarium des Instituto de Ecología der UMSA (Universidad Mayor de San Andrés) in La Paz durch die Biologinnen ROSA ISELA MENESES und JASIVIA GONZALES ROCABADO. Anhand von Fotografien der Pflanzen und des Herbarmaterials hat Frau Prof. Dr. RUTHSATZ aus Trier eine Kontrolle der Bestimmung vorgenommen. Die Pflanzen konnten in der Regel bis zur Art, z.T. nur bis zur Gattung oder Familie bestimmt werden.

3.2 Laboranalysen

Alle Laboranalysen der im Gelände entnommenen Boden- sowie Grund- und Oberflächenwasserproben wurden im Labor des Geographischen Instituts der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf durchgeführt.

Bei einigen zeitaufwendigen Laboranalysen wurden nicht alle 316 Bodenproben (20 Proben davon sind 0,5 bis 2 cm mächtige Carbonatkrusten) untersucht, sondern ein nach sachlichen Erfordernissen (Catenezugehörigkeit eines Standorts; Entnahmezeit, d.h. Trockenzeit oder Regenzeit; Versalzungsgrad des Standortes; Abhängigkeit des zu untersuchenden Parameters von anderen Parametern) ausgewählter Teil der Proben. Für alle Laboranalysen (mit Ausnahme der Bestimmung des Anteils des Grobbodens sowie der Analyse der ungestörten Bodenproben) wurde vorschriftsmäßig Feinboden (< 2 mm) verwandt. Die Prozentangaben sind, insofern keine anderen Angaben gemacht werden Gewichtsprozent.

3.2.1 Bestimmung der physikalischen Bodenparameter Anteil des Grobbodens, Bodenart des Feinbodens, Lagerungsdichte, Porenvolumen und Wassergehalt

Der Grobboden wurde durch Siebung der lufttrockenen Bodenproben mit einem 2-mm-Sieb vom Feinboden getrennt und die Fraktionen gewogen. Der **Anteil des Grobbodens** am Gesamtboden in Masseprozenten wurde unter Berücksichtigung des im Gelände aussortierten Grobbodens, dessen Anteil in Volumenprozent geschätzt wurde, berechnet und nach AG BODEN (1994, 141) klassifiziert, da zur Zeit der Geländearbeiten das "Soil Survey Manual" (SOIL SURVEY DIVISION STAFF 1993, 141 ff.) für die Klassifikation des Grobbodenanteils nach USDA nicht zur Verfügung stand. Die Gemengeanteilsklassen des Grobbodens zeigt Tab. 9.

Tab. 9: Gemengeanteilsklassen des Grobbodens

Gemengeanteil in Vol.-%	Gemengeanteil in Masse-%	Bezeichnung in Profilbeschreibung
< 2	< 3	sehr geringer Grobbodenanteil
2 - 10	3 - 15	geringer Grobbodenanteil
10 - 25	15 - 40	mittlerer Grobbodenanteil
25 - 50	40 - 60	hoher Grobbodenanteil
50 - 75	60 - 85	sehr hoher Grobbodenanteil
> 75	> 85	extrem hoher Grobbodenanteil

Quelle: AG BODEN 1994, 141

Für 185 ausgewählte Bodenproben wurde eine **Korngrößenanalyse des Feinbodens** mit dem kombinierten Pipett- und Siebverfahren nach KÖHN (u.a. KRETZSCHMAR 1989, 230 ff.) gemäß USDA-Korngrößenklassifikation (SOIL SURVEY DIVISION STAFF 1993, 136 ff.) durchgeführt. Hierbei werden eine Schluff- und eine Tonfraktion durch Pipettierung und fünf Sandfraktionen durch Nasssiebung ermittelt. Die Äquivalentdurchmesser der Korn-Fraktionen nach USDA zeigt Tab. 10. Die Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung nach USDA im Rahmen der Arbeit gewährleistet einen Vergleich mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen in diesem Raum.

Tab. 10: Kornfraktionen des Feinbodens (< 2 mm) nach USDA

Sand					Schluff U	Ton T
grobst ggS	grob gS	mittel mS	fein fS	feinst ffS		
2,0	1,0	0,5	0,25	0,1	0,05	0,002

Logarithmische Skala in mm

Quelle: SOIL SURVEY DIVISION STAFF 1993, 135

Eine Zerstörung der organischen Substanz erfolgte wie bei KRETZSCHMAR (1989, 230 ff.) beschrieben mit Wasserstoffperoxid (H_2O_2); der "Salzfehler" wurde rechnerisch korrigiert. Auf die Zerstörung der Carbonate mit Salzsäure musste verzichtet werden, da es bei den Proben, die mit HCl behandelt wurden, nach der Dispergierung innerhalb von wenigen Minuten zum Ausflocken und Absinken der feinen Bodenteilchen kam. Dieser Vorgang ist höchstwahrscheinlich auf die hohe Konzentration von Ca^{2+} -Ionen (freigesetzt durch die Zerstörung des $CaCO_3$ mit HCl) in der Bodensuspension (hohe Gesamtsalzkonzentration) zurückzuführen (vgl. Abschnitt 2.1).

Die Bestimmung der **Bodenart des Feinbodens** erfolgte nach Tab. 11. Diese gibt die Korngrößenzusammensetzung der „texture classes“ und „subclasses“ nach dem „Soil Survey Manual“ (SOIL SURVEY DIVISION STAFF 1993, 136 ff.) wieder, in dem die Information in Form eines Korngrößendreiecks und von Text veröffentlicht ist.

Die Hauptbodenart reiner Sand ist z.B. durch mehr als 85 % Sand sowie durch einen Prozentsatz von kleiner 15, errechnet aus dem einfachen Prozentsatz von Schluff plus dem 1,5-fachen Prozentsatz von Ton, charakterisiert. Drei der insgesamt 12 Bodenarten-(Haupt)klassen („texture classes“) sind jeweils in vier Bodenarten-Unterklassen („subclasses“) gegliedert. Dies sind die Bodenarten-Hauptklassen Sand (S), lehmiger Sand (IS) und sandiger Lehm (sL). Die Kürzel (in Anlehnung an AG BODEN) und die Nummerierung der Bodenartenklassen wurden von der Verfasserin der vorliegenden Arbeit hinzugefügt und dienen u.a. der Umsetzung der Analyseergebnisse in Excel-Graphiken. Die 12 Bodenarten-Hauptklassen der USDA wurden durch die Klasse 13 (Kruste) von der Verfasserin ergänzt. Hierbei handelt es sich um 0,5 bis 2 cm mächtige Carbonatkrusten, die z.T. wasserundurchlässiger als reiner Ton (Klasse 12) sind.

Die Bestimmung der Bodenart der nicht nach KÖHN analysierten 131 Bodenproben erfolgte über Fingerprobe und Aufschwemmen der Bodenproben, wobei die nach KÖHN analysierten Bodenproben als „optische Eichung“ dienten.

Für die Bodenhorizonte, für die Stechzylinderproben (79 Proben) entnommen wurden, wurde die Bestimmung der **Lagerungsdichte** in g/cm^3 (vgl. Tab. 5, Abschnitt 3.1.4), des **Porenvolumens** und des **Wassergehaltes** in Volumenprozent nach der Xylolmethode, wie bei SCHLICHTING, BLUME und STAHR (1995, 96 ff.) beschrieben, durchgeführt. Die für alle Bodenhorizonte im Gelände nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung der AG BODEN geschätzte Lagerungsdichte und Bodenfeuchte (s.o.) wurde anhand der Laboranalyseergebnisse korrigiert. Über den absoluten Wassergehalt in Vol.-%, die Bodenart und die Lagerungsdichte bzw. das Porenvolumen ist eine ungefähre Bestimmung des Bodenfeuchtezustandes (Wasserspannung; pF-Wert) möglich (vgl. Abschnitt 2.3). Bei der Beurteilung des Wassergehaltes ist zu berücksichtigen, dass es sich um eine "Momentaufnahme", d.h. um den Wassergehalt zur Zeit der Probenentnahme handelt.

Tab. 11: Korngrößenzusammensetzung der Bodenartenklassen nach USDA

Ziffer	Texture Classes and Subclasses	Bodenart dt. Übersetzung	Kürzel	Anteile der Kornfraktionen					U	T
				ggS	gS	mS	fS	ffS		
1	Sands	Sand	S	> 85 %					U + 1,5 · T < 15 %	
0,8	Coarse sand	Grobsand	gS	> 25 %	< 50 %	< 50 %	< 50 %			
1	Sand	Sand	S	> 25 %		< 50 %	< 50 %	und		
				< 25 %						
1,2	Fine sand	Feinsand	fS			> 50 %	oder			
				< 25 %				< 50 %		
1,4	Very fine sand	Feinstsand	ffS					> 50 %		
2	Loamy sands	lehmiger Sand	I S	70 - 91 %					U + 1,5 · T > 15 % und	
									U + 2 · T < 30 %	
1,8	Loamy coarse sand	lehmiger Grobsand	I gS	> 25 %	< 50 %	< 50 %	< 50 %			
2	Loamy sand	lehmiger Sand	I S	> 25 %		< 50 %	< 50 %	und		
				< 25 %						
2,2	Loamy fine sand	lehmiger Feinsand	I fS			> 50 %	oder			
				< 25 %				< 50 %		
2,4	Loamy very fine sand	lehmiger Feinstsand	I ffS					> 50 %		
3	Sandy loams	sandiger Lehm	s L	> 52 %					7 - 20 % und	
									U + 2 · T > 30 %	
				> 43 %					< 50 %	< 7 %
2,8	Coarse sandy loam	grobsandiger Lehm	g s L	> 25 %	< 50 %	< 50 %	< 50 %			
3	Sandy loam	sandiger Lehm	s L	> 30 %				und		
				< 25 %	< 30 %	< 30 %	oder			
				< 15 %		< 30 %	< 30 %	und		
						< 40 %				
3,2	Fine sandy loam	feinsandiger Lehm	fs L			> 30 %	< 30 %	oder		
				15 - 30 %				oder		
				< 15 %		> 40 %		und		
						> 20 %				
3,4	Very fine sandy loam	feinstsandiger Lehm	ffs L	< 15 %				> 30 %	oder	
				< 15 %		> 40 %		und		
						> 20 %				
4	Loam	Lehm	L	< 52 %					28 - 50 %	7 - 27 %
5	Silt loam	Schlufflehm	U L						> 50 %	12 - 27 %
									50 - 80 %	< 12 %
6	Silt	Schluff	U						> 80 %	< 12 %
7	Sandy clay loam	sandiger Tonlehm	s T L	> 45 %					< 28 %	20 - 35 %
8	Clay loam	Tonlehm	T L	20 - 46 %					27 - 40 %	
9	Silty clay loam	schluffiger Tonlehm	u T L	< 20 %					27 - 40 %	
10	Sandy clay	sandiger Ton	s T	> 45 %					> 35 %	
11	Silty clay	schluffiger Ton	u T						> 40 %	> 40 %
12	Clay	Ton	T	< 45 %					< 40 %	> 40 %
13		Kruste	K							

Quelle: SOIL SURVEY DIVISION STAFF 1993, 136 ff., eigener Entwurf

3.2.2 Bestimmung der Bodenfarbe nach MUNSELL

Die Bodenfarbe nach MUNSELL (1992) ist für die Bodenklassifikation nach der „Soil Taxonomy“ (SOIL SURVEY STAFF 1999) ein wichtiges Kriterium. Die Angaben der Bodenfarbe in den Bestimmungsschlüsseln beziehen sich z.T. auf trockenen Boden (dry), z.T. auf Boden im feuchten bzw. angefeuchteten Zustand (moist), so dass die Bodenfarbe der Proben in beiden Feuchtezuständen bestimmt wurde. Aus organisatorischen Gründen wurden die Bodenproben zunächst luftgetrocknet und für die Bestimmung der Bodenfarbe wiederbefeuchtet. Durch das Lufttrocknen sind die typischen Farben der Reduktionshorizonte der hydromorphen Böden möglicherweise aufgrund der Oxidation der Eisen- und Manganoxide z.T. verlorengegangen. Eine Bestimmung der Bodenfarben im Gelände war ebenfalls aus organisatorischen Gründen (s.o.) nicht möglich. In den Ergebnistabellen im Anhang werden die Ergebnisse der Farbbestimmung in der Kurzschreibweise, in der Reihenfolge Farbe (Hue), Helligkeit (Value) und Intensität (Chroma), angegeben (MUNSELL 1992, 1 ff.); zudem wird die Farbbezeichnung auf deutsch genannt.

3.2.3 Bestimmung der chemischen Bodenparameter austauschbare Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ , $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$, Salz-, Carbonat-, Humus- und Gipsgehalt

Eine Bestimmung des **prozentualen Wassergehaltes der lufttrockenen Bodenproben** bezogen auf ofentrockenen Boden (105 °C) wurde zum Zweck der rechnerischen Korrektur der Ergebnisse der chemischen Analysen, für die lufttrockener Boden verwendet wurde (austauschbare Kationen, Salz-, Carbonat-, und Gipsgehalt), durchgeführt. Beim pH-Wert ist keine Korrektur notwendig; für die Bestimmung des Humusgehaltes wurden ofentrockene Proben verwendet.

Für 116 in der Regenzeit entnommene Bodenproben nicht versalzter Standorte und Bodenproben ausgewählter versalzter Standorte wurden die **austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+** (austauschbaren Basen) analysiert und in mval pro 100 g (cmol_c/kg) Boden umgerechnet. Bei der angewandten, nachfolgend beschriebenen Methode werden die löslichen Salze „mitanalysiert“. Sind lösliche Salze im größeren Umfange vorhanden, wie bei den Bodenproben der Standorte der grundwasser- und salzbeeinflussten Alluvialebene, so wurden diese durch Subtraktion berücksichtigt.

Der Austausch der Kationen erfolgte nach USDA-Standard wie bei RICHARDS (1954, 100) und THOMAS (1982, 159) beschrieben mit einer auf pH 7 eingestellten 1 N Ammoniumacetat (NH_4OAc)-Lösung. Hierbei wurden je nach zu erwartender Summe der austauschbaren Kationen 1 bis 5 g luftgetrockneter Feinboden zweimal mit 25 ml NH_4OAc versetzt, auf dem Horizontalschüttler 30 min. geschüttelt und der Extrakt durch Zentrifugierung gewonnen. Bei dieser Methode werden Calciumcarbonat (CaCO_3) und Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) z.T. gelöst. Um eine Adsorption der Kationen während der Lagerung bis zur Analyse am Atomabsorptionsspektrophotometer (AAS) an den Wänden der PE-Fläschchen (Glas ist ungeeignet) zu vermeiden, wurden die Extrakte mit Salzsäure (HCl) auf pH 1,1 bis 1,3 angesäuert (WELZ 1997, 531 ff. und GUEST und BLUTSTEIN 1981, 727 ff.). Zur Vermeidung von chemischen Interferenzen durch eine unvollständige Dissoziation der Bestandteile und/oder Ionisierung bei der Analyse der Kationen am AAS wurde den Extrakten eine Cäsiumchlorid-Lanthanchlorid Pufferlösung nach Schinkel zugesetzt (VARIAN 1989, 2 ff. und WELZ 1997, 531 ff.). Das Endvolumen der für die Analyse der ausgetauschten Kationen am AAS (SpektrAA 100 der Fa. Varian) vorbereiteten Extrakte betrug 100 ml. Für die Messung am AAS waren bei einigen Proben Verdünnungen (mit Matrix) notwendig. Die Standards für die Kalib-

rierung des AAS wurden in der selben Matrix angesetzt wie die Proben. Die Resultate wurden in mval des Kations pro 100 g Boden umgerechnet.

Bei Bodenproben mit einem pH-Wert > 7 entspricht die Summe der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ der Kationenaustauschkapazität (KAK). Die Basensättigung in alkalischen Böden entspricht somit 100 %. Unter pH 7 beteiligen sich neben den o.g. Alkali- und Erdalkalitionen zunehmend H^+ -Ionen und unter pH 5 Al^{3+} -Ionen am Kationenbelag. (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1998, 102). Die Analyse der Kationenaustauschkapazität nach RICHARDS (1954, 101) erfordert große Mengen an Ethanol, das in Deutschland sehr teuer ist. Aus diesem Grund und weil die Basensättigung fast aller untersuchten Böden nach dem $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ 80 bis 100 % (AG BODEN 1994, 339) beträgt, wurde auf diese Analyse verzichtet. Die Klassen der Summe der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ (Tab. 12) wurden nach den von CHILON (1996, 243) ausgewiesenen Klassen der Kationenaustauschkapazität von Böden auf dem Altiplano gebildet. Seine Analysen erfolgten ebenfalls nach der von der Verfasserin genutzten Ammoniumacetat-Methode.

Tab. 12: Klassen der Summe der austauschbaren Basen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+)

mval / 100 g Boden	Bezeichnung in Profilbeschreibung
< 5	sehr geringe Summe der austauschbaren Basen
5 - 10	geringe Summe der austauschbaren Basen
10 - 15	mittlere Summe der austauschbaren Basen
15 - 20	hohe Summe der austauschbaren Basen
> 20	sehr hohe Summe der austauschbaren Basen

Quelle: CHILON 1996, 243

In der Quelle beziehen sich die Klassen auf die Kationenaustauschkapazität

Der **pH-Wert** des Bodens wurde in der Bodensuspension einer 0,01 molaren CaCl_2 -Lösung, bei einem Verhältnis von Boden zu Salzlösung von 1:2,5 (g:g) nach einer Stunde Standzeit (mit gelegentlichem Umrühren) elektrometrisch mit einer Glaselektrode (pHScan BNC) auf eine Stelle nach dem Komma gemessen (SCHLICHTING, BLUME und STAHR 1995, 132) und wird nachfolgend als $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ bezeichnet. Analysiert wurden alle Bodenproben. Die in Calciumchlorid gemessenen pH-Werte (von sauren Böden liegen nach SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL (1984, 107) einige Zehntel unter den in Wasser gemessenen pH-Werten, da die Calciumionen der Salzlösung an den Austauschern gebundene H^+ -Ionen verdrängen und diese in die Suspension übergehen. Die Einstufung der Böden nach dem $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ -Wert (Tab. 13) erfolgte nach USDA (SCHOENEGER et al. 1998, 2-64).

Tab. 13: Einstufung der Böden nach dem $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ -Wert (USDA)

$\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$	Bezeichnung in Profilbeschreibung
< 3,5	ultra sauer
3,5 - 4,4	extrem sauer
4,5 - 5,0	sehr stark sauer
5,1 - 5,5	stark sauer
5,6 - 6,0	mäßig sauer
6,1 - 6,5	schwach sauer
6,6 - 7,3	neutral
7,4 - 7,8	schwach alkalisch
7,9 - 8,4	mäßig alkalisch
8,5 - 9,0	stark alkalisch
> 9,0	sehr stark alkalisch

Quelle: SCHOENEGER et al. 1998, 2-64

Die Bestimmung des **Gesamtsalzgehaltes** des Bodens erfolgte über die Messung der elektrischen Leitfähigkeit der 1:5-Bodensuspension (20 g lufttrockener Boden zu 100 ml H_2O) nach zweistündigem Schütteln auf dem Horizontalschüttler bei 25 °C (EC_5) mit dem Leitfähigkeitsmessgerät behrotest LF 86 der Fa. Behr (KRETZSCHMAR 1989, 196, vgl. auch RICHARDS 1954, 88). Dieses Gerät besitzt drei dekadisch gestufte Messbereiche: bis 19,99 mS/cm, bis 1999 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und bis 199,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Die Messgenauigkeit des Gerätes wurde mit KCl-Standardlösungen überprüft (RHOADES und MIYAMOTO 1990, 309). Nach internationaler Konvention entsprechen in 100 ml 1 mS/cm einer Menge von 64 mg Salz. Hieraus lässt sich der prozentuale Salzgehalt des Bodens errechnen. Der berechnete Salzgehalt ist ein Näherungswert, da die verschiedenen Salze unterschiedliche Leitfähigkeiten besitzen. Nach RICHARDS (1954, 157) wird die Leitfähigkeit des 1:5-Bodenextraktes (bzw. der Bodensuspension) als EC_5 (von Electrical Conductivity) abgekürzt. Der Gesamtsalzgehalt über den EC_5 wurde für alle Bodenproben bestimmt. Die von der Verfasserin ausgeschiedenen Klassen des Gesamtsalzgehaltes des Bodens sind der Tabelle 16 (Abschnitt 3.2.4.2) zu entnehmen.

Die Bestimmung des **Carbonatgehaltes** des Bodens erfolgte nach der SCHEIBLER-Methode, wie in KRETZSCHMAR (1989, 442 ff.) beschrieben. Bei dieser Methode werden die Carbonate mit Salzsäure zerstört und das entstehende Kohlendioxid volumetrisch gemessen. Die gemessenen CO_2 -Gehalte wurden auf Calciumcarbonat (CaCO_3) umgerechnet. Da die Molekülmassen von CaCO_3 (100,09) und von Na_2CO_3 (106,00) nur geringfügig voneinander abweichen, ist der durch Unkenntnis der genauen Carbonatzusammensetzung bedingte Fehler akzeptabel. Magnesiumcarbonat (MgCO_3), das eine Molekülmasse von 84,3 besitzt, ist nach FAO (vgl. Tab. 1, Abschnitt 2.3) in Böden sehr selten. SCHLICHTING, BLUME und STAHR (1995, 145 f.) geben als weitere Fehlerquelle bei dieser Methode Sulfide, z.B. Eisensulfid (FeS) an, die bei der Reaktion mit Salzsäure (HCl) Schwefelwasserstoffgas (H_2S) freisetzen, dessen Volumen in der SCHEIBLER-Apparatur mit gemessen wird. Es wurden alle 316 Bodenproben einschließlich der Carbonatkrusten nach dieser

Methode untersucht. Die Klassen des Carbonatgehaltes des Bodens in Gewichtsprozent sind in Tab. 14 aufgeführt.

Eine Kontrolle der Werte erfolgte über die Messung des gesamten Kohlenstoffs TC (Total Carbon) und des gesamten organisch gebundenen Kohlenstoff TOC (Total Organic Carbon): $TC - TOC = TIC$ (Total Inorganic Carbon) (s.u.). Der gesamte anorganisch gebundene Kohlenstoff ist der in Carbonaten und Hydrogencarbonaten gebundene Kohlenstoff. Multipliziert man den TIC mit 8,34 ($100,09 / 12 = 8,34$), so erhält man den Carbonatgehalt. Die Ergebnisse beider Analysen zeigten sehr gute Übereinstimmungen.

Tab. 14 : Klassen des Carbonatgehaltes

Carbonatgehalt in %	Bezeichnung in Profilbeschreibung
0	carbonatfrei
< 0,5	sehr carbonatarm
0,5 - 2	carbonatarm
2 - 4	schwach carbonathaltig
4 - 7	mittel carbonathaltig
7 - 10	stark carbonathaltig
10 - 25	carbonatreich
25 - 50	sehr carbonatreich
> 50	extrem carbonatreich

Quelle: AG BODEN 1994, 110

Der Gehalt des Bodens an **organischer Substanz** wurde über den organischen Kohlenstoffgehalt (C_{org}) bestimmt. Nach SOIL SURVEY DIVISION STAFF (1993, 296) wird der gemessene Gehalt an organischen Kohlenstoff mit 1,72 multipliziert, um den Gehalt an organischer Substanz zu ermitteln, d.h. die organische Substanz besteht im Durchschnitt zu 58 % aus Kohlenstoff. Die Klassen des C_{org} und Humusgehaltes des Bodens (in Masseprozent) gibt die Tab. 15 wieder.

Die Messung des Kohlenstoffs erfolgte mit einem Kohlenstoffanalysegerät der Firma Dimatec (DIMA-1000 HT) über die thermische Zersetzung bzw. Oxidation (Verbrennung im Sauerstoffstrom) der Kohlenstoffverbindungen zu CO_2 und Messung der Absorption von Infrarotstrahlen durch die CO_2 -Moleküle (Infrarot-Spektrometrie) (DIMATEC 1995, 1 ff. und 1996, 1 ff.).

Die Messung des gesamten organischen Kohlenstoffs (Total Organic Carbon, TOC) erfolgte bei 480 °C, da bei dieser Temperatur die organischen Kohlenstoffverbindungen nahezu vollständig oxidiert werden und die Carbonate erst bei deutlich höheren Temperaturen thermisch zersetzt werden. Bei höheren Gehalten an Hydrogencarbonaten (in grundwasserbeeinflussten Böden), die eine Zersetzungstemperatur von weit unter 480 °C haben - die thermische Zersetzung von Natriumhydrogencarbonat erfolgt ab 50 °C - wurde eine Vorbehandlung der Proben mit 10 % Salzsäure und nachfolgende Trocknung bei 105 °C durchgeführt, um den gesamten anorganischen Kohlenstoff (Total Inorganic Carbon, TIC) vor der Analyse im Kohlenstoffanalysegerät zu entfernen. Dieses Verfahren zur Bestimmung des organisch gebundenen Kohlenstoffs wurde von der Verfasserin entwickelt, da das zur Verfügung stehende Kohlenstoffanalysegerät nicht über ein Modul

zur Bestimmung des organischen Kohlenstoffs verfügt. Wegen des hohen Carbonatgehaltes wurde auf die Analyse der Carbonatkrusten verzichtet, da aus den bei der Vorbehandlung mit Salzsäure entstehenden Chloriden (CaCl_2 etc.) bei der Verbrennung Cl_2 freigesetzt wird, das durch teure Chloridadsorber aufgefangen werden muss, damit das Gas das Gerät nicht schädigt.

Zur Kontrolle der Richtigkeit der ermittelten Werte wurde der gesamte Kohlenstoff (Total Carbon, TC), d.h. der organisch und der anorganisch gebundene Kohlenstoff (TOC und TIC) bei 1000 °C im Kohlenstoffanalysegerät gemessen. Bei nach der SCHEIBLER-Methode carbonatfreien Böden, muss der bei 480 °C gemessene C-Gehalt dem bei 1000 °C gemessenem C-Gehalt entsprechen, da $\text{TC} - \text{TOC} = \text{TIC}$. Ebenso muss der nach der SCHEIBLER Methode ermittelte Carbonatgehalt dem, aus der Differenz zwischen TC und TOC, ermittelten Carbonatgehalt in etwa entsprechen (s.o.). Der Vergleich der Ergebnisse ergab eine hohe Messgenauigkeit.

Tab. 15 : Klassen des C_{org} - und Humusgehaltes

C_{org} -Gehalt in %	Humusgehalt in %	Bezeichnung in Profilbeschreibung
0	0	humusfrei
< 0,6	< 1	sehr schwach humos
0,6 - 1,2	1 - 2	schwach humos
1,2 - 2,3	2 - 4	mittel humos
2,3 - 4,7	4 - 8	stark humos
4,7 - 8,7	8 - 15	sehr stark humos
8,7 - 17,4	15 - 30	extrem humos, anmoorig
> 17,4	> 30	organisch

Quelle: AG Boden 1994, 108, ergänzt

Untersuchungen auf **Gips** wurden nur für Bodenproben von Standorten durchgeführt, bei denen Carbonat gefunden wurde bzw. die im Relief tiefer als diese Standorte über dem lokalen Grundwasser-Niveau liegen, da Gips mit ca. 2 g pro Liter deutlich löslicher ist als das in reinem Wasser so gut wie unlösliche Calciumcarbonat. Die Bestimmung des **Gipsgehaltes** des Bodens wurde nach VAN REEUWIJK (1995, 8-1) über die Lösung des $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ in Wasser (Schütteln einer 1:10 Bodensuspension auf dem Horizontalschüttler), Gewinnung des Extraktes durch Filtern, falls Test auf Sulfat mit BaCl_2 positiv, Fällung des Gipses mit Aceton, Zentrifugierung, Redispergierung des Präzipitats und Bestimmung des Calciums mit dem Atomabsorptionsspektrophotometer (AAS) durchgeführt. Getestet wurden 59 Bodenproben und Carbonatkrusten; 34 positiv getestete Proben wurden weiterbehandelt. 25 ml des Gipsextraktes wurden für die Messung am AAS mit einer Cäsiumchlorid-Lanthanchlorid Pufferlösung nach Schinkel versetzt, angesäuert und auf ein Volumen von 50 ml gebracht.

3.2.4 Chemische Analysen der Bodensättigungsextrakte sowie der Grund- und Oberflächenwasserproben

3.2.4.1 Herstellung der Bodensättigungsextrakte und Filtern der Grund- und Oberflächenwasserproben

Von 116 Bodenproben (den Bodenproben aller Standorte einer Catena, den Proben eines Dünenstandortes sowie den Proben mit erhöhtem Salzgehalt) wurde ein Sättigungsextrakt hergestellt und auf pH, elektrische Leitfähigkeit sowie lösliche Kationen und Anionen untersucht. Die Untersuchung der Bodenproben aller Standorte einer Catena gibt Aufschluss über den Einfluss des Geofaktors Relief auf die Bodenversalzung. Zudem wurden, soweit vorhanden, sowohl die in der Trockenzeit als auch die in der Regenzeit an demselben salzbeeinflussten Standort entnommenen Bodenproben analysiert, um neben der Verteilung der Salze innerhalb des Bodenprofils, die saisonale vertikale Verlagerung der Salze in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern der Geofaktoren zu untersuchen. Die tieferen bzw. unterhalb des Wurzelraumes liegenden Horizonte der Bodenprofile der salzbeeinflussten Standorte wurden z.T. aus Zeitgründen nicht analysiert.

Der Bodensättigungsextrakt wurde, wie bei RICHARDS (1954, 84; vgl. auch RHOADES 1982, 167 ff.) beschrieben, hergestellt, d.h. zu etwa 400 g luftgetrocknetem Feinboden wurde unter Rühren soviel entsalztes Wasser zugegeben, dass eine zähflüssige Bodenpaste entstand. Bei Sättigung ist der Wassergehalt der Bodenpaste („Saturation percentage“) etwa doppelt so hoch wie bei Feldkapazität und viermal so hoch wie bei der „15-atmosphere percentage“ (15 bar = pF 4,2; etwa permanenter Welkepunkt) (RICHARDS 1954, 8 f.). Die „Saturation percentage“, d.h. der Wassergehalt der gesättigten Bodenpaste in Masseprozent bezogen auf 105 °C getrockneten Boden, wurde über den Gewichtsverlust von etwa 25 g gesättigter Bodenpaste durch Trocknung bei 105 °C in Ofen errechnet. Da der über die kleine Menge Bodenpaste ermittelte Wert nicht immer der „Saturation percentage“ der gesamten Bodenpaste entspricht (entnahmebedingte Ungenauigkeiten), entsprechen sich der aus der EC_5 und der aus der EC_e ermittelte Gesamtsalzgehalt des Bodens nicht immer. Da jedoch der in dem Sättigungsextrakt gemessene EC_e und nicht der Gesamtsalzgehalt für die Bewertung des Bodens hinsichtlich seiner Salinität entscheidend ist, ergibt sich hierbei kein Fehler. Die Ungenauigkeit kommt jedoch bei der Subtraktion der löslichen Kationen von den NH_4OAc -extrahierbaren Kationen zur Berechnung der austauschbaren Kationen in mval pro 100 g Boden zum tragen. Eine alternative Methode zur Ermittlung des Sättigungsprozentsatzes über Wiegen des gesamten lufttrockenen Bodens (Berechnung des Gewichts ofentrockenen Bodens) und der gesättigten Bodenpaste erwies sich ebenfalls nicht als sehr genau, da es beim Rührprozess häufig zu Verlusten von Boden(paste) kommt.

Der Bodensättigungsextrakt wurde mit Hilfe eines Büchner-Trichters, ausgelegt mit einem Rundfilter, einer Saugflasche und einer Vakuumhandpumpe nach mindestens 12 Stunden Standzeit aus der gesättigten Bodenpaste gewonnen.

Die 21 Grund- und Oberflächenwasserproben wurde ebenfalls gefiltert und auf dieselben Parameter (s.u.) untersucht, wie die Bodensättigungsextrakte.

3.2.4.2 Messung des pH-Wertes und der elektrischen Leitfähigkeit der Bodensättigungsextrakte sowie der Grund- und Oberflächenwasserproben ($\text{pH}_{e/w}$ und $\text{EC}_{e/w}$)

Der **pH-Wert der Sättigungsextrakte (pH_e)** sowie der **Grund- und Oberflächenwasserproben (pH_w)** wurde unmittelbar nach der Extraktion elektrometrisch mit einer Glaselektrode (pH-Meter: pHScan der Fa. BNC) auf eine Dezimalstelle genau gemessen.

Die **elektrische Leitfähigkeit der Sättigungsextrakte (EC_e)** sowie der **Grund- und Oberflächenwasserproben (EC_w)** in $\mu\text{S}/\text{cm}$ bzw. mS/cm wurde mit dem Leitfähigkeitsmessgerät behrotest LF 86 der Fa. Behr durchgeführt; z.T. waren Verdünnungen notwendig.

Das Verhältnis des Salzgehaltes im Boden zu dem osmotischem Druck (negatives osmotisches Potential, vgl. Abschnitt 2.4) sowie die Leitfähigkeit des Sättigungsextraktes bei unterschiedlichen Sättigungsprozentsätzen nach RICHARDS (1954, 17) zeigt Abb. 7. Der Sättigungsprozentsatz ist der prozentuale Wassergehalt einer gesättigten Bodenpaste, aus welcher der Sättigungsextrakt gewonnen wurde, bezogen auf ofentrockenen Boden (s.o.). Der Graphik liegt ein per Konvention festgelegter Faktor zur Umrechnung von elektrischer Leitfähigkeit auf den Salzgehalt einer Lösung zugrunde, wonach 1 mS/cm elektrische Leitfähigkeit gemessen in 100 ml Lösung 0,064 g Salz entsprechen (s.o.).

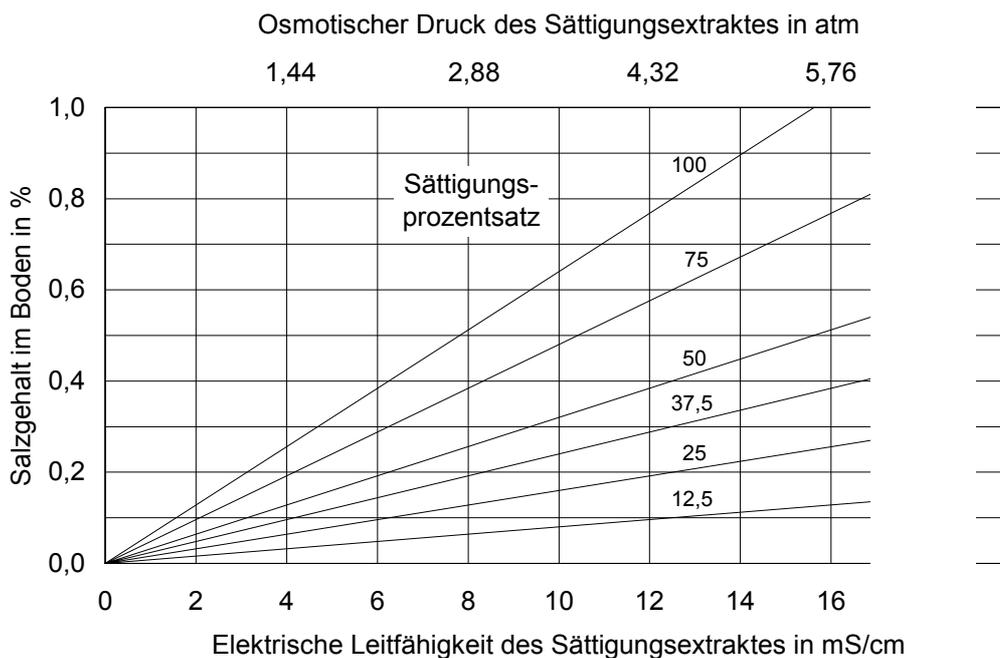


Abb. 7: Verhältnis des Salzgehaltes im Boden zu dem osmotischen Druck und der elektrischen Leitfähigkeit des Sättigungsextraktes (EC_e) bei unterschiedlichen Sättigungsprozentsätzen

Reaktion von Feldfrüchten bezogen auf die Klassen der Leitfähigkeit des Sättigungsextraktes (EC_e):

- 0 - 2 mS/cm Die Auswirkungen des Salzgehaltes sind meist zu vernachlässigen
- 2 - 4 mS/cm Der Ertrag sehr empfindlicher Feldfrüchte kann verringert sein
- 4 - 8 mS/cm Der Ertrag vieler Feldfrüchte ist verringert
- 8 - 16 mS/cm Nur tolerante Feldfrüchte bringen einen zufriedenstellenden Ertrag
- > 16 mS/cm Nur wenige sehr tolerante Feldfrüchte bringen einen zufriedenstellenden Ertrag

1 atm entspricht 1013,25 hPa, 1,013 bar und etwa 10^3 cm WS (pF 3)

Quelle: RICHARDS 1954, 9 und 17

Die Leitfähigkeit des Sättigungsextraktes ist vom Salzgehalt im Boden und dem Sättigungsprozentsatz der gesättigten Bodenpaste abhängig. Stark tonige und/oder humose Böden besitzen als gesättigte Bodenpaste im Vergleich zu sandigen Böden einen deutlich höheren prozentualen Wassergehalt und haben dadurch bei gleichem prozentualen Salzgehalt (g Salz pro 100 g ofentrockenem Boden) eine deutlich geringere Konzentration von Salzen in der Bodenlösung der gesättigten Bodenpaste bzw. in dem Sättigungsextrakt, die als elektrische Leitfähigkeit gemessen wird. So besitzt ein Sandboden mit 0,2 % Salz und einem Sättigungsprozentsatz von 25 eine elektrische Leitfähigkeit des Sättigungsextraktes von etwa 12 mS/cm, bei der nur tolerante Feldfrüchte einen zufriedenstellenden Ertrag bringen; ein feinkörnigerer Boden mit 0,2 % Salz und einem Sättigungsprozentsatz von 75 hingegen hat eine elektrische Leitfähigkeit des Sättigungsextraktes von etwa 4 mS/cm, bei der fast alle Feldfrüchte gut wachsen. Dies zeigt, dass der prozentuale Salzgehalt des Bodens hinsichtlich der Beurteilung des Bodens als Pflanzenstandort deutlich weniger aussagekräftig ist als die elektrische Leitfähigkeit des Bodensättigungsextraktes. Der Fehler durch nicht exaktes Bestimmen des Sättigungspunktes liegt n. Aussagen v. RHOADES (1982, 169) bei geübten Laborkräften bei weniger als 5 %.

Die Klassen der elektrischen Leitfähigkeit des Bodensättigungsextraktes (EC_e) nach RICHARDS (1954) haben noch heute Geltung (SOIL SURVEY DIVISION STAFF 1993, 193; SCHOENEGER et al. 1998, 2-66). Die Verfasserin hat die Klassifikation um zwei Klassen erweitert; die höchste Klasse (> 16 mS/cm) wurde in drei Klassen unterteilt (Tab. 16). Die Tab. 16 zeigt zudem entsprechende Klassen nach dem absoluten Salzgehalt (in g/kg und in %) im Boden, da nur für 116 der 316 Bodenproben der EC_e , jedoch für alle Bodenproben der EC_5 bestimmt wurde; die Verfasserin hat hierfür eine Saturation percentage von 40 zugrunde gelegt, da dieser Wert in etwa dem Durchschnitt der, auf die Parameter des Bodensättigungsextraktes, untersuchten Bodenproben entspricht. Eine Schätzung des EC_e nach dem EC_5 unter Berücksichtigung der Bodenart und des Humusgehaltes ist denkbar, wurde jedoch im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht durchgeführt. Zudem hat sich bei der Auswertung der Ergebnisse gezeigt, dass die nach dem EC_5 errechneten Salzgehalte in g Salz pro kg Boden bzw. in % bei den gering versalzten Bodenhorizonten häufig deutlich höher sind als die nach dem EC_e sowie die aus den analysierten Anionen und Kationen errechneten Salzgehalte. Dies ist vermutlich auf den niedrigeren pH-Wert und somit die höhere Konzentration an H^+ -Ionen in der 1:5-Bodensuspension gegenüber dem Sättigungsextrakt der gering versalzten Böden zurückzuführen (stark dissoziierte Säuren weisen die höchste elektrische Leitfähigkeit auf, da die H^+ -Ionen am beweglichsten sind, vgl. KRETZSCHMAR 1989, 196 ff.).

Tab. 16: Klassen des Salzgehaltes der Böden nach EC_5 und des Versalzungsgrades der Böden und des Wassers nach EC_e bzw. EC_w

Salzgehalt in g/kg nach $EC_5^{1)}$	Salzgehalt in % nach $EC_5^{1)}$	Bezeichnung in Profilbeschreibung	EC_e bzw. EC_w in mS/cm	Bezeichnung in Profilbeschreibung
< 0,5	< 0,05	kein erhöhter Salzgehalt nach EC_5	< 2	nicht versalzt
0,5 - 1	0,05 - 0,1	sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC_5	2 - 4	sehr gering versalzt
1 - 2	0,1 - 0,2	gering erhöhter Salzgehalt nach EC_5	4 - 8	gering versalzt
2 - 4	0,2 - 0,4	mäßig erhöhter Salzgehalt nach EC_5	8 - 16	mäßig versalzt
4 - 8	0,4 - 0,8	stark erhöhter Salzgehalt nach EC_5	16 - 32	stark versalzt
8 - 16	0,8 - 1,6	sehr stark erhöhter Salzgehalt nach EC_5	32 - 64	sehr stark versalzt
> 16	> 1,6	extrem erhöhter Salzgehalt nach EC_5	> 64	extrem versalzt

Quelle: SOIL SURVEY DIVISION STAFF 1993, 193, ergänzt.

¹⁾ Für die Umrechnung von EC_e auf EC_5 wurde ein Wassergehalt des Bodensättigungsextraktes (Saturation percentage) von 40 % gewählt. Bsp. Ein Bodensättigungsextrakt, hergestellt aus 250 g Boden und 100 ml H_2O , hat einen EC_e von 4 mS/cm. 4 mS/cm in 100 ml entsprechen 256 mg Salz ($4 \cdot 64$ mg; s.o.), d.h. in einem kg Boden sind 1024 mg Salz enthalten. 4 mS/cm EC_e , als Grenze zwischen sehr gering und gering versalzt, entspricht somit 1 g Salz pro kg Boden bzw. 0,1 % (Grenze zwischen sehr geringem und geringem Salzgehalt nach EC_5).

3.2.4.3 Analyse der löslichen Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ und NH_4^+ in den Bodensättigungsextrakten sowie in den Grund- und Oberflächenwasserproben

Für die Analyse der **löslichen Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+** mit dem AAS (vgl. Abschnitt 3.2.3) in den Sättigungsextrakten sowie in den Grund- und Oberflächenwasserproben wurden je nach zu erwartender Konzentration der Kationen 200 μ l bis 1000 μ l der Extrakte bzw. Wasserproben unter Zugabe einer Cäsiumchlorid-Lanthanchlorid Pufferlösung nach Schinkel (zur Vermeidung von Interferenzen) und von HCl (zur Unterbindung der Kationenadsorption an den PE-Fläschchen) auf 50 ml mit vollentsalztem Wasser aufgefüllt. Für die Herstellung der Standards und die weitere Verdünnung von Proben, deren Werte außerhalb des Kalibrierbereichs lagen, wurde dieselbe Matrix verwendet.

Das **lösliche Ammonium (NH_4^+)** in den Sättigungsextrakten sowie in den Grund- und Oberflächenwasserproben wurde über den halbquantitativen Test mit Neßlers Reagenz, wie bei ROWELL (1997, 405 f.) beschrieben, bestimmt. Die Standards wurden hierbei aus Ammoniumacetatlösung hergestellt. Die Testergebnisse zeigten nur sehr geringe Anteile an den löslichen Kationen, so dass auf eine quantitative Bestimmung des löslichen Ammoniums verzichtet wurde. Um eine möglichst hohe Genauigkeit zu erreichen, wurde der Test noch einmal mit einer höheren Zahl an Standards und unter Verwendung einer Mikroliterpipette anstelle einer Tropfflasche wiederholt. Es wurde eine Standardreihe mit 8 Standard (0, 1, 5, 10, 25, 50, 75 und 100 mg/l N- NH_4) aus Ammoniumdihydrogenphosphat angesetzt und in einer Einmalküvette zu 200 μ l Standard bzw. (verdünnter) Probe 200 μ l Neßlers Reagenz zugegeben. Beide Testreihen ergaben vergleichbare Ergebnisse.

3.2.4.4 Analyse der löslichen Anionen CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} und NO_3^- in den Bodensättigungsextrakten sowie in den Grund- und Oberflächenwasserproben

Für die Analyse der **löslichen Anionen Carbonat (CO_3^{2-}), Hydrogencarbonat (HCO_3^-) und Chlorid (Cl^-)** wurde zu etwa 25 ml des Sättigungsextraktes und der Wasserproben 1 Tropfen 0,1 %ige $(NaPO_3)_6$ gegeben, um ein Ausfällen von $CaCO_3$ zu verhindern (RHOADES 1982, 168 ff.).

Die Analyse von Carbonat, Hydrogencarbonat und Chlorid wurde nach RICHARDS (1954, 98 f.) und NATIONAL SOIL SURVEY CENTER (1996, 632) durchgeführt. Hierfür wurden je nach zu erwartender Konzentration der Anionen zwischen 0,2 und 10 ml Sättigungsextrakt in eine 30-ml-PE-Fläschchen gegeben. Zur Beobachtung der Farbreaktionen wurde im Gegenlicht einer sehr hellen Lampe titriert. Zeigt sich bei Zugabe von Phenolphthalein eine rosa Farbe, so wird mit 0,01 N Schwefelsäure (H_2SO_4) bis zur Farblosigkeit (pH 8,2) titriert und aus der Menge der Probe sowie der Menge und Normalität der zugegebenen Schwefelsäure die CO_3^{2-} -Konzentration in mval/l im Extrakt bzw. der Wasserprobe errechnet. Nach Zugabe von Methylorange zu der Probe aus der CO_3^{2-} -Bestimmung wird weiter mit 0,01 N Schwefelsäure (H_2SO_4) bis zur ersten orangen Farbe titriert und nach stöchiometrischen Regeln die HCO_3^- -Konzentration der Probe in mval/l errechnet. Der

Umschlagpunkt liegt bei pH 4,4 und wurde bei einigen Proben, die nachfolgend als „optische Eichung“ dienten, elektrometrisch mit dem pH-Meter kontrolliert. Für Analyse des löslichen Chlorid (Cl^-) wird der Probe aus der Carbonat- und Hydrogencarbonat-Bestimmung Kaliumchromat (K_2CrO_4)-Indikator zugegeben und mit Silbernitrat (AgNO_3) bis zum ersten permanenten rotbraunen Niederschlag titriert. Bei den Proben mit geringen Gesamtsalzgehalten wurde mit 0,005 N AgNO_3 -Lösung, bei den Proben mit hohen Salzgehalten mit 0,05 N AgNO_3 -Lösung titriert.

Das lösliche **Sulfat (SO_4^{2-})** in den Sättigungsextrakten sowie in den Grund- und Oberflächenwasserproben wurde über die Fällung als Bariumsulfat (BaSO_4) und photometrische Messung der Trübung nach 30 min. bei 600 nm mit einem UV-VIS Spectrophotometer 1202 der Fa. SHIMADZU bestimmt. Die in „Procedures for Soil Analysis“ (VAN REEUWIJK 1995, 13-11) beschriebene Methode wurde in sofern abgewandelt, als dass die Mengen der Reagenzien reduziert (2250 μl verdünnte Probe bzw. Standard, 1500 μl 1:1 Glycerin-Reagenz, 300 μl BaCl_2 -Reagenz 10 % angesäuert mit HCl) und direkt in die Küvette gegeben wurden, da dieses Verfahren nach umfangreichen Tests die besten Ergebnisse ergab. Für das Umrühren in den Küvetten standen spezielle Einmal-Rührspatel zur Verfügung. Die Kalibrierung wurde mit Sulfatstandards durchgeführt. Die Absorption durch die Trübung der Probe wurde durch Messung der Proben ohne Zugabe des Reagenz (BaCl_2) gemessen und entsprechend bei der Berechnung der Ergebnisse berücksichtigt.

Die Sättigungsextrakte und die Grund- und Oberflächenwasserproben wurden zunächst über den **qualitativen Test** mit Diphenylamin (gelöst in konzentrierter Schwefelsäure) auf lösliches **Nitrat (NO_3^-)** untersucht. Die Methode ist im „Soil Survey Laboratory Manual“ (NATIONAL SOIL SURVEY CENTER 1996, 638) beschrieben. Färbt sich die Probe bei Zugabe von Diphenylamin blau, so ist Nitrat vorhanden. Mit Hilfe einer Standardreihe wurde über die Intensität der Blaufärbung die ungefähre Konzentration in den Proben ermittelt, um einen günstigen Verdünnungsfaktor für die nachfolgende quantitative Analyse zu ermitteln.

Für die **quantitative Analyse** von **löslichem Nitrat** wurde ein analytischer Fertigtest der Fa. MERCK (Spectroquant® 14773 Nitrat) verwendet. Hierbei reagiert das Nitrat mit einem Reagenz (Nitrospectral) in konzentrierter Schwefelsäure. Die entwickelte rote Farbe wurde bei 515 nm photometrisch mit einem UV-VIS Spectrophotometer 1202 der Fa. SHIMADZU gemessen. Der Messbereich liegt zwischen 1-90 mg/l NO_3^- , wobei die Reproduzierbarkeit unter 25 mg/l NO_3^- relativ schlecht ist. Gemessen wurde nach einer Stunde Standzeit. Gemessen wurden alle (positiv und negativ getestete) Proben, um Einfluss der Störionen abschätzen zu können. Das Photometer wurde mit einer 8 Proben umfassenden Standardreihe kalibriert. Die Eigenfarbe der Proben sowie die durch die Verkohlung von organischen Material, verursacht durch die Zugabe der Schwefelsäure, bedingte dunkle Färbung der Proben wurde durch eine zweite Messreihe berücksichtigt, bei der den Proben kein Reagenz (Nitrospectral) zugegeben wurde.

3.2.4.5 Analyse des löslichen Bors in den Bodensättigungsextrakten sowie in den Grund- und Oberflächenwasserproben

Die Analyse des löslichen **Bor** (als B(OH)_3^0 , B(OH)_4^- und in geringen Anteilen als **Borat**) in den Sättigungsextrakten sowie in den Grund- und Oberflächenwasserproben erfolgte mit geringfügigen Änderungen nach der Methode, wie sie bei BINGHAM (1982, S. 431 ff.) beschrieben ist.

Bei dem gesamten Arbeitsgang, einschließlich der Gewinnung des Sättigungsextraktes, gab es keinen Kontakt der Proben zu borhaltigem Glas oder glasiertem Porzellan. Die Menge der Rea-

genzien wurde so reduziert, dass die Reaktion direkt in den Messküvetten erfolgen konnte: 320 µl Bor-Standardlösung bzw. (verdünnter) Sättigungsextrakt, 1 Tropfen konzentrierte Salzsäure, 1,6 ml konzentrierte Schwefelsäure und 1,6 ml Carmin-Reagenz (Carmin in konzentrierter Schwefelsäure). Für das Umrühren in den Küvetten wurden spezielle Einmal-Rührspatel verwendet. Die Photometrierung der Rotfärbung (Komplex aus Bor und Carmin) wurde nach 1 Stunde bei 585 nm vorgenommen. Aufgrund der Tatsache, dass die für die Herstellung des Carmin-Reagenz genutzte konzentrierte Schwefelsäure nur p.a. Qualität hatte und nicht borarm (Kosten) war, zeigte bereits das Reagenz eine rote Farbe. Da das Reagenz lichtempfindlich ist und trotz Verwahrung in einer schwarzen Kunststoffflasche die Farbe änderte, wurde für jede Messreihe von 16 Proben eine neue Kalibrierung des UV-VIS Spectrophotometers mit 4 Standards (0, 5, 7,5 und 10 mg/l Bor) vorgenommen. Die bei BINGHAM (1982, 44 f.) beschriebene Vorbehandlung der Sättigungsextrakte zur Zerstörung der organischen Substanz, welche bei der Zugabe von konzentrierter Schwefelsäure verkohlt und dadurch eine dunkle Färbung verursacht, konnte entfallen, da eine Parallelmessung bei der anstelle des Carmin-Reagenz Schwefelsäure zugegeben wurde, durchgeführt und bei der Berechnung der Ergebnisse berücksichtigt wurde. Die Klassifikation der Borkonzentration im Sättigungsextrakt zeigt Tab. 17.

Tab. 17: Klassen der Borkonzentration im Sättigungsextrakt

Borgehalt in mg/l	Borgehalt in mmol/l	Bezeichnung in Profilbeschreibung
< 0,3	< 0,03	sehr geringe Borkonzentration
0,3 - 1	0,03 - 0,09	geringe Borkonzentration
1 - 2	0,09 - 0,18	mittlere Borkonzentration
2 - 4	0,18 - 0,37	hohe Borkonzentration
4 - 8	0,37 - 0,74	sehr hohe Borkonzentration
> 8	> 0,74	extrem hohe Borkonzentration

Quelle: BRESLER, MCNEAL und CARTER 1982, 181, ergänzt
10,81 mg Bor entsprechen 1 mmol Bor

3.2.4.6 Kontrolle der Ergebnisse der chemischen Analysen des Bodensättigungsextraktes

Zur Kontrolle der Ergebnisse der chemischen Analysen des Bodensättigungsextraktes wurden die von RICHARDS (1954, 30) genannten „Cross-Checkings“ durchgeführt (Tab. 18).

Tab. 18: Cross-Checkings der Ergebnisse der chemischen Analysen des Bodensättigungsextraktes

- Der EC_e bei 25 °C in mS/cm multipliziert mit 10 entspricht in etwa der Konzentration der löslichen Kationen in mval/l [bedingt durch die Ionenäquivalentleitfähigkeit] (Check: o.k.)
- Die Konzentration der löslichen Kationen und der löslichen Anionen in mval/l sind im Sättigungsextrakt in etwa gleich (Check: o.k.)
- Wenn CO_3^{2-} -Ionen in titrierbaren Mengen im Sättigungsextrakt vorhanden sind, muss der pH_e größer als 9 sein (Ergebnis des Checks: bei Konzentrationen > 1,4 mval/l war der $pH_e > 9$)
- Die HCO_3^- -Konzentration übersteigt in Abwesenheit von CO_3^{2-} -Ionen selten 10 mval/l (Check: von 9 Extrakten mit HCO_3^- -Konzentration > 10 mval/l sind 5 frei von CO_3^{2-} -Ionen)
- Bei einem pH_e von 7 oder weniger übersteigt die HCO_3^- -Konzentration selten 3 oder 4 mval/l (Check: o.k.)
- Bei einem pH_e größer als 9 übersteigt die Konzentration von Ca^{2+} und Mg^{2+} selten 2 mval/l (Check: o.k.)
- Sättigungsextrakte mit einer Ca^{2+} -Konzentration von weniger als 20 mval/l enthalten normalerweise keinen Gips (Check: o.k.)
- Sättigungsextrakte von carbonathaltigen Böden haben ausnahmslos einen pH_e von mehr als 7 und im Allgemeinen von mehr als 7,5 (Check: o.k.)
- Der pH_e von carbonatfreien Böden kann einen Wert von 7,3 oder 7,4 erreichen (Check: pH_e von bis zu 8,3 wurde bei carbonatfreien Horizonten festgestellt)
- Der pH_e von gipshaltigen Böden ist selten höher als 8,2 (Check: o.k.)
- Ein pH_e von mehr als 8,5 zeigt fast immer einen ESP von 15 oder mehr an (Check: o.k.)
- Im Allgemeinen steigt der ESP mit dem SAR an. Es gibt gelegentlich Abweichungen, aber generell ist ein geringer SAR mit einer geringen ESP und eine hoher SAR mit einer hohen ESP verbunden (Check: o.k.)
- Es besteht eine Korrelation zwischen der Saturation percentage (prozentualer Wassergehalt im Bodensättigungsextrakt bezogen auf 105 °C getrockneten Boden) und der Summe der austauschbaren Kationen, da beide Parameter von der Bodenart [und dem Humusgehalt] abhängen (Check: o.k.)

Quelle: RICHARDS 1954, 30; Check-Ergebnisse von der Verfasserin hinzugefügt

3.2.4.7 Berechnung des SAR und ESP

Aus den Ergebnissen der Analysen der löslichen Kationen im Sättigungsextrakt und in den Wasserproben wurde der „sodium-adsorption-ratio“ (SAR), nach der in Abb. 8 dargestellten Formel, berechnet (RICHARDS 1954, 26). „The sodium adsorption ratio (SAR) is the standard measure of the sodicity of a soil.“ (SOIL SURVEY DIVISION STAFF 1993, 194). Die Bedeutung des SAR für den Boden und die Vegetation wurde in Kapitel 2 erläutert. In der deutschsprachigen Literatur wird z.T. der Begriff Natrium-Adsorptionsverhältnis (NAV) verwandt (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1998, 393).

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+}) / 2}}$$

Die Einheit der Kationen ist Milliäquivalent pro Liter (mval/l).

Abb. 8: Formel zur Berechnung des SAR

Quelle: RICHARDS 1954, 26, SOIL SURVEY DIVISION STAFF 1993, 194; NATIONAL SOIL SURVEY CENTER 1995, 89

Nach SOIL SURVEY DIVISION STAFF (1993, 194) ist die „exchangeable sodium percentage“ (ESP), berechnet nach der in Abb. 9 dargestellten Formel, zur Beurteilung der Alkalität eines Bodens, wie von RICHARDS (1954, 5) vorgenommen, nicht für Böden zuverlässig, die größere Mengen an Natriumchlorid enthalten.

$$\text{ESP} = \frac{\text{austauschbare Natrium Ionen (mval / 100 g)}}{\text{Kationenaustauschkapazität (mval / 100 g)}} \times 100$$

Abb. 9: Formel zur Berechnung des ESP

Quelle: RICHARDS 1954, 155

3.2.4.8 Ausscheidung von Normal-, Salz-, Salzalkali und Alkaliböden

Als Grenze zwischen Salz und Nichtsalzböden wird kein Salzgehalt, sondern die physiologisch bedeutsamere Leitfähigkeit des Sättigungsextraktes (EC_e) von 4 mS/cm angegeben (s.o.). Bis zu dieser Grenze gedeihen viele Kulturpflanzen ohne Beeinträchtigung. Halophile Kulturpflanzen gedeihen bis zu einer Leitfähigkeit von 8 mS/cm, extrem halophile Kulturpflanzen bis zu 16 mS/cm.

Neben der elektrischen Leitfähigkeit (EC_e) bei 25 °C im Bodensättigungsextrakt dienen das Natrium-Adsorptionsverhältnis (SAR) und der pH des Sättigungsextraktes (pH_e) der Ausscheidung von Neutralsalz-, Salzalkali- und Alkaliböden. Nach RICHARDS (1954, 4 ff.) gelten die in Tabelle 19 dargestellten Grenzwerte für Nonsaline-nonalkali soils (Normalböden), Saline soils (Neutralsalzböden), Saline-alkali soils (Salzalkaliböden = Salznatriumböden) und Nonsaline-alkali soils (Alkaliböden = Natriumböden). RICHARDS (1954, 4 ff.) räumt hinsichtlich des pH_e leichte Abweichungen ein. Mit steigendem Salzgehalt sinkt der pH-Wert, da Salze die Hydrolyse vermindern (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1998, 111).

Tab. 19: Grenzwerte von Normal-, Salz-, Salzalkali und Alkaliböden

Englische Bezeichnung	Deutsche Bezeichnung	EC_e mS/cm	SAR	pH_e
Nonsaline-nonalkali soils	Normalböden	< 4	< 13	< 8,5
Saline soils	Salzböden	> 4	< 13	< 8,5
Saline-alkali soils	Salzalkaliböden	> 4	> 13	< 8,5
Nonsaline-alkali soils	Alkaliböden	< 4	> 13	8,5 - 10

Quelle: RICHARDS 1954, 4 ff

3.3 Erstellen einer Vegetationstabelle

Auf der Grundlage der Vegetationsaufnahmen wurde für die Regenzeit (RZ) eine Vegetationstabelle erstellt und nachfolgend auf die Trockenzeit (TZ) übertragen, da in der Regenzeit 35 Aufnahmen und in der Trockenzeit nur 16 Aufnahmen gemacht wurden und zudem die Artenzahl an den Standorten in der Regenzeit höher ist. Hierfür wurden zunächst die Aufnahmen (Standorte) nach Pflanzenarten geordnet, die jeweils nur in einem Teil der Aufnahmen vorkommen und in den anderen Aufnahmen nicht. Dann wurden die Arten innerhalb der gebildeten Gruppen nach ihrer

Stetigkeit in den Aufnahmen geordnet. Nachfolgend wurden die Aufnahmen (Standorte) nach dem Cluster-Prinzip umgestellt, so dass die Standorte mit gleicher oder ähnlicher Artenkombination nebeneinander stehen. Anhand dieser Tabelle wurden Vegetationseinheiten für das untersuchte Gebiet ausgeschieden. Das Ergebnis zeigt Tab. 20 in der Anlage. Näheres hierzu in Kap. 7.

3.4 Bodenklassifikation

Die Klassifikation der untersuchten Böden erfolgte nach der „Soil Taxonomy“ (SOIL SURVEY STAFF 1999) bzw. den „Keys to Soil Taxonomy“ (SOIL SURVEY STAFF 1998) des United States Department of Agriculture (USDA) und soweit möglich nach der „Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland“ (DBG 1985; AG BODEN 1994). Eine Übersicht der Ergebnisse wird in Kap. 4 gegeben.

4 Das Untersuchungsgebiet – Betrachtung der Geofaktoren

4.1 Geologie

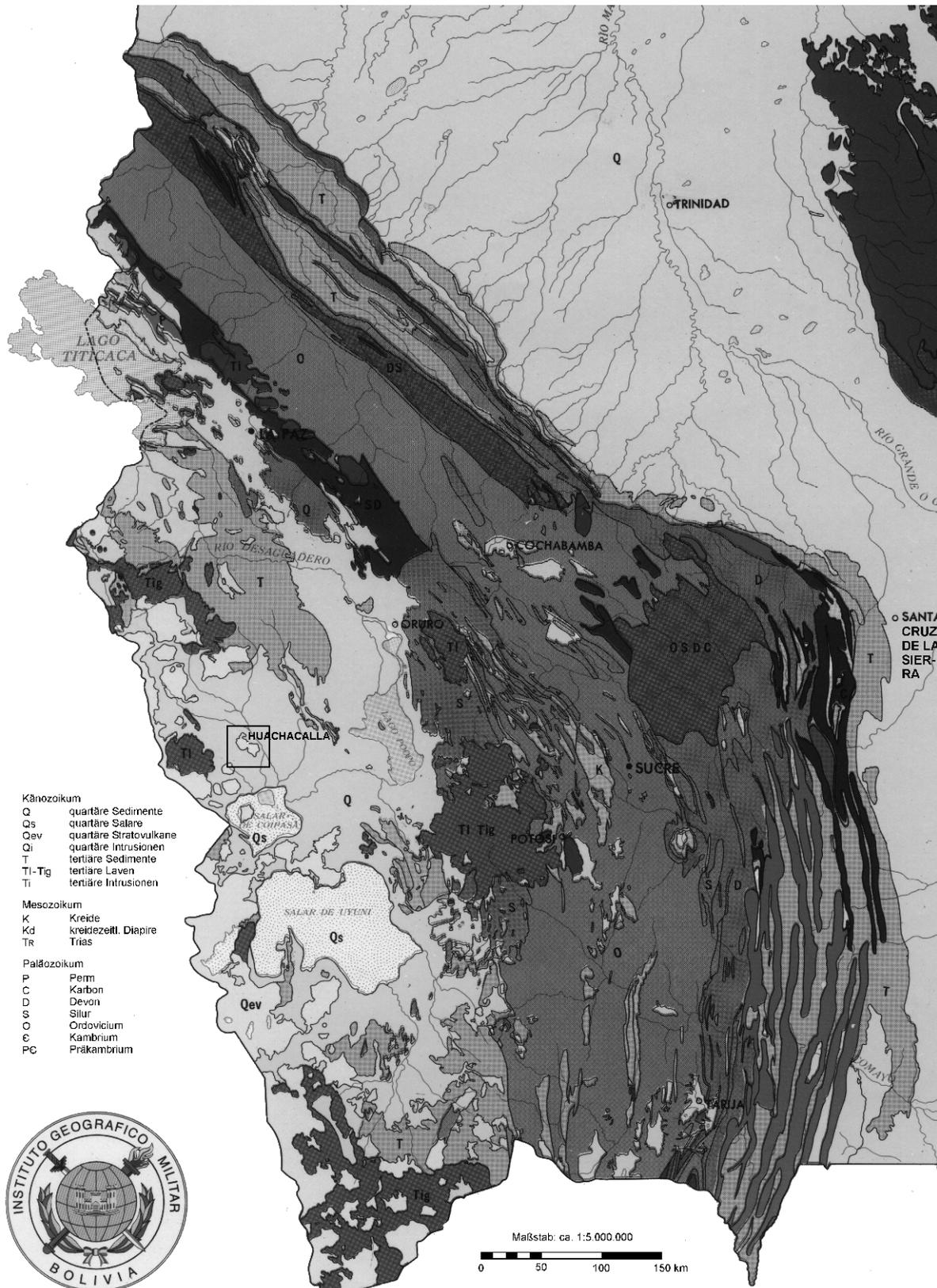
Die Entstehung der Anden ist durch die Plattentektonik zu erklären. Die Anden sind durch die Konvergenz der kontinentalen südamerikanischen Platte und der ozeanischen Nazca-Platte entstanden und gehören zu dem zirkumpazifischen "Feuergürtel", der durch starke vulkanische und seismische Aktivität gekennzeichnet ist (KLEY, REUTTER und SCHEUBER 1991, 134 f.; WILHELMY 1994, 71 ff.). An den aktiven Kontinentalrändern erfolgt eine Subduktion der dünneren und schweren ozeanischen unter die leichtere und mächtigere Kontinentalplatte. Wo die eintauchende Kontinentalplatte eine Tiefe von 100 bis 110 km erreicht, kommt es aufgrund zunehmenden Druckes und zunehmender Temperatur zu einer Freisetzung von Wasser, das zu Aufschmelzungen im darüberliegenden Mantel und somit zu Magmatismus führt. Die Zone des aktiven Vulkanismus bezeichnet man als "Magmatic Arc". Dieser magmatische Bogen ist in den zentralen Anden seit Beginn des "andinen Zyklus" vor mindestens 200 Mio. Jahren (unteres Jura) von Westen nach Ost gewandert (vermutlich bedingt durch die tektonische Erosion des Kontinentalrandes durch die Subduktion) und befindet sich seit dem oberen Oligozän im Bereich der Westkordillere; "der Vulkanismus reicht jedoch stellenweise bis zur Ostkordillere, d.h. in den Back Arc hinein" (KLEY, REUTTER und SCHEUBER 1991, 135). Der Altiplano gehört ebenfalls zum heutigen Back Arc. Die durch die Konvergenz der Platten bedingte Gesteinsdeformation durch Einengung und Dehnung ist aufgrund der Erwärmung durch aufsteigendes Magma im Bereich des aktiven Magmatic Arc besonders stark ausgeprägt. Die kontinentale Kruste besitzt im Bereich der Anden eine Mächtigkeit von bis zu 70 km.

In Verbindung mit der einsetzenden Hebung der West- und Ostkordillere, begann vermutlich im mittleren Tertiär die grabenartige Absenkung des Altiplano, die bis ins Jungtertiär andauerte (BARTH 1972, 106) und eine Akkumulation von bis zu 14 000 m mächtigen Sedimenten (ZEIL 1986, 77) in der Senke zur Folge hatte. Dieses Sedimentpaket wurde im Jungtertiär (nach AHLFELD 1962, 302 im Pliozän) im Rahmen einer starken Hebung des gesamten Zentralandenraumes komprimiert und in Blöcke zerbrochen (BARTH 1972, 106), so dass örtlich das paläozoische Basement an die Oberfläche trat (ZEIL 1986, 77). Das durch die Blocktektonik entstandene Relief des intramontanen Beckens wurde durch Erosion der höheren Bereiche und Akkumulation von Abtragungsschutt und vulkanischem Material der Westkordillere, wie Lava und Asche, ausgeglichen und aufgefüllt (BARTH 1972, 106).

Die aus dem, auf etwa 4000 m ü. M. gehobenen, älteren Untergrund der Westkordillere ragenden Vulkankegel erreichen Höhen von mehr als 6000 m. Das Höhenniveau des Altiplano liegt zwischen 3850 m ü. M. im Norden und 3650 m ü. M. im Süden. In der Ostkordillere erreichen die Gebirgsmassive vulkanischen Ursprungs max. 6000 m.

Die Karte 2 zeigt die Geologie der Anden im Bereich des Staatsgebietes von Bolivien und eines Teils des Tieflands, das im Norden und Osten Boliviens liegt und mehr als die Hälfte des Staatsgebietes einnimmt.

Es handelt sich bei der Karte um einen gescannten Ausschnitt der „MAPA GEOLOGICO DE BOLIVIA“, veröffentlicht von der bolivianischen Tageszeitung „La Razón“ als farbiges Poster im Maßstab 1:5.000.000. Die geologische Karte wurde auf der Grundlage einer Karte, die von Y.P.F.B. und GEOBOL herausgegeben wurde, erstellt, trägt das Zeichen des Instituto Geográfico Militar – Bolivia und wurde dort auch gedruckt.



Karte 2: Geologie der bolivianischen Anden und Lage des Untersuchungsgebietes (1:5.000.000)

Der Rahmen nördlich der Salare kennzeichnet die Lage des Untersuchungsgebietes (Karte 1)

Quelle: „MAPA GEOLOGICO DE BOLIVIA“, veröffentlicht von La Razón (um 1997);
die Legende wurde aus dem Spanischen übersetzt und stark vereinfacht

Im Bereich des Altiplano (hell gerasterte Flächen im SW der Karte) stehen quartäre und tertiäre Sedimente (Q und T) an. Die Salare de Coipasa und de Uyuni im zentralen bis südlichen Altiplano, sind als quartäre Bildungen auf der Karte mit Qs gekennzeichnet. Im Bereich der Westkordillere und ihrer Ausläufer dominieren quartäre Stratovulkane (Qev) und tertiäre Laven (TI - Tig); quartäre und tertiäre Intrusionen (Qi und Ti) sowie ältere Bildungen stehen nur kleinflächig an. Die Ostkordillere (erkennbar als breites, dunkel gerastertes im N in NW-SE-Richtung und im S in N-S-Richtung verlaufendes Band) hingegen ist überwiegend aus paläozoischen Gesteinen aufgebaut, im Grenzbereich zum Altiplano treten jedoch auch tertiäre Laven (TI - Tig) auf. Das nordöstlich und östlich der Anden gelegene Tiefland von Bolivien wird überwiegend von quartären Lockersedimenten eingenommen; im Nordosten des Tieflands tritt jedoch auch weitflächig Präkambrium an die Oberfläche.

Der Rahmen nördlich der Salare (die Signatur und der Name der Ortschaft Huachacalla wurden der Karte ebenfalls von der Verfasserin hinzugefügt) kennzeichnet die Lage des Untersuchungsgebietes und den Blattschnitt der Karte des Untersuchungsgebietes im Maßstab 1:50.000 (Karte 1 in der Anlage), erstellt auf der Grundlage von digitalisierten topographischen Karten 1:50.000).

Nach der Geologischen Karte 1:100.000 des Servicio Geológico de Bolivia (GEOBOL), Blatt 5937 Huachacalla aus dem Jahre 1965 stehen im Gebiet des Blattes und somit im Untersuchungsgebiet ausschließlich quartäre Bildungen an. Die Cerros Pacha Kkollu Quimsa Misa und Inca Camacho (die Topographie ist der Karte 1 in der Anlage zu entnehmen) sind im Quartär entstandene Stratovulkane. Zwei kleine Cerros sind als quartäre Intrusionen gekennzeichnet. Im Fußbereich der Gebirgsmassive, wo Quebradas aus der Cerro in die Ebene übergehen, haben sich aufgrund der plötzlichen Abnahme des Gefälles Schwemmfächer bzw. Schwemmkegel sowie kleinräumig (wenige Kilometer südwestlich der Cerro Saya Vinto) kolluvial-alluviale Ablagerung ausgebildet. Im Bereich des Blattes ist die gesamte Ebene westlich des Río Lauca als alluviale Ablagerung ausgewiesen. Östlich des Río Lauca und damit außerhalb des eigentlichen (s.u.) Untersuchungsgebietes sind auf der geologischen Karte neben alluvialen Ablagerungen Dünengebiete ausgewiesen. Die als alluviale Ablagerungen ausgewiesenen Ebenen des Untersuchungsgebietes sind in weiten Bereichen jedoch auch äolisch überprägt, d.h. es wurden dort Dünen von wenigen Dezimetern bis mehrere Meter Höhe während der Geländeaufenthalte kartiert.

4.2 Geographische Lage, Geomorphologie, (Paläo-)Hydrologie, Topographie sowie Infrastruktur

Der gesamte Altiplano (s. Karte 3), der sich nach MONTES DE OCA (1997, 148) vom südlichen Peru ($14^{\circ} 30'$ südlicher Breite), über das südwestliche Bolivien bis in den Bereich der Puna de Atacama in Chile ($21^{\circ} 50'$ südlicher Breite) mit etwa 900 km Länge und bis zu etwa 225 km Breite erstreckt, umfasst eine Fläche von etwa 200.000 km² und ist abflusslos, d.h. es erfolgt keine Entwässerung zu Meer (RISACHER und FRITZ 1991b, 211). Die das zentrale Hochland im Westen und Osten umrahmenden Kordilleren, die Höhen über 6000 m ü. M. erreichen, fungieren hierbei als Wasserscheiden. Der Lago Titicaca (3810 m ü. M.) entwässert über den Río Desaguadero zum Lago Poopó (3686 m. ü. M.), dessen Wasser brackig ist, und zeichnet damit das Gefälle nach Südosten in diesem Bereich nach. Die Salare von Uyuni und Coipasa, bilden mit 3653 bzw. 3657 m über Meeresniveau den tiefsten Bereich des abflusslosen Hochlandes; südlich der Salare steigt der Altiplano wieder an. Während der Regenzeit sind die Salare nur schwer passierbar, in der Trockenzeit sind die Salare z.T. mit dem Auto gut befahrbar. Der sich innerhalb des Salar de Coipasa befindende Lago Coipasa nimmt in Abhängigkeit von den Niederschlägen eine unterschiedlich große Fläche ein.



Karte 3: Höhenstufenkarte von Bolivien auf der Grundlage eines Digitalen Geländemodells (DGM) und Lage Boliviens auf dem südamerikanischen Kontinent (Clipart-Map)

Quelle: DGM Bolivien erstellt auf der Grundlage der Topographischen Übersichtskarte Bolivien 1: 1.000.000 von V. HECK

Der Salar de Uyuni ist mit 10.000 km² vermutlich der größte Salar der Welt; seine Salzkruste erreicht eine maximale Mächtigkeit von 11 m; die Salzkruste des nördlich des Salar de Uyuni gelegenen kleineren Salar de Coipasa (2.500 km²) ist im Zentrum lediglich 2,5 m mächtig (RISACHER und FRITZ 1991b, 212 u. 220). Diese große Salzmächtigkeit ist auf eingetrocknete Paläoseen zurückzuführen. Nach SERVANT und FONTES (1978, 9) fanden im Bereich der „bassins endorèiques de l’Altiplano bolivien“ seit dem mittleren Pleistozän infolge von Klimaschwankungen drei „trans-

gressions lacustres“ statt. Nach SERVANT und FONTES (1978, 9 ff.) sowie LAVENU (1991, 20) fallen die höchsten Seestände zeitlich mit dem Ende der Eiszeiten bzw. deren Stadien zusammen und sind auf das Abschmelzen des Eises zurückzuführen. Die Namen der Paläoseen in chronologischer Reihenfolge sind Lago Ballivián (Nord-Altiplano) bzw. Escara (Zentral-/Süd-Altiplano), Lago Minchín (30.000 bis 20.000 BP) und Lago Tauca (13.000 bis 10.000 BP) (RISACHER und FRITZ 1991b, 221; LAVENU 1991, 20). SERVANT und FONTES (1978, 19) datierten die maximale Ausdehnung des Lago Minchín auf > 27.000 Jahre vor heute und des Lago Tauca auf 12.500 bis 11.000 Jahre vor heute. Der Lago Escara erreichte nach LAVENU (1991, 22) bei 3780 m u. M. seinen Höchststand, der Lago Minchín bei 3760 m ü. M. Der Lago Tauca, dessen höchster Wasserspiegel zwischen 3.700 und 3.720 m ü. M. schwankte, war in drei Seen untergliedert, die über „Meerengen“ miteinander verbunden waren: Lago Poopó, (5.700 km²), Coipasa (7.900 km²) und Uyuni (17.300 km²) und lagerte, als er vor etwa 10.000 Jahren BP eintrocknete, die mächtigen Salzkrusten der Salare de Coipasa und de Uyuni ab (RISACHER und FRITZ 1991b, 221). Der heutige Lago Poopó (3686 m ü. M.) ist ebenfalls ein Relikt des Lago Tauca.

Das Grund- und Oberflächenwasser im südlichen Altiplano zeigt hohe Salzgehalte, wobei RISACHER (1984, 701 ff.) die extrem hohen Gehalte an Bor und Lithium auf die Verwitterung von saurem vulkanischem Gestein im Einzugsgebiet zurückführt.

Die nachfolgenden Ausführungen zur Geomorphologie, Hydrologie, Topographie und Infrastruktur des Untersuchungsgebietes lassen sich anhand der Karte 1 in der Anlage nachvollziehen.

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Bereich der Ortschaft Huachacalla im Departamento Oruro in Bolivien (s.o.). Huachacalla (18°47' S und 68°16' E) ist die Hauptstadt der Provinz Litoral, die den nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes einnimmt; der südliche Teil des Untersuchungsgebietes gehört zu der Provinz Atahualpa, deren Hauptstadt Sabaya ist (MONTES DE OCA 1997, 38 f.).

Das Höhengniveau des Altiplano liegt im Bereich des Untersuchungsgebietes bei etwa 3700 m ü. M.. Aus der hier leicht nach Südosten geneigten Sedimentationsebene ragen zwei kegelförmige Erhebungen vulkanischen Ursprung (s.o.), bei denen es sich um Ausläufer der Westkordillere handelt. Die Achse der beiden Cerros ist Nordwest-Südost orientiert. Die Gipfelhöhe der Cerro Pacha Kkollu Quimsa Misa im NW liegt bei 4702 m ü. M., die der Cerro Inca Camacho im SE bei 4792 m ü. M.. Die Ortschaft Huachacalla befindet sich am Fuß des Osthanges der erstgenannten Cerro (Foto 1) und ist durch die Fernstraße Nr. 601, die von der Departamentshauptstadt Oruro über Pisiga Bolivar bis Chile führt, verkehrstechnisch gut angebunden. Neben Huachacalla, das etwa 200 Wohnhäuser, ein Krankenhaus, eine Schule, eine katholische Kirche und eine Kaserne aufweist, befinden sich im Untersuchungsgebiet nur kleinere Siedlungen. Die Siedlungen sind überwiegend im Hangfußbereich der Cerros gelegen, da hier im Gegensatz zu den Ebenen Wasser mit geringen Salzgehalten zur Verfügung steht und die Nachtfrosthäufigkeit geringer ist. Etwa einen Kilometer nordwestlich von Huachacalla, tritt Wasser aus der Cerro Pacha Kkollu in die Ebene; hier befindet sich ein Wasserwerk, das zur Wasserversorgung des Ortes das Wasser aufbereitet und in ein Leitungsnetz eingespeist. Die Gebäude des Wasserwerks sind auf dem Foto 1 links neben dem Hügel im vorderen Mittelgrund des Bildes schwach zu erkennen. In unmittelbarer Nähe des Wasserwerks befindet sich die „offene“ Müllhalde des Ortes. Nach Aussagen der Bewohner wird Huachacalla erst seit etwa 1993 mit Strom versorgt. Die nationale Telefongesellschaft ENTEL betreibt ein Büro in Huachacalla, von dem auch Gespräche ins Ausland möglich sind.

Wenige Kilometer südlich von Huachacalla wird die Straße über einen Pass (3846 m ü. M.) zwischen den beiden o.g. Cerros Richtung SSW geführt (Foto 2). Neben dieser Schotterstraße bieten nur wenige Schotterwege einen Zugang in das Gelände. Die Nordost-Südwest-Ausdehnung des Untersuchungsgebietes beträgt entlang der Straße Nr. 601 etwa 30 km.

Im Südwesten wird das Untersuchungsgebiet bei 18°59' südlicher Breite und 68°21' westlicher Länge durch den Río Sabaya begrenzt. Die Fernstraße Nr. 601 wird hier durch eine Furt (3690 m ü. M.) geführt (Foto 3). Der Río Sabaya fließt 20 Kilometer südlich der Furt in den Salar de Coipasa (3657 m ü. M.); wenige Kilometer südlich der Furt (span. Vado) bildet der Río Sabaya ein Flussdelta.

Die nordöstlichsten Standorte befinden sich am Río Lauca bei 18°45' südlicher Breite und 68°12' westlicher Länge, wo die Fernstraße Nr. 601 auf einer Betonbrücke über den Fluss geführt wird (Foto 4). Das Niveau des Río Lauca, der etwa nach 50 km Fließstrecke unter Bildung eines Deltas in den Lago Coipasa mündet, liegt hier bei 3700 m ü. M.. Das Gefälle des Río Lauca bzw. Río Sabaya, die in diesem Bereich nach Südosten bzw. Süden fließen, liegt im Unterlauf somit bei 0,09 bzw. 0,16 %.

Tiefenlinien, die das Untersuchungsgebiet von Nordwesten nach Südosten queren, sind die Quebrada Huañajhuira, die circa 5 km südwestlich der Cerros verläuft sowie die Quebrada Bisrurilla, die der Cerro Pacha Kkollu und seinen Ausläufern im Norden entspringt und Richtung Südosten verläuft.

Der Damm auf dem die Straße Nr. 601 in der Ebene geführt wird, hat trotz eingebauter Durchlässe für die Quebradas einen z.T. starken Einfluss auf den Wasser- und Stoffhaushalt. Dies wird an der Vegetation sichtbar, die auf gegenüberliegenden Flächen nordwestlich und südöstlich des Straßendamms z.T. starke Unterschiede in der Zusammensetzung der Arten zeigt, die nicht nutzungsbedingt sind.

In den Tiefenbereichen der Alluvialebene steht das stark salzhaltige Grundwasser nahe der Oberfläche, in der Regenzeit kommt es zeitweise auch zu Überschwemmungen. Eine vegetationslose Salz(ton)ebene von etwa 4 qkm Fläche befindet sich etwa 3 km südwestlich der Ortschaft Esmeralda. Diese wird in der Regenzeit durch zahlreiche aus den Cerros kommende Quebradas gespeist und durch die Quebrada Sancajahuira nach Südosten entwässert. Der hohe Salzgehalt des Grund- und Oberflächenwassers im Untersuchungsgebiet wird, insbesondere in der Trockenzeit, durch Salzausscheidungen an der Bodenoberfläche in den Tiefenbereichen der Ebene sowie im Bereich der Flussufer sichtbar.



Foto 1: Die Ortschaft Huachacalla (3740 m ü. M.; im Mittelgrund) im Übergangsbereich von der Cerro Pacha Kkollu (im Vorder- und rechtem Mittelgrund) zur Ebene; im Hintergrund die Cerro Inca Camacho; im Vordergrund Puna-Vegetation der Gebirge; fotografiert vom Standort III.1 (3820 m ü. M.) Richtung Südosten; Aufnahmedatum: 19. Januar 1997



Foto 2: Blick vom Pass (3846 m ü. M.) zwischen den Cerros Pacha Kkollu (rechter Vordergrund) und Inca Camacho (linker Vordergrund) nach SSW in die Ebene (3700 m. ü. M.; schmaler heller Streifen im Mittelgrund); die Cerros im Hintergrund befinden sich im Bereich der Südgrenze bzw. außerhalb des Untersuchungsgebietes; Aufnahmedatum: 19. Januar 1997



Foto 3: Furt (3690 m ü. M.) an der Südgrenze des Untersuchungsgebietes (nahe Standort VI.3) , welche die Straße Nr. 601 durch den Río Sabaya führt; rechts im Hintergrund die Cerro Pumiri, dahinter im Bild (links im Hintergrund) die 20 km südlich der Furt gelegene Cerro Pariani. Unmittelbar östlich der Cerro Pariani erreicht das Flussdelta des Río Sabaya den Salar de Coipasa; Aufnahme-Richtung: SSW; Aufnahmezeit: Januar 1997



Foto 4: Betonbrücke (3710 m ü. M.) über den Río Lauca an der Nordgrenze des Untersuchungsgebietes (nahe den Standorten VII.1 und VII.2); rechts im Hintergrund die Cerro Pacha Kkollu; links im Hintergrund die Cerro Inca Camacho. Aufnahme-Richtung: SW; Aufnahmezeit: Januar 1997

4.3 Klima

Das Klima des zentralen Altiplano ist aufgrund seiner Lage in den Randtropen und seiner Höhe von etwa 3700 m ü. M. durch ein Tageszeitenklima (vgl. Thermoisoplethen-Diagramm der Station Oruro in TROLL 1959, 23) mit sehr hohen tageszeitlichen Temperaturschwankungen und häufigem Frostwechsel sowie eine Regenzeit im Südsommer gekennzeichnet. Nach AMMANN (1996, 121 f.) entstehen die winterlichen Niederschläge auf dem Altiplano durch Kaltlufttropfen, die sich "durch Vorstöße kalter Luftmassen aus der Westwindzone" bilden, und die bei Hebungsprozessen zur Ausbildung von "riesigen Wolkenschilden" und "zu einer sehr gleichmässigen Verteilung der Niederschläge über dem gesamten Altiplano" führen; südlich von 22° S sind zudem Kaltfronten für die winterlichen Niederschläge verantwortlich. Im Sommer kommt es hingegen nach AMMANN (1996, 121 f.) auf dem Altiplano zur Ausbildung eines "Hitzetiefs am Boden und einer thermischen Höhenantizylone im 200 oder 300hPa-Niveau (Bolivienhoch)"; in Abhängigkeit von der Feuchte der bodennah zufließenden Luftschichten wechseln von Dezember bis April feuchte mit trockeneren Phasen, mit einem Maximum der Niederschläge im Januar und Februar. Die von der sehr trockenen Andenwestseite zufließenden Luftmassen tragen kaum zur Niederschlagsbildung bei. Die aus dem Tiefland im Osten kommenden Luftmassen hingegen bringen Feuchtigkeit auf den Altiplano, wobei Durchbruchstäler das Vordringen der Luftmassen begünstigen. Nach RUTHSATZ (1983, 541 ff.) und AMMANN 1996, 122) nehmen auf dem Altiplano die ariden Zeiten von N nach S und von E nach W zu. RUTHSATZ weist für den Altiplano auf der Grundlage von WALTER-Klimadiagrammen 5 Humiditätsstufen von subhumid bis arid aus. Während im Bereich des Titicacasees nach RUTHSATZ (1983, 541 ff.) noch bis zu 9 humide Monate mit z.T. über 800 mm Jahresniederschlag zu verzeichnen sind, sind es südlich des Salar de Uyuni nur noch 2 humide Monate mit weniger als 50 mm Niederschlag. Abb. 10 zeigt ein WALTER-Klimadiagramm der Station Huachacalla.

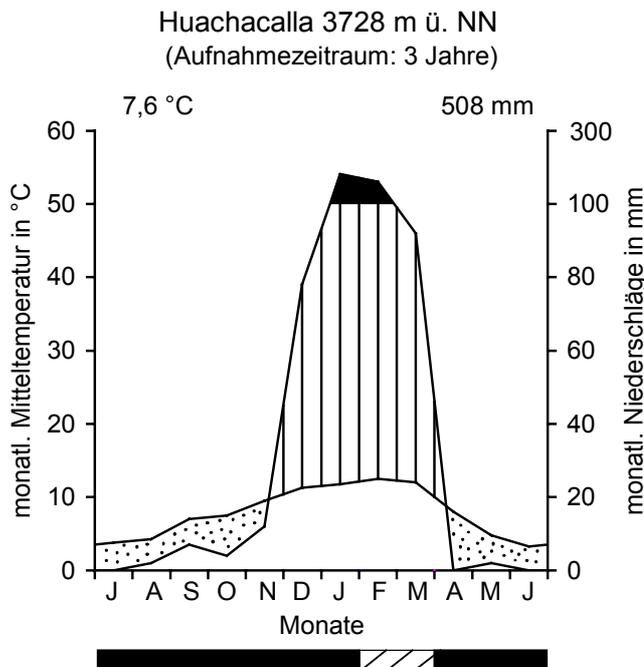


Abb. 10: WALTER-Klimadiagramm der Station Huachacalla

Quelle: RUTHSATZ 1983, 542 und Beilage

Die Station Huachacalla befindet sich etwa bei $18^{\circ}47'$ südlicher Breite in einer Höhe von 3728 m ü. M. und liegt somit in den Randtropen. Der Niederschlagsgang ist durch eine sommerliche Regenzeit gekennzeichnet. Die Regenzeit setzt im November oder Dezember ein und dauert bis März oder April. Die Jahressumme der Niederschläge beträgt 508 mm, die Jahresmitteltemperatur $7,6^{\circ}\text{C}$. Die monatlichen Mitteltemperaturen zeigen ebenfalls im Sommer ein leichtes Maximum, da sich die Station relativ nahe dem Wendekreis befindet. Eingegangen sind lediglich Aufzeichnungen aus drei Jahren. Nach dem WALTER-Klimadiagramm, wo 10°C monatliche Mitteltemperatur mit 20 mm Niederschlag im Monat skalenmäßig gegenübergestellt werden, sind 4 Monate als humid, 8 Monate als arid zu bezeichnen. Nach RUTHSATZ ist das Klima im Bereich der Station von Huachacalla semiarid. Das WALTER-Diagramm gibt im unteren Balken einen Hinweis auf die extremen tageszeitlichen Temperaturschwankungen: Die schwarze Färbung bedeutet regelmäßige Fröste, die quergestreifte Signatur kennzeichnet Monate mit gelegentlichen Frösten, hier Februar und März. Monate ohne Fröste werden weiß dargestellt; an dieser Station ist somit kein Monat ohne Nachtfröste zu erwarten.

Abb. 11 stellt die Klimadaten von vier Jahren der Station Huachacalla in einen Düsseldorf-Klimadiagramm dar.

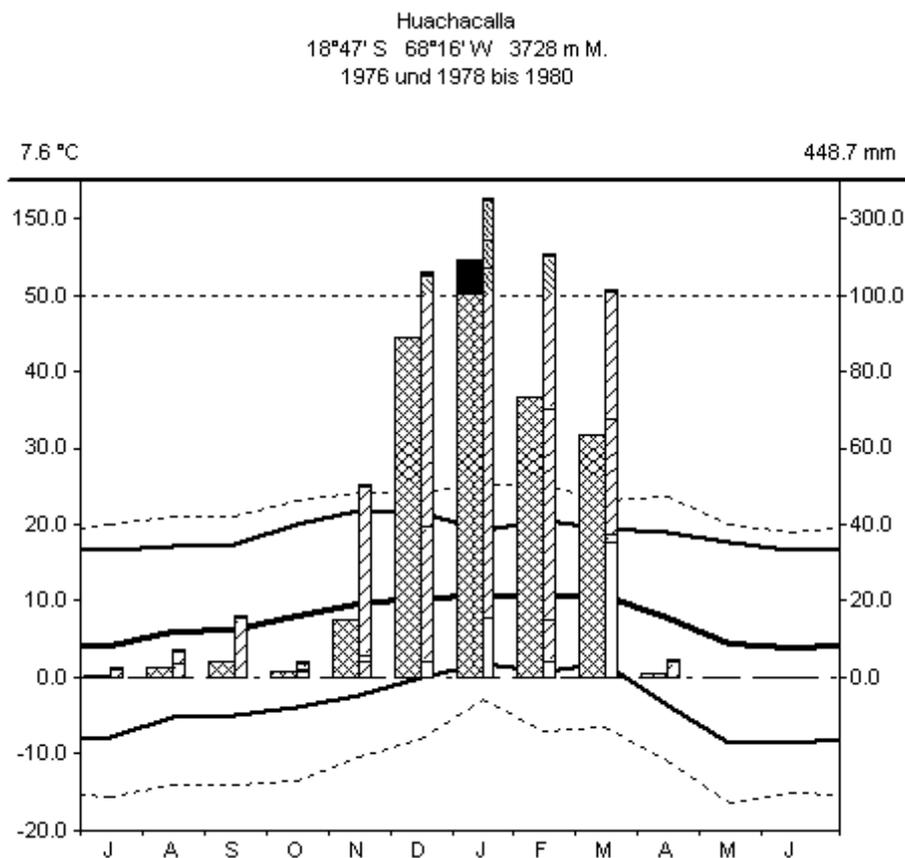


Abb. 11: Düsseldorf-Klimadiagramm der Station Huachacalla

Quelle: JORDAN (Klimatensammlung); Diagramm erstellt von T. PICKER

Das Düsseldorf-Klimadiagramm der Station Huachacalla beruht auf den Messungen von 4 Jahren und zeigt daher aufgrund der hohen Variabilität des Niederschlags und der Temperatur z.T. relativ starke Unterschiede zu den Werten des WALTER-Klimadiagramms (3 Jahre Aufnahmezeitraum). Die breiten Balken stellen den mittleren Monatsniederschlag aller Jahre, die schmalen Balken den Monatsniederschlag in den verschiedenen Jahren (gekennzeichnet durch Querstreifen) dar. Die 5 Kurven geben die Werte verschiedener Temperaturparameter (T) für die Monate wieder (von oben nach unten): abs. T max., mittlere T max., mittlere T, mittlere T min. und abs. T min.

Um Aussagen über Aridität oder Humidität eines Gebietes treffen zu können, muss nach ERIKSEN (1986, 11 ff.) und zahlreichen anderen Autoren die potentielle Evapotranspiration den Niederschlägen gegenübergestellt werden. Die Abb. 12 zeigt die potentielle Evapotranspiration (nach PENMAN), den Niederschlag und die Frostwechseltage für die Station Oruro, die von RUTHSATZ (1983, 543) wie die Station Huachacalla als semiarid eingestuft wurde. WEISCHET (1996, 387) hebt die Ungenauigkeit der Datengrundlage für den Zentralandenblock hervor.

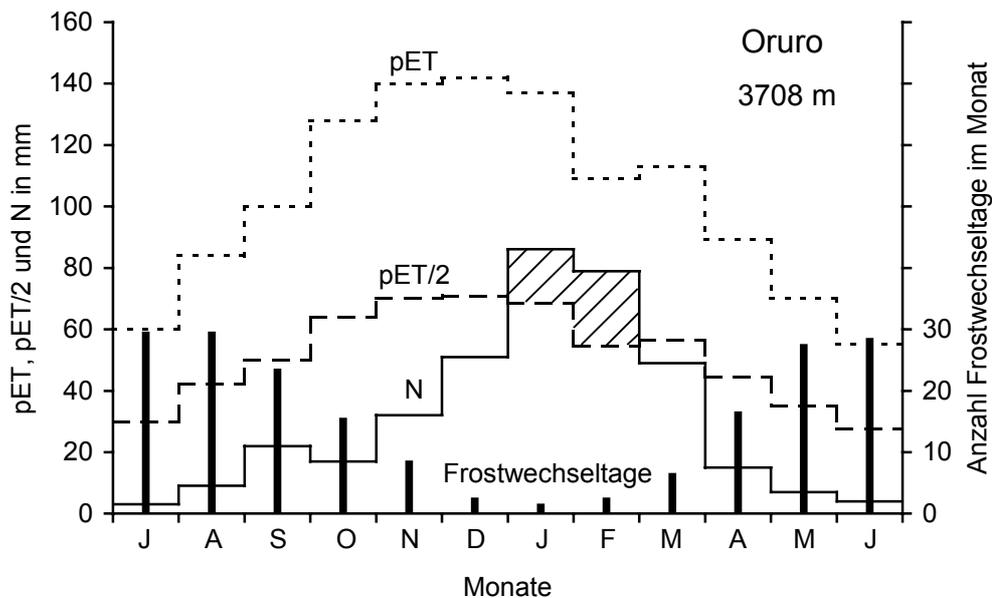


Abb. 12: Evapotranspiration (pET), Niederschlag (N) und Frostwechseltage (senkrechte Balken) der Station Oruro

Quelle: ERIKSEN 1986, 13

Als vollhumid ist kein Monat einzustufen, da die Niederschlagskurve in keinem Monat die Kurve der potentiellen Evapotranspiration übersteigt. Die Monate Januar und Februar, in denen der Niederschlag höher ist als die halbe potentielle Evapotranspiration, sind als semihumid bzw. semiarid zu bezeichnen. Die positive Korrelation zwischen Frostwechseltagen und geringer oder fehlender Bewölkung (Strahlungswetterlagen) in der Trockenzeit lässt sich gut erkennen. Nach ERIKSEN (1986, 4 ff.) ist die Stärke und Häufigkeit der Nachtfroste vor allem von der Höhenlage abhängig; Strahlungswetterlagen fördern jedoch die Abkühlung; aufgrund von Kaltluftabfluss und der Bildung von Kaltluftseen sind die Ebenen stärker nachtfrostgefährdet als die Gebirgsmassive.

Das INSTITUTO FRANCES DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS PARA EL DESARROLLO EN COOPERACION (ORSTOM), der SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA Y HIDROLOGIA (SENAMIH) und das INSTITUTO BOLIVIANO DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA (IBTA) haben 1994 agroklimate Daten für den südlichen Bereich des Altiplano veröffentlicht (VACHER et al. 1994). Da für Huachacalla keine langjährigen Daten vorliegen, werden die agroklimate Werte der beiden nächstgelegenen Stationen Salinas de Garci Mendoza (circa 100 km SSE von Huachacalla) und Corque (circa 70 km NE von Huachacalla) in den Tab. 21 und 22 aufgeführt.

Tab. 21: Agroklimatische Daten der Station Salinas de Garci Mendoza (3680 m ü. M.) Klimadaten: 1947-1985

Klimaelement	Einheit	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	S, M, od. E
extreme Maximumtemperatur	°C	29,0	25,0	28,5	30,1	34,0	33,5	33,0	30,0	30,6	30,0	24,4	25,6	34,0
extreme Minimumtemperatur	°C	-13,2	-12,7	-11,1	-10,0	-10,0	-6,7	-3,3	-2,8	-6,7	-10,0	-11,7	-14,0	-14,0
mittlere Maximumtemperatur	°C	14,6	15,8	18,3	21,1	22,6	22,2	22,1	21,4	20,7	19,7	16,9	14,3	19,1
mittlere Minimumtemperatur	°C	-6,9	-5,7	-3,1	-1,4	0,6	3,4	4,2	3,4	2,8	-1,0	-4,5	-6,5	-1,2
mittlere Temperatur	°C	3,8	5,0	7,6	9,8	11,6	12,8	13,2	12,4	11,8	9,4	6,2	3,9	9,0
Stunden < 7 °C	h	376,7	342,5	268,3	205,6	154,3	120,0	108,6	131,4	148,6	217,0	308,3	373,9	2755,2
Frosttage	d	30	29	24	20	13	4	1	3	4	19	28	28	203
relative Feuchte	%	36,3	34,8	34,9	31,9	32,7	36,7	46,6	46,6	49,5	38,5	35,7	35,1	38,3
relative Besonnung	%	80,0	80,0	80,0	70,0	65,0	65,0	45,0	40,0	55,0	70,0	85,0	80,0	68,0
Globalstrahlung	cal/cm ² d	381,5	439,6	505,0	523,1	535,5	544,9	433,4	386,8	424,1	430,4	421,2	367,0	449,4
Nettostrahlung	cal/cm ² d	48,3	89,1	136,6	172,6	196,1	208,6	187,1	164,0	157,2	111,0	62,4	36,0	130,8
Windgeschwindigkeit	m/sec	2,7	3,8	3,0	2,6	2,8	2,6	2,6	2,3	2,0	1,8	2,7	3,5	2,7
vorherrschende Windrichtung		NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NE	NW	NW	NW	NW
mittlerer Niederschlag	mm	0,0	1,0	2,7	1,3	3,7	27,5	92,3	77,8	32,7	2,3	0,8	0,2	242,3
wahrscheinl. Niederschlag	mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	34,3	30,5	1,1	0,0	0,0	0,0	71,7
max. Niederschlag in 24 h	mm	0,0	14,0	22,0	9,0	12,0	28,0	56,0	34,0	50,0	12,0	10,0	7,0	56,0
Tage mit Niederschlag	d	0	0	0	0	1	3	8	11	4	1	0	0	28
pot. Evapotranspiration (pET)	mm	57,8	84,9	95,3	114,5	125,7	131,6	116,2	92,7	93,8	75,7	67,2	60,5	1115,9
mittl. N Mon. - mittl. pET Mon.	mm	-57,8	-83,9	-92,6	-113,2	-112,0	-104,1	-23,9	-14,9	-61,1	-73,4	-66,4	-60,3	-873,6
Humiditätsindex N / pET Mon.	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,8	0,8	0,3	0,0	0,0	0,0	0,2

S = Summe, M = Mittelwert, E = Extremwert

Quelle: VACHER et al. 1994, o.S., aus dem Spanischen übersetzt

Tab. 22: Agroklimatische Daten der Station Corque (3929 m ü. M.) Klimadaten: 1976-1983

Klimaelement	Einheit	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	S, M, od. E
extreme Maximumtemperatur	°C	16,1	19,0	25,0	20,0	20,6	21,9	21,7	21,7	22,2	22,8	16,1	13,9	25,0
extreme Minimumtemperatur	°C	-20,5	-18,5	-17,2	-13,3	-13,3	-12,8	-10,6	-14,4	-19,4	-19,4	-17,2	-20,6	-20,6
mittlere Maximumtemperatur	°C	10,3	11,4	12,1	12,1	11,7	13,6	16,9	16,8	15,3	12,7	11,2	9,2	12,8
mittlere Minimumtemperatur	°C	-14,2	-6,5	-5,1	-5,2	-8,7	-8,2	-5,2	-4,5	-8,8	-8,8	-11,1	-15,1	-8,4
mittlere Temperatur	°C	-2,0	2,4	3,5	3,4	1,5	2,7	5,8	6,2	3,2	2,0	0,0	-3,0	2,2
Stunden < 7 °C	h	542,1	416,6	385,3	388,1	442,3	408,1	319,7	308,3	393,8	428,1	485,1	570,7	5088,2
Frosttage	d	31	31	30	31	30	31	30	28	30	30	31	30	363
relative Feuchte	%	37,3	33,7	36,7	40,7	36,3	43,7	69,5	47,0	52,6	40,3	33,0	34,7	42,1
relative Besonnung	%	85,0	80,0	80,0	80,0	80,0	65,0	60,0	65,0	52,0	80,0	85,0	85,0	75,0
Globalstrahlung	cal/cm ² d	406,0	446,9	512,3	574,0	610,4	538,6	511,0	519,7	412,3	479,6	428,8	390,8	485,9
Nettostrahlung	cal/cm ² d	58,3	95,7	147,0	197,2	222,0	211,6	221,5	199,4	155,0	126,9	71,5	44,5	145,9
Windgeschwindigkeit	m/sec	3,3	3,2	3,3	3,2	3,3	3,2	2,8	2,9	2,8	2,7	3,1	2,8	3,0
vorherrschende Windrichtung		S	S	S	S	N	NE	SE	NE	NE	SE	S	S	S
mittlerer Niederschlag	mm	0,5	3,3	9,3	7,3	11,8	65,7	188,6	56,9	93,8	7,2	0,2	0,0	444,6
wahrscheinl. Niederschlag	mm	0,1	0,4	2,4	0,0	0,0	27,6	106,0	22,7	43,1	0,9	0,0	0,0	203,2
max. Niederschlag in 24 h	mm	1,0	15,0	20,0	10,0	18,0	28,0	51,0	25,0	25,0	10,0	1,0	0,0	51,0
Tage mit Niederschlag	d	1	1	2	2	3	8	14	5	10	2	0	0	48
pot. Evapotranspiration (pET)	mm	57,2	74,9	89,0	103,2	104,8	101,7	93,6	94,7	78,4	72,0	61,9	49,3	980,7
mittl. N Mon. - mittl. pET Mon.	mm	-56,7	-71,6	-79,7	-95,9	-93,0	-36,0	95	-37,8	15,4	-64,8	-61,7	-49,3	-536,1
Humiditätsindex N / pET Mon.	%	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,6	2,0	0,6	1,2	0,1	0,0	0,0	0,4

S = Summe, M = Mittelwert, E = Extremwert

Quelle: VACHER et al. 1994, o.S., aus dem Spanischen übersetzt

Ein Vergleich der Werte der Tabellen 21 und 22 zeigt deutliche Unterschiede. So beträgt der mittlere Jahresniederschlag in Salinas de Garci Mendoza etwa 250 mm und in Corque etwa 450 mm. Die Jahresmitteltemperatur liegt in Salinas mit 9,0 °C etwa 7 °C höher als in Corque. Auf die Ursachen für die Unterschiede kann im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht eingegangen werden. Die vorherrschende Windrichtung, scheint jedoch einen entscheidenden Einfluss auf die anderen Elemente des Mesoklimas zu haben. Da der deutliche Temperaturunterschied nicht allein durch den Höhenunterschied zwischen den Stationen von 250 m und die Windrichtung zu erklären ist, hält die Verfasserin es für möglich, dass sich die Station in Corque in einem Tiefenbereich, in dem sich Kaltluft sammelt (Kaltluftsee) oder die Station Salinas oberhalb der eigentlichen Ebene befindet.

Es muss betont werden, dass die in den Abb. 10 und 11 dargestellten Niederschlags- und Temperaturwerte zum einen einer sehr starken Variabilität zwischen den Jahren unterliegen und, dass zum anderen die Werte nur für den unmittelbaren Bereich der Messstation in Huachacalla (u.a.

Abschattung am Nachmittag durch Cerro im Westen) gelten. Die im Bereich von Huachacalla untersuchten Standorte zeigen aufgrund ihrer unterschiedlichen Lage im Relief relativ große mesoklimatische Unterschiede, die sich auf die Bodenentwicklung und die Vegetation auswirken (s. Kap. 7): u.a. kommt es in der Ebene nicht zu einer Abschattung und an den Gebirgshängen u.a. zu jahreszeitlich erhöhter bzw. erniedrigter Einstrahlung. Die Lage des Untersuchungsgebietes innerhalb der astronomischen/mathematischen Tropen nahe dem südlichen Wendekreis, bewirkt im Südwinter, d.h. in der Trockenzeit, eine schwächere Besonnung der Südhänge der Gebirge. Der höhere Strahlungsgenuss während der sommerlichen Regenzeit macht die Südhänge jedoch zu bevorzugten Ackerstandorten (vgl. KUCERA-Luftbilder aus dem Jahre 1963). Zudem nimmt nach Beobachtungen der Verfasserin in der Regenzeit die Häufigkeit und Intensität der Niederschläge von den Gebirgsstandorten zu den Standorten in der Ebene deutlich ab, da es sich insbesondere zu Beginn der Regenzeit häufig um Steigungsregen handelt. In den Ebenen herrscht eine höhere Nachtfrostgefahr als im Bereich der Gebirgshänge (s.o.), andererseits nimmt die Temperatur trockenadiabatisch um 1 °C pro 100 Höhenmeter ab. Hieraus ergibt sich, dass die Bedingungen für die Boden- und Vegetationsentwicklung in der (nicht grundwasserbeeinflussten) Ebene schlechter sind als an den Gebirgsunterhängen. Die Windrichtung und Geschwindigkeit wechselt sehr häufig innerhalb kurzer Zeit. Auf die lokalen Windsysteme (z.B. Berg- und Talwind), die z.T. stark ausgeprägt sind, soll hier nicht eingegangen werden. Gelegentlich kommt es zur Ausbildung von Tromben. Eine kleine Trombe konnte von der Verfasserin in der Trockenzeit im Oktober 1996 fotografiert werden (Foto 5). Eine Trombe ist ein wandernder Luftwirbel, der hier durch die starke Erhitzung der bodennahen Luftschicht, die einen starken vertikalen Temperaturgegensatz und somit eine labile Luftschichtung zur Folge hat, entstanden ist (vgl. auch FORTAK 1982, 186 ff.).



Foto 5:

Trombe im Bereich der Ebene im Süden des Untersuchungsgebietes (3700 m ü. M.) in der Trockenzeit; im Vordergrund Puna-Vegetation der äolisch geprägten Ebene; im Hintergrund die Cerro Pumiri; Aufnahmezeit: Oktober 1996

4.4 Böden (Klassifikation der Böden)

Das Hauptziel der im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Bodenuntersuchungen ist die Erfassung und Bewertung der für die Vegetation wichtigsten Bodenparameter sowie das Erkennen von Gesetzmäßigkeiten der räumlichen Ausprägung der Parameter und der wechselseitigen Einflüsse verschiedener Parameter der Geofaktoren; die Ergebnisse werden in den Kapitel 5, 6 und 7 dargestellt. In diesem Abschnitt soll ein Überblick über die im Untersuchungsgebiet verbreiteten Böden gegeben werden; hierbei werden die Verbreitung von Bodeneinheiten sowie wichtige Merkmale der Böden dargestellt.

Die Klassifikation der Böden erfolgte nach der „Soil Taxonomy“ (SOIL SURVEY STAFF 1999) bzw. den „Keys to Soil Taxonomy (Kurzfassung der „Soil Taxonomy) (SOIL SURVEY STAFF 1998) und soweit möglich nach der „Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland“ (DBG 1985; vgl. auch AG BODEN 1994) (vgl. Abschn. 3.4). Zudem wurden die Böden hinsichtlich ihres Salz- und Natriumgehaltes nach RICHARDS (1954) klassifiziert (vgl. Abschn. 3.2.4.8). Auf die Darstellung der Ergebnisse der Bodenklassifikation nach der „Soil map of the world. Revised Legend (FAO-UNESCO 1990) und der „World reference base for soil resources“ (WRB) (FAO, ISRIC und ISSS 1998) wird in der vorliegenden Arbeit verzichtet, da die Ergebnisse dieser Klassifikationen, in Gegensatz zu dem beiden o.g. Klassifikationen, eine reliefbedingte Abfolge der verschiedenen Bodeneinheiten im Untersuchungsgebiet nur eingeschränkt erkennen lassen.

Die Klassifikation der untersuchten Böden nach der „Soil Taxonomy“ (SOIL SURVEY STAFF 1999) konnte z.T. nur unter Vorbehalt vorgenommen werden, da nicht alle für die Klassifikation notwendigen Parameter untersucht wurden. So ist z.B. für die Ausscheidung von Andisols (relativ junge Böden aus vulkanischen Aschen, Tuffen, Bimsstein u.a.) nach der „Soil Taxonomy“ (SOIL SURVEY STAFF 1999, 80 f.) bzw. den "Keys to Soil Taxonomy" (SOIL SURVEY STAFF 1998, 22) die Bestimmung der „Aluminium plus $\frac{1}{2}$ iron percentages (by ammonium oxalate)“ notwendig; da keine entsprechenden Analysen durchgeführt wurden, kann nicht mit absoluter Sicherheit ausgeschlossen werden, dass es sich bei einem Teil der Böden im Untersuchungsgebiet um Andisols handelt, obwohl nach der „Estudio Integrado de los Recursos Naturales del Departamento de Oruro“ (GEOBOL-ERTS 1978) für das gesamte Untersuchungsgebiet keine Andisols ausgeschieden wurden (s.u.). Die "FAO-UNESCO Soil map of the world. 1: 5 000 000. Volume IV. South America" aus dem Jahre 1971 weist hingegen für den Bereich des Untersuchungsgebietes Vitric Andosols, die in etwa den Vitrande nach der "Soil Taxonomy" (SOIL SURVEY STAFF 1999) bzw. den "Keys to Soil Taxonomy" (SOIL SURVEY STAFF 1998, 83 ff.) entsprechen, vergesellschaftet mit Regosols, aus.

Im Rahmen des Projektes „Estudio Integrado de los Recursos Naturales del Departamento de Oruro“ (GEOBOL-ERTS 1978) wurden Bodenkarten („Mapas de suelos“) im Maßstab 1:250.000 auf der Grundlage der „Soil Taxonomy“ des United States Department of Agriculture (USDA) erarbeitet. Auf den Bodenkarten sind für die verschiedenen naturräumlichen Einheiten („unidades fisiográficas“) dominante und vergesellschaftete Bodeneinheiten („subgroups“ der Soil Taxonomy) ausgewiesen. Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Bereich des Blattes Corque SE 19-11 (1:250.000).

Die Cerros Pacha Kollu und Inca Camacho (**Gebirge**) sind als Vulkankegel der Westkordillere auf der ERTS-GEOBOL Bodenkarte ausgewiesen; der Legende zu Folge dominiert in dieser Einheit an der Oberfläche anstehendes Festgestein („non-soil“), vergesellschaftet mit Lithic

Ustorthents; diese sind Böden, die nach der "Soil Taxonomy" (SOIL SURVEY STAFF, 1999, 389) eine sehr schwache oder keine Entwicklung pedogenetischer Horizonte zeigen (Entisols, von „recent“), ein normales Erscheinungsbild (griech. orthos = echt), ein wechselfeuchtes Bodenfeuchte-regime (ustic) und oberflächennah anstehendes Festgestein (lithic) haben.

Die Böden der **Gebirgsstandorte** im Untersuchungsgebiet sind nach DBG durch ein Ah-Bv-C bzw. Ah-AhBv-C-Profil gekennzeichnet. Ein Ah-Horizont hat im Gegensatz zu einem Ai-Horizont > 0,6 % organische Substanz (DBG 1985, 9). Obwohl es sich bei den Böden der Gebirgsstandorte nach der Klassifikation der DBG-Klassifikation um Braunerden und, bei Böden mit oberhalb 30 cm u. GOF anstehendem Festgestein, um Ranker handelt, erfüllen die Horizonte der untersuchten Gebirgsstandorte nicht das diagnostische Kriterium „a texture of very fine sand, loamy fine sand, or finer“ für einen „cambic horizon“ (verbraunten Horizont) nach der „Soil Taxonomy“ (SOIL SURVEY STAFF 1998, 18; SOIL SURVEY STAFF 1999, 35). Die Böden der Gebirgsstandorte wurden somit als (Lithic) Ustorthents klassifiziert. Das Kriterium für „lithic“ ist: innerhalb von 50 cm unter der Geländeoberfläche (u. GOF) anstehendes Festgestein (SOIL SURVEY STAFF 1998, 142; SOIL SURVEY STAFF 1999, 427). Die Böden haben einen „ochric epipedon“ (griech. ochros = fahl), d.h. der Oberboden ist dünn oder hell, gering humos (< 0,6 % C_{org}) und hart wenn er trocken ist, wobei Entisol außer dem „ochric epipedon“ keinen diagnostischen Horizont haben dürfen.

Die **Gebirgsböden** sind nach RICHARDS (1954) als Normalböden (Nichtsalz-Nichtalkali-Böden) zu bezeichnen.

Im Bereich der verschiedenen Untereinheiten des **Hangfußes der Gebirge** („Glacis de Piedemonte“, „Campos de lava“, „Flujos de lava“ und „Abanicos aluviales“, das letztgenannte sind Schwemmfächer) sind auf der Bodenkarte (GEOBOL-ERTS 1978) Typic und Lithic Ustochrepts, Typic und Lithic Ustorthents, anstehendes Festgestein und Typic Ustipsamments ausgewiesen. Die Ustochrepts der älteren Ausgaben der „Keys to Soil Taxonomy“ (SOIL SURVEY STAFF 1996 und früher), dürften den Haplustepts der 1998 herausgegebenen „Keys to Soil Taxonomy“ (vgl. auch SOIL SURVEY STAFF 1999) entsprechen. Ustipsamments sind unentwickelte Böden ohne erkennbare Horizonte (Entisols) mit weniger als 35 Volumenprozent Skelett in allen Horizonten, einer Bodenart lehmiger Feinsand oder gröber (griech. psammos = Sand) und einem wechselfeuchten Bodenwasserregime (ustic). Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit an drei Standorten aufgenommen Böden im Bereich des Hangfußes der Gebirge sind Typic Ustorthents; für Ustochrepts bzw. Haplustepts ist der Feinboden zu grob und für Ustipsamments der Skelettanteil zu hoch. Die Böden sind aus Lockergestein entstanden; nach DBG / AG Boden handelt es sich somit an zwei Standorten mit < 0,6 % organische Substanz im A-Horizont um einen Lockersyrosem und bei dem Boden an einem Standort mit > 0,6 % organischer Substanz im A-Horizont handelt es sich um eine Braunerde.

Im Bereich der Dünenfelder der **äolisch geprägten Ebene** („Llanura eólica“) dominieren nach der GEOBOL-ERTS Bodenkarte Typic Ustipsamments, Typic Quartzipsamments (unentwickelter Sandboden mit > 90 % resistenten Mineralen) und Typic Ustochrepts. Für die Deflationsflächen der äolisch geprägten Ebene, von denen sich nach der Bodenkarte jedoch keine innerhalb des Untersuchungsgebietes befindet, sind Typic Ustochrepts ausgewiesen.

Im Bereich von Huachacalla treten in der **äolisch geprägten Alluvialebene** Ustorthents, Ustifluvents, Ustipsamments und Haplustepts an den untersuchten Standorten auf.

Ein untersuchter Standort (VI.1; Alluvialmaterial über relativ grobkörnigem Verwitterungsmaterial des in 80 cm anstehenden Festgesteins) zeigt nur in der Regenzeit eine schwache Grundwasser- und Salzbeeinflussung.

Die **Tiefenbereiche der Ebene** sowie die Bereiche um den Río Lauca sind im Untersuchungsgebiet auf der GEOBOL-ERTS Bodenkarte als „Depressiones temporalmente inundables“, d.h. zeitweise überschwemmte Tiefenbereiche, ausgewiesen und gehen im Bereich des Río Lauca und des Rio Sabaya nach Süden in Flussdelta (s.o.) über, bevor sie den Salar de Coipasa erreichen. Die vorherrschenden Böden dieser beiden Einheiten sind nach der GEOBOL-ERTS Bodenkarte Typic und Spodic Psammaquents, Typic Cryaquepts und im Bereich der Flussdeltas Typic Halaquepts.

Die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten **Böden der grundwasserbeeinflussten Alluvialebene** sind aufgrund des für einige Zeit im Jahr oberhalb von 100 cm stehenden Grundwassers und des Vorhandenseins eines „salic horizon“ (vgl. Abschnitt 2.1) und/oder eines $SAR \geq 13$ (oder $ESP \geq 15$) in 25 cm der oberen 50 cm u. GOF, der unterhalb 50 cm u. GOF mit zunehmender Tiefe abnimmt, alle als Halaquept anzusprechen (SOIL SURVEY STAFF 1999, 495 ff.; SOIL SURVEY STAFF 1998, 166 ff.). Die Ordnung (Order) sind Inceptisols (s.o.), die Unterordnung (Suborder) sind Aquepts (lat. aqua = Wasser), die Great Group sind Halaquepts (griech. háls = Salz). Nach DBG ist eine sinnvolle Klassifikation der grundwasser- und salzbeeinflussten Böden nach Meinung der Verfasserin nicht möglich.

Die „Soil Taxonomy“ (SOIL SURVEY STAFF 1999) unterscheidet 12 Ordnungen (vormals 11 Ordnungen), von denen nach den Ergebnissen des GEOBOL-ERTS-Projektes und nach den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit nur zwei Ordnungen in dem Untersuchungsgebiet auftreten: Entisols und Inceptisols.

Entisols sind Böden ohne Ausbildung von Bodenhorizonten (s.o.), die sich erst in jüngster Zeit entwickelt haben. BOUL et al. (1973, 211 ff.) nennen einige wichtige Faktoren für die „Entwicklung“ von Entisols: arides Klima, Erosion, Akkumulation, Anstehen verwitterungsresistenter Gesteins, Unfruchtbarkeit oder Toxizität des Ausgangsmaterials für Pflanzen, zeitweilige Überflutung oder Wassersättigung des Bodens oder die Kürze der Zeit seitdem das Ausgangsmaterial den Bodenbildungsfaktoren ausgesetzt ist, z.B. frische Lava, lakustrische Flächen freigelegt durch Absenkung des Wasserstands oder anthropogen umgeschichtete Materialien. Entisols entsprechen je nach „Suborder“ verschiedenen Bodeneinheiten des FAO-Systems (FAO-UNESCO 1990) (vgl. SCHEFFER/ SCHACHTSCHABEL 1984, 357): Psamments sind oft Arenosols seltener Regosols, Aquents und Fluvents sind oft Fluvisols und Orthents sind oft Regosols.

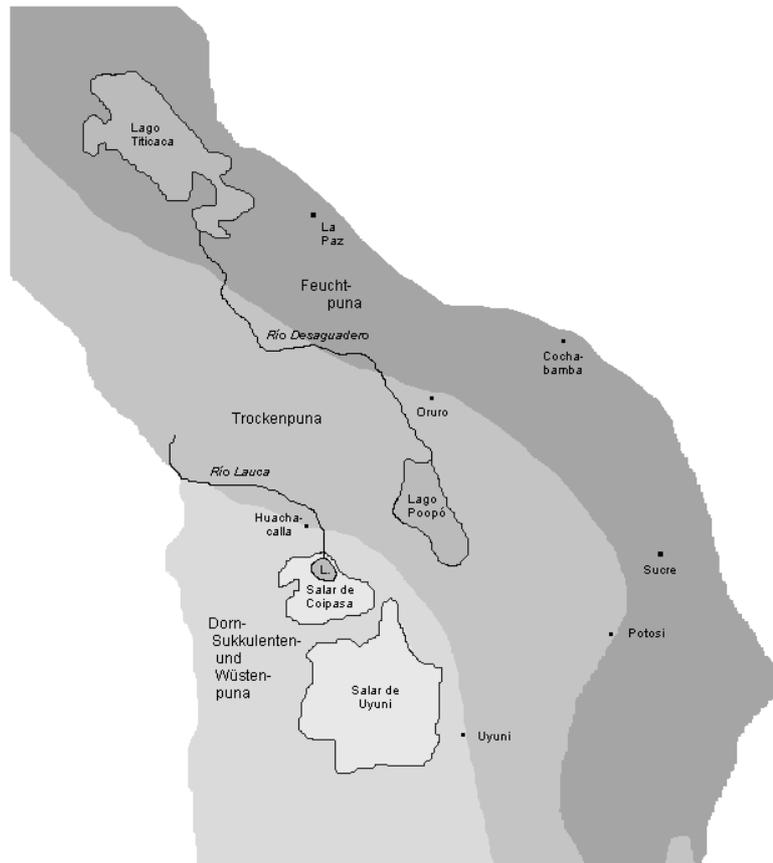
Inceptisols sind schwach entwickelte Böden (s.o.). Die Aquepts entsprechen oft den Gleysols und die Ochrepts (nach SOIL SURVEY STAFF 1999 Ustepts, s.o.) oft den Cambisols nach FAO (FAO-UNESCO 1990) (vgl. auch FAO, UNESCO, ELSEVIER and ISRIC 1987 und SCHEFFER/ SCHACHTSCHABEL 1984, 357); die Halaquepts nach der "Soil Taxonomy" sind nach dem FAO-System oft als Gleyic Solonchaks anzusprechen (vgl. Abschnitt 2.1).

4.5 Vegetation und Nutzung

Die hochmontane Höhenstufe der andinen Hochebene Süd-Perus, Boliviens und Nordwest-Argentiniens zwischen 3400/3500 und 4000/4100 m ü. M. wird nach RUTHSATZ (1983, Kartenbeilage) von der Vegetationsformation der Puna eingenommen. Die Puna ist abgesehen von Sonder-

standorten, an denen *Polylepis tomentella* wächst, baumlos; es handelt sich hierbei um Reste ehemals größerer Wälder, in denen diese Art bestandsbildend war (JORDAN 1983, 101 ff. und RUTHSATZ 1983, 545).

Die klimatisch bedingte Differenzierung der Tierra fría der Zentralanden in Feucht-, Trocken-, Dorn-Sukkulenten- und Wüstenpuna nach TROLL (1968, 15 ff.) zeigt die Karte 4.



Karte 4: Schematische Darstellung der klimatisch bedingten Differenzierung der Puna auf dem Altiplano nach TROLL

Quelle: TROLL 1968, 37 und 47

Die Grenze zwischen der Feucht- und Trockenpuna, entspricht nach TROLL der Ostgrenze von *Lepidophyllum quadrangulare*. Nach w^3 TROPICOS ist *L. quadrangulare* (Jacq.) Benth. & Hook. ein Synonym für *Parastrephia quadrangularis* (Meyen) Cabrera. Auf den Fotos in der Veröffentlichung TROLL 1968 handelt es sich nach Meinung der Verfasserin eher um *Parastrephia lepidophylla* (Wedd.) Cabrera, die nach w^3 TROPICOS *Lepidophyllum tola* Cabrera entspricht. Die Grenze zwischen der Trocken- und der Dorn- und Wüstenpuna ist bei TROLL (1968) nur auf der Karte „The landscape belts of the tropical Andes“ eingezeichnet; auf der Karte „Vegetational zonation of the Central Andes“ fasst er die „desert puna“ und die „dry puna“ zu den „arid puna belts“ zusammen.

Die Feucht- oder Graspuna ist nach TROLL (1959, 53) durch eine geschlossene, saisonal trockene Grasdecke gekennzeichnet, die sich aus harten Horstgräsern (*Calamagrostis*-, *Stipa*-, *Festuca*-Arten), die von den Einheimischen „Ichu“ genannt werden, und weichen, lockerwüchsigen Gräsern (*Poa*-, *Bromus*- u.a. Arten) zusammensetzt; zudem finden sich dort immergrüne (Zwerg-) Sträucher (*Baccharis incarum*, *Parastrephia lepidophylla* u.a.), die als „Tola“ („Thola“) bezeichnet werden, Polster- und Rosettenpflanzen; Sukkulenten (*Opuntia*-Arten) sind in der Feuchtpuna selten.

Die Trockenpuna, von WEBERBAUER (1911, 130) als „Tolazone“ bezeichnet, zeigt nach TROLL (1959, 54 f.) offene Bestände, in denen häufig die „echte Tola“ (*Lepidophyllum quadrangulare* = *Parastrephia lepidophylla*) oder das Horstgras „Iru-Ichu“ (*Festuca orthophylla*) vorherrschen; zudem treten dornige laubwerfende Zwergsträucher (*Adesmia*-, *Junellia*-, *Tetraglochin*-Arten u.a.) auf, und an flachgründigen, steinigen Standorten auch Cacteen.

In der Dorn-Sukkulenten-Puna oder Salzpuna ist die Vegetation schütterer und der Anteil der Dornsträucher und Cacteen ist höher als in der Trockenpuna; charakteristisch ist ebenfalls eine „Salzflora am Rande der Salare“ (TROLL 1959, 55 f.); der Übergang zur Wüstenpuna der nordchilenischen Atacama ist fließend.

RUTHSATZ (1983, 544) stellte neben dem Rückgang der immergrünen Sträucher *Baccharis incarum* und *Parastrephia lepidophylla* und der Zunahme der skleromorph-dornigen Sträucher eine Zunahme der laubwerfenden Sträucher *Fabiana densa* und *Baccharis boliviensis* mit zunehmender Aridität fest.

RUTHSATZ (1983, 545) betont, dass die Zonen von TROLL zwar großräumig vorhanden sind, im Gelände aufgrund der zahlreichen azonalen Standorte (grundwasser- und salzbeeinflusste sowie steinige bzw. felsige Standorte) und der anthropogenen Beeinflussung schwer abzugrenzen sind; zudem zeigen über die Hochebene herausragende Gebirgsmassive eine Höhenstufung der Pflanzenformationen.

Das Untersuchungsgebiet, befindet sich nach der Zonierung von TROLL im Übergangsbereich zwischen Trocken- und Dorn-Sukkulenten-Puna (vgl. Karte 4). Es handelt sich nach den Ergebnissen der Geländeaufnahmen im Bereich der Gebirge (Foto 6) sowie der äolisch geprägten (Foto 7) und schwach grundwasser- und salzbeeinflussten Alluvialebene (Foto 8) um Bestände, die der zonalen Vegetationsformation der Trockenpuna zuzuordnen sind. Die stark grundwasser- und salzbeeinflussten Tiefenbereiche der Ebene zeigen eine artenarme azonale Salzvegetation mit *Distichilis humilis*, *Salicornia pulvinata* und/oder *Anthobryum triandrum*. Die Ebenen werden extensiv von Lamas (span. Llamas), Alpakas oder Schafen beweidet, wobei die Salzvegetation bevorzugt wird (Foto 9). Es handelt sich nach RUTHSATZ (1983) im Bereich der Puna um anthropozogene Ersatzgesellschaften weitgehend unbekannter Pflanzengesellschaften, geschaffen durch die jahrtausendelange Nutzung des Altiplano.

Die Hänge der Gebirgsmassive (Cerros), die durch Lesesteinmauern gegliedert sind (Foto 10) und ackerbaulich und weidewirtschaftlich genutzt wurden/werden, zeigen relativ artenreiche Vegetationsbestände (um 20 Arten) mit Gesamtdeckungsgraden von 5 bis 25 %. Auf den Schwarzweiß-Orthofotos (KUCERA 1963) Nr. 4320 und 4322 (1:40.000), aufgenommen im Jahr 1963, ist an den kleinen, scharfbegrenzten Flächen mit unterschiedlichen Graustufen zu erkennen, dass sich die Felder in dieser Zeit bis hoch in die Gebirge (4100-4200 m) gezogen haben. Heute werden nur in niederschlagsreichen Jahren begünstigte Standorte an den Hängen ackerbaulich genutzt. Aufgrund der Versorgung von außen ist der Ackerbau im Raum Huachacalla heute nicht mehr zwingend notwendig.

Die Ursache für die auf dem Foto 11 sichtbare Rauchentwicklung im Bereich des Nordhanges der Cerro Inca Camacho ist eventuell Brandrodung.



Foto 6:
Puna-Vegetation der Gebirge mit *Fabiana densa* und *Stipa ssp.* im Bereich des Standorts I.2 (3820 m ü. M.) in der Trockenzeit; Aufnahmezeitpunkt: 1. Oktober 1996



Foto 7: Puna-Vegetation der äolisch geprägten Alluvialebene mit *Parastrephia lepidophylla* ("Tola") und *Lamyra castellani* im Bereich des Standorts I.6 (3702 m ü. M.) in der Regenzeit (die Phänologie dieses Standorts ist in der Trocken- und Regenzeit ähnlich, da die beiden o.g. Arten immergrün sind); Aufnahmezeitpunkt: 10. Januar 1997



Foto 8: Puna-Vegetation der schwach grundwasser- und salzbeeinflussten Alluvialebene mit *Festuca orthophylla* ("Iru-Ichu") im Bereich des Standorts VI.1 (3709 m ü. M.) in der Trockenzeit; Aufnahmezeit: 26. September 1996



Foto 9: Weidende Lamas und/oder Alpakas im Bereich des Standortes III.5 (3720 m ü. M.; *Distichilis humilis*-Halophytenvegetation) in der Regenzeit; Aufnahmezeit: 23. Januar 1997



Foto 10: Durch Lesesteinmauern gegliederte Gebirgshänge im Bereich des Nordhanges der Colina Jaco Jatha (im Mittelgrund) und der Cerro Inca Camacho (im Hintergrund); im Vordergrund der Standort IV.2 (3750 m ü. M.); Aufnahmedatum: 12. Januar 1997



Foto 11: Vermutlich durch Brandrodung verursachter Rauch im Bereich des Nordhanges der Cerro Inca Camacho; Aufnahme in der Trockenzeit von einem quer zur Straße Nr. 601, etwa 4 km nordöstlich von Huachacalla, verlaufendem „Höhenrücken“ aus Schottermaterial, der aufgrund der geringen Höhe von etwa 3 Metern nicht in der Topographischen Karte 1:50.000 eingetragen ist; Aufnahmepunkt 3710 m ü. M.; Aufnahmezeit: Oktober 1996

4.6 Standort-, Boden- und Vegetationseinheiten im Untersuchungsgebiet

In Tab. 23 sind die Standort-, Boden- und Vegetationseinheiten der 35 im Rahmen der vorliegenden Arbeit im Bereich von Huachacalla untersuchten Standorte aufgeführt. Eine detaillierte Darstellung der Standorte erfolgt in Kapitel 5. Die Lage der aufgeführten Standorte ist der Karte 1 (Anlage) zu entnehmen.

Tab. 23: Standort-, Boden- und Vegetationseinheiten der untersuchten Standorte

Standort	Standorteinheit	Soil Taxonomy (USDA)	Deutsche Klassifikation (DBG)	Klassifikation n. RICHARDS	Vegetationshaupteinheit
I.1	Gebirge	Lithic Ustorthent	Braunerde	Normalboden	<i>Fabiana densa</i>
I.2	Gebirge	Ustorthent	Braunerde	Normalboden	<i>Fabiana densa</i>
I.3	Gebirge	Ustorthent	Braunerde	Normalboden	<i>Fabiana densa</i>
I.4	Gebirge	Lithic Ustorthent	Ranker	Normalboden	<i>Fabiana densa</i>
I.5	Hangfuß	Ustorthent	Lockersyrosem	Normalboden	Übergang I
I.6	äolisch geprägte Alluvialebene	Ustipsamment	Lockersyrosem	Normalboden	<i>Lampaya castellani</i>
I.7	gw- u. salzbeeinflusste Alluvialeb.	Halaquept	-	Salznatriumboden	<i>Distichilis humilis</i>
I.8	gw- u. salzbeeinflusste Alluvialeb.	Halaquept	-	Salznatriumboden	<i>Distichilis humilis</i>
II.1	Gebirge	Lithic Ustorthent	Braunerde	Normalboden	<i>Fabiana densa</i>
II.2	Gebirge	Ustorthent	Braunerde	Normalboden	<i>Fabiana densa</i>
II.3	äolisch geprägte Alluvialebene	Haplustept	Lockersyrosem	Normalboden	<i>Lampaya castellani</i>
II.4	gw- u. salzbeeinflusste Alluvialeb.	Halaquept	-	Salznatriumboden	<i>Distichilis humilis</i>
III.1	Gebirge	Lithic Ustorthent	Ranker	Normalboden	<i>Fabiana densa</i>
III.2	Gebirge	Lithic Ustorthent	Ranker	Normalboden	<i>Fabiana densa</i>
III.3	Hangfuß	Ustorthent	Lockersyrosem	Normalboden	Übergang I
III.4	gw- u. salzbeeinflusste Alluvialeb.	Halaquept	-	Salznatriumboden	<i>Distichilis humilis</i>
III.5	gw- u. salzbeeinflusste Alluvialeb.	Halaquept	-	Salznatriumboden	<i>Distichilis humilis</i>
III.6	gw- u. salzbeeinflusste Alluvialeb.	Halaquept	-	Salznatriumboden	<i>Distichilis humilis</i>
IV.1	Gebirge	Ustorthent	Braunerde	Normalboden	<i>Fabiana densa</i>
IV.2	Hangfuß	Ustorthent	Braunerde	Normalboden	Übergang I
IV.3	äolisch geprägte Alluvialebene	Ustifluent	Lockersyrosem	Normalboden	<i>Lampaya castellani</i>
IV.4	äolisch geprägte Alluvialebene	Ustifluent	Lockersyrosem	Normalboden	<i>Lampaya castellani</i>
IV.5	gw- u. salzbeeinflusste Alluvialeb.	Halaquept	-	Salznatriumboden	<i>Distichilis humilis</i>
IV.6	gw- u. salzbeeinflusste Alluvialeb.	Halaquept	-	Salznatriumboden	<i>Distichilis humilis</i>
V.1	äolisch geprägte Alluvialebene	Ustorthent	Lockersyrosem	Normalboden	<i>Lampaya castellani</i>
V.2	äolisch geprägte Alluvialebene	Haplustept	Lockersyrosem	Normalboden	<i>Lampaya castellani</i>
V.3	äolisch geprägte Alluvialebene	Ustipsamment	Lockersyrosem	Normalboden	<i>Lampaya castellani</i>
V.4	äolisch geprägte Alluvialebene	Ustipsamment	Lockersyrosem	Normalboden	<i>Lampaya castellani</i>
V.5	äolisch geprägte Alluvialebene	Haplustept	Lockersyrosem	Normalboden	<i>Lampaya castellani</i>
V.6	äolisch geprägte Alluvialebene	Haplustept	Lockersyrosem	Normalboden	<i>Lampaya castellani</i>
VI.1	schwach gw- u. salzbeeinfl. A.	Haplustept	Lockersyrosem	Normalboden	Übergang II
VI.2	äolisch geprägte Alluvialebene	Ustorthent	Lockersyrosem	Normalboden	<i>Lampaya castellani</i>
VI.3	äolisch geprägte Alluvialebene	Ustifluent	Regosol	Normalboden	<i>Lampaya castellani</i>
VII.1	gw- u. salzbeeinflusste Alluvialeb.	Halaquept	-	Salznatriumboden	<i>Distichilis humilis</i>
VII.2	gw- u. salzbeeinflusste Alluvialeb.	Halaquept	-	Salznatriumboden	<i>Distichilis humilis</i>

schwach gw- u. salzbeeinfl. A. = schwach grundwasser- u. salzbeeinflusste Alluvialebene

5 Analyse der Einzelstandorte – Ergebnisse der pedologischen und vegetationskundlichen Aufnahmen im Gelände sowie der bodenkundlichen Laboranalysen

Die wichtigsten Einzelergebnisse der pedologischen und vegetationskundlichen Aufnahmen im Gelände und der bodenkundlichen Laboranalysen der einzelnen Standorte werden in diesem Kapitel in Form von Text erläutert und z.T. durch Fotos veranschaulicht. Die Ergebnisse der salzbeeinflussten Standorte werden zudem graphisch dargestellt. Die Ergebnistabellen (Tab. 24 bis 389) mit den einzelnen Daten befinden sich im Anhang (Seiten A 1 bis A 117). Die %-Angaben sind, mit Ausnahme des Wasser- und Porenvolumens sowie der Vegetationsdeckung, Gewichtsprozent.

Die Kriterien für die Auswahl der Standorte im Gelände und der Bodenproben für die Durchführung zeitaufwendiger Laboranalysen sind im Methodikkapitel (Kap. 3) dargelegt. Die Einzelstandorte sind nach Catenen- bzw. Standortgruppenzugehörigkeit geordnet. Die Standorte der Catenen (I bis IV) sind nach Metern über Meeresniveau geordnet, beginnend mit dem höchstgelegenen Standort. In den Standortgruppen (V bis VII) sind mehrere Standorte nach sachlichen Gesichtspunkten zusammengefasst. Die in der Regenzeit (RZ) aufgenommenen Daten des jeweiligen Standortes folgen den in der Trockenzeit (TZ) aufgenommenen Daten, wobei 19 Standorte ausschließlich in der Regenzeit untersucht wurden (s.o.). Die Ausscheidung der in diesem Kapitel genannten Vegetationseinheiten erfolgte auf der Grundlage der Vegetationstabellen (Tab. 20 a und 20 b in der Anlage) und wird in Kapitel 7 erläutert. Die Grenzen der Vegetationseinheiten wurden auf die Standorteinheiten (Gebirge, Hangfuß, äolisch geprägte Alluvialebene, schwach grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene und grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene) übertragen. Die Lage der Standorte zeigt die Karte 1 in der Anlage. Die Standorte sind entsprechend der Standort-, Boden- und Vegetationseinheit auf der Karte farblich gekennzeichnet. Die farbigen Raster zeigen die Areale der Vegetationsuntereinheiten im Bereich der Catenen sowie der Straße Nr. 601. Die Ausweisung der Areale beruht auf flächenhaften Vegetationskartierungen im Gelände sowie Extrapolation. Die Entnahmestellen von Grund- bzw. Oberflächenwasser sind dunkelblau gekennzeichnet.

5.1 Catena I – Esmeralda

Die insgesamt 7 Standorte der Catena I ziehen sich vom Pass zwischen den beiden Cerros Pacha Kkollu und Inca Camacho entlang der Straße Nr. 601 bis in die Ebene südlich der Cerro Pacha Kkollu (Karte 1 Anlage). Die Catena wurde nach der Ortschaft Esmeralda benannt. Der höchste Standort der Catena (I.1) liegt 3850 m ü. M., der tiefste Standort (I.8) 3692 m ü. M.. Die Catena umfasst 6 in der Trockenzeit (TZ) aufgenommene Standorte (I.1, I.2, I.3, I.5, I.6 und I.8) und wurde in der Regenzeit (RZ) um 2 Standorte (I.4 und I.7) erweitert. Die Quebradas östlich der Straße im Bereich der Standorte I.1 und I.3 sind über einen Durchlass unter dem Straßendamm mit dem Quebradasystem westlich der Straße verbunden, in dessen Bereich sich die Standorte I.2 und I.4 bis I.8 befinden. Die Standorte I.1 bis I.4 sind dem Gebirge (Cerro) zuzuordnen. Der Standort I.5 befindet sich im Hangfußbereich und bildet den Übergang zwischen der Cerro und dem äolisch geprägten Bereich der Alluvialebene (Standort I.6). Die Standorte I.7 und I.8 befinden sich in einem Tiefenbereich der Alluvialebene und sind durch hochanstehendes, salzhaltiges Grundwasser und Salzanreicherungen im Boden und an der Bodenoberfläche gekennzeichnet. Südlich dieses

Tiefenbereichs, der in der Regenzeit durch die Quebrada Sancajahuira nach Südosten entwässert wird, steigt das Gelände wieder um einige Höhenmeter an und ist durch höhere Dünen geprägt. Die vier in dieser Catena vertretenen Standorteinheiten Gebirge, Hangfuß, äolisch geprägte Alluvialebene und grundwasserbeeinflusster Tiefenbereich der Alluvialebene weisen die entsprechenden Vegetationseinheiten auf (Tab. 20 und Karte 1 in der Anlage).

5.1.1 Standort I.1 (Gebirge)

Der Standort I.1 befindet sich im **Gebirge** auf 3850 m ü. M. etwa 150 m oberhalb der Ebene und ist durch eine geringe Hangneigung von 2 ° gekennzeichnet (Tab. 24). Die höchste Deckung (< 5 %) haben die charakteristischen Arten der ***Fabiana densa* - *Baccharis incarum* - *Adesmia ssp.* - *Stipa ssp.* - *Parastrephia lepidophylla* - Vegetationseinheit**, die Dornsträucher *Adesmia ssp.* DC. und *Tetraglochin cristatum* (Britton) Rothm. und in der Regenzeit die ephemere *Poaceae Bouteloua simplex* Lag. (Tab. 20 Anlage; Foto 12). Der schwach verbraunte, schwach humose (jedoch > 0,6 % Humus), schwach saure (oben) bis neutrale (unten) Boden ist carbonat-, gips- und salzfrei und nach DBG als **Braunerde** anzusprechen; die grobe Bodenart des Feinbodens (lehmiger Sand), der sehr hohe (oben) bis extrem hohe Skelettgehalt und die, durch oberflächennah anstehendes Festgestein bedingte, Gründigkeit von 40 cm sind nach USDA Kriterien für die Klassifikation als **Lithic Ustorthent** (Tab. 24 bis 32; Foto 13). Die Summe der austauschbaren Basen ist gering (Tab. 33). Die Anteile der austauschbaren Basen nehmen gemäß der Haftfestigkeit und Eintauschstärke von Calcium, über Magnesium und Kalium zu Natrium ab (Tab. 34) (s.o.; SCHROEDER, 1992, 70 f.). Das gesamte Bodenprofil war in der Trockenzeit trocken und in der Regenzeit schwach feucht (Tab. 26 und 30).



Foto 12: Dornstrauchreiche *Fabiana densa* - *Baccharis incarum* - *Adesmia* ssp. - *Stipa* ssp. - *Parastrephia lepidophylla* - Vegetationseinheit im Bereich des Standorts TZ I.1 (Gebirge; 3850 m ü. M.; Trockenzeit); im Mittelgrund die Straße Nr. 601 im Bereich des Passes und die Estancia Willkhi Nuevo; im Hintergrund die Cerro Pacha Kholu; Aufnahmedatum: 03. Oktober 1996



Foto 13:
Lithic Ustorthent bzw. Braunerde am Standort TZ I.1 (Gebirge; 3850 m ü. M.; Trockenzeit), entstanden aus in situ verwittertem Gestein vulkanischen Ursprungs; Aufnahmedatum: 03. Oktober 1996

5.1.2 Standort I.2 (Gebirge)

Der Standort I.2 (**Gebirge**) unterscheidet sich, trotz stärkerer Hangneigung (10 °) und z.T. stark unterschiedlicher Bodenparameter (austauschbare Basen und pH_{CaCl₂}) hinsichtlich der Vegetation nur wenig von dem Standort I.1: ***Fabiana densa* - *Baccharis incarum* - *Adesmia ssp.* - *Stipa ssp.* - *Parastrephia lepidophylla* - Vegetationseinheit**, wobei *Fabiana densa* in höherer Deckung (5-25 %) auftritt und die o.g. Dornsträucher (*Adesmia ssp.* und *Tetraglochin cristatum*) sowie die o.g. *Poaceae* nur in geringer Deckung vorhanden sind; der Dornstrauch *Junellia seriphioides* ist reichlich (< 5 %) vorhanden (Tab. 20 und 35 bis 45). Die schwach alkalische Bodenreaktion (Tab. 39 und 43) in den unteren Horizonten und die sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (Tab. 44) beruhen höchstwahrscheinlich auf dem frisch in situ verwitterten Festgestein (BC-Horizont). Da der R-Horizont („hard bedrock“) unterhalb 50 cm u. GOF ansteht, ist der Boden nach USDA als **Ustorthent** zu klassifizieren; nach DBG handelt es sich wie beim Standort I.1 um eine **Braunerde** (Tab. 35). Der in der Trockenzeit trockene Boden war zur Zeit der Aufnahme in der Regenzeit nur im oberen Horizont schwach feucht (Tab. 37 und 41). Ende Januar / Anfang Februar 1997 hat die Verfasserin unweit von dem untersuchten Standort Campesinos (Landbevölkerung) beobachtet, die vermutlich Kartoffeln gepflanzt haben. Ansonsten wurde von der Verfasserin im gesamten Untersuchungsgebiet keine ackerbauliche Tätigkeit beobachtet. Die Bevölkerung im Raum Huachacalla ist vermutlich vom Ackerbau abgegangen, da vor der stark ausgeprägten Regenzeit 1996/1997 über etwa 15 Jahre in diesem Raum nur geringere Niederschlagssummen verzeichnet werden konnten.

5.1.3. Standort I.3 (Gebirge)

Die Vegetation des Standortes I.3 (**Gebirge**) ist der des Standortes I.2 sehr ähnlich, wobei der Anteil an dem Dornstrauch *Junellia seriphioides* nur sehr gering ist (Tab. 20 Anlage; Tab. 47 und 51; Foto 14). Die Vegetations- (***Fabiana densa* - *Baccharis incarum* - *Adesmia ssp.* - *Stipa ssp.* - *Parastrephia lepidophylla* - Vegetationseinheit**) und Bodenklassifikation (**Ustorthent** bzw. **Braunerde**) (Tab. 46) entspricht der des Standorts I.2, wobei die Summe der austauschbaren Basen im oberen Bodenhorizont sehr gering ist (Tab. 55). Der Boden des Standorts I.3 (Tab. 48 bis 50 und 51 bis 55) unterscheidet sich von dem Boden des Standortes I.1 in einer Linie durch seine tiefere Gründigkeit von 70 cm (Foto 15). Der Boden war in der Trockenzeit im gesamten Bodenprofil trocken und in der Regenzeit in den oberen 30 cm schwach feucht (Tab. 48 und 52).



Foto 14: Typische *Fabiana densa* - *Baccharis incarum* - *Adesmia ssp.* - *Stipa ssp.* - *Parastrephia lepidophylla* - Vegetationseinheit im Bereich des Standorts TZ I.3 (Gebirge; 3810 m ü. M.; Trockenzeit); Aufnahmedatum: 02. Oktober 1996



Foto 15:
Ustorthent bzw. Braunerde aus vulkanischem Gestein am Standort TZ I.3 (Gebirge; 3810 m ü. M.; Trockenzeit); Aufnahmedatum: 02. Oktober 1996

5.1.4 Standort I.4 (Gebirge)

Die Vegetationseinheit des Standorts I.4 (**Gebirge**) ist wie bei den drei höher gelegenen Standorten der Catena ***Fabiana densa - Baccharis incarum - Adesmia ssp. - Stipa ssp. - Parastrephia lepidophylla***, wobei hier die *Cactaceae Meyeniopsis* im Gegensatz zu den anderen Standorten der Einheit reichlich vorhanden ist (Tab. 20 Anlage; Tab. 57 und 58). Der Standort I.4 (Tab. 57 bis 63) ist durch eine sehr geringe Gründigkeit von 20 cm bedingt durch oberflächlich anstehendes Festgestein gekennzeichnet. Der Standort I.4 wurde nach USDA wie der Standort I.1 als **Lithic Ustorthent** klassifiziert, nach DBG aufgrund des oberhalb von 30 cm u. GOF anstehenden Festgestein als **Ranker** (Tab. 57). Wie bei mehreren Gebirgsstandorten der Catena nimmt die Summe der austauschbaren Basen und der $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ innerhalb des Bodenprofils von unten nach oben ab (Tab. 62). Abgesehen von den oberen 0,2 cm, die trocken waren, war der Boden zur Zeit der Aufnahme in der Regenzeit schwach feucht (Tab. 59).

5.1.5 Standort I.5 (Hangfuß)

Die Vegetation an dem Standort I.5 (**Hangfuß**) wurde als ***Baccharis incarum - Adesmia ssp. - Stipa ssp. - Parastrephia lepidophylla - Festuca orthophylla - Vegetationseinheit*** klassifiziert, die einen Übergang zwischen der Vegetationseinheit der Gebirge und der äolisch geprägten Alluvialebene bildet (Tab. 20 Anlage; Tab. 64, 65 und 69). An diesem Standort treten *Baccharis incarum*, die außer im Bereich des Hangfußes nur im Gebirge kartiert wurde, *Parastrephia lepidophylla*, die vom Bereich der flacheren Gebirgshänge ($< 10^\circ$) bis in die äolisch geprägten Ebene verbreitet ist, sowie *Festuca orthophylla*, die sich vom Hangfuß bis in die grundwasser- und salzbeeinflusste Ebene zieht, in relativ hohen Artenmächtigkeiten (1 bzw. 2) auf (Tab. 20 Anlage). Der als **Ustorthent** (USDA) bzw., aufgrund des geringen Humusgehaltes ($< 0,6\%$), als **Lockersyrossem** (DBG) klassifizierte Boden war gegen Mitte/Ende der Trockenzeit Mitte September ab 15 cm u. GOF schwach feucht, was vermutlich zum einen auf die 5 cm mächtige lose Sandschicht, die den obersten Horizont bildet und deren Grobporen den kapillaren Aufstieg im Vergleich zu feineren Bodenarten stark herabsetzen (vgl. Kap. 2), zurückzuführen ist und zum anderen auf das in 75 cm u. GOF anstehende Festgestein, das die Versickerung des Niederschlagswassers verhindert und auf dem eventuell Hangwasser aus dem Gebirge zugeführt wird; in der Regenzeit waren alle Horizonte des untersuchten Bodenprofils schwach feucht (Tab. 64, 66 bis 68 und 70 bis 72). Dass es sich bei dem Bodenwasser um ombrogenes Wasser und nicht um Grundwasser handelt, lässt sich aus dem sehr geringen Salzgehalt des gesamten Bodens schließen (Tab. 68 und 72). Trotz des relativ günstigen Wasserhaushalts ist der Standort nicht für den Ackerbau geeignet, da die Summe der austauschbaren Basen bis 45 cm u. GOF (RZ-Aufnahme) sehr gering ist (Tab. 73), wobei die Anteile der Ionen für Nichtsalz-Böden charakteristische Werte besitzen (Tab. 74). Der hohe Grobbodenanteil des Horizontes bzw. der Schicht oberhalb des anstehenden vulkanischen Festgestein (45 bis 75 cm u. GOF) deutet in Verbindung mit der zugerundeten Form der großen Steine auf eine fluviatile Ablagerung hin (Tab. 64, 66, 67, 70 und 71). Die darüber liegenden Schichten sind vermutlich äolisch abgelagert worden; sie enthalten nur (sehr) geringe Skelettanteile (Foto 16). Geomorphologisch ist der Bereich des Standorts I.5 als Pediment mit flacher Schotterdecke anzusprechen.

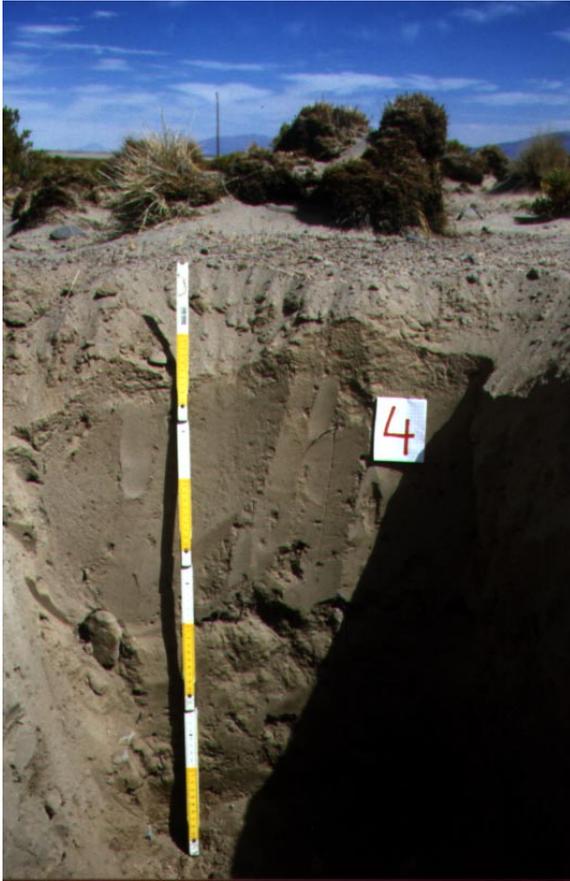


Foto 16:

Ustorthent bzw. Lockersyrosem aus äolisch abgelagertem Sand über fluviatil abgelagertem, grobbodenreichem Sand, über anstehendem Festgestein vulkanischen Ursprungs am Standort TZ I.5 (Hangfuß; 3710 m ü. M.; Trockenzeit); Aufnahmedatum: 13. September 1996

5.1.6 Standort I.6 (äolisch geprägte Alluvialebene)



Foto 17:

Ustipsamment bzw. Lockersyrosem aus überwiegend fluviatil abgelagertem Grobsand (in den oberen Bodenzentimetern loser, äolisch abgelagerter Sand) am Standort TZ I.6 (äolisch geprägte Alluvialebene; 3702 m ü. M.; Trockenzeit); *Parastrephia lepidophylla* - Strauch (in der oberen Bildmitte) und *Lampaya castellani* - Zwergsträucher, Aufnahmedatum: 10. September 1996

Der Standort I.6 wurde aufgrund der Dominanz von *Parastrephia lepidophylla* und *Lampaya castellani* (*Festuca orthophylla* ist nur mit Anteilen < 5 % vertreten) vegetationskundlich der **Lampaya castellani - Parastrephia lepidophylla - Festuca orthophylla - Vegetationseinheit** der **äolisch geprägten Alluvialebene** zugeordnet, obwohl noch (sehr) geringe Anteile von Arten der Gebirgsstandorte vertreten waren (Tab. 20 Anlage; Tab. 75, 76 und 80). Die Skelettgehalte < 35 % innerhalb der „particle-size control section“ (SOIL SURVEY STAFF 1998, 393), das ist bei diesem Boden ohne oberflächennah anstehendes Festgestein zwischen 25 und 100 cm u. GOF (SOIL SURVEY STAFF 1996, 594), und die Abwesenheit eines diagnostischen Unterbodenhorizontes (z.B. eines „cambic horizon“) haben zu der Klassifikation als **Ustipsamment** nach USDA und unter Berücksichtigung des extrem geringen Humusgehaltes (bei Probe TZ I.6.1 hat unzersetztes Pflanzenmaterial zu dem erhöhten „Humus“gehalt geführt) zur Klassifikation als **Lockersyrosem** nach DBG geführt (Tab. 75, 77 bis 79 und 81 bis 83). Das Bodenausgangsmaterial ist vermutlich überwiegend fluviatil abgelagert und besteht ab 15 cm u. GOF aus Grobsand; ab 30 cm u. GOF ist der Boden offenbar ganzjährig schwach feucht; auch hier verhindert vermutlich wie bei Standort I.5 der reine (äolisch abgelagerte) Sand in den oberen Bodenzentimetern eine tieferreichende Austrocknung des Bodens (Tab. 77, 78, 81 und 82; Foto 17). Auch an diesem Standort besteht kein Grundwassereinfluss (extrem niedrige Salzgehalte, kein Carbonat, kein Gips), das Vorkommen einer wasserstauenden Schicht (nach DBG Sd-Horizont) unterhalb des Grobsandes wird jedoch vermutet (Tab. 79 und 83). Die Summe der austauschbaren Basen ist im gesamten Bodenprofil sehr gering (Tab. 84), die Anteile der Kationen nehmen von Calcium, über Magnesium, zu Kalium und Natrium ab (typisch für Nichtsalzböden) (Tab. 85).

5.1.7 Standort I.7 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene)

Aufgrund der guten Wasserversorgung und der hohen Salzgehalte (s.u.) gedeiht am Standort I.7 eine relativ dichte (50 bis 75 % Deckung) Halophytenvegetation (***Distichlis humilis* - *Salicornia pulvinata* - *Anthobryum triandrum* - Vegetation**) (Tab. 20 Anlage; Tab. 86 und 87). Der **grundwasser- und salzbeeinflusste** Boden des Standorts I.7 wurde nach USDA als **Halaquept** klassifiziert (Tab. 86 bis 96; Foto 18). Nach DBG scheint der Verfasserin eine Klassifikation nicht sinnvoll; zudem wurde nach der Wandkarte „Soils of the World“ (FAO, UNESCO, ELSEVIER and ISRIC 1987) ein nach FAO als Solonchak und nach USDA als Halaquept klassifizierter Boden nach dem deutschen System von MÜCKENHAUSEN (DBG 1985) ebenfalls nicht klassifiziert. Dieser Standort wurde nur in der Regenzeit untersucht. Die Laboranalysen ergaben eine für grundwasserversalzte Standorte in der Regenzeit typische Verteilung der löslichen Salze (Abb. 13 und 15; Tab. 90, 93 bis 96): die Salze konzentrieren sich, durch die regenzeitliche Auswaschung aus den oberen Horizonten, in den Horizonten zwischen 10 und 40 cm u. GOF, hier dominiert bei den Kationen Natrium und bei den Anionen Chlorid.

Exkurs: Natrium besitzt an den Austauschern der Ton- und Humuskomplexe eine geringere Eintauschstärke und eine geringere Haftfestigkeit als Kalium und vor allem als die zweiwertigen Kationen Calcium und Magnesium und wird deshalb leicht ausgewaschen und in den lokalen Vorfluter transportiert, erst bei höheren Natriumkonzentrationen in der Bodenlösung kommt es auch zum verstärkten Eintausch von Natrium.

Die Gehalte an löslichen Kationen und Anionen, den EC_e in $mS/cm \cdot 10$ (zur Kontrolle Werte der löslichen Kationen und Anionen, vgl. Kap. 3), den SAR und den pH_e der Bodenhorizonte zeigt die Abb. 15. Dass der pH_e zwischen 14 und 40 cm u. GOF mit 7,8 innerhalb des Bodenprofils trotz

des hohen Natriumgehaltes am niedrigsten ist, liegt an der schwächeren Hydrolyse von Natriumcarbonat und austauschbarem Natrium bei hohem Gesamtsalzgehalt (s.o.; SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1998, 111). Der in CaCl_2 gemessene pH-Wert hingegen ist in den Anreicherungshorizonten am höchsten. Den höchsten Anteil an der Summe der austauschbaren Basen hat Calcium, wobei dieser Wert jedoch durch die Lösung von Kalk durch das Extraktionsmittel Ammoniumacetat stark erhöht ist; der Natriumanteil an der Summe der austauschbaren Basen ist in den Horizonten mit hohen Gehalten an löslichen Salzen aufgrund des hohen Anteils an löslichem Natrium erhöht; es sind hier mehr Natriumionen als Kaliumionen adsorbiert (Abb. 14; Tab. 91 und 92). Die Anteile der löslichen Kationen der salzarmen Horizonte ab 40 cm u. GOF (um 0,05 % Salz im Boden) an den extrahierbaren Kationen (lösliche und austauschbare) ist mit 1 % sehr gering, darüber in den salzreichen Horizonten liegt der Wert zwischen 10 und 20 % (Tab. 92). Der Boden ist bis 40 cm u. GOF mittel (bis stark) humos (Abb. 13; Tab. 90).



Foto 18:
 Halaquept am Standort RZ I.7 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene mit dichter Halophytenvegetation; 3695 m ü. M.; Regenzeit); Aufnahme datum: 9. Januar 1997

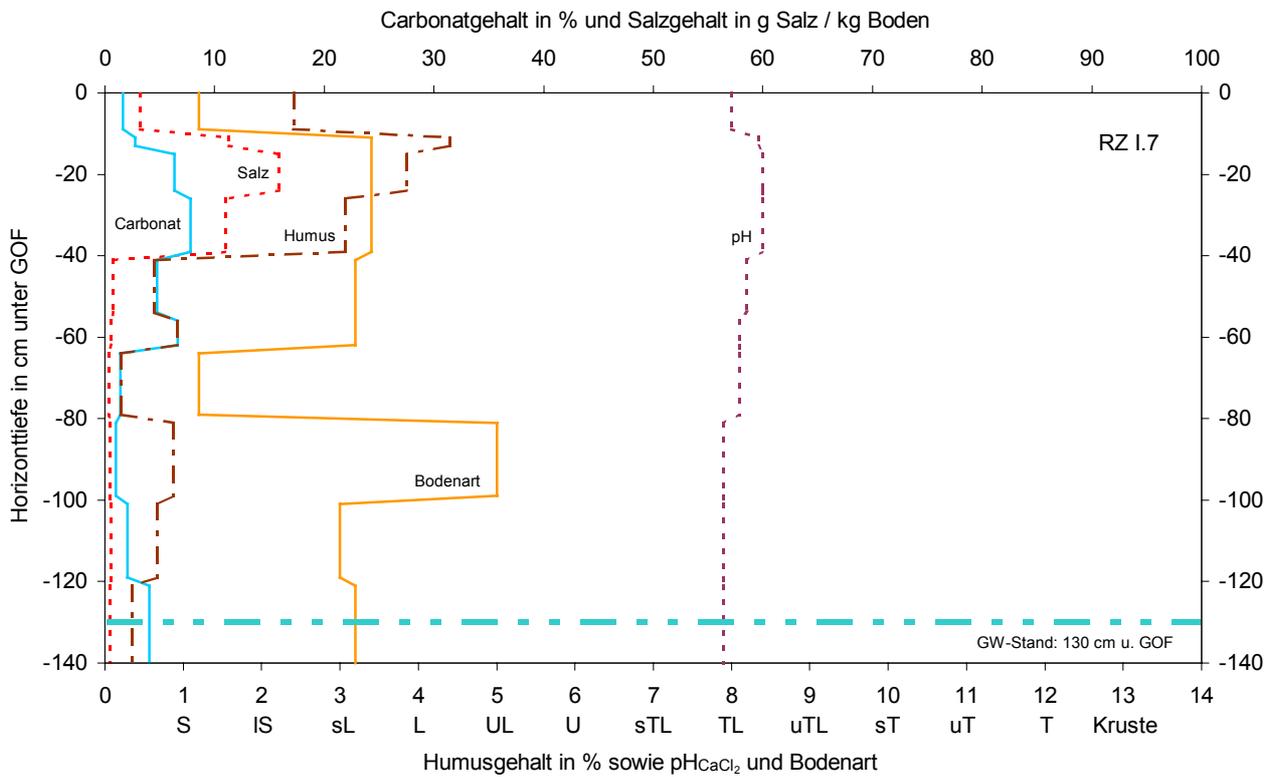


Abb. 13: Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 140 cm u. GOF des Standortes RZ I.7 (Regenzeit)

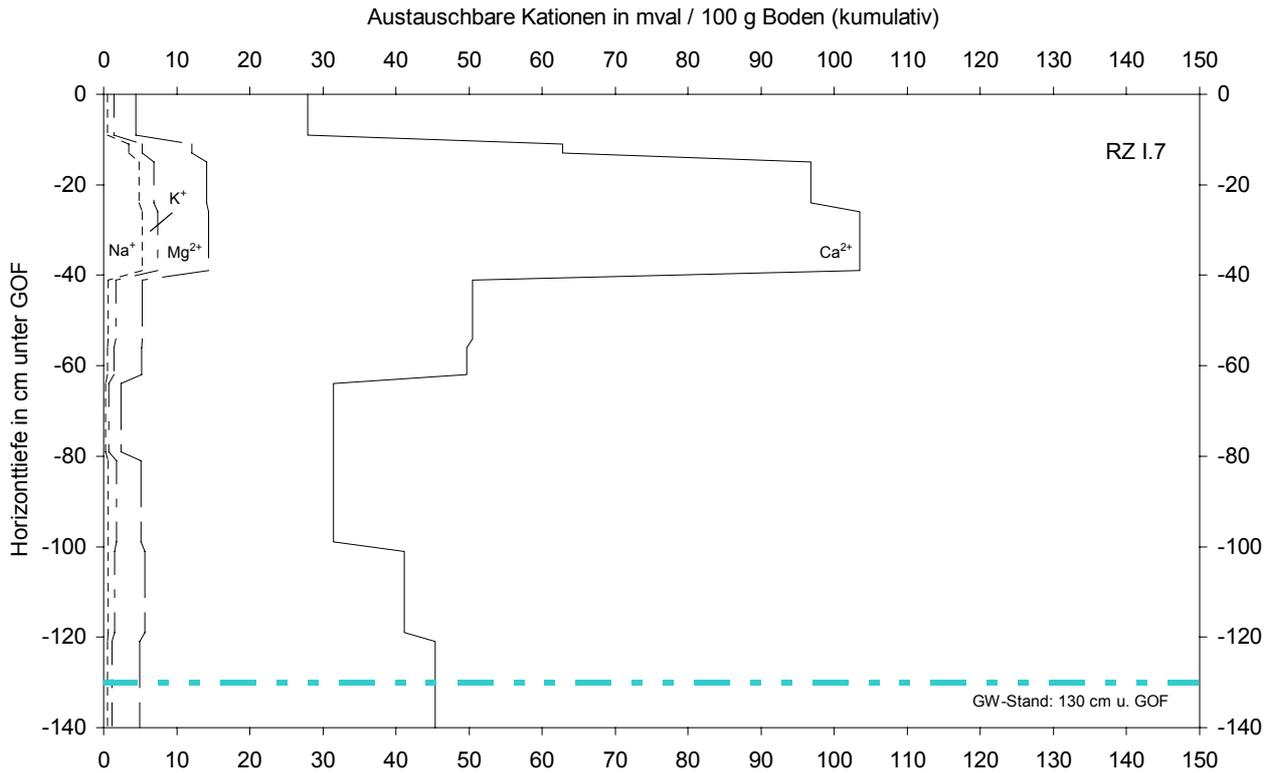


Abb. 14: Austauschbare Kationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium (austauschbare Basen) der Bodenhorizonte bis 140 cm u. GOF des Standortes RZ I.7 (Regenzeit)

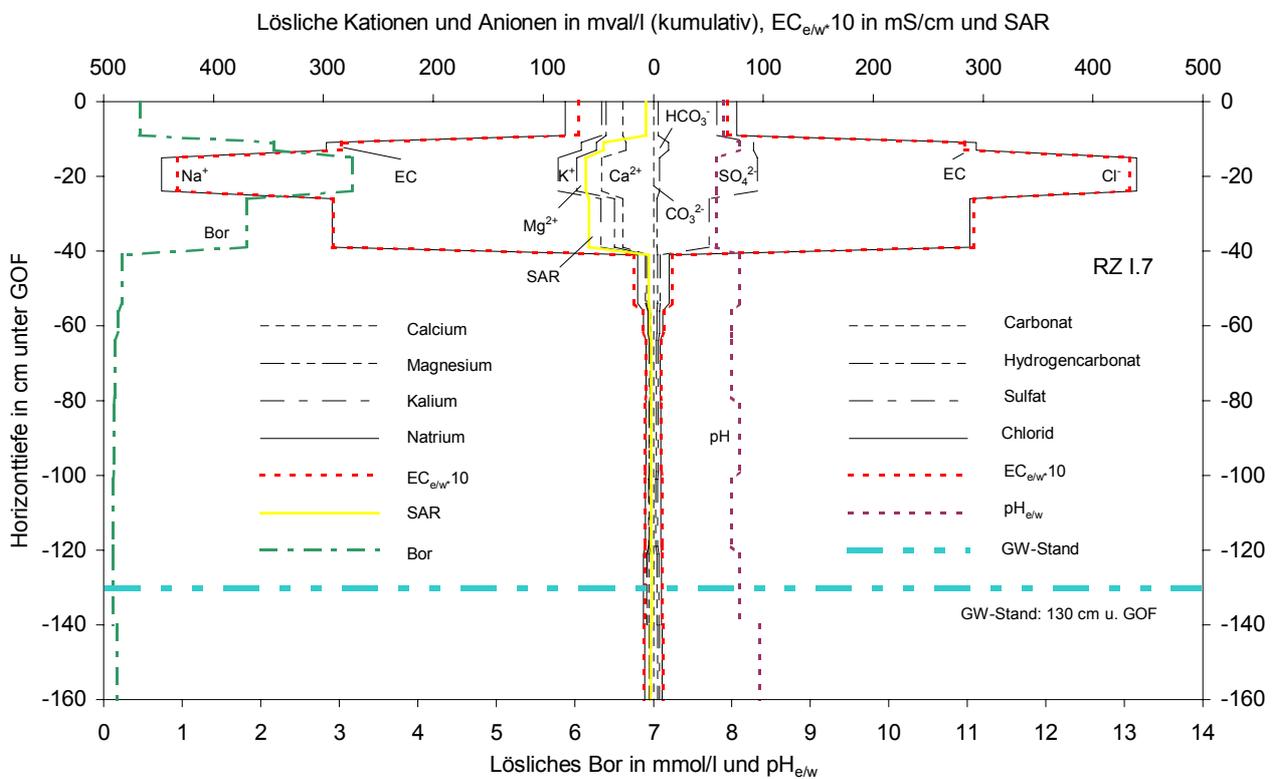


Abb. 15: Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/w} \cdot 10$, SAR, pH_{e/w} und lösliches Bor des Bodensättigungsextraktes der Bodenhorizonte bis 140 cm u. GOF und des Grundwassers (ab 130 cm u. GOF; abgetragen ab 140 cm u. GOF) des Standortes RZ I.7 (Regenzeit)

5.1.8 Standort I.8 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene)

Der in der **grundwasser- und salzbeeinflussten Alluvialebene** gelegene Standort I.8 zeigt eine **extrem geringe Deckung der Vegetation**, wurde jedoch aufgrund der sehr geringen Vorkommen von *Distichilis humilis*, *Salicornia pulvinata* und *Anthobryum triandrum* der *Distichilis humilis* - Vegetationshaupteinheit zugeordnet (Tab. 20 Anlage; Tab. 97, 98 und 106; Foto 21). Die Standortuntereinheit ist als **Salztonebene** zu bezeichnen. Der Boden wurde wie der des Standortes I.7 nach USDA als **Halaquept** klassifiziert. Die Ursache der sehr geringen Vegetationsbesiedlung liegt vermutlich zum einen in der langandauernden Überschwemmung dieses Tiefenbereichs der Alluvialebene und zum anderen in der bis zu 0,2 cm mächtigen Salzkruste (phytotoxische Ionen und hohes negatives osmotisches Potential), die in der Trockenzeit und in der einsetzenden Regenzeit vorgefunden wurde (Tab. 97, 99 bis 105 und 107 bis 113). Die Borgehalte der Salzkruste sind zwar mit 24 mg/l (TZ-Standort) und 50 mg/l (RZ-Standort) im 1:1-Extrakt der Salzkrusten extrem hoch (Tab. 105 und 113), jedoch gedeihen an anderen Standorten mit vergleichbaren Werten die Halophyten relativ gut. Die an der Bodenoberfläche (0 bis 0,2 cm u. GOF) in der Trockenzeit entnommene Probe enthält nach EC_5 knapp 90 % lösliche Salze; nach dem EC_1 (elektrische Leitfähigkeit des 1:1-Bodenextraktes) sowie der Analyse der einzelnen Ionen etwa 40 % lösliche Salze (die extremen Unterschiede beruhen auf Mess-Ungenauigkeiten bedingt durch sehr hohe Verdünnungen) und nur 1,5 % Carbonat, der Rest ist mineralischer Boden, der sich jedoch unterhalb der Salzkruste befand (Tab. 101 bis 105). Die Salze konzentrieren sich in der Trockenzeit an diesem Standort in den oberen Millimetern des Bodenprofils, da das gesamte kapillar aufsteigende Wasser durch Evaporation an der Bodenoberfläche verdunstet und nicht durch Pflanzenwurzeln in tieferen Bodenhorizonten entnommen wird (wobei auch Salze als Ionen durch die Wurzeln aufgenommen werden). In den Abb. 16 bis 18 sind die Parameter der untersuchten Bodenhorizonte, jedoch nicht der Salzkruste dargestellt. In der Regenzeit werden die Salze aus den oberen Bodenzentimetern mit dem Niederschlagswasser in tiefere Bereiche geführt, wobei zur Zeit der Aufnahme am 8. Januar 1996 dieser Prozess noch nicht sehr weit fortgeschritten war (Abb. 17 und 19). Wenige Wochen nach der Regenzeit-Aufnahme war die gesamte Ebene im Bereich des Standortes I.8 überschwemmt. Charakteristisch für diesen Standort sind die bis zu 2 cm mächtigen und z.T. sehr harten Carbonatkrusten mit bis zu 60 % Carbonat (Fotos 19 und 20; Abb. 16 und 17; Tab. 101 und 109), die nach Meinung der Verfasserin durch die Verdunstung kapillar aufsteigendes Wasser an der Bodenoberfläche, d.h. vor der Überlagerung mit weiterem Alluvialmaterial, bei sehr hoch anstehendem Grundwasser entstanden sind. Demzufolge würde es sich um aszendente entstandene pedogene Krusten handeln (vgl. SCHINLE 1991, 14 ff.). Eine weitere Erklärungsmöglichkeit ist, dass es sich bei den Krusten um die Ausfällungen in einem austrocknenden Salzsee und somit um lithogene Krusten (vgl. SCHINLE 1991, 14 ff.) handelt. Die Tatsache, dass bei den beiden untersuchten Bodenprofilen (TZ I.8 und RZ I.8) die Anzahl und Lage der Carbonatkrusten (Fotos 19 und 20) unterschiedlich ist, spricht eher für die erste Erklärungsmöglichkeit (räumliche und zeitliche Verlagerung von Abflussrinnen und „Evaporationsbereichen“ in der Alluvialebene), schließt jedoch die zweite nicht aus.

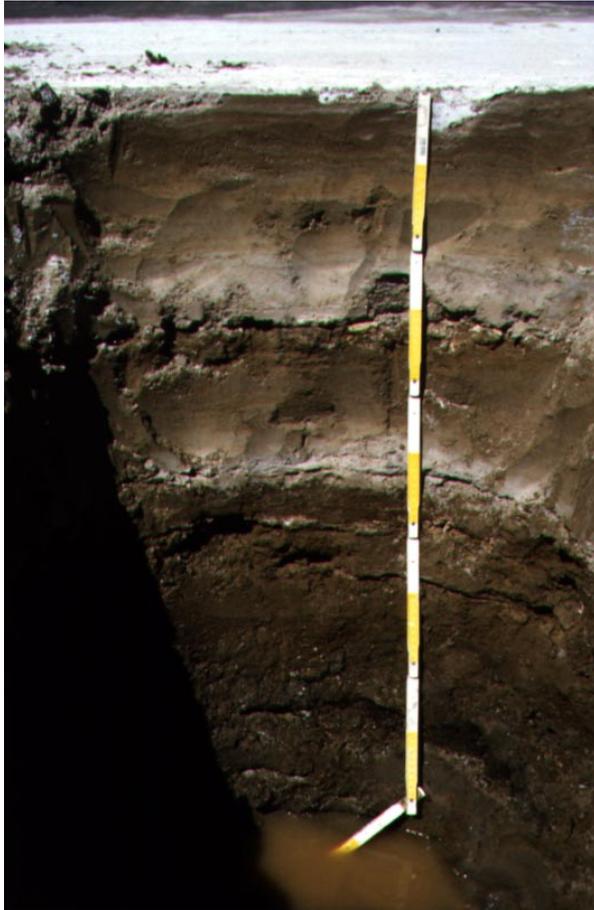


Foto 19:
Halaquept am Standort TZ I.8 (weitgehend vegetationsfreie, grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene; 3692 m. ü. M.; Trockenzeit) mit starken Salzausscheidungen an der Bodenoberfläche und Carbonatkrusten innerhalb des Bodenprofils; Grundwasserstand zur Zeit der Aufnahme 1,0 m u. GOF; Aufnahmedatum: 5. September 1996



Foto 20:
Halaquept am Standort RZ I.8; der RZ-Standort befindet sich nur wenige Meter von dem TZ-Standort entfernt und zeigt eine völlig andere alluviale Schichtung (auf den Fotos erkennbar an der Lage der Carbonatkrusten); Grundwasserstand zur Zeit der Aufnahme 0,8 m u. GOF; Aufnahmedatum: 8. Januar 1997



Foto 21:
Mächtiges *Anthobryum triandrum* - Polster im Bereich des Standortes RZ I.8 (extrem vegetationsarme, grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene; Salztonebene; 3692 m. ü. M.; Regenzeit); die Pfahlwurzeln des Polsters erreichen auch in der Trockenzeit das Grundwasser; oben im Bild Salzausscheidungen an der Bodenoberfläche der wenige Zentimeter tiefer gelegenen Bereiche; Aufnahmedatum: 8. Januar 1997

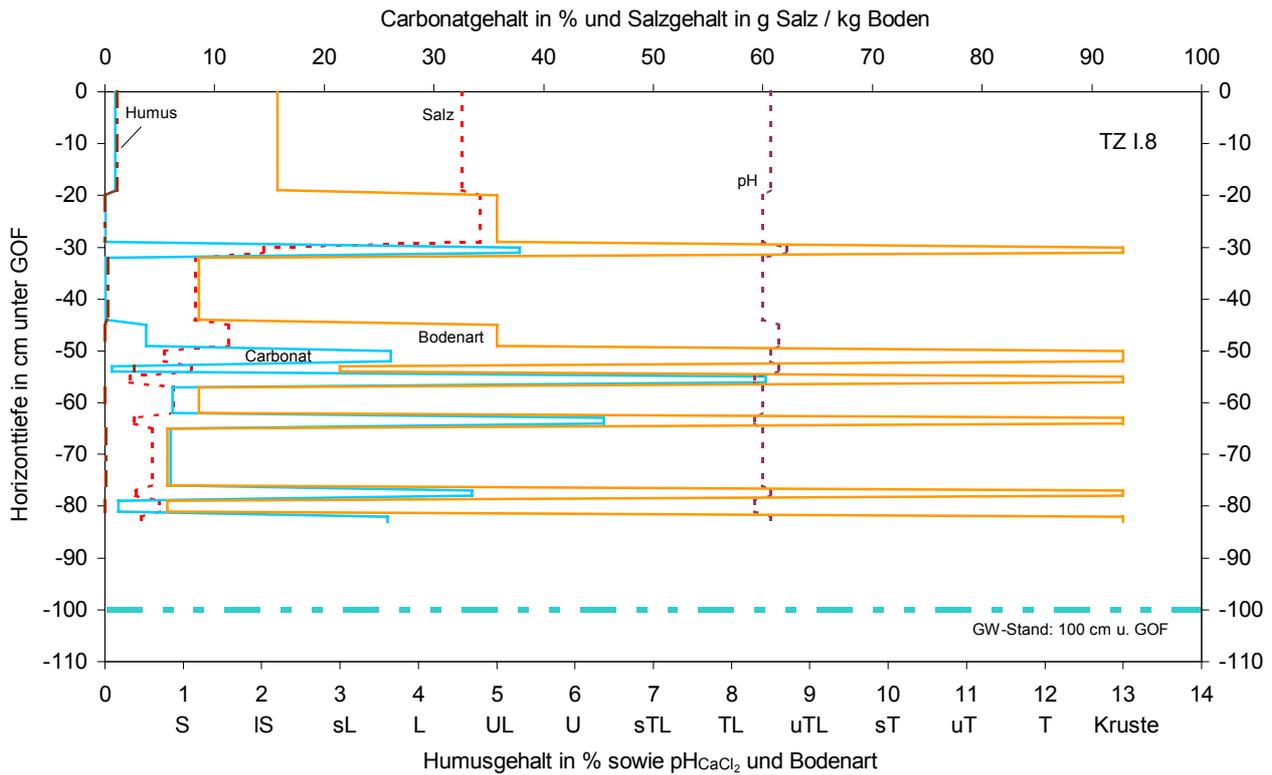


Abb. 16: Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ und Bodenart der Bodenhorizonte bis 83 cm u. GOF des Standortes TZ I.8 (Trockenzeit)

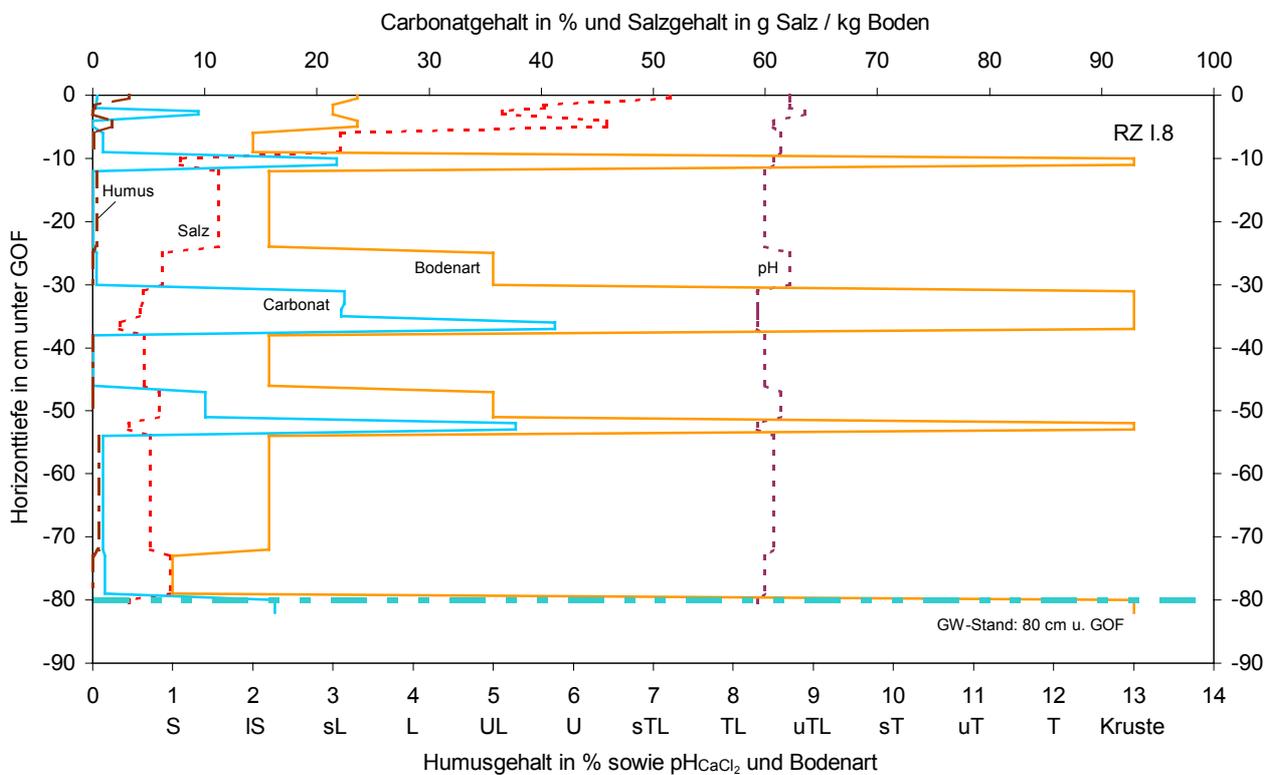


Abb. 17: Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ und Bodenart der Bodenhorizonte bis 82 cm u. GOF des Standortes RZ I.8 (Regenzeit)

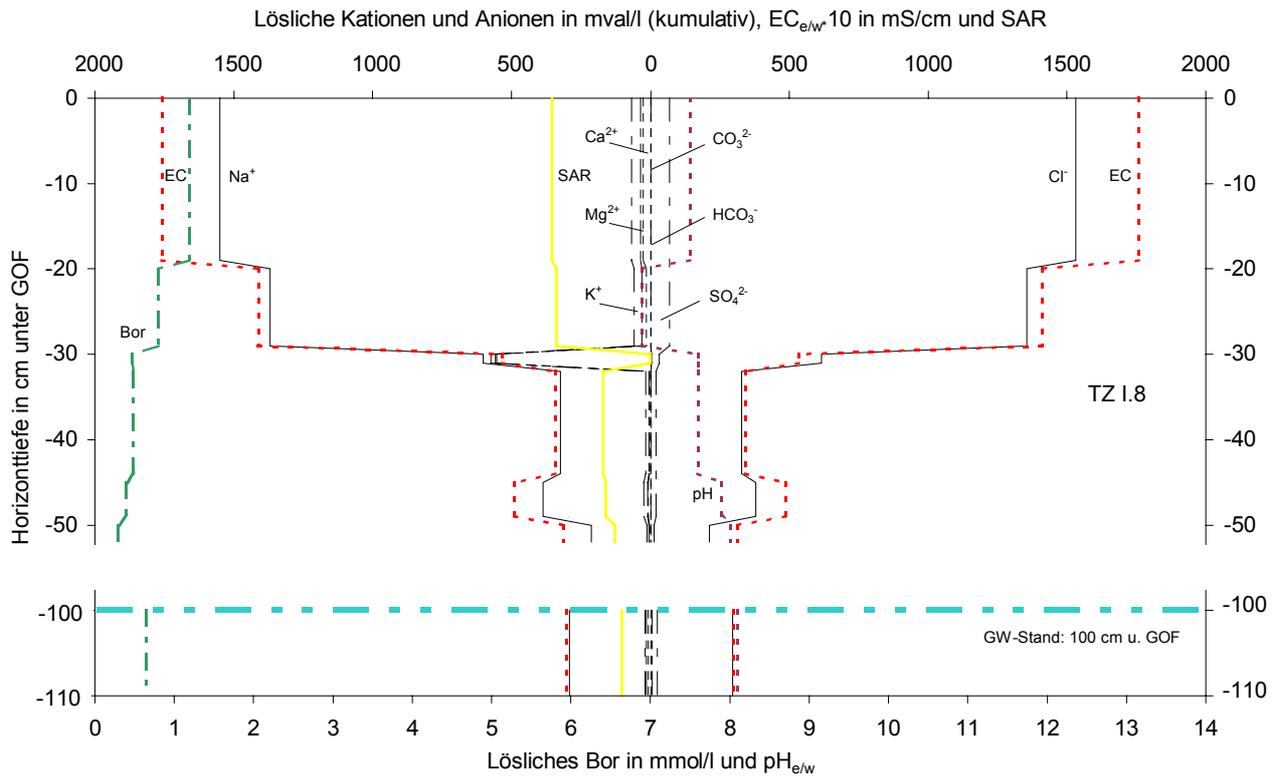


Abb. 18: Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/w} \cdot 10$, SAR, $pH_{e/w}$ und lösliches Bor des Bodensättigungsextraktes der Bodenhorizonte bis 52 cm u. GOF und des Grundwassers (ab 100 cm u. GOF) des Standortes TZ I.8 (Trockenzeit)

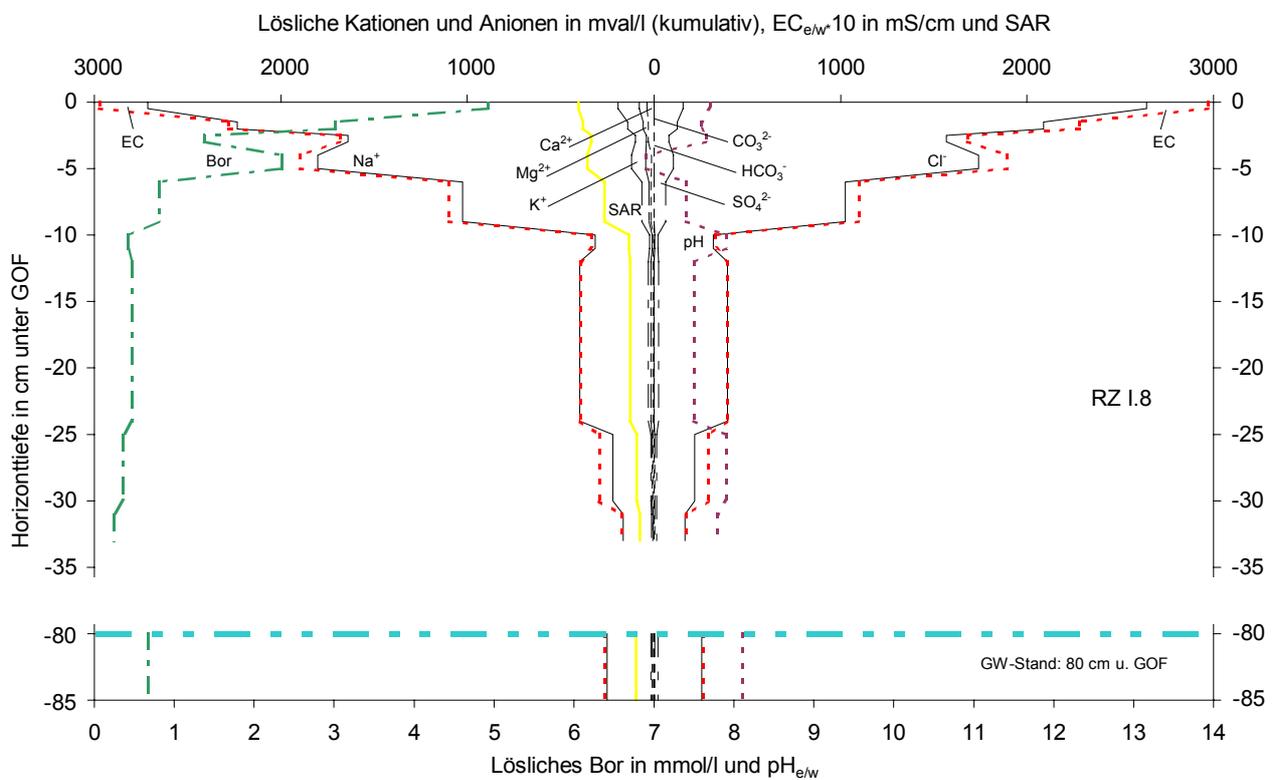


Abb. 19: Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/w} \cdot 10$, SAR, $pH_{e/w}$ und lösliches Bor des Bodensättigungsextraktes der Bodenhorizonte bis 34 cm u. GOF und des Grundwassers (ab 80 cm u. GOF) des Standortes RZ I.8 (Regenzeit)

5.2 Catena II – Cerro Saya Vinto

Die Catena II befindet sich etwa 5 km nordnordwestlich von Huachacalla im Bereich der Cerro Saya Vinto (Karte 1 Anlage). Der Standort II.1 liegt bei 3845 m ü. M. wenige Dekameter unterhalb des Gipfels. Der Standort II.2 (3755 m ü. M.) befindet sich am Unterhang der Cerro. Der Standort II.3 (3732 m ü. M.) hat eine Neigung von 0,5 ° und ist durch kleine Dünen (< 50 cm Höhe) geprägt. Der tiefste Standort der Catena II.4 liegt bei 3730 m ü. M. im Grundwassereinflussbereich. Die Standorte der Catena II wurden ausschließlich in der Regenzeit aufgenommen. Für die Standorte dieser Catena wurden exemplarisch alle im Methodikkapitel aufgeführten Parameter (soweit es die Probenmenge zuließ) untersucht, d.h. sowohl für die nichtsalzbeeinflussten als auch für die salzbeeinflussten Standorte wurden neben den Analysen der physikalischen und chemischen Parameter, die austauschbaren Kationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium (austauschbare Basen) und die Parameter des Bodensättigungsextraktes bestimmt.

5.2.1 Standort II.1 (Gebirge)

Neben den charakteristischen Arten der ***Fabiana densa* - *Baccharis boliviensis* - *Opuntia ssp.* - *Adesmia ssp.* - *Stipa ssp.* - Vegetationseinheit**, welche im Bereich der steileren, ostexponierten **Gebirgshänge** auftritt, sind am Standort II.1 die Dornsträucher *Tetraglochin cristatum* und *Junellia seriphioides* sowie die ephemere *Stevia ssp.* mit einer Artmächtigkeit von 1 oder 2 vertreten (Foto 22; Tab. 20 Anlage; Tab. 114 und 115). Der Boden (**Lithic Ustorthent** bzw. **Braunerde**) war zur Zeit der Aufnahme in der Regenzeit schwach feucht bis feucht (Tab. 114 und 116). Der Boden ist bis 20 cm u. GOF sehr schwach humos (0,6 bis 1,0 %); zwischen 20 und 40 cm u. GOF ist der Humusgehalt vermutlich deshalb etwas höher (1,2 %), weil sich hier die Wurzeln, die nach dem Absterben organische Substanz bilden, aufgrund des u.a. aus großen Steinen bestehenden, extrem hohen Grobbodenanteils (> 85 %) auf die kleine Menge Feinboden konzentrieren (Tab. 117 und 118). Eine Verlagerung von (löslichen) organischen Verbindungen aus den oberen Bodenbereichen ist ebenfalls denkbar. Der gesamte Boden ist carbonat- und gipsfrei, nicht versalzt und zeigt mit Ausnahme des obersten Bodenhorizontes (0 bis 1 cm u. GOF stark saure Reaktion) in einer CaCl₂-Suspension eine neutrale Reaktion (Tab. 118 bis 124). Die Summe der austauschbaren Basen des sandigen Lehms (1 bis 20 cm u. GOF) ist gering und des sandigen Tonlehm (20 bis 40 cm u. GOF) sehr hoch (Tab. 117 und 119). Die Borkonzentration ist mittel (im unteren Bodenhorizont) bis hoch (im oberen Bodenzentimeter); der Horizont zwischen 1 und 20 cm u. GOF konnte wegen einer zu geringen Bodensättigungsextraktmenge nicht auf Bor untersucht werden (Tab. 124). Der Standort ist somit nur für den Anbau von bortoleranten (oder -semitoleranten) Kulturpflanzen geeignet (vgl. Tab. 3 in Abschn. 2.4 und Tab. 17 in Abschn. 3.2.4.5).



Foto 22: *Fabiana densa* - *Baccharis boliviensis* - *Opuntia* ssp. - *Adesmia* ssp. - *Stipa* ssp. - Vegetationseinheit der steileren, ostexponierten Gebirgshänge im Bereich des Standorts RZ II.1 (Gebirge; 3845 m. ü. M.; Regenzeit); im Mittelgrund die Cerro Pacha Kkollu; im Hintergrund die Cerro Inca Camacho; Aufnahme-richtung SSE; Aufnahmedatum: 27. Januar 1997



Foto 23:
Lithic Ustorthent bzw. Braunerde am Standort RZ II.1 (Gebirge; 3845 m. ü. M.; Regenzeit) entstanden aus in situ verwittertem Gestein vulkanischen Ursprungs; die dunkleren und intensiveren Farben des Bodens, im Vergleich zu den auf den Fotos 13 und 15 abgebildeten Ustorthents, beruhen auf der höheren Bodenfeuchte; Aufnahmedatum: 27. Januar 1997

5.2.2 Standort II.2 (Gebirge)

Der Standort II.2 (**Gebirge**) wurde der ***Fabiana densa* - *Baccharis incarum* - *Adesmia* ssp. - *Stipa* ssp. - *Parastrephia lepidophylla* - Vegetationseinheit** zugeordnet, da die charakteristischen Arten der Vegetationseinheit des Standortes II.1 *Opuntia* ssp. und *Baccharis boliviensis* nur in geringer Deckung (+) vorhanden sind; *Baccharis incarum* sowie *Parastrephia lepidophylla* hingegen mit einer Artmächtigkeit von 1 vorhanden sind. Die drei am Oberhang der Cerro (Standort II.1) stark vertretenen Dornstraucharten sind auch am Unterhang (Standort II.2) in ähnlicher Artmächtigkeit vorhanden (Tab. 20 Anlage; Tab. 125 und 126). Der Boden des Unterhangstandortes unterscheidet sich von dem Boden des Oberhangstandortes u.a. durch seine tiefere Gründigkeit von 0,6 m, vermutlich bedingt durch die Akkumulation von Bodenmaterial, das am Oberhang abgetragen wurde; diese Vermutung liegt nahe, da die Hangneigung am Oberhang 16 ° und am Unterhang 10 ° beträgt (Tab. 125). Der Boden ist salz-, gips- und carbonatfrei (Tab. 127, 129 und 132 bis 135) und wurde als **Ustorthent** (USDA) bzw. **Braunerde** (DBG) klassifiziert. Der Borgehalt im Bodenprofil II.2 ist sehr gering bis gering und nur im oberen Bodenzentimeter mittel (Tab. 135). Die höheren Borgehalte in dem oberen Bodenzentimeter der beiden Gebirgsstandorte der Cerro Saya Vinto lassen auf eine äolische Deposition von Salzen (Austrag aus den grundwasser- und salzbeeinflussten Ebenen) in der Trockenzeit und auf eine Auswaschung in tiefere Bodenhorizonte in der Regenzeit schließen; der Eintrag mit dem Regenwasser in der Regenzeit dürfte vergleichsweise gering sein. Dieser Standort ist somit auch für den Anbau von borempfindlichen Feldfrüchten geeignet (vgl. Tab. 3 in Abschn. 2.4). Die sehr geringe Summe der austauschbaren Basen in den oberen 20 cm u. GOF (Sand) und die geringe Summe der austauschbaren Basen zwischen 20 und 40 cm u. GOF (sandiger Lehm) lassen jedoch keine sehr hohen Erträge erwarten (Tab. 128 und 130). Der Anteil der löslichen an den extrahierbaren Basen beträgt im oberen Horizont 6 %, darunter 1 bis 2 % (Tab. 131). Die recht hohen Gehalte an Ammonium (und Nitrat) in dem oberen Horizont des Standorts II.2 sind vermutlich auf dem Eintrag von Lamakot u.ä. zurückzuführen (Tab. 132 bis 134).

5.2.3 Standort II.3 (äolisch geprägte Alluvialebene)

Die Vegetation am Standort II.3 (**äolisch geprägte Alluvialebene**) wird von *Festuca orthophylla* dominiert und hat nur sehr geringe bzw. geringe Anteile an *Parastrephia lepidophylla* und *Lampaya castellani* (Tab. 20 Anlage; Tab. 136 und 137). Dieser der ***Lampaya castellani* - *Parastrephia lepidophylla* - *Festuca orthophylla* - Vegetationseinheit** zugeordnete Bestand steht dem Bestand des Standorts VI.1 (*Festuca orthophylla* - Vegetationseinheit der schwach Grundwasser- und salzbeeinflussten Alluvialebene) floristisch sehr nahe, der den Übergang von der äolisch geprägten Alluvialebene zur grundwasser- und salzbeeinflussten Alluvialebene bildet.

Der Boden wurde nach USDA u.a. aufgrund des Vorhandenseins eines "cambic horizon" als **Haplustept** klassifiziert; nach DBG wurde der Boden aufgrund des extrem geringen Humusgehaltes < 0,6 % als **Lockersyrosem** klassifiziert (Tab. 136). Der Standort II.3 ist durch nicht erhöhte bis sehr gering erhöhte Salzgehalte im gesamten Bodenprofil und hohe Carbonatgehalte in drei Horizonten mit 6 bis 14 cm Mächtigkeit gekennzeichnet (Abb. 20; Tab. 140). Die hohen Carbonatgehalte (max. 14 %) bewirken bei Austrocknung die Ausbildung eines Kittgefüges (Tab. 138). „Eine sekundäre CaCO₃-Bildung erfolgt, wenn die Konzentration der Bodenlösung an Ca-Hydrogencarbonat durch Wasserentzug steigt oder wenn der CO₂-Partialdruck der Bodenluft sinkt, weil CO₂ in gröbere Poren bzw. die Atmosphäre entweicht.“ SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL

1998, 390). Ob die vergleichsweise feine Bodenart (Abb. 20; Tab. 139) dieser drei Horizonte die Ursache oder die Folge der Carbonatanreicherung ist, lässt sich nicht mit absoluter Sicherheit beantworten, da aus den im Methodikkapitel geschilderten Gründen im Rahmen der Korngrößenanalyse keine Zerstörung der Carbonate vorgenommen wurde. Die Verfasserin tendiert zu der Auffassung, dass bei diesem Standort die etwas höheren Anteile der carbonatreichen Horizonte an Schluff und/oder Ton mehr oder weniger durch das Carbonat selbst bedingt sind. Die carbonatreichen Horizonte sind nach Meinung der Verfasserin in Zeiten relativ hochanstehenden Grundwassers jeweils nahe der Bodenoberfläche entstanden; hierfür spricht, dass zwei der drei Carbonatkrusten höhere Gehalte an organischer Substanz haben (vorausgesetzt, dass es sich hierbei nicht um eine Ungenauigkeit bei der Kohlenstoffanalyse handelt, d.h. nicht vollständige Zerstörung der Carbonate mit HCl vor der Messung des TOC, vgl. Abschn. 3.2.3). Zur Zeit der Entstehung der jeweiligen Carbonatakkumulation befand sich mit ziemlicher Sicherheit aufgrund des aszendierenden Bodenwassers eine Salzanreicherungszone oberhalb der Carbonatanreicherungszone, wobei die löslichen Salze bei Niederschlagsereignissen mit dem nach unten gerichteten Bodenwasserstrom in tiefere Bereiche verlagert wurden und bei erneutem Einsetzen der aszendierenden Wasserbewegung wieder nach oben transportiert wurden (Pendeln der löslichen Salze innerhalb des Bodenprofils). Nach Absenkung des Grundwasserspiegels wurden die löslichen Salze jedoch durch das perkolierende Niederschlagswassers weitgehend ausgewaschen. Durch die hohen Carbonatgehalte sind die Werte der austauschbaren Calciumionen und eventuell auch der Magnesiumionen erhöht (errechnet aus der Differenz der NH_4OAc -extrahierbaren und der löslichen Ionen) (Abb. 21; Tab. 141 und 142). Die Parameter der Bodensättigungsextrakte weisen den Boden des Standortes als Normalboden nach RICHARDS (vgl. 3.2.4.8) aus (Abb. 22; Tab. 143 bis 146).

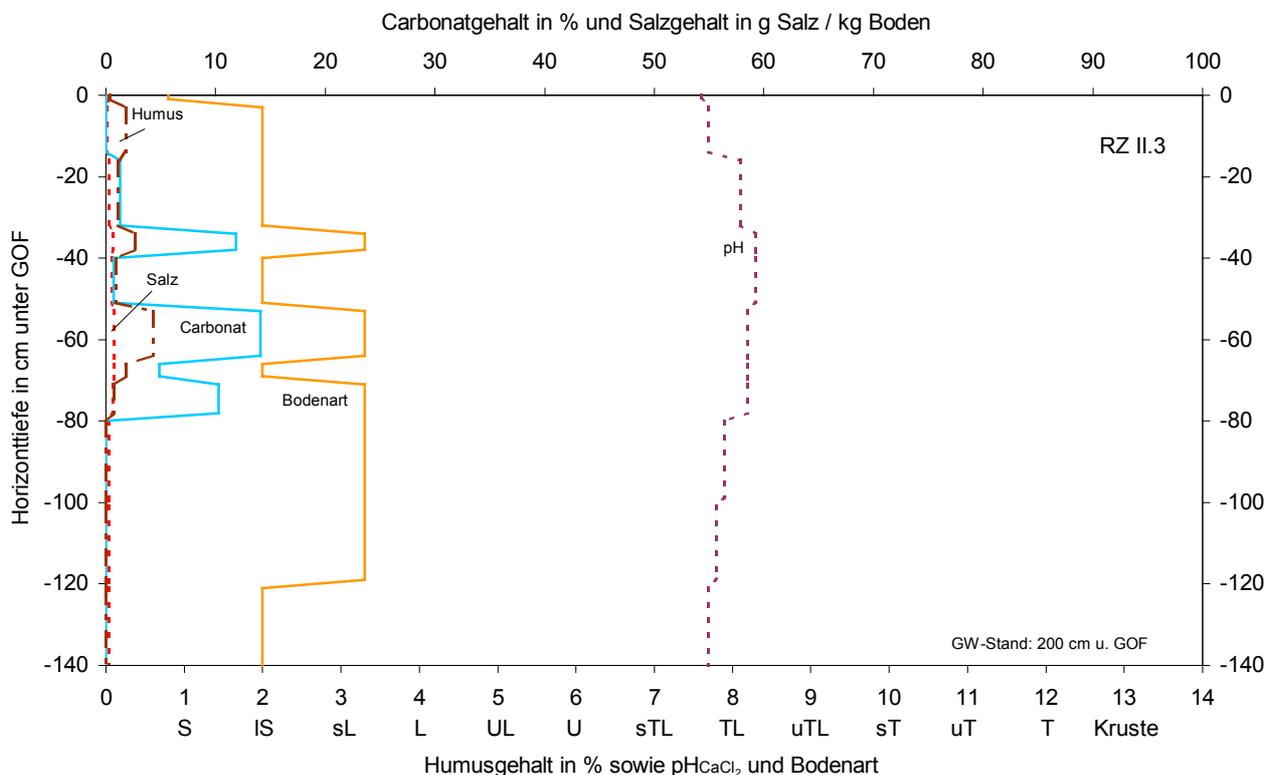


Abb. 20: Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ und Bodenart der Bodenhorizonte bis 140 cm u. GOF des Standortes RZ II.3 (Regenzeit)

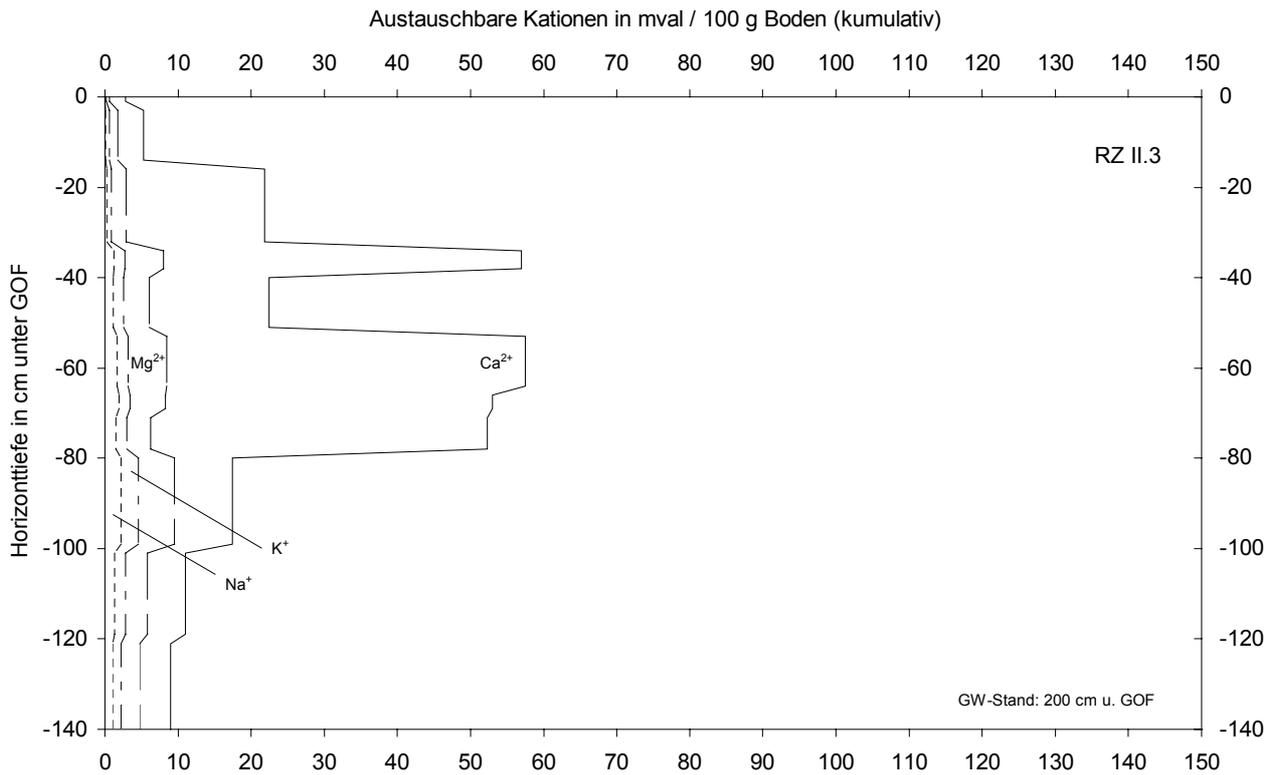


Abb. 21: Austauschbare Kationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium (austauschbare Basen) der Bodenhorizonte bis 140 cm u. GOF des Standortes RZ II.3 (Regenzeit)

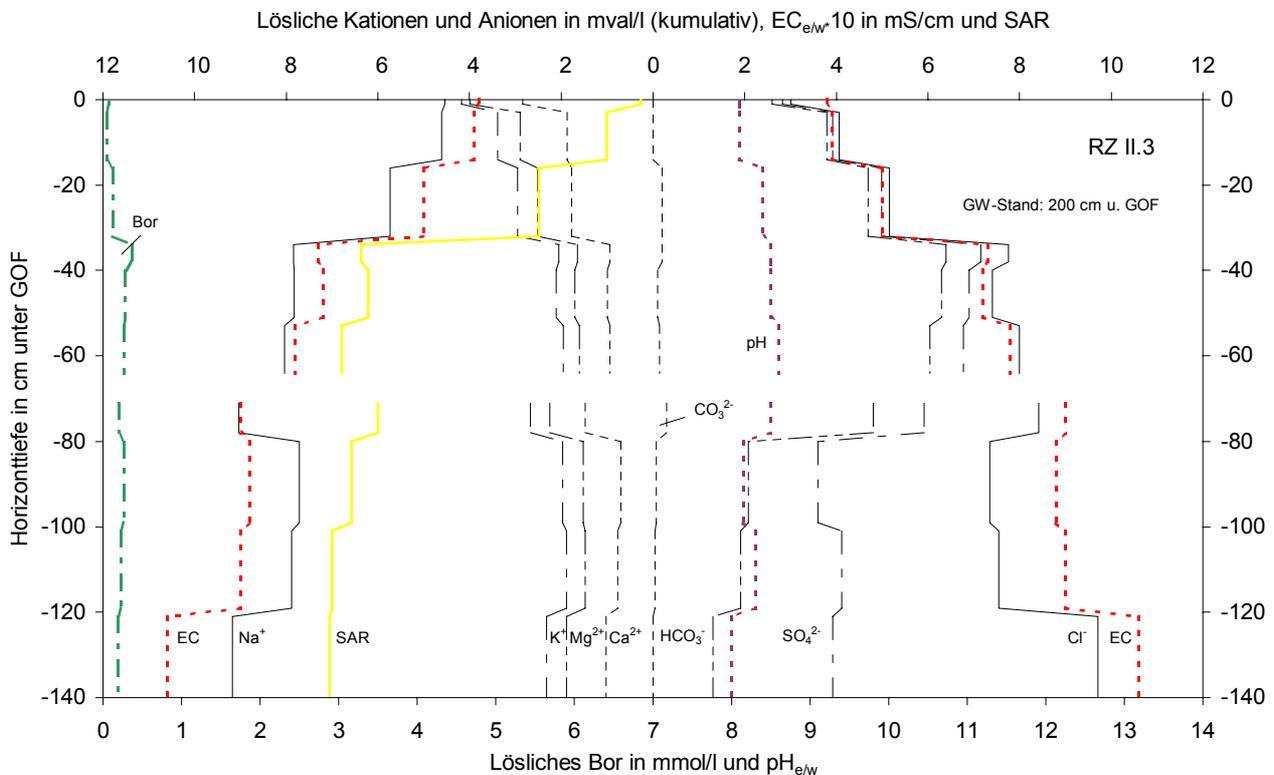


Abb. 22: Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/W} \cdot 10$, SAR, $pH_{e/W}$ und lösliches Bor des Bodensättigungsextraktes der Bodenhorizonte bis 140 cm u. GOF des Standortes RZ II.3 (Regenzeit); für den Bodenhorizont zwischen 65 und 70 cm u. GOF liegen keine Ergebnisse für die Parameter des Bodensättigungsextraktes vor

5.2.4 Standort II.4 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene)

Die Vegetation am Standort II.4 (**grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene**) besteht überwiegend aus *Anthobryum triandrum* und *Distichilis humilis*; mit geringer bzw. sehr geringer Deckung sind *Salicornia pulvinata*, *Festuca orthophylla* und *Parastrephia phyllicaeformis* vorhanden. Die ausgeschiedene Vegetationseinheit wurde als ***Distichilis humilis* - *Salicornia pulvinata* - *Anthobryum triandrum* - *Festuca orthophylla* - *Parastrephia phyllicaeformis*** bezeichnet (Tab. 20 Anlage; Tab. 148). Der Boden wurde nach USDA aufgrund der hohen SAR-Werte (Abb. 25; Tab. 157) oberhalb von 50 cm u. GOF als **Halaquept** klassifiziert (Tab. 147). Der Standort II.4 besitzt in verschiedenen Horizonten oberhalb 50 cm u. GOF die mit Abstand höchsten pH_e -Werte (max. 9,7) und Borgehalte (max. 132 mg/l bzw. 12,2 mmol/l Sättigungsextrakt) der 35 im Raum Huachacalla untersuchten Standorte, wobei die extrem hohen Borgehalte u.a. auf die sehr stark alkalische Bodenreaktion zurückzuführen sind (Abb. 25; Tab. 154 bis 157) (vgl. Kap. 2 und SCHEFFER / SCHACHTSCHABEL 1998, 298). Die hohen pH-Werte resultieren aus einem hohen Natriumanteil bei geringer Gesamtsalzkonzentration (vgl. Abschn. 2.1). Die Borgehalte sind bis 11 cm u. GOF mit max. 16 mg/l (1,5 mmol/l) Sättigungsextrakt zur Zeit der Aufnahme in der Regenzeit „relativ gering“, vermutlich ändert sich dieses jedoch in der Trockenzeit. Die austauschbaren Basen (Abb. 24; Tab. 152 und 153) zeigen auch bei diesem Standort eine Abhängigkeit vom Carbonatgehalt (s.o.). Innerhalb des Bodenprofils wurden zwei Krusten, deren Carbonatgehalt 31 bzw. 46 % beträgt, vorgefunden (Abb. 23; Tab. 150 und 151). Aufgrund der relativ hohen Bodenfeuchte kommt es bei diesem Standort bei hohen Carbonatgehalten bis max. 16 % nicht zur Ausbildung eines Kittgefüges (Tab. 149 bis 151).

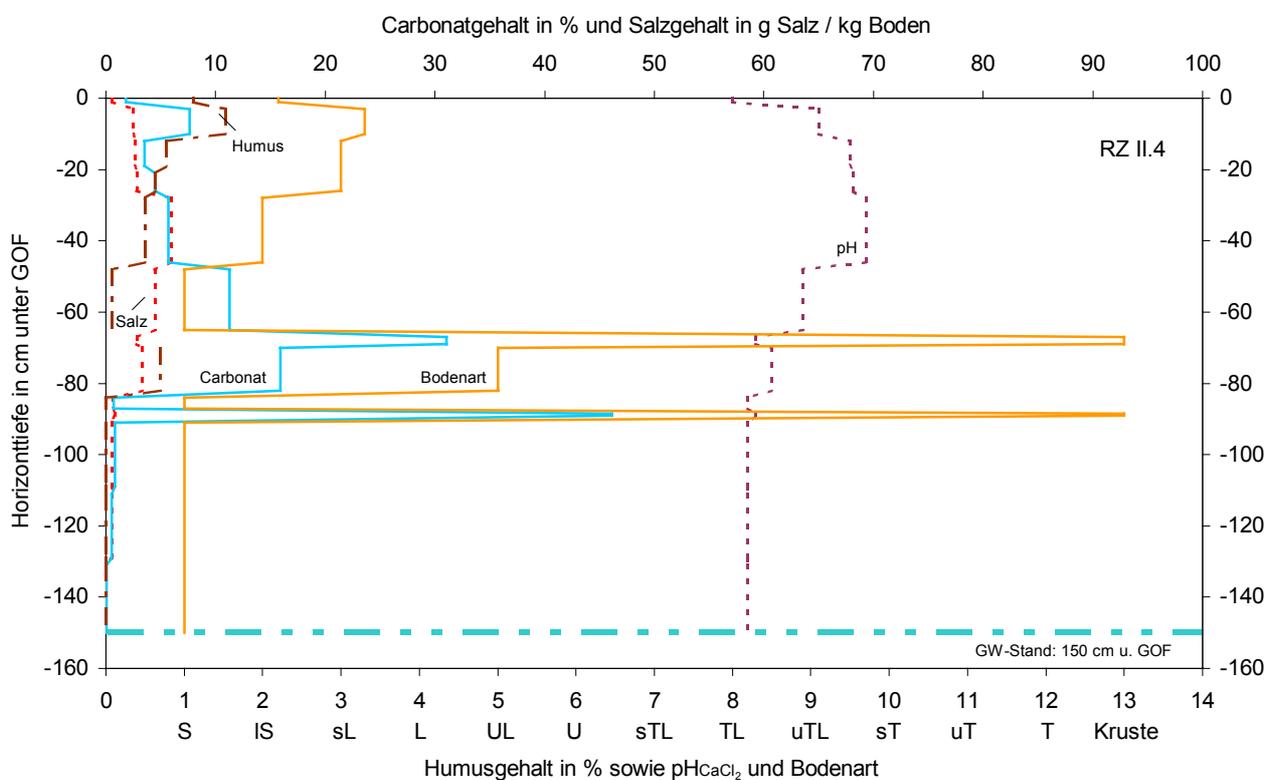


Abb. 23: Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 150 cm u. GOF des Standortes RZ II.4 (Regenzeit)

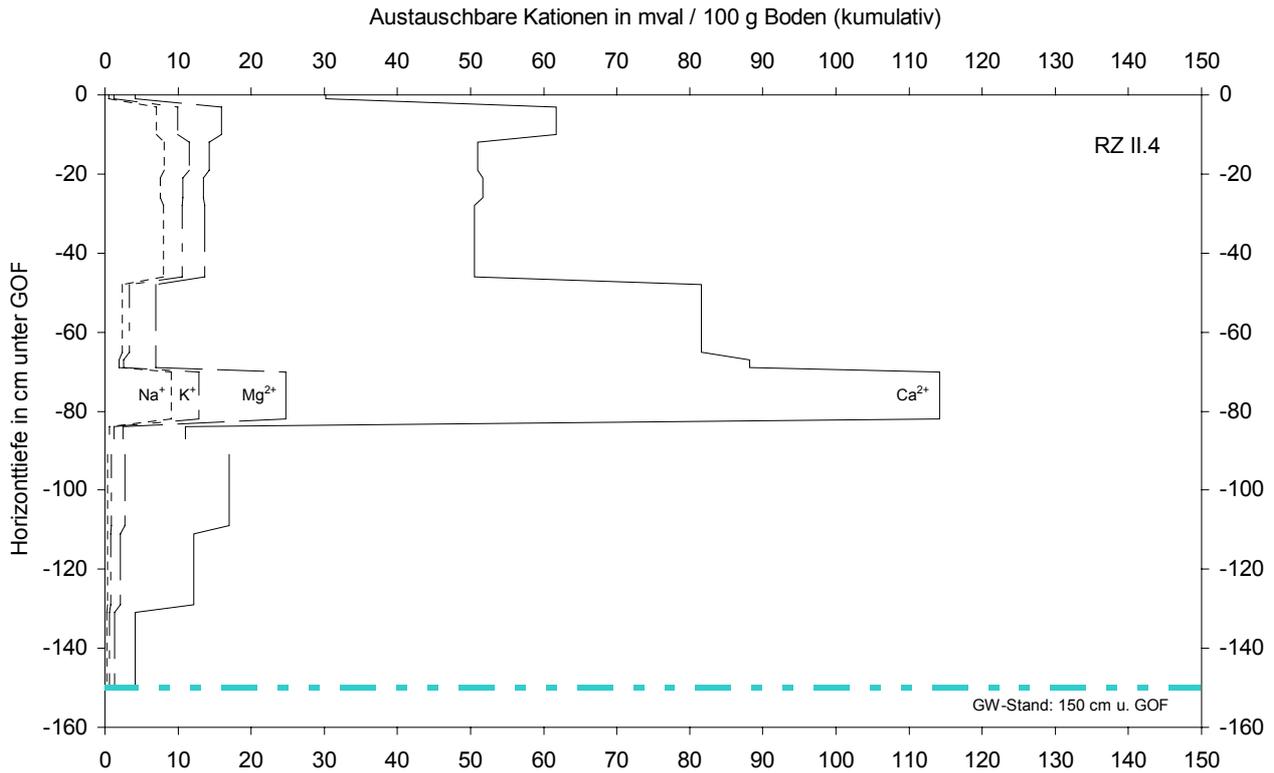


Abb. 24: Austauschbare Kationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium (austauschbare Basen) der Bodenhorizonte bis 150 cm u. GOF des Standortes RZ II.4 (Regenzeit)

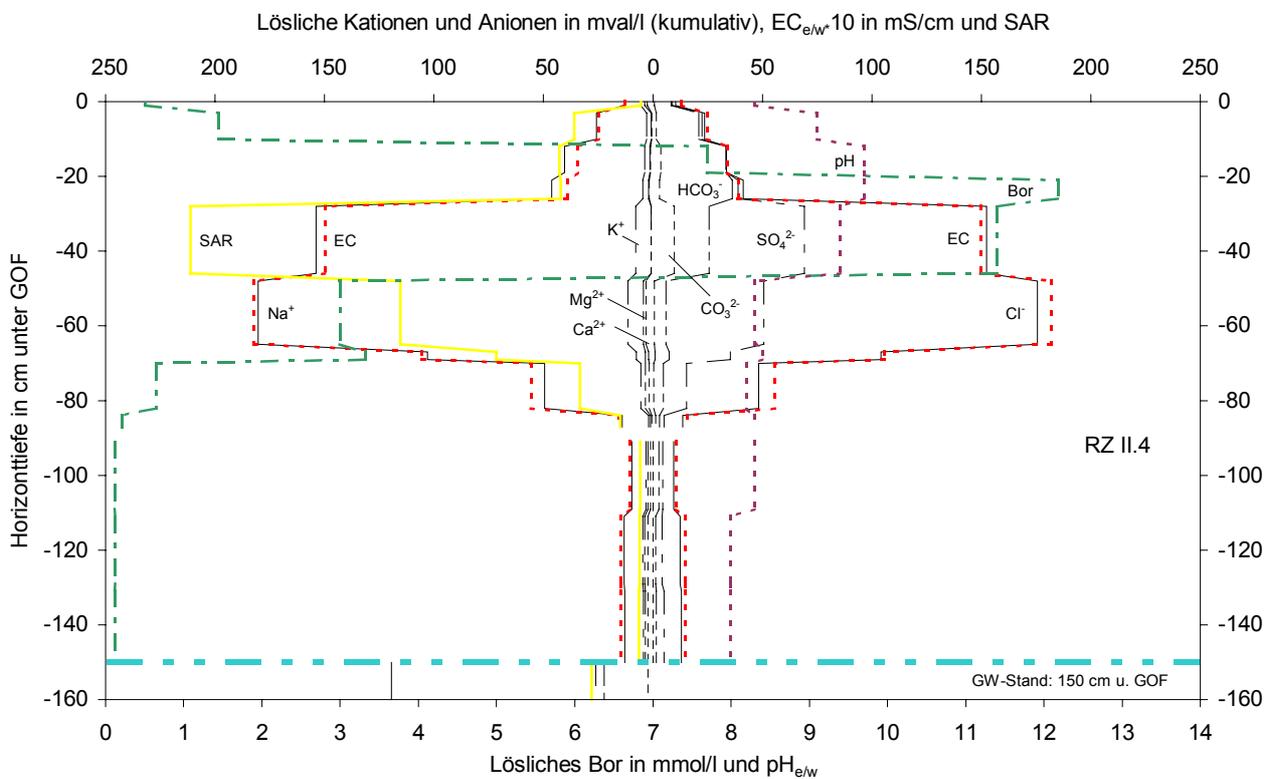


Abb. 25: Lösliche Kationen, lösliche Anionen, EC_{e/10}, SAR, pH_{e/w} und lösliches Bor des Bodensättigungsextraktes der Bodenhorizonte bis 150 cm u. GOF und des Grundwassers (ab 150 cm u. GOF) des Standortes RZ II.4 (Regenzeit)

5.3 Catena III – Huachacalla

Etwa einen Kilometer nordwestlich von Huachacalla tritt aus der Cerro Pacha Kkollu Quimsa Misa Wasser in die Ebene und hat dort im Bereich einer Geländevertiefung zur Ausbildung einer dichten Salzvegetation und eines humusreichen Bodens geführt (Karte 1 Anlage) (Foto 24). Das in der Regenzeit oberirdisch Richtung Nordosten fließende Wasser hat sich flache, breite Abflussbahnen (etwa 10 cm tief und 1 m breit) geschaffen, die sich verzweigen und flache inselartige Flächen von zumeist mehreren Metern Durchmesser umschließen. Die Inseln, bei denen es sich um „Reste“ einer Alluvialfläche handelt, sind von einer 1 bis 2 cm hohen Halophytenvegetation bewachsen, während die Abflussbahnen vegetationsfrei sind.

In der Trockenzeit wurde zwei Kilometer nördlich von Huachacalla ein Standort (TZ III.5) auf einer solchen „Insel“ aufgenommen. Die Abflussbahnen führten zu dieser Zeit kein Wasser; das Grundwasserniveau lag in der Trockenzeit etwa einen Meter unter der Geländeoberfläche. In der nachfolgenden Regenzeit wurde dieser Standort erneut aufgenommen (RZ III.5); die Abflussbahnen führten reichlich Wasser und das Grundwasserniveau befand sich wenige Dezimeter unter GOF. In dem relativ schnell fließenden Wasser waren sehr große Mengen an Kaulquappen zu beobachten.

In der Regenzeit wurde wenige Höhenmeter oberhalb dieses Standortes ein weiterer Standort (RZ III.4) aufgenommen, der durch sehr hoch anstehendes, schnell fließendes Grundwasser, das in Abflussbahnen an die Oberfläche tritt, geprägt ist.

Obwohl in der Trockenzeit im Südwinter 1996 kein oberirdisches Wasser vorhanden war, ist anzunehmen, dass in Trockenzeiten nach regenreichen Jahren die Abflussbahnen Wasser führen, das aus der Cerro zufließt. Das im September 1963, also vermutlich gegen Ende der Trockenzeit aufgenommene SW-Luftbild Nr. 4276 unterstützt diese Vermutung. Auf diesem Orthophoto wird sichtbar (s. Quellenverzeichnis), dass die Abflussbahnen wassergefüllt sind, da sich Wasserflächen durch eine dunkle Farbe sehr gut von der Umgebung abheben. Die Abflussbahnen gehen zu dieser Zeit nicht über den Feuchtbereich hinaus.

Die Isohypsen sind auf der Topographischen Karte 1:50.000 sowohl in den Gebirgsbereichen als auch in der Ebene im 20-m-Abstand eingetragen. Isohypsen im Abstand von 20 Höhenmetern reichen jedoch in der Ebene nicht aus, um für Grund- und Oberflächenwasserbewegungen wichtige Reliefunterschiede darzustellen, so dass diese Informationen durch Beobachtungen im Gelände gewonnen werden mussten. In der Regenzeit Anfang 1997 ist die Verfasserin im Gelände diesen Abflussbahnen, die innerhalb des Feuchtbereichs in nördlicher bzw. nordöstlicher Richtung verlaufen und das Gebiet in der Regenzeit oberirdisch entwässern (s.o.), gefolgt. Die innerhalb des Feuchtbereichs verzweigten Abflussbahnen werden mit zunehmender Entfernung von dem eigentlichen Feuchtbereich flacher und schmaler, führen weniger Wasser und laufen schließlich in einer Abflussbahn zusammen. Einige hundert Meter nordöstlich des Feuchtbereichs, versiegt bzw. verdunstet das letzte aus dem Feuchtbereich stammende Oberflächenwasser in der Abflussbahn. Einige hundert Meter östlich von dieser Stelle im Bereich der nun trockenen Abflussbahn wurde der Standort RZ III.6 angelegt. Zu dieser Zeit befand sich der Grundwasserspiegel an diesem Standort in einer Tiefe von etwa 120 cm unter GOF.

Zwischen dem Feuchtbereich und dem Cerro im Westen befindet sich ein etwa 100 m breiter äolisch überprägter Streifen im Bereich des Gebirgsfußes (Foto 24). Hier befindet sich der Standort RZ III.3. Die Reliefsequenz wird durch die Standorte RZ III.1 (3820 m ü. M.) und RZ III.2 (3780 m ü. M.), die sich in dem Cerro oberhalb des Feuchtgebietes befinden, ergänzt.



Foto 24: Feuchtbereich nördlich von Huachacalla mit wassergefüllten, oberirdischen Abflussbahnen in der Regenzeit (Lage der Standorte RZ III.4, TZ III.5 und RZ III.5); zwischen dem Feuchtbereich und der Cerro Pacha Kkollu bzw. seinem Ausläufer Cerro Kapiri zieht sich ein schmaler, durch Lesesteinmauern gegliederter Bereich mit geringerer Vegetationsbedeckung (Lage des Standortes RZ III.3); fotografiert vom Standort RZ III. 1 (Gebirge; 3820 m. ü. M.; Regenzeit) Richtung NE; Aufnahmedatum: 19. Januar 1997

5.3.1 Standort III.1 (Gebirge)

Der Vegetationsbestand (*Fabiana densa* - *Baccharis boliviensis* - *Opuntia ssp.* - *Adesmia ssp.* - *Stipa ssp.* - Vegetation) des Standorts RZ III.1 zeigt neben den charakteristischen Arten



Foto 25: Lithic Ustorthent bzw. Ranker am Standort RZ III.1 (Gebirge, 3820 m. ü. M.; Regenzeit) in der Cerro Pacha Kkollu; Aufnahmedatum: 19. Januar 1997

der Vegetationseinheit der steileren, ostexponierten **Gebirgshänge** *Fabiana densa*, *Baccharis boliviensis*, *Opuntia ssp.* und *Stipa ssp.* die *Cactaceae Mayeniopsis* und eine blau blühende *Iridaceae* in einer Artmächtigkeit von 1 bzw. bei *Stipa ssp.* von 2. *Mayeniopsis* tritt an den drei Standorten, die eine Gründigkeit von max. 30 cm haben (I.4, III.1 und III.2), mit einer Artmächtigkeit von 1 auf, während bei den tiefgründigeren Böden der Gebirge und des Hangfußbereichs höchstens eine geringe Artmächtigkeit (+) erreicht wird (Tab. 20 Anlage; Tab. 158 und 159).

Der Boden ist nach USDA als **Lithic Ustorthent** und nach DBG als **Ranker** anzusprechen und durch (extrem) hohe Skelettgehalte gekennzeichnet (Foto 25; Tab. 158, 160 und 161). Die Salzgehalte sind nur im oberen Bodenzentimeter (durch äolischen Eintrag) sehr gering erhöht; Gips und Carbonat wurde nicht vorgefunden (Tab. 162). Die Summe der austauschbaren Basen ist gering bis sehr gering (Tab. 163 u. 164).

5.3.2 Standort III.2 (Gebirge)

Der Standort III.2 (**Gebirge**) wurde pedologisch und vegetationskundlich wie der Standort III.1 klassifiziert: **Lithic Ustorthent** bzw. **Ranker** mit *Fabiana densa* - *Baccharis boliviensis* - *Opuntia ssp.* - *Adesmia ssp.* - *Stipa ssp.* - **Vegetation**, wobei am Standort III.2 kein *Stipa ssp.* vorgefunden wurde (Tab. 165 bis 171). An allen anderen Gebirgsstandorten wurde *Stipa ssp.* kartiert; meist mit Deckungen zwischen 5 und 25 %. Die pedologischen Ergebnisse zeigten keine Besonderheiten, so dass das Fehlen des Horstgrases vermutlich auf anthropozoogenen Einfluss zurückzuführen ist (Tab. 165 und 167 bis 171).

5.3.3 Standort III.3 (Hangfuß)

Der Vegetationsbestand am Standort RZ III.3 im **Hangfußbereich** der Cerro Kapiri wurde als *Baccharis incarum* - *Adesmia ssp.* - *Stipa ssp.* - *Parastrephia lepidophylla* - *Festuca orthophylla* - **Vegetationseinheit**, die den Übergang zwischen der Vegetation der Gebirge und der äolisch geprägten Alluvialebene bildet, klassifiziert (Tab. 20 Anlage; Tab. 172 und 173). Allerdings treten nur *Adesmia ssp.*, *Stipa ssp.* und die ephemere *Hoffmannseggia ssp.* mit einer Artmächtigkeit von 1 auf, die anderen Arten sind in geringerer Artmächtigkeit vorhanden. Der Bestand besitzt eine geringere Gesamtdeckung der Vegetation (reichlich vorhanden, jedoch weniger als 5 % der Aufnahme­fläche deckend) als die anderen im Rahmen der Arbeit untersuchten Standorte (mit Ausnahme des Standorts I.8) (Tab. 20 Anlage; Tab. 173). Dies liegt wahrscheinlich an der geringen pflanzenverfügbaren Wassermenge in der Trockenzeit, da der Boden bis 74 cm u. GOF aus Sand bzw. Grobsand besteht (Tab. 175). Die Summe der austauschbaren Basen im Wurzelraum ist nicht viel geringer als bei den anderen Hangfußstandorten (Tab. 177). Auffällig sind die neutralen bis schwach alkalischen pH_{CaCl₂}-Werte, die auf einen relativ hohen Natriumanteil des nicht versalzten, carbonat- und gipsfreien Bodens hindeuten (Tab. 176 bis 178). Die etwas höheren Carbonat- und Salzgehalte im oberen Bodenzentimeter deuten auf einen äolischen Eintrag aus der salzbeeinflussten Ebene hin. Die Bodenklassifikation ergab **Ustorthent** bzw. **Lockersyrose**m (Tab. 172). Der mittlere bis hohe Grobbodenanteil bis 74 cm u. GOF deutet zusammen mit der runden Form der großen Steine auf eine fluviatile Ablagerung der Sedimente hin (Tab. 172 und 175).

5.3.4 Standort III.4 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene)

Der Standort III.4 (**grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene**) ist von einer, mit 8 Arten, relativ artenreichen Halophyten-Vegetation bestanden, die der *Distichlis humilis* - *Salicornia pulvinata* - *Anthobryum triandrum* - Vegetationseinheit zugeordnet wurde (Tab. 20 Anlage; Tab. 179 und 180). Der Boden des Standorts III.4 ist bis 19 cm u. GOF mäßig (bis stark) versalzt, natriumreich und stark bis sehr stark humos (Abb. 26 bis 28; Tab. 183 bis 189). Das Foto 26 zeigt deutlich eine Rostfleckung im Horizont zwischen 35 und 50 cm u. GOF; dieser Horizont sowie der darunter liegende Horizont bestehen aus Grobsand (Tab. 181). Die oberhalb von 35 cm u. GOF liegenden Horizonte bestehen überwiegend aus Lehm (Tab. 182). Die Summe der austauschbaren Basen wird vorwiegend durch den Carbonatgehalt (hoher Anteil an austauschbarem Calcium) sowie durch den Humusgehalt bestimmt (Abb. 27; Tab. 184 und 185). Der pH nimmt kontinuierlich, aber sehr stark von oben (pH 8 bis 8,2) nach unten im Profil ab und erreicht zwischen 80 und 100 cm u. GOF einen Wert von 3,4 ($\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$); das ab 0,8 m u. GOF anstehende Grundwasser ist hingegen alkalisch (pH_w 8,2) (Abb. 26 und 28; Tab. 183 und 189). Eine Erklärungsmöglichkeit hierfür ist die Oxidation sulfidreichen Materials durch das Lufttrocknen der Bodenproben und Bildung von Schwefelsäure bei der Herstellung der Bodensuspension bzw. des Sättigungsextraktes (vgl. SOIL SURVEY STAFF 1996, 26). Bei keinem anderen untersuchten grundwasser- und salzbeeinflussten Boden wurden saure pH-Werte gemessen (vgl. Abb. 87 bis 90 in Abschn. 6.2). Der Boden wurde nach USDA als Halaquept klassifiziert (Tab. 179).



Foto 26:
 Halaquept mit Rostfleckung am Standort RZ III.4 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene mit dichter Halophytenvegetation; 3730 m ü. M.; Regenzeit); Aufnahmedatum: 22. Januar 1997

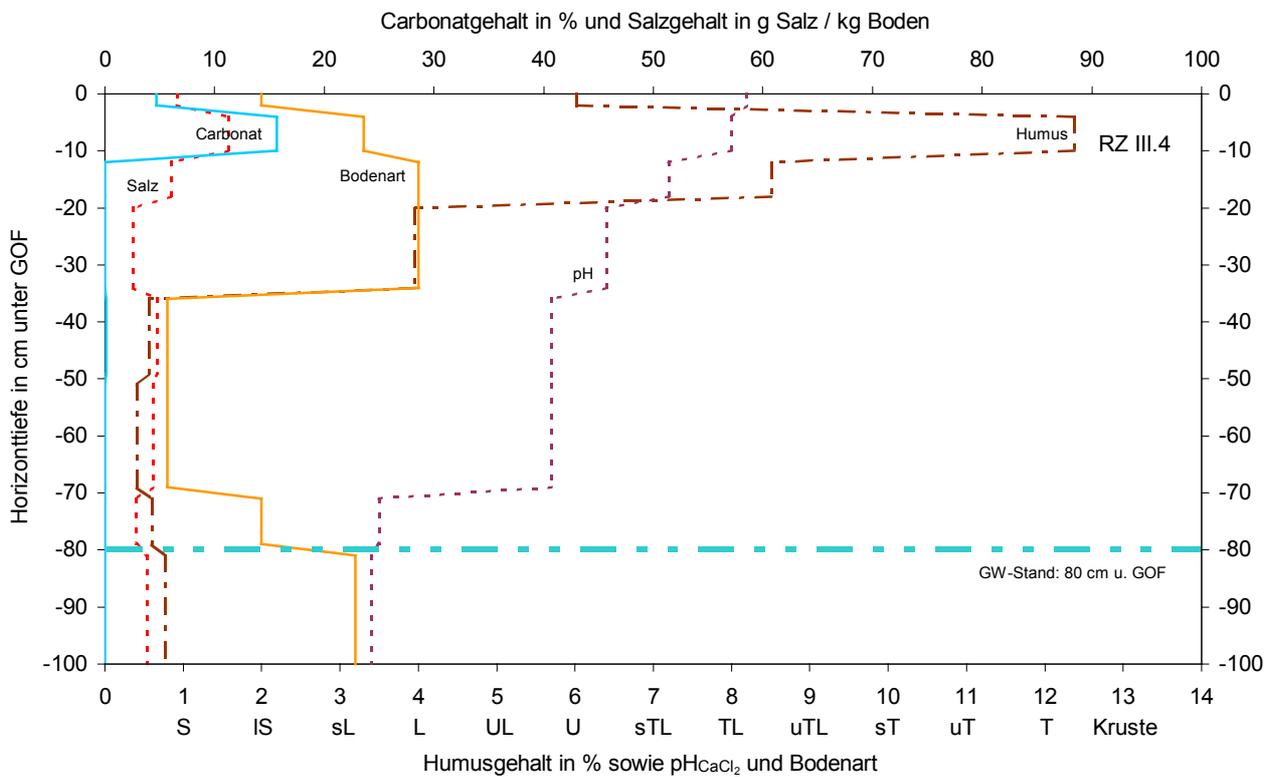


Abb. 26: Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 100 cm u. GOF des Standortes RZ III.4 (Regenzeit)

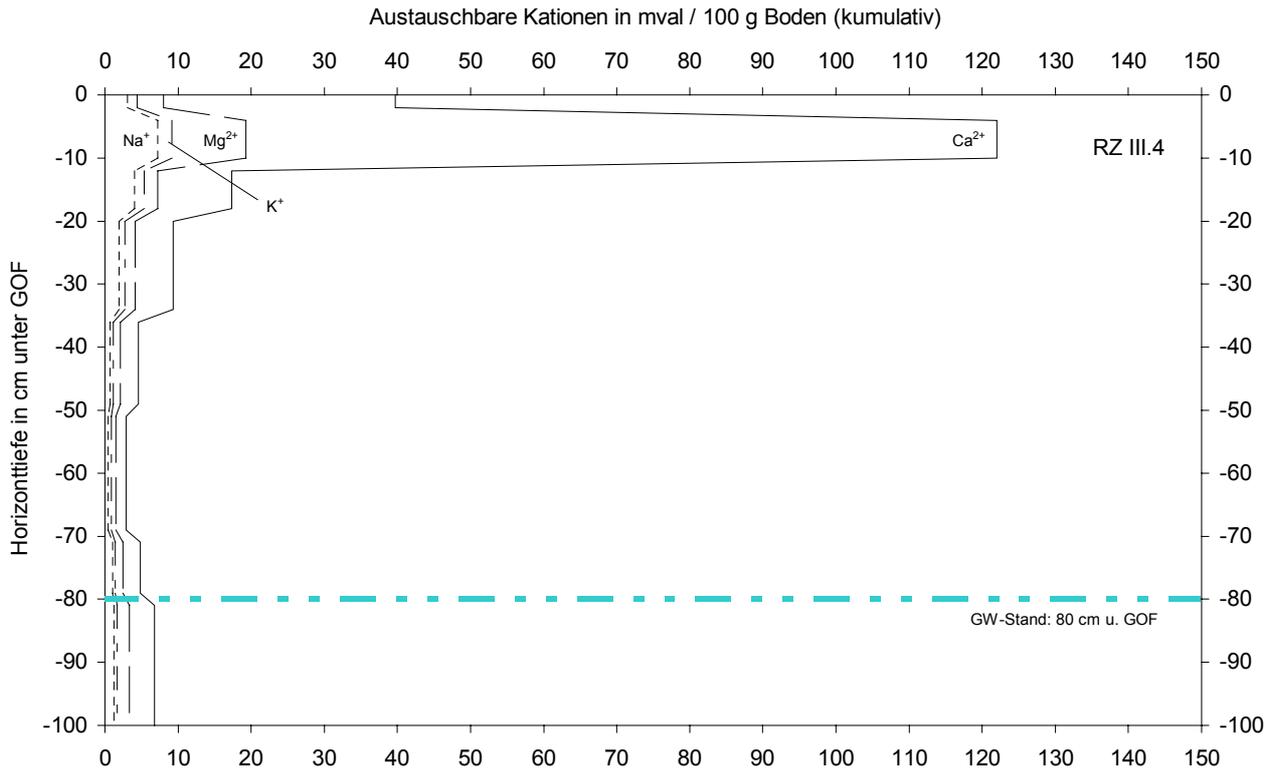


Abb. 27: Austauschbare Kationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium (austauschbare Basen) der Bodenhorizonte bis 100 cm u. GOF des Standortes RZ III.4 (Regenzeit)

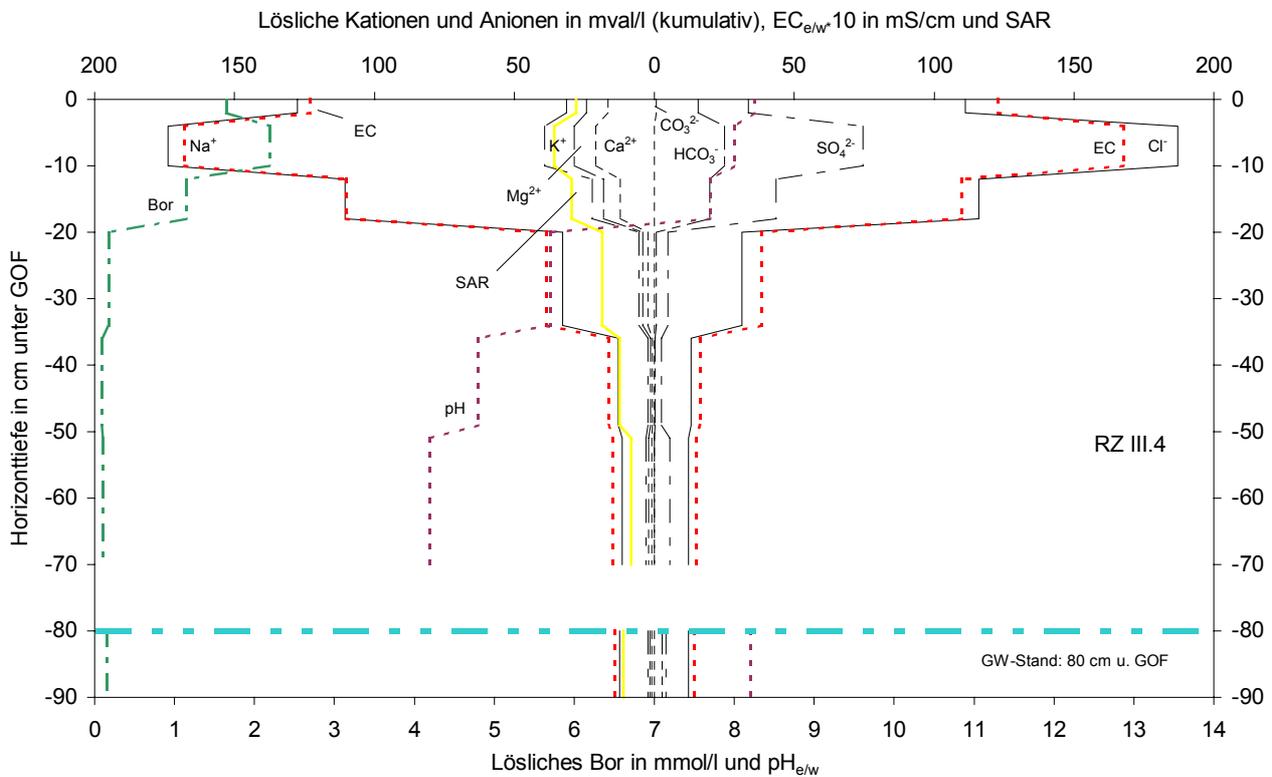


Abb. 28: Lösliche Kationen, lösliche Anionen, EC_{e/w}·10, SAR, pH_{e/w} und lösliches Boron des Bodensättigungsextraktes der Bodenhorizonte bis 70 cm u. GOF und des Grundwassers (ab 80 cm u. GOF) des Standortes RZ III.4 (Regenzeit)

5.3.5 Standort III.5 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene)

Die Vegetation am Standort III.5 besteht ausschließlich aus der halophytischen *Poaceae Distichilis humilis* (Tab. 20 Anlage; Tab. 191 und 201) und wurde wie die anderen Bestände der **grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte** der *Distichilis humilis* - *Salicornia pulvinata* - *Anthobryum triandrum* - **Vegetationseinheit** zugeordnet. Der Boden wurde als **Halaquept** klassifiziert (Tab. 190). Die Lage des Standortes III.5 sowie die zur Zeit der Aufnahme in der Trockenzeit 1996 nicht wassergefüllten Abflussbahnen zeigt Foto 27; das Grundwasser stand zu dieser Zeit 1,3 m u. GOF. Zur Zeit der Aufnahme in der Regenzeit stand das Wasser etwa 0,4 m u. GOF und die Abflussbahnen waren wassergefüllt (vgl. Foto 9, Kap. 4). Da die Horizontierung des TZ-Bodenprofils (Foto 28) und des RZ-Bodenprofils des Standorts III.5 in den oberen 40 cm sehr ähnlich ist, lässt sich anhand der Daten der prozentualen Salzgehalte, der löslichen Salze und der EC_e -Werte eine regenzeitliche Auswaschung der in der Trockenzeit im oberen Horizont konzentrierten Salze aus dem oberen Horizont (9 bzw. 10 cm u. GOF) in die darunter liegenden Horizonte bzw. ins Grundwasser erkennen (Abb. 29, 30, 33 und 34; Tab. 194, 197 bis 200, 204 und 207 bis 209). Jedoch erfolgt bei entsprechender Witterung auch in der Regenzeit ein kapillarer Aufstieg des Grundwassers, der in der Gesamtbilanz jedoch geringer ist als die abwärtsgerichtete Bodenwasserbewegung. Die Abb. 33 zeigt die für einen natriumchloridreichen Salzboden in der Trockenzeit typische Verteilung der löslichen Kationen und Anionen in den oberen 5 Bodenhorizonten (bis 79 cm u. GOF) sowie den $EC_e \cdot 10$, den SAR, den pH_e und die Borkonzentration der Horizonte; da die Salzgehalte der Horizonte unterhalb 79 cm u. GOF den Salzgehalten des Horizontes zwischen 69 und 79 cm u. GOF nach EC_5 in etwa entsprechen und relativ gering sind, wurde nur ein Bodensättigungsextrakt der oberen 5 Horizonte hergestellt und auf die o.g. Parameter untersucht; zudem wurde das Grundwasser des Standortes auf die gleichen Parameter untersucht. Aufgrund der geringeren Löslichkeit der Sulfate erfolgt ihre Auswaschung im geringeren Umfang als die der Chloride: Die Chloridionen der oberen 9 bzw. 10 cm des Bodens wurden durch die regenzeitliche Auswaschung auf $\frac{1}{4}$ und die Sulfationen auf $\frac{1}{2}$ reduziert (Abb. 33 und 34; Tab. 197 und 207). Die Abb. 29 bis 32; Tab. 193 bis 195 und Tab. 203 bis 205 zeigen eine Abhängigkeit der Summe der austauschbaren Basen vom Carbonat- und Humusgehalt sowie der Bodenart. Hierbei zeigen der TZ- und der RZ-Standort ähnliche Werte, d.h. die Verhältnisse ändern sich im Bereich des Standortes III.5 kleinräumig nicht so stark, wie im Bereich des Standortes I.8. Das Krümelgefüge der oberen beiden Horizonte ist auf den (sehr) hohen Humusgehalt der Horizonte zurückzuführen (Tab. 192 und 202).



Foto 27: Bodengrube (Blick auf die Treppe der Grube) am Standort TZ III.5 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene mit dichter Halophytenvegetation; 3720 m ü. M; Trockenzeit) im Vordergrund; trockene Abflussbahnen im Mittelgrund (vor dem gemieteten Fahrzeug der Verfasserin); die Cerro Kapiri im Hintergrund; Aufnahmedatum: 10. Oktober 1996



Foto 28:

Halaquept am Standort TZ III.5 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene mit dichter Halophytenvegetation; 3720 m ü. M; Trockenzeit); das in 1,3 m u. GOF stehende Grundwasser, das in die Bodengrube gelaufen war, wurde für das Foto mit einem Eimer herausgeschöpft; aufgrund des ab 110 cm u. GOF anstehenden Schluffs, der im Vergleich zu Ton und Sand eine geringere gesättigte Wasserleitfähigkeit hat, lief das Grundwasser relativ langsam nach; im Hintergrund die Cerro Inca Camacho; Aufnahmedatum: 10. Oktober 1996

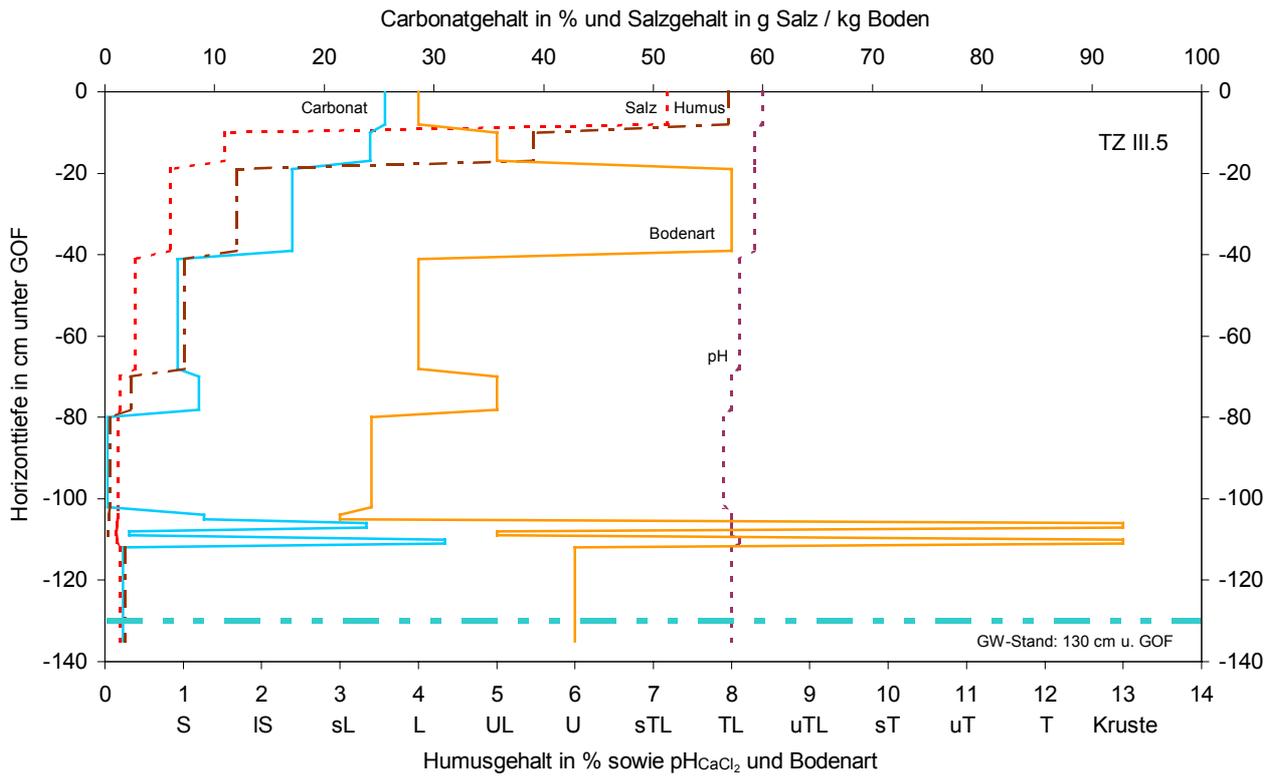


Abb. 29: Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 135 cm u. GOF des Standortes TZ III.5 (Trockenzeit)

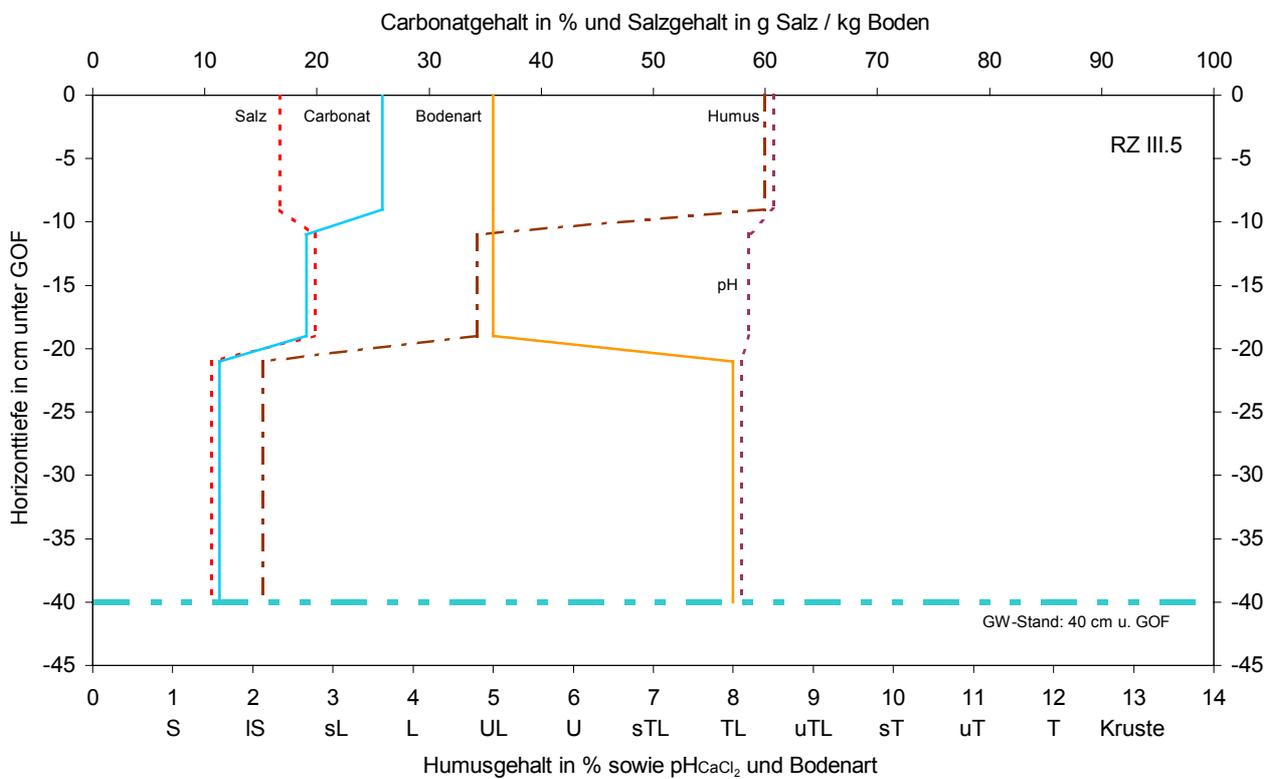


Abb. 30: Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 40 cm u. GOF des Standortes RZ III.5 (Regenzeit)

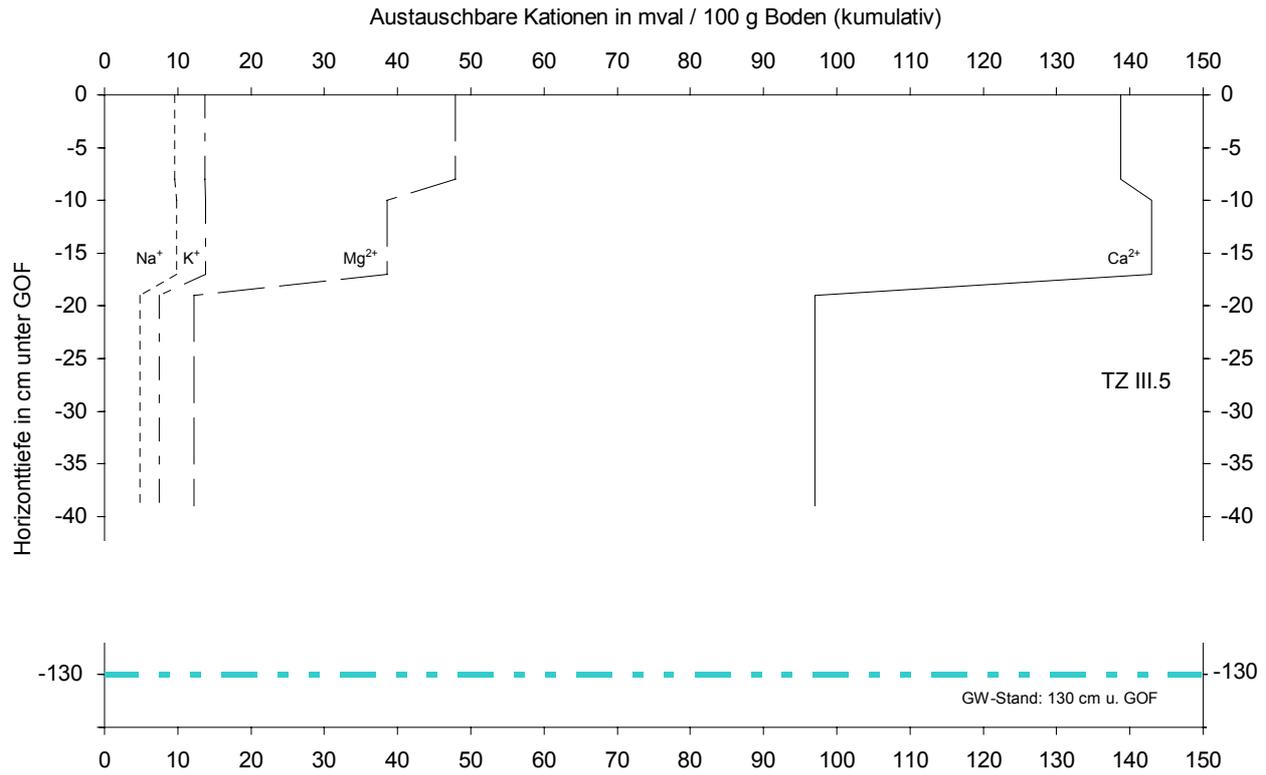


Abb. 31: Austauschbare Kationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium (austauschbare Basen) der Bodenhorizonte bis 40 cm u. GOF des Standortes TZ III.5 (Trockenzeit)

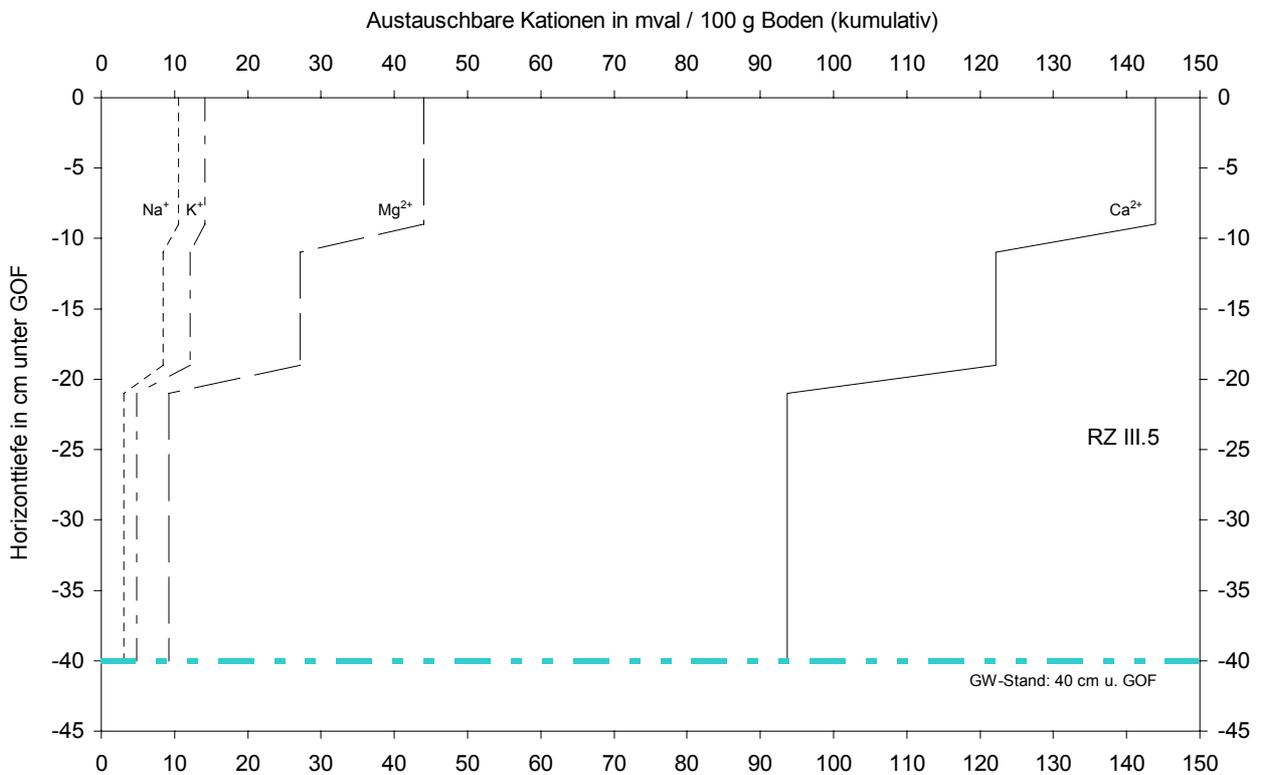


Abb. 32: Austauschbare Kationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium (austauschbare Basen) der Bodenhorizonte bis 40 cm u. GOF des Standortes RZ III.5 (Regenzeit)

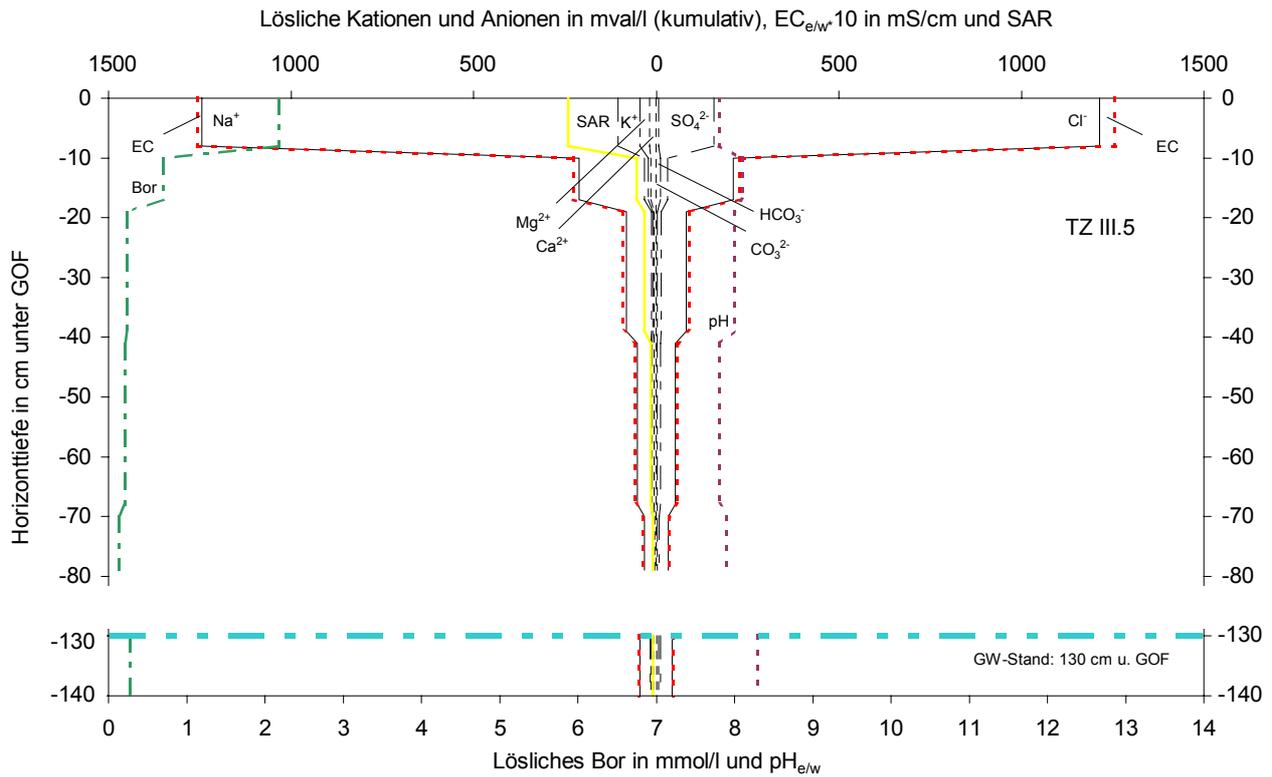


Abb. 33: Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/w} \cdot 10$, SAR, $pH_{e/w}$ und lösliches Bor des Bodensättigungsextraktes der Bodenhorizonte bis 79 cm u. GOF und des Grundwassers (ab 130 cm u. GOF) des Standortes TZ III.5 (Trockenzeit)

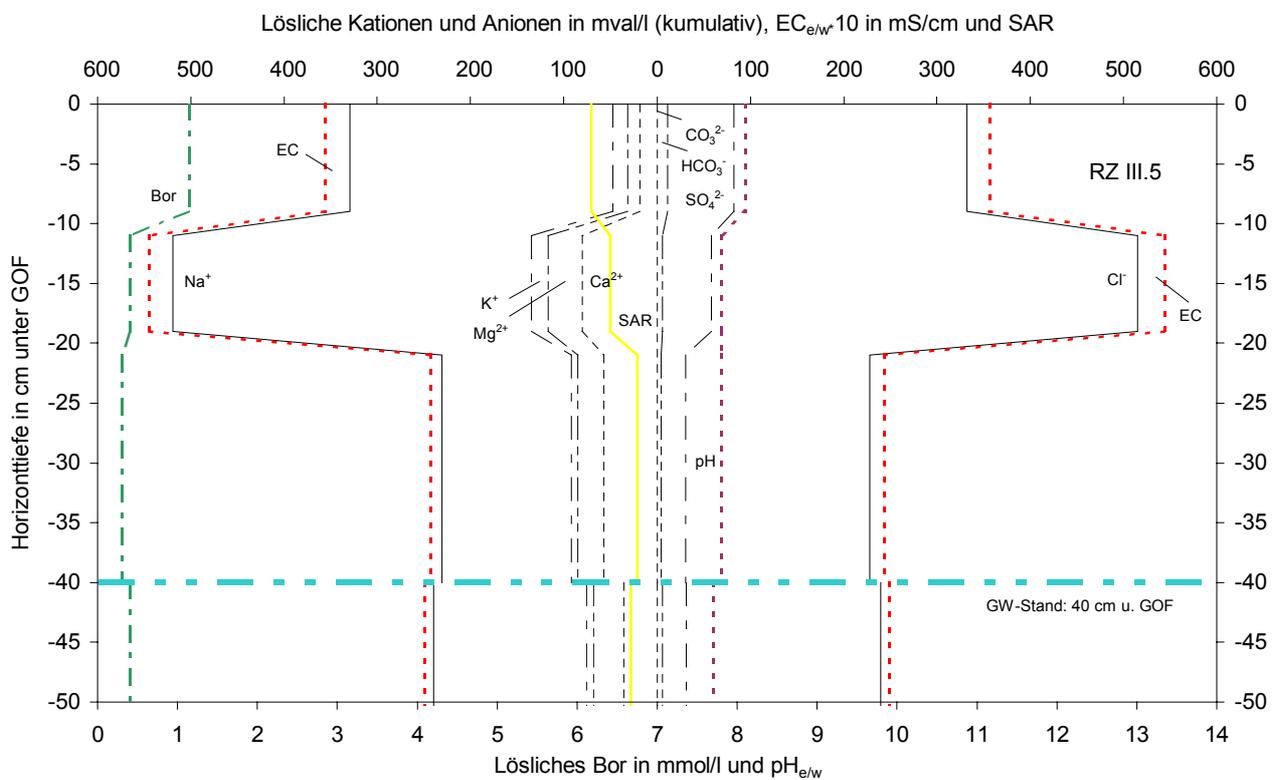


Abb. 34: Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/w} \cdot 10$, SAR, $pH_{e/w}$ und lösliches Bor des Bodensättigungsextraktes der Bodenhorizonte bis 40 cm u. GOF und des Grundwassers (ab 40 cm u. GOF) des Standortes RZ III.5 (Regenzeit)

5.3.6 Standort III.6 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene)

An dem Standort III.6 (**grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene**) wachsen mit Deckungsgraden zwischen 5 und 25 % die Halophyten *Distichilis humilis*, *Salicornia pulvinata* und *Anthobryum triandrum* (Foto 29; Tab. 20 Anlage; Tab. 211 und 212), wobei sich in den, zur Zeit der Aufnahme in der Regenzeit, trockenen, flachen Abflussrinnen nur *Distichilis humilis* angesiedelt hat, die im Gegensatz zu den beiden anderen Halophyten offenbar oberflächennah anstehendes Grundwasser bevorzugt (vgl. Standort RZ III.5). Der grundwasserbeeinflusste Boden ist salz- und natriumreich (Abb. 35 und 36; Tab. 213 bis 219) und wurde als **Halaquept** klassifiziert (Tab. 211). Wie bei Standort III.5 erfolgte eine regenzeitliche Auswaschung der Salze aus den oberen Horizonten. Auch hier ist aufgrund der geringen Löslichkeit der Sulfate gegenüber den Chloriden eine geringere Auswaschung des SO_4^{2-} im Vergleich zu Cl^- zu erkennen: die Sulfatgehalte sind in den beiden Horizonten unterhalb von 6 cm u. GOF in etwa gleich, die Chloride nehmen jedoch stufenförmig innerhalb der oberen drei Horizonte bis 28 cm u. GOF mit der Tiefe deutlich zu.



Foto 29: *Distichilis humilis* (Gras), *Salicornia pulvinata* (hellgrüne, sukkulente Blätter) und *Anthobryum triandrum* (dunkelgrün mit weißen Blüten) im Bereich des Standortes RZ III.6 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene; 3708 m ü. M.; Regenzeit); die *Distichilis humilis* - Individuen auf dem Foto sind etwa 1 cm hoch; Aufnahmedatum: 8. Januar 1997

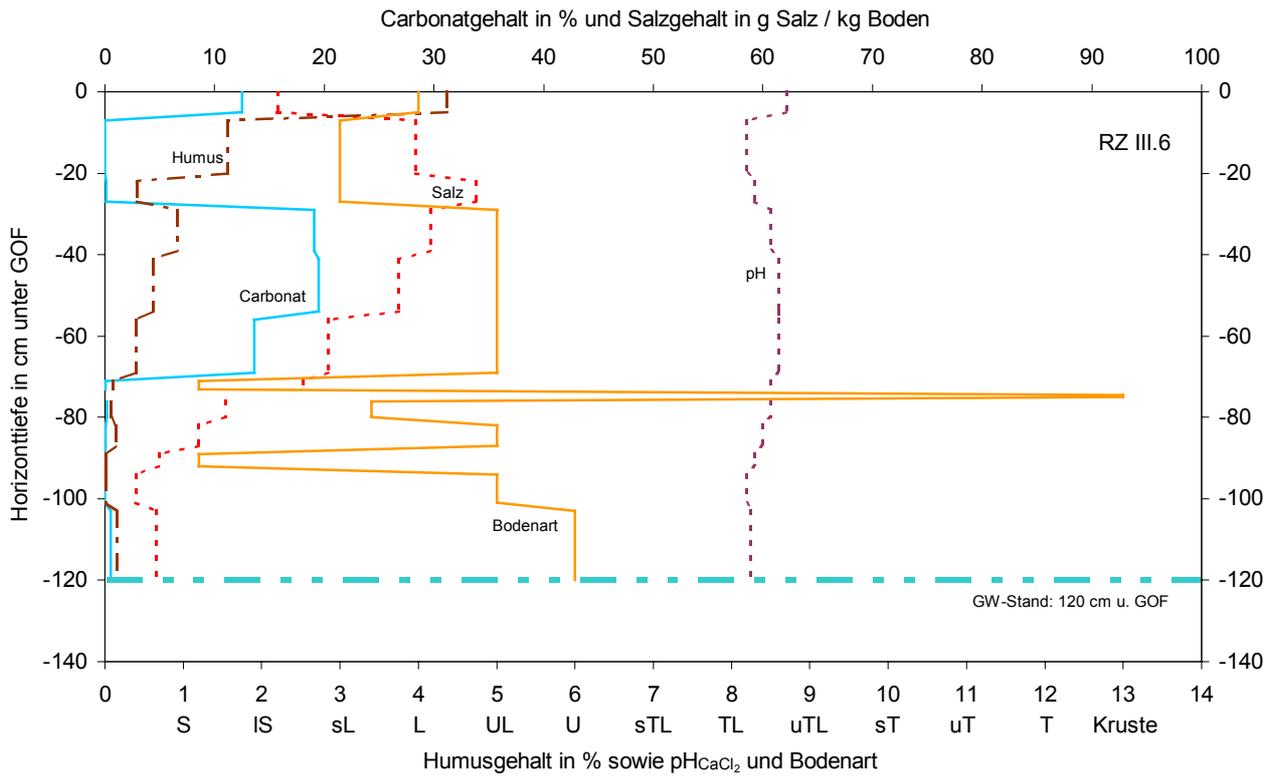


Abb. 35: Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 120 cm u. GOF des Standortes RZ III.6 (Regenzeit)

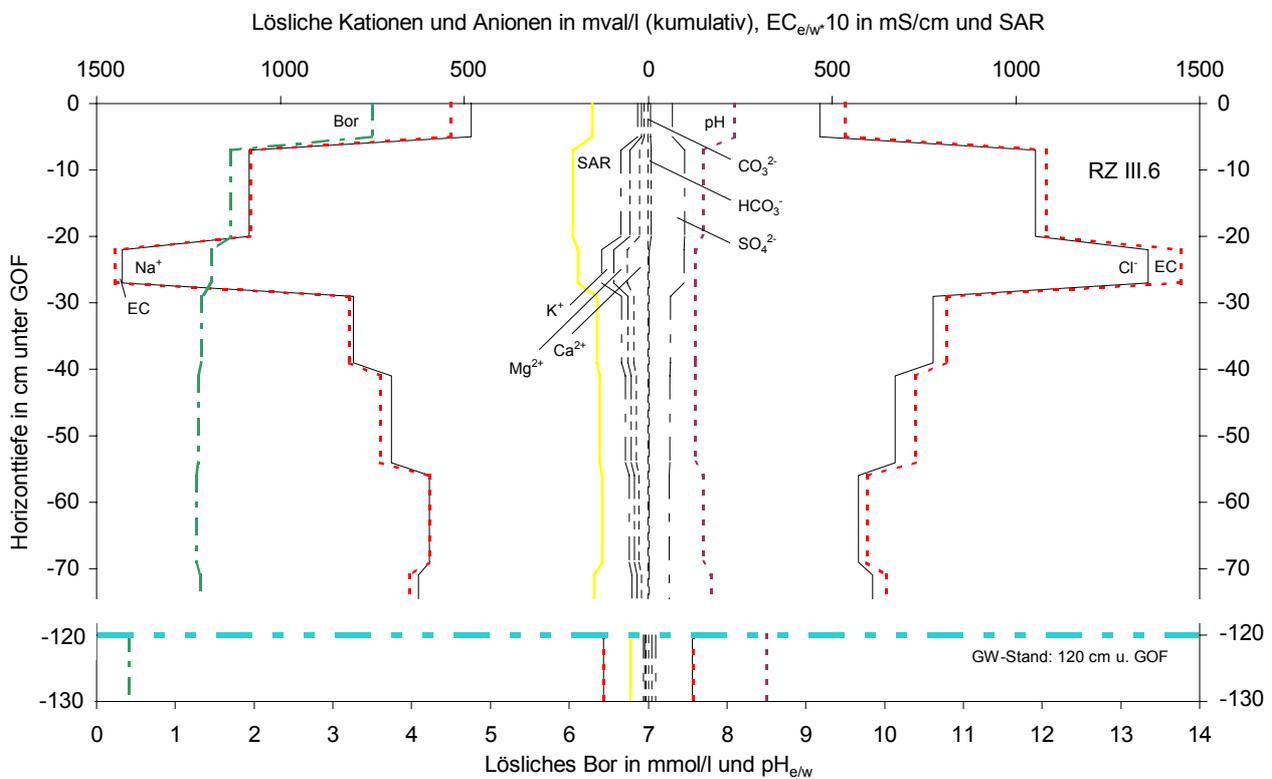


Abb. 36: Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/w} \cdot 10$, SAR, $pH_{e/w}$ und lösliches Bor des Bodensättigungsextraktes der Bodenhorizonte bis 74,5 cm u. GOF und des Grundwassers (ab 120 cm u. GOF) des Standortes RZ III.6 (Regenzeit)

5.4 Catena IV – Payrumani

Die Standorte der Catena IV befinden sich circa 3 km östlich (südöstlich bis nordöstlich) von Huachacalla zwischen zwei etwa parallel aus dem Cerro in die Ebene Richtung Norden verlaufenden Quebradas (Karte 1 Anlage). Namensgebend ist die Ortschaft Payrumani, 4 km östlich der Catena. Der höchste Standort (IV.1) der Reliefsequenz befindet sich am Hang der Colina Jaco Jatha, einem Ausläufer der Cerro Inca Camacho in 3780 m ü. M.. Der Standort IV.2 ist dem Hangfußbereich zuzuordnen. Die Standorte IV.3 und IV.4 sind äolisch geprägt. Die tiefsten Standorte der Catena (IV.5 und IV.6) sind grundwasserbeeinflusst und wurden ausschließlich in der Regenzeit aufgenommen. Die Höhendifferenz zwischen dem höchst- (3780 m ü. M.) und dem tiefstgelegenen Standort (3707 m ü. M.) der Catena IV ist mit 73 m deutlich geringer als die der Catenen I-III. Wenige hundert Meter östlich der Standorte IV.2 bis IV.3 in etwa 3730 bis 3750 m ü. M. stehen oberflächlich Kalkablagerungen an, bei denen es sich vermutlich um lakustrische Ablagerungen des Paläosees Minchín (Seehöchststand 3760 m ü. M. > 27.000 Jahre BP, vgl. Abschn. 4.2) handelt (vgl. SERVANT und FONTES 1978, 13 f. und LAVENU 1991, 19 ff.).

5.4.1 Standort IV.1 (Gebirge)

Der Standort IV.1 trägt die ***Fabiana densa* - *Baccharis boliviensis* - *Opuntia ssp.* - *Adesmia ssp.* - *Stipa ssp.* - Vegetation** der steileren, ostexponierten **Gebirgshänge** (> 15°). Außer den o.g. charakteristischen Arten der Vegetationseinheit treten die charakteristische Art der flacheren Gebirgshänge *Baccharis incarum* sowie die Dornsträucher *Adesmia ssp.* und *Junellia seriphioides* mit einer Artmächtigkeit von 1 auf (Tab. 20 Anlage; Tab. 220, 221 und 225). Der Boden ist mit 0,8 m Gründigkeit der tiefgründigste der untersuchten Gebirgsböden und wurde als **Ustorthent** bzw. **Braunerde** klassifiziert (Tab. 220). Das Bodenausgangsmaterial besteht vermutlich außer aus in situ verwitterten Gestein vulkanischen Ursprungs auch aus am Hang umgelagertem Material. Die Summe der austauschbaren Basen im Wurzelraum ist, wie bei sechs weiteren untersuchten Gebirgsstandorten gering (Tab. 229 und 230); zwei der insgesamt neun Gebirgsstandorte haben höhere Gehalte an austauschbaren Basen im Wurzelraum (vgl. Vegetationstabelle in der Anlage). Auch die anderen untersuchten chemischen Bodenparameter zeigen für Gebirgsstandorte typische Ergebnisse: der Boden ist skelettreich, sehr schwach bis extrem schwach humos, nicht versalzt, carbonat- und gipsfrei und mäßig sauer bis neutral (Tab. 222 bis 224 und 226 bis 228).

5.4.2 Standort IV.2 (Hangfuß)

Vegetationskundlich bildet der Bestand (***Baccharis incarum* - *Adesmia ssp.* - *Stipa ssp.* - *Parastrephia lepidophylla* - *Festuca orthophylla* - Vegetationseinheit**) am Standort IV.2 (**Hangfuß**) den Übergang zwischen der Vegetation der Gebirge und der Vegetation der äolisch geprägten Alluvialebene. *Festuca orthophylla* dominiert mit 5 bis 25 % Deckung; mit einer Artmächtigkeit von 1 treten die Dornsträucher *Adesmia ssp.* und *Tetraglochin cristatum*, die *Poaceae Bouteloua simplex*, das Horstgras *Stipa ssp.* und der immergrüne Strauch *Parastrephia lepidophylla* auf (Tab. 20 Anlage; Tab. 232 und 236). Der Standort IV.2 (Hangfuß) unterscheidet sich pedologisch von den Böden der Gebirgsstandorte, obwohl die Bodenklassifikation nach USDA und DBG, wie bei verschiedenen Gebirgsböden **Ustorthent** bzw. **Braunerde** ergab (Tab. 231; Tab. 233 bis 235 und 237 bis 241). Das Bodenausgangsmaterial ist ganz offensichtlich nicht in situ entstanden: die Skelettanteile sind im mittleren Bodenhorizont mit > 85% am höchsten und nehmen nach unten und



oben deutlich ab; zudem sind die Steine gerundet (Foto 30; Tab. 224 und 238). Eine kolluviale Ablagerung des skelettreichen Materials wird vermutet. Der Boden ist salz-, gips- und carbonatfrei.

Foto 30:

Ustorthent bzw. Braunerde aus Kolluvialmaterial über fluviatil abgelagertem Material am Standort TZ IV.2 (Hangfuß; 3750 m ü. M.; Trockenzeit); Aufnahmedatum: 04. Oktober 1996

5.4.3 Standort IV.3 (äolisch geprägte Alluvialebene)

An dem Standort IV.3 (äolisch geprägte Alluvialebene) dominieren *Festuca orthophylla* und

Lampaya castellani (Foto 31). Die dritte charakteristische Art der **Lampaya castellani - Parastrephia lepidophylla - Festuca orthophylla - Vegetationseinheit** *Parastrephia lepidophylla* ist nur gering (+) vorhanden (Tab. 20 Anlage; Tab. 243 und 247). Das Bodenausgangsmaterial am Standort IV.3 ist vermutlich überwiegend fluviatil abgelagert (einen Hinweis geben die großen, gerundeten Steine) und z.T. äolisch abgelagert (Foto 31).



Foto 31:

Ustifluent bzw. Lockersyrosem aus fluviatil (und äolisch) abgelagertem Lockergestein am Standort TZ IV.3 (äolisch geprägte Alluvialebene; 3725 m ü. M.; Trockenzeit); oben im Bild *Lampaya castellani* - Zwergsträucher und *Festuca orthophylla* - Horstgras; Aufnahmedatum: 7. Oktober 1996

Der Boden wurde aufgrund des nach unten unregelmäßig abnehmendem Humusgehalts nach USDA als **Ustifluent** klassifiziert; nach DBG handelt es sich um einen **Lockersyrosem** (Tab. 242; Tab 244 bis 246 und 248 bis 252). Das gesamte untersuchte Bodenprofil ist salz- und gipsfrei. Mit Ausnahme des extrem skelettreichen Horizontes zwischen 60 und 75 cm u. GOF ist der Boden carbonatfrei bis sehr carbonatarm (Tab 245 und 246). Auf dem Foto 31 lässt sich eine weiße Farbe der Steine dieses Horizontes erkennen; die weiße Farbe beruht auf einem dünnen Überzug aus Calcium(- und Magnesium)carbonat. Der Überzug dieser Schotter (nach der TK 50 etwa 3724 m ü. M.) steht vermutlich mit der im ENE des Standorts weiträumig an der Geländeoberfläche anstehenden Carbonatkruste, die sich den Hang hinaufzieht, genetisch im Zusammenhang. Beides sind vermutlich Bildungen des eintrocknenden Lago Minchín (vgl. Abschn. 4.2 und 5.4).

5.4.4 Standort IV.4 (äolisch geprägte Alluvialebene)

Die **Lampaya castellani - Parastrephia lepidophylla - Festuca orthophylla - Vegetation** des Standorts IV.4 (**äolisch geprägte Alluvialebene**) ist durch ein sehr geringes Vorkommen von *Parastrephia lepidophylla* und reichliches Vorkommen von *Parastrephia phyllocaeformis* gekennzeichnet (Tab. 20 Anlage; Tab. 253, 254 und 258). Der Boden wurde wie der des Standorts IV.3 als Ustifluent bzw. Lockersyrosem klassifiziert (Tab. 253; Tab. 255 bis 257 und 259 bis 263). Die auf dem Foto 32 erkennbare dunklere Bodenzone ab etwa 70 cm unter GOF beruht auf einer höheren Bodenfeuchte zur Zeit der Aufnahme in der Trockenzeit (vgl. MUNSELL-Bodenfarben Tab. 255). Dass es sich hier, wie beim Standort I.5, um Niederschlagswasser und nicht um kapillar aufsteigendes Grundwasser handelt, zeigen die extrem geringen Salzgehalte (Tab. 257). Vermutlich befindet sich eine wasserstauende Schicht im Untergrund. Durch die regenzeitliche Auswaschung der oberen 6 cm u. GOF wurde der $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ von 7,3 in der TZ auf 6,6 in der RZ abge-

senkt (nach USDA ist die Bodenreaktion von pH 6,6 bis 7,3 neutral), obwohl die Salzgehalte aller Horizonte in der TZ und der RZ mit 0,01 % (bzw. 0,0 %) extrem gering sind (Tab. 257 und 261). Im äolisch abgelagerten Material (bis 70 cm u. GOF) ist die Summe der austauschbaren Basen gering bis sehr gering, im fluviatil abgelagerten, feuchteren Material (ab 70 cm u. GOF) trotz der groben Bodenart (lehmiger Sand) mittel (Tab. 262).



Foto 32:

Ustifluent bzw. Lockersyrosem aus äolisch über fluviatil abgelagertem Lockergestein am Standort TZ IV.4 (äolisch geprägte Alluvialebene; 3712 m ü. M.; Trockenzeit); die dunklere Farbe ab etwa 70 cm u. GOF ist durch einen höheren Wassergehalt (ombrogenes Wasser) bedingt; oben im Bild *Festuca orthophylla* - Horstgras; Aufnahmedatum: 8. Oktober 1996

5.4.5 Standort IV.5 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene)

Es handelt sich an dem Standort IV.5 (**grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene**) um einen **Halaquept** mit ***Distichilis humilis* - *Salicornia pulvinata* - *Anthobryum triandrum* - *Festuca orthophylla* - *Parastrephia phyllicaeformis* - Vegetation**, wobei *Anthobryum triandrum* mit einer Deckung von 5 bis 25 % dominiert und *Festuca orthophylla* reichlich vorhanden ist, jedoch weniger als 5 % der Aufnahme­fläche bedeckt (Tab. 20 Anlage; Tab. 264 und 265). Von den oberen drei Horizonten (0 bis 30 cm u. GOF) wurde ein Bodensättigungsextrakt hergestellt und untersucht (Abb. 38; Tab. 269 bis 272): es handelt sich hierbei um stark versalz­te Salzalkaliböden (besser Bodenhorizonte) nach RICHARDS (1954) mit extrem hoher (bis 15 cm u. GOF) bis sehr hoher Borkonzentration (15 bis 30 cm u. GOF). Der höhere EC_e und Salzgehalt der oberen 3 cm gegenüber dem darunterliegenden Horizont ist, mit größter Wahrscheinlichkeit, auf die zur Zeit der Probenentnahme in der Regenzeit herrschende "Trockenphase", die einen aszendierenden Bodenwasserstrom zur Folge hat, zurückzuführen und nicht auf Unterschiede in der Bodenart (Abb. 37 und 38 auf der folgenden Seite; Tab. 266 bis 272).

5.4.6 Standort IV.6 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene)

Im Gegensatz zu dem (200 m entfernt liegenden) Standort IV.5 (**grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene**) wachsen am Standort IV.6 *Festuca orthophylla* und *Parastrephia phyllicaeformis* nicht, sondern nur die drei charakteristischen Arten der ***Distichilis humilis* - *Salicornia pulvinata* - *Anthobryum triandrum* - Vegetationseinheit** sowie ein Exemplar eines *Junellia minima* - Polsters (Tab. 20 Anlage; Tab. 273 und 274). Die Verbreitung der beiden Vegetationseinheiten der *Distichilis humilis* - Vegetationshaupt­einheit wird in Kapitel 7 diskutiert. Der EC_e , der SAR und der Borgehalt, der auf diese Parameter untersuchten Horizonte (bis 37 cm u. GOF) des Standorts IV.6 (Abb. 40; Tab. 278 bis 281) sind geringer als die der auf diese Parameter untersuchten Horizonte (bis 30 cm u. GOF) des Standort IV.5 (vgl. Abb. 38). Diese Parameter sind nicht für den unterschiedlichen Artenbestand der Standorte IV.5 und IV.6 verantwortlich. Nach USDA ist der Boden des Standorts IV.6 als **Halaquept** anzusprechen (Tab. 273). Es handelt sich nach RICHARDS (1954) zur Zeit der Probenentnahme in der Regenzeit bei den Horizonten bis 37 cm u. GOF um gering (bis 12 cm u. GOF) bis mittel versalz­te (12 bis 37 cm u. GOF) Salzalkaliböden, die eine extrem hohe Borkonzentration haben (Tab. 275). Der für die Regenzeit untypische, etwas höhere Salzgehalt im oberen Bodenzentimeter gegenüber dem darunterliegenden Horizont, ist wie bei Standort VI.5 vermutlich auf witterungsbeding­ten kapillaren Aufstieg und nicht auf die Bodenart zurückzuführen (Tab 276 bis 281).

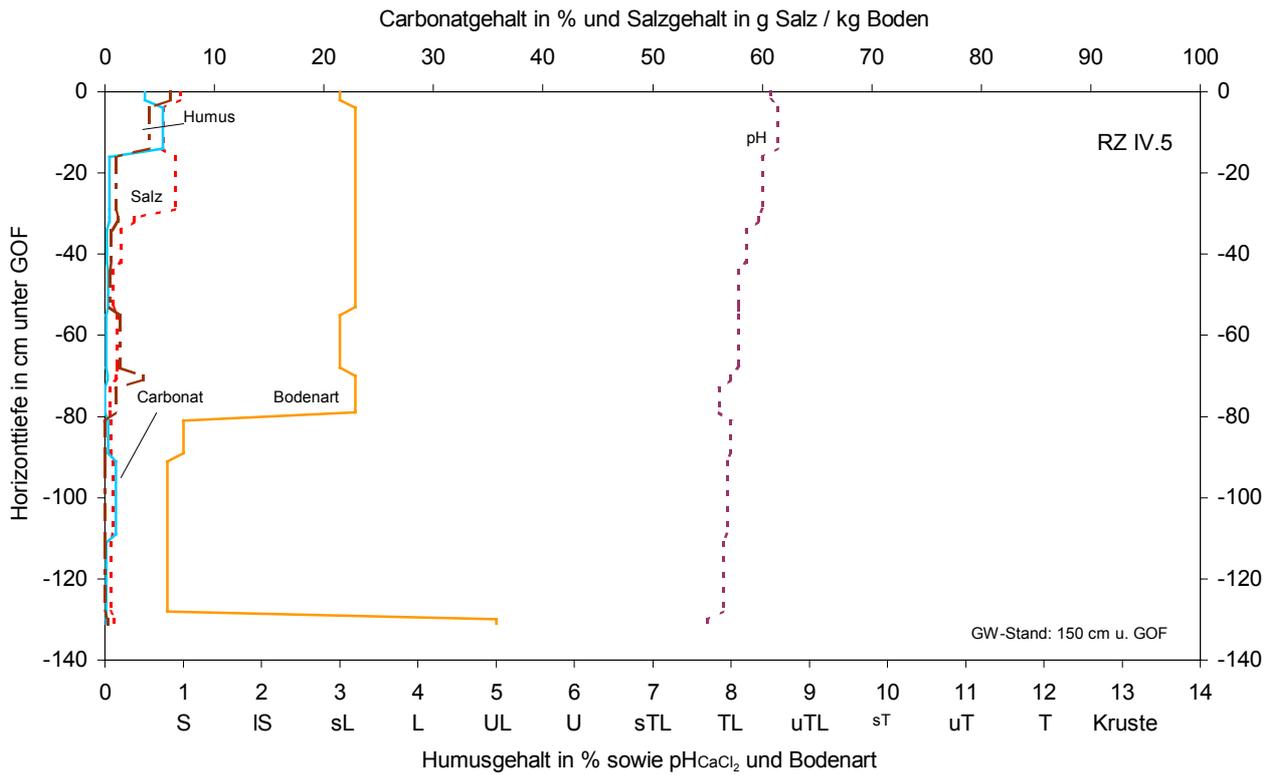


Abb. 37: Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 131 cm u. GOF des Standortes RZ IV.5 (Regenzeit)

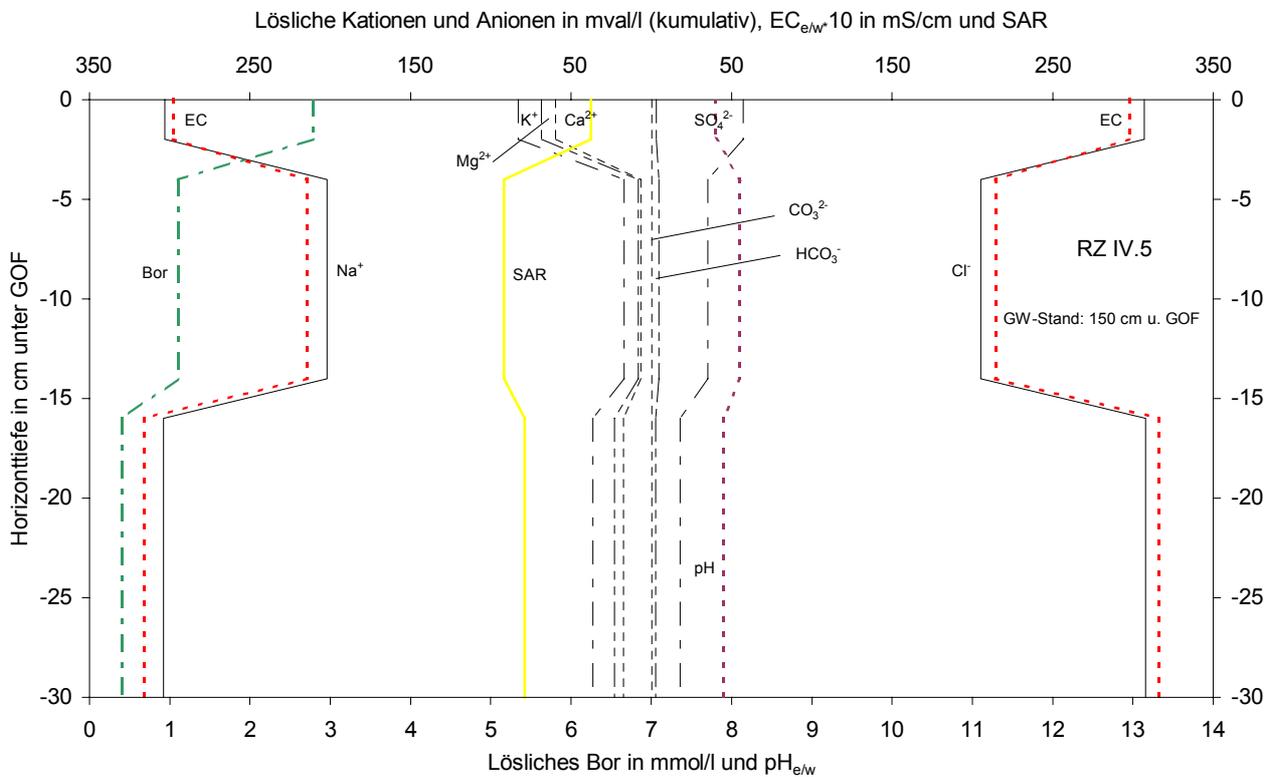


Abb. 38: Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/w} \cdot 10$, SAR, $pH_{e/w}$ und lösliches Bor des Bodensättigungsextraktes der Bodenhorizonte bis 30 cm u. GOF des Standortes RZ IV.5 (Regenzeit)

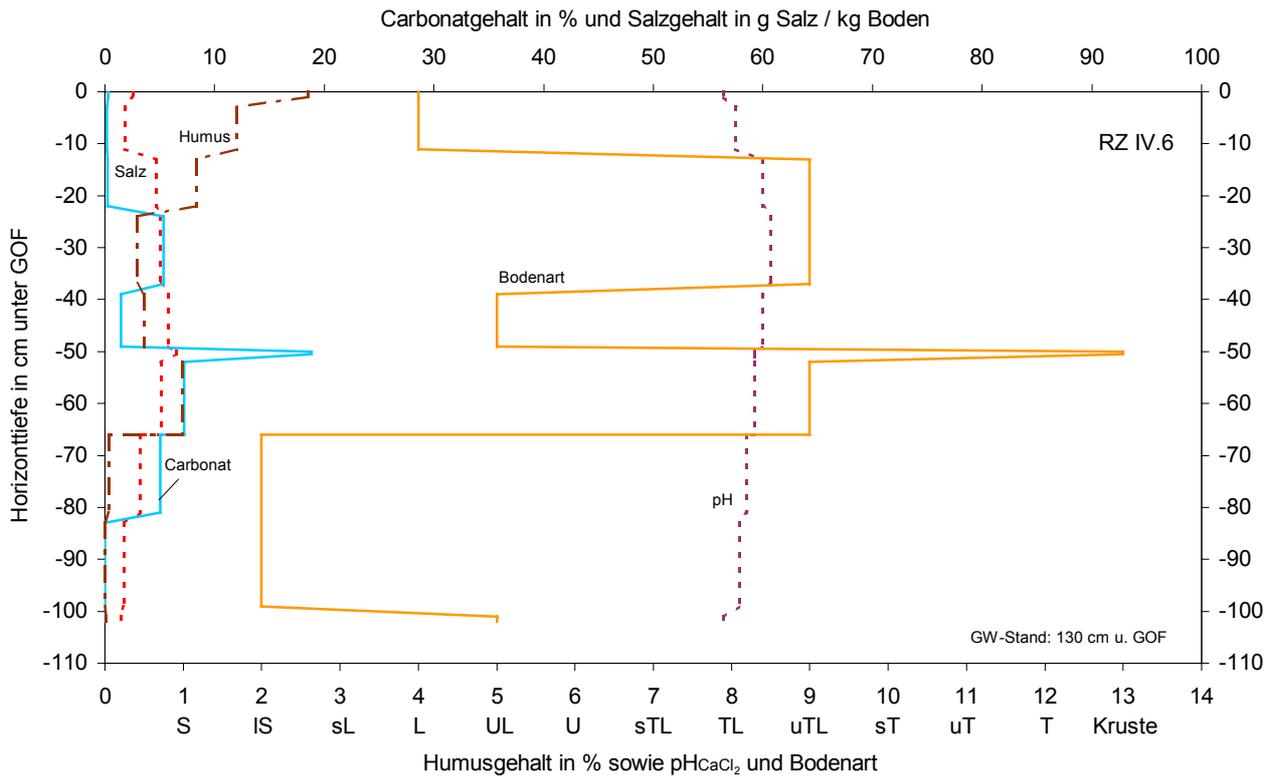


Abb. 39: Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 107,5 cm u. GOF des Standortes RZ IV.6 (Regenzeit)

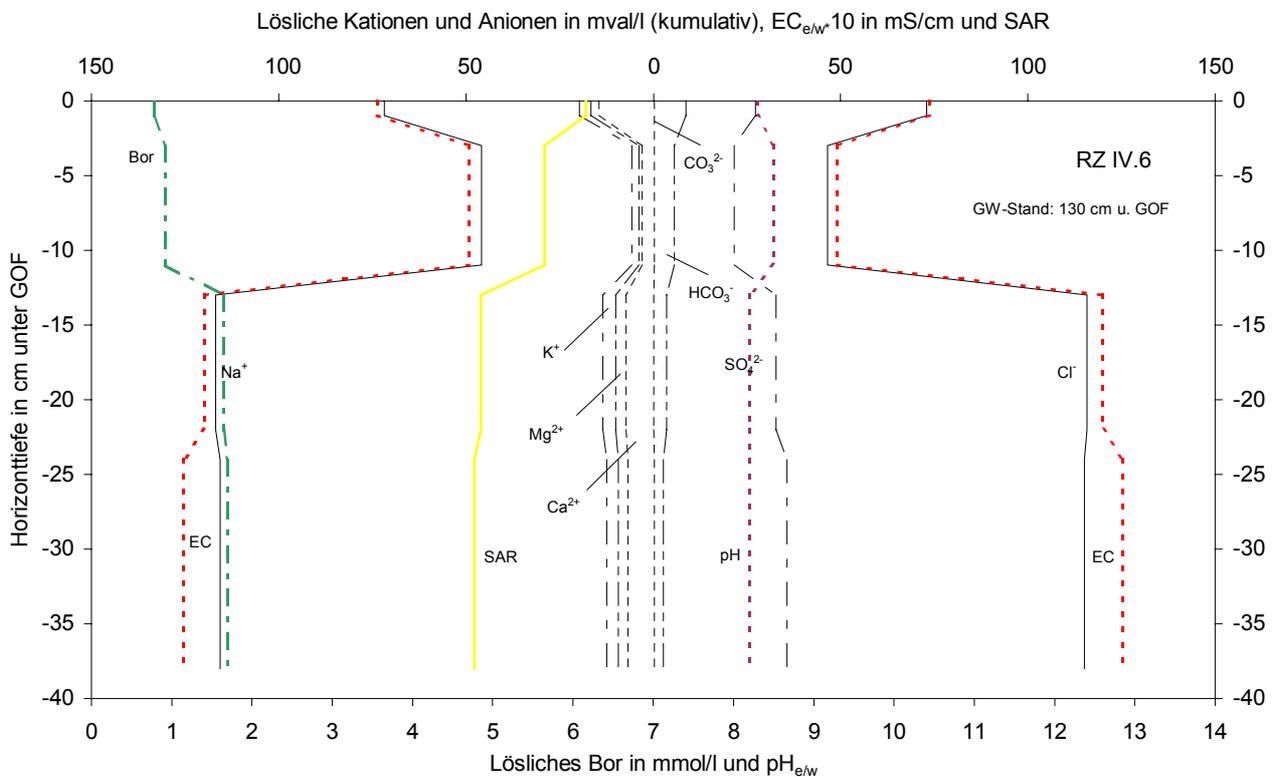


Abb. 40: Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/W} 10$, SAR, $pH_{e/W}$ und lösliches Bor des Bodensättigungsextraktes der Bodenhorizonte bis 37,5 cm u. GOF des Standortes RZ IV.6 (Regenzeit)

5.5 Standortgruppe V – Reliefsequenz im Bereich höherer Dünen

Wenige Kilometer nordöstlich des Río Sabaya befindet sich, westlich der Straße Nr. 601, ein Gebiet mit Dünen, die Höhen bis zu 3 (4) m erreichen. In der Regenzeit wurde eine solche Düne von etwa 2 m Höhe sowie die angrenzenden Deflationsbereiche an sechs Einzelstandorten vegetationskundlich und pedologisch untersucht (Karte 1 Anlage). Es wurde ein Standort auf der Kuppe der Düne (Standort V.4) aufgenommen, zwei Standorte am Dünenhang (Nord- und Südhang; Standorte V.3 und V.5), einer im Dünental (zwischen der untersuchten und der südlich davon gelegenen Düne; Standort V.6) und zwei in der Ebene nördlich (Standort V.1 und V.2) der in Ost-West-Richtung verlaufenden Düne. Der Standort V.1 in der Ebene nördlich der Düne wurde bereits in der Trockenzeit aufgenommen (TZ- und RZ-Aufnahme).

5.5.1 Standort V.1 (äolisch geprägte Alluvialebene)

Die Vegetation des in der **äolisch geprägten Alluvialebene** einige Meter nördlich der untersuchten Düne gelegenen Standorts V.1 ist ein ***Lampaya castellani* - *Parastrephia lepidophylla* - *Festuca orthophylla* - Bestand** (Tab. 20 Anlage; Tab. 282, 283 und 287). Der Boden ist nach USDA ein **Ustorthent** und nach DBG ein **Lockersyrosem** (Tab. 282, 284, 288). Die Bodenart (lehmgiger) Sand überwiegt; lediglich ein Bodenhorizont in größerer Tiefe des RZ-Standorts ist feiner texturiert; der Skelettanteil ist sehr gering (Tab. 285 und 289). Der Boden ist nicht versalzt, die pH_{CaCl₂}-Werte nehmen von oben (pH_{CaCl₂} 6,9 in der TZ bzw. 6,7 in der RZ) nach unten (pH_{CaCl₂} 8 in der TZ und RZ) im Bodenprofil zu. Carbonat wurde in einigen tieferen Horizonten festgestellt (Tab. 286 und 290).

5.5.2 Standort V.2 (äolisch geprägte Alluvialebene)

Der Standort V.2 befindet sich unmittelbar nördlich der untersuchten Düne. Die Klassifikation des Bodens als **Haplustept** nach USDA beruht auf dem Vorhandensein eines „cambic horizon“, welcher u.a. 15 cm mächtig sein muss, die Bodenart sehr feiner Sand, lehmiger sehr feiner Sand oder eine feinere Bodenart haben muss sowie „absence of rock structure in more than one-half of the volume“ (SOIL SURVEY STAFF 1998, 18) zeigen muss (Foto 33; Tab. 291, 293 und 294). Die Vegetation des Standorts unterscheidet sich jedoch im Wesentlichen nicht von der Vegetation der Standorte der **äolisch geprägten Alluvialebene** mit Ustorthents: es handelt sich auch an diesem Standort um einen ***Lampaya castellani* - *Parastrephia lepidophylla* - *Festuca orthophylla* - Bestand**, hier mit Dominanz von *Festuca orthophylla* (Tab. 20 Anlage; Tab. 291 und 292). Der Boden ist nicht versalzt, carbonatfrei (abgesehen von Spuren in den oberen Horizonten) und schwach alkalisch (im oberen Horizont) bis neutral (16 bis 100 cm u. GOF) (Tab. 295).

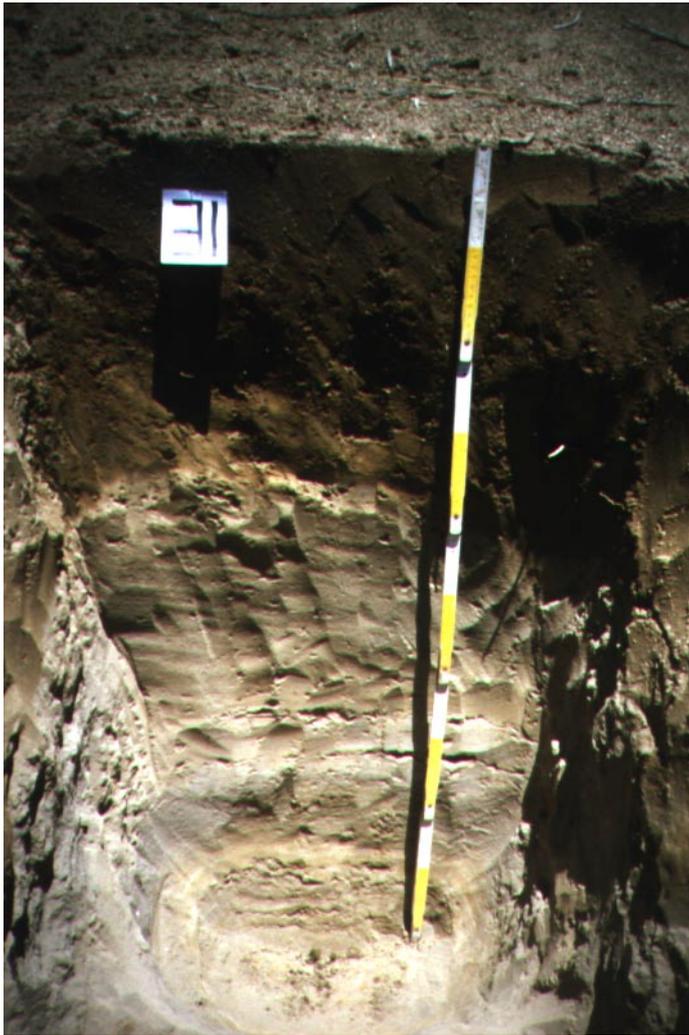


Foto 33:

Haplustept bzw. Lockersyrosem aus fluviatil (und äolisch) abgelagertem Lockergestein am Standort RZ V.2 (äolisch geprägte Alluvialebene; 3695 m ü. M.; Regenzeit); die dunklere Farbe bis etwa 38 cm u. GOF ist durch einen höheren Wassergehalt (ombrogenes Wasser) bedingt; die Bodenart der durchfeuchteten Horizonte ist feinsandiger Lehm bzw. Lehm; Aufnahmedatum: 1. Februar 1997

5.5.3 Standort V.3 (äolisch geprägte Alluvialebene; Dünenhang)

Der *Lampaya castellani* - *Parastrephia lepidophylla* - *Festuca orthophylla* -Bestand des Standorts V.3 (äolisch geprägte Alluvialebene; Dünenhang) hat, unter Einbeziehung der umliegenden Dünen, etwa gleiche Anteile (reichlich vorhanden bei < 5 % Deckung) der drei namensgebenden Arten (Foto 34; Tab. 20 Anlage; Tab. 296 und 297). Die Bodengrube des Standorts V.3 wurde am nordexponierten Mittelhang der etwa 2 m hohen Düne angelegt. Da bis 105 cm u. GOF ausschließlich Sand mit < 35 Volumenprozent Skelett ansteht, wurde der Boden nach USDA als **Ustipsamment** klassifiziert; nach DBG ist der Boden ein **Lockersyrosem** (Tab. 296, 298 und 299). Der Boden ist nicht versalzt, carbonatfrei und schwach sauer (0 bis 20 cm u. GOF) bis neutral (20 bis 105 cm u. GOF) (Tab. 300).



Foto 34: 2 bis 3 m hohe Dünen mit *Lampaya castellani*, *Festuca orthophylla*, *Parastrephia lepidophylla* und *Parastrephia phyllicaeformis*; im Vordergrund nordexponierter Dünenhang in dem die Bodengrube RZ V.3 (äolisch geprägte Alluvialebene; 3696 m ü. M.; Regenzeit) angelegt wurde; Aufnahmedatum: 1. Februar 1997

5.5.4 Standort V.4 (äolisch geprägte Alluvialebene; Dünenkuppe)



Die Bodengrube RZ V.4 (Foto 35) befindet sich einen Meter oberhalb der Bodengrube RZ V.3 im Bereich der **Kuppe** der 2 m hohen **Düne**.

Foto 35:

Ustipsamment bzw. Lockersyrosem im Bereich der Dünenkuppe einer 2 m hohen Düne am Standort RZ V.4 (äolisch geprägte Alluvialebene; 3697 m ü. M.; Regenzeit); in dem Sandboden reicht die Durchfeuchtungszone bis 69 cm u. GOF; in dem Lehmboden am Standort RZ V.2 (vgl. Foto 33), der nur wenige Meter entfernt liegt, reicht die Durchfeuchtungszone an demselben Tag, zur gleichen Zeit nur bis 38 cm u. GOF (Grund: unterschiedliche Porengrößenverteilung, vgl. Kap. 2); Aufnahmedatum: 1. Februar 1997

Der Standort V.4 (**äolisch geprägte Alluvialebene**) wurde vegetationskundlich (***Lampaya castellani* - *Parastrephia lepidophylla* - *Festuca orthophylla* - Vegetationseinheit**) und pedologisch (**Ustipsamment** bzw. **Lockersyrosem**) wie der Standort V.3 klassifiziert (Tab. 20 Anlage; Tab. 301 bis 305). Die Analyse der NH₄OAc-extrahierbaren Basen und der löslichen Basen im Bodensättigungsextrakt der entnommenen Bodenproben ergab über die Differenzbildung der beiden Parameter eine sehr geringe Summe der austauschbaren Basen von etwa 3 mval / 100 g Boden (Tab. 306). Der Anteil der löslichen an den extrahierbaren Basen beträgt bei den vier Bodenhorizonten 2 bzw. 1 % (Tab. 307). Die Menge der löslichen Salze und der EC_e sind dementsprechend sehr gering (Tab. 308 bis 311).

5.5.5 Standort V.5 (äolisch geprägte Alluvialebene; Dünenhang)

Wie an den anderen Standorten im Bereich der **äolisch geprägten Alluvialebene** wurde auch am nördlichen Hang der untersuchten Düne ein ***Lampaya castellani* - *Parastrephia lepidophylla* - *Festuca orthophylla* - Bestand** vorgefunden (Tab. 20 Anlage; Tab. 313). Der Boden am Standort V.5 wurde als **Haplustept** bzw. **Lockersyrosem** klassifiziert, da unterhalb des Dünensandes ab 85 cm u. GOF sandiger Tonlehm vorgefunden wurde (Tab. 312 und 314). Die Ergebnisse der Untersuchung der anderen Bodenparameter waren denen der Standorte V.3 und V.4 ähnlich (Tab. 315 und 316).

5.5.6 Standort V.6 (äolisch geprägte Alluvialebene; Dünental)

Der Standort V.6 (**äolisch geprägte Alluvialebene; Dünental**) befindet sich unmittelbar südlich der untersuchten Düne in einem Dünental, das ohne das Niveau der Deflationsebene zu erreichen, in die südlich angrenzende Düne überleitet. Der Vegetationsbestand an diesem Standort wurde wie alle Bestände der äolisch geprägten Alluvialebene der ***Lampaya castellani* - *Parastrephia lepidophylla* - *Festuca orthophylla* - Vegetationseinheit** zugeordnet (Tab. 20 Anlage; Tab. 317 und 318). Der Boden wurde wie der Boden des Standorts V.2 als **Haplustept** bzw. **Lockersyrosem** klassifiziert (Tab. 317, 319 und 320). Der Boden ist nicht versalzt, weitestgehend carbonatfrei und zeigt eine neutrale Reaktion (Tab. 321). Der im Vergleich zum oberen Horizont (0 bis 9 cm u. GOF) höhere Humusgehalt des darunter liegenden Horizontes ist vermutlich damit zu erklären, dass es sich hierbei einen ehemaligen A-Horizont (Ab; b von „buried genetic horizon“, SOIL SURVEY STAFF 1998, 313) handelt.

5.6 Standortgruppe VI – ein schwach grundwasser- und salzbeeinflusster Standort und zwei äolisch geprägte Standorte in der Alluvialebene ohne Catenezugehörigkeit

Auf der Fahrt von Huachacalla Richtung Río Lauca fallen auf den ersten Kilometern nordwestlich der Straße Nr. 601 fast reine Bestände des Horstgrases *Festuca orthophylla* („Paja brava“, „lru lchu“) auf. 2 km nordöstlich von Huachacalla wurde in diesem Bestand ein Standort (VI.1) in der Trocken- und der Regenzeit aufgenommen. Der Standort VI.2 liegt unmittelbar südlich des Standortes I.8 in einem Dünengebiet. Der Standort VI.3 befindet sich etwa 3 Meter oberhalb des regenzeitlichen Wasserstandes des Río Sabaya und ist nicht grundwasserbeeinflusst. Die Lage der Standorte in der Alluvialebene ist der Karte 1 in der Anlage zu entnehmen. Der Standort VI.1 ist

schwach grundwasser- und salzbeeinflusst (gelbgrüne Signatur in Karte); die Standorte VI.2 und VI.3 sind äolisch geprägt (gelbe Signatur in Karte).

5.6.1 Standort VI.1 (schwach grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene)

Die Vegetation am Standort VI.1 (**schwach grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene**) besteht in der Trockenzeit, abgesehen von einem Exemplar von *Junellia minima*, ausschließlich aus *Festuca orthophylla* (Fotos 36 und 37; Tab. 20 Anlage; Tab. 322, 323 und 333). In der Regenzeit trat die ephemere *Fabaceae Hoffmannseggia* in geringer Deckung hinzu. Der Standort VI.1 bildet vegetationskundlich (***Festuca orthophylla* - Vegetationseinheit**) und nach dem Grundwasser- und Salzeinfluss den Übergang zwischen der äolisch geprägten und der grundwasser- und salzbeeinflussten Alluvialebene; pedologisch wurde der Boden als **Haplustept** bzw. **Lockersyrossem** klassifiziert (Tab. 20 Anlage; Tab. 322, 324, 325, 334 und 335). Bei der Anlage der Bodengruben des Standorts VI.1 (TZ und RZ) wurde in 80 cm u. GOF anstehendes Gestein vulkanischen Ursprungs vorgefunden, das von Lockermaterial überschüttet und äolisch überlagert wurde; dieser Standort liegt somit wie der Standort I.5 im Bereich des Pediments der Gebirgsfußfläche (Fotos 36 und 37; Tab. 322). Die nur in der Regenzeit in den unteren Bodenhorizonten erhöhten Salzgehalte (Abb. 41, 42, 45 und 46; Tab. 326, 329 bis 332, 336 und 339 bis 342) weisen auf einen lateralen Grundwasserzufluss bei erhöhtem Grundwasserstand in der Regenzeit hin. Der Boden ist jedoch nicht wassergesättigt, d.h. es handelt sich vermutlich um Kapillarwasser, das an anderer, tiefer gelegener Stelle aus dem Grundwasser aufgestiegen ist und das sich durch Saugspannungsdifferenzen (vgl. Abschn. 2.3.1) an diesen Ort bewegt hat. Das Grundwasser hat sich vermutlich mit dem Niederschlagswasser vermischt, wodurch eine Verdünnung der Salze erfolgte. Die in den oberen 5 cm in der Trockenzeit durch kapillaren Aufstieg und äolischen Eintrag gering erhöhten Salzgehalte sind durch den Niederschlag in der Regenzeit deutlich gemindert. Die Summe der austauschbaren Basen nimmt tendenziell nach unten im Profil zu, vermutlich bedingt durch in situ verwittertes vulkanisches Festgestein (Abb. 43 und 44; Tab. 327 und 337). Aufgrund des temporären Einflusses salzhaltigen Grundwassers, ist der Natriumanteil an den Austauschern in der RZ erhöht (Abb. 43 und 44; Tab. 328 und 338).



Foto 36:
 Haplustept bzw. Lockersyrosem am Standort TZ VI.1 (schwach grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene; 3709 m ü. M.; Trockenzeit); der Boden ist ab 5 cm u. GOF schwach feucht, hat jedoch, mit Ausnahme der oberen 5 cm, keine erhöhten Salzgehalte (Hinweis auf ombrogenes Wasser); oben im Bild trockene *Festuca orthophylla* - Horstgräser; Aufnahmedatum: 26. September 1996



Foto 37:
 Haplustept bzw. Lockersyrosem am Standort RZ VI.1 (Regenzeit); der Boden ist in den unteren Horizonten sichtbar feuchter und die Salzgehalte sind ab 15 cm u. GOF erhöht (Hinweis auf lateralen, ungesättigten Grundwasserzufluss durch GW-Anstieg in der Regenzeit); durch die gute Wasserversorgung haben die *Festuca orthophylla* - Horstgräser frisch ausgeschlagen; Aufnahmedatum: 11. Januar 1997

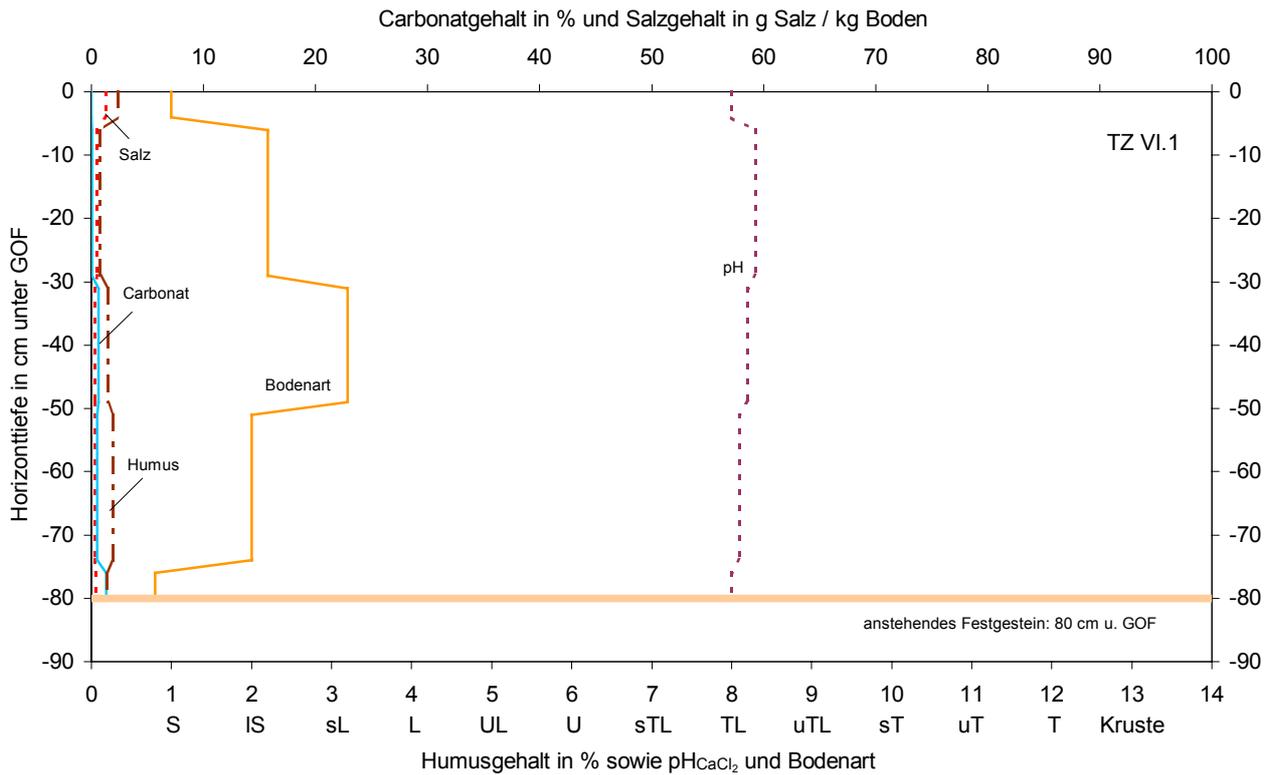


Abb. 41: Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 80 cm u. GOF des Standortes TZ VI.1 (Trockenzeit); ab 80 cm u. GOF anstehendes Festgestein

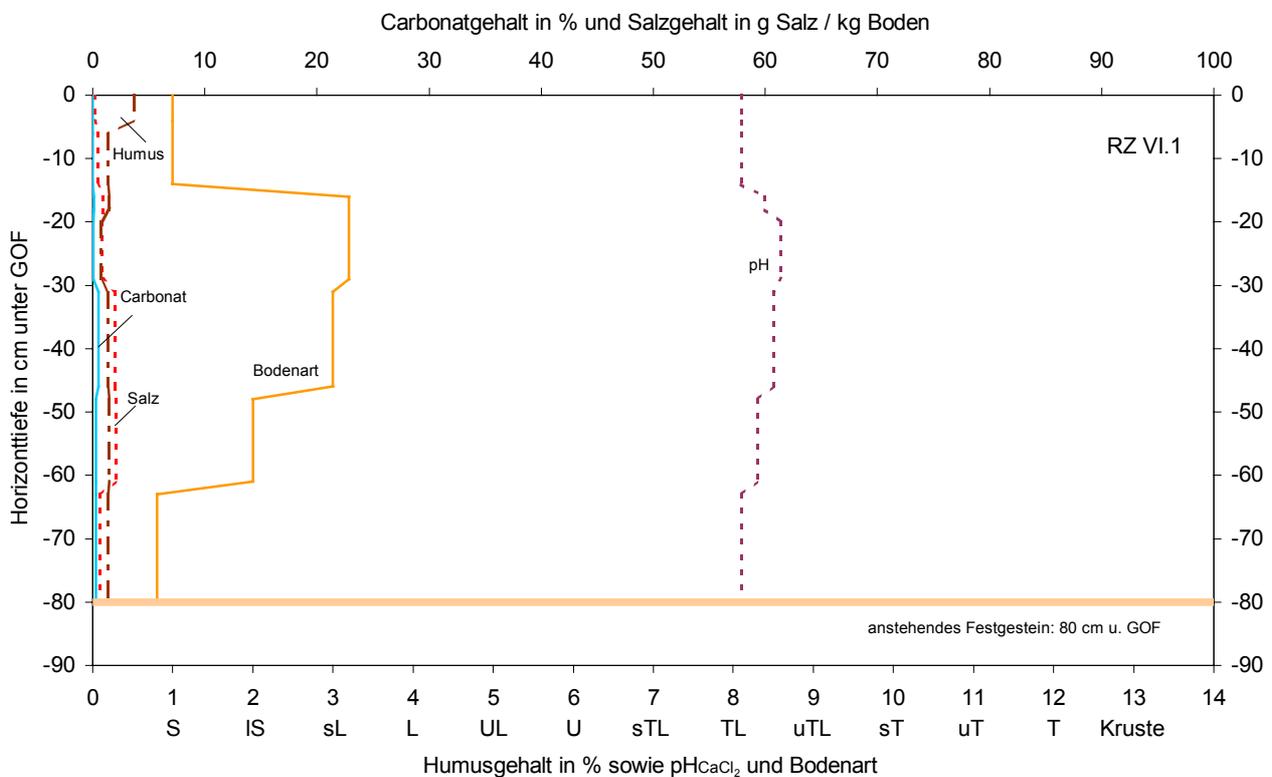


Abb. 42: Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 80 cm u. GOF des Standortes RZ VI.1 (Regenzeit); ab 80 cm u. GOF anstehendes Festgestein

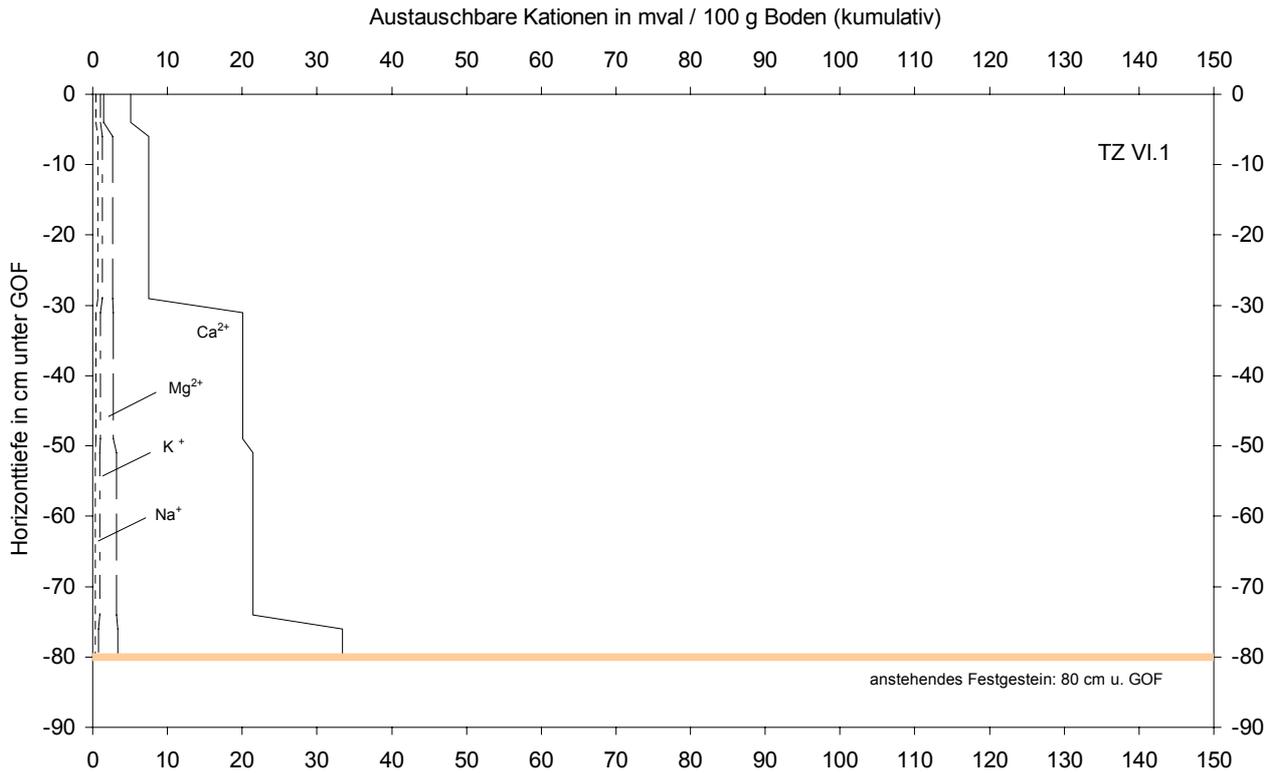


Abb. 43: Austauschbare Kationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium (austauschbare Basen) der Bodenhorizonte bis 80 cm u. GOF des Standortes TZ VI.1 (Trockenzeit); ab 80 cm u. GOF anstehendes Festgestein

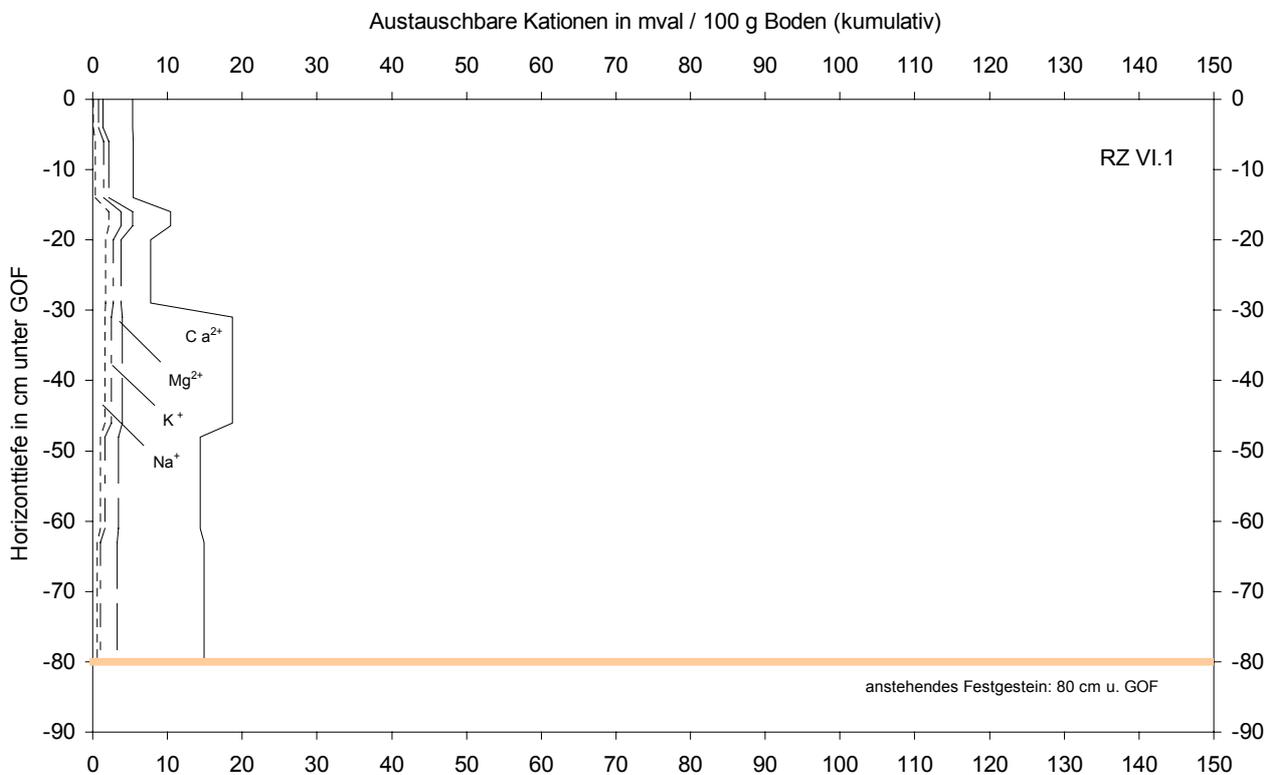


Abb. 44: Austauschbare Kationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium (austauschbare Basen) der Bodenhorizonte bis 80 cm u. GOF des Standortes RZ VI.1 (Regenzeit); ab 80 cm u. GOF anstehendes Festgestein

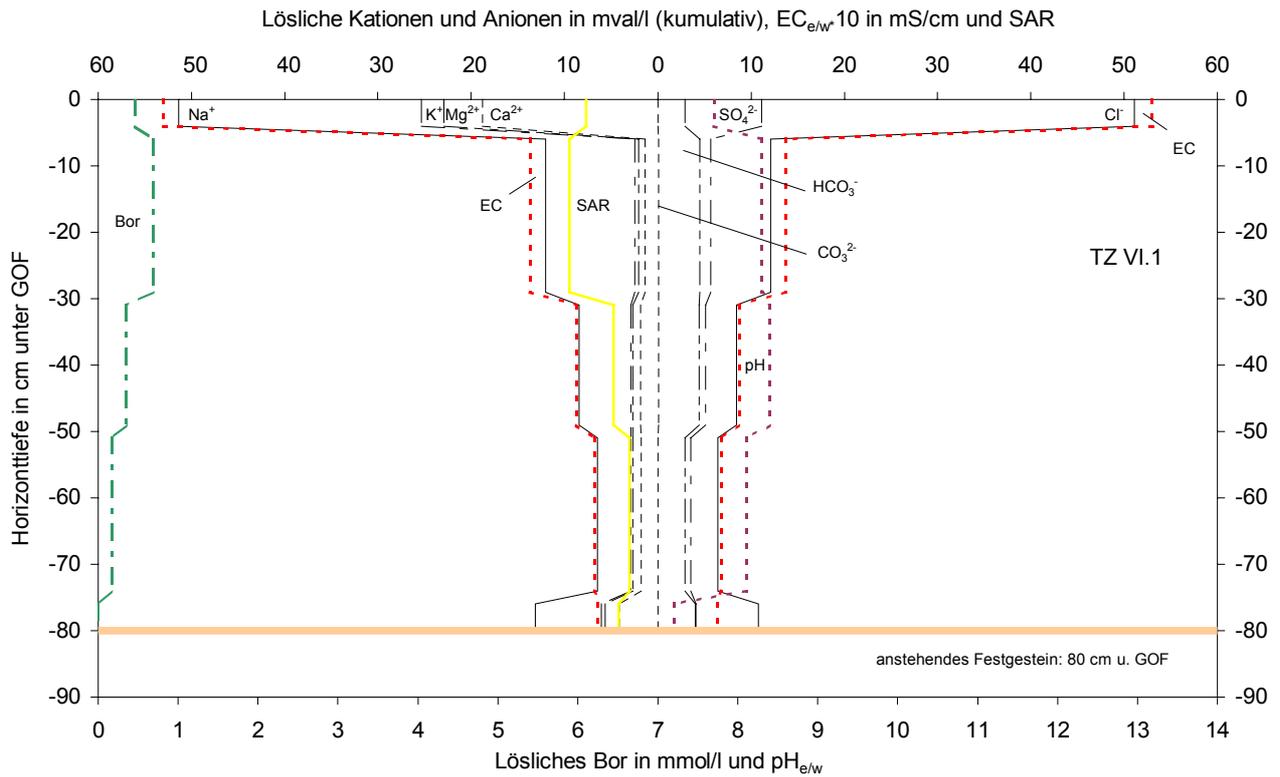


Abb. 45: Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/w}$ 10, SAR, $pH_{e/w}$ und lösliches Bor des Bodensättigungsextraktes der Bodenhorizonte bis 80 cm u. GOF des Standortes TZ VI.1 (Trockenzeit); ab 80 cm u. GOF ansteheendes Festgestein

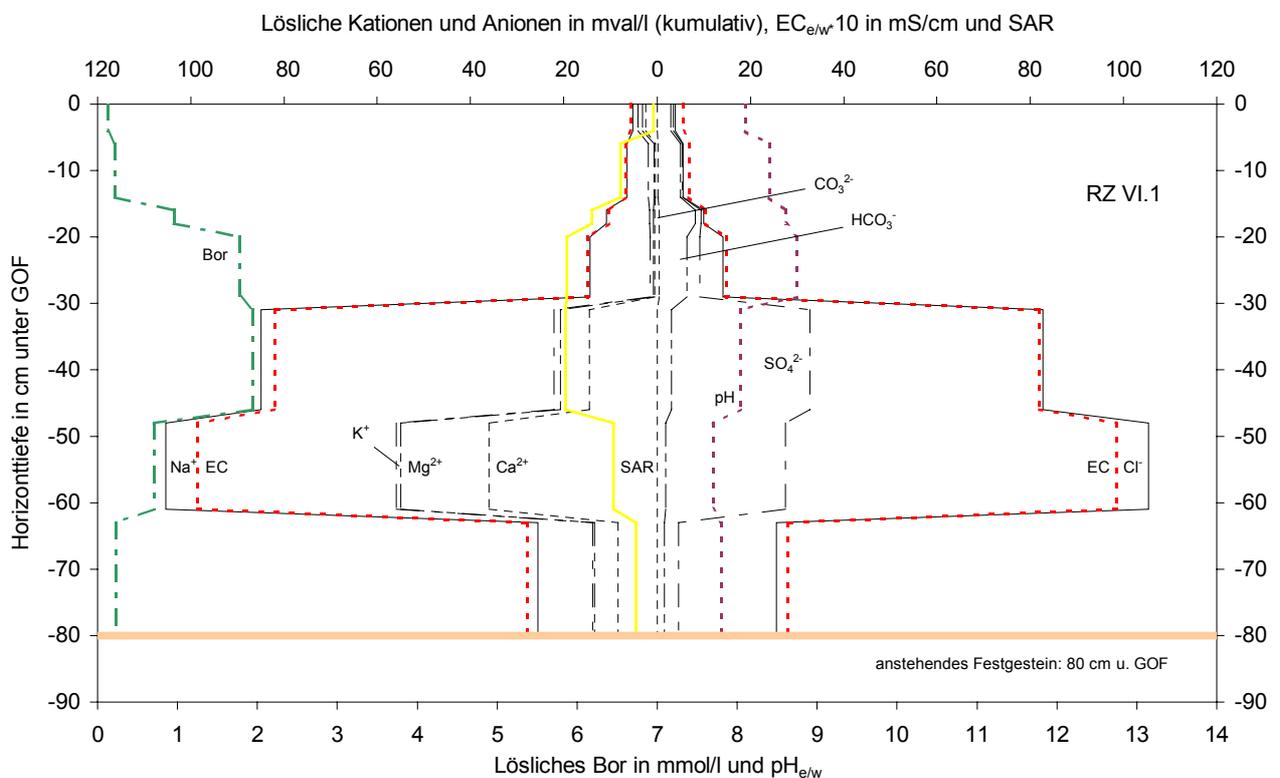


Abb. 46: Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/w}$ 10, SAR, $pH_{e/w}$ und lösliches Bor des Bodensättigungsextraktes der Bodenhorizonte bis 80 cm u. GOF des Standortes RZ VI.1 (Regenzeit); ab 80 cm u. GOF ansteheendes Festgestein

5.6.2 Standort VI.2 (äolisch geprägte Alluvialebene)

Die Vegetation am Standort VI.2 (**äolisch geprägte Alluvialebene**) ist durch eine relativ hohe Deckung von *Festuca orthophylla* und *Lampaya castellani* gekennzeichnet; *Parastrephia lepidophylla* tritt nur in sehr geringer Deckung auf. Etwas häufiger ist *Parastrephia phyllicaeformis*.



Die ausgeschiedene Vegetationseinheit ist wie bei den anderen äolisch geprägten Standorten der Alluvialebene ***Lampaya castellani* - *Parastrephia lepidophylla* - *Festuca orthophylla*** (Tab. 20 Anlage; Tab. 343, 344 und 348). Der Boden wurde als **Ustorthent** bzw. **Lockersyrosem** klassifiziert (Tab. 343, 345 bis 347 und 349 bis 351). Innerhalb des Bodenprofils wurde eine Pseudovergleyung festgestellt (Foto 38).

Foto 38:

Ustorthent bzw. **Lockersyrosem** am Standort TZ VI.2 (äolisch geprägte Alluvialebene; 3695 m ü. M.; Trockenzeit); der Boden ist im unteren Horizont (110-120 cm u. GOF) schwach feucht; die Salzgehalte sind im gesamten Profil extrem gering (Hinweis auf ombrogenes Wasser); Rostfleckung zwischen 70 und 83 cm u. GOF (Pseudovergleyung); Aufnahmedatum: 14. September 1997

5.6.3 Standort VI.3 (äolisch geprägte Alluvialebene)

Die Vegetationsbestand des Standortes I.3 (**äolisch geprägte Alluvialebene**) wird von *Parastrephia lepidophylla* und *Lampaya castellani* dominiert; *Festuca orthophylla* tritt nur mit einer Deckung < 5 % auf; dieser ***Lampaya castellani* - *Parastrephia lepidophylla* - *Festuca orthophylla* - Bestand** ist in der Regenzeit relativ reich an ephemeren Arten (Tab. 20 Anlage; Tab. 352, 353 und 357). Der Boden wurde nach USDA als **Ustifluent** (unregelmäßig abnehmender Humusgehalt bis 125 cm u. GOF) und nach DBG als **Regosol** (nicht verbraunter Boden aus Lockergestein mit Humusgehalt > 0,6 %) angesprochen (Tab. 352, 354 und 358). Der wenige Meter oberhalb des Río Sabaya gelegene Standort war in der TZ ab 70 cm u. GOF schwach feucht und zeigte mäßig (70-95 cm u. GOF; u TL) bis gering erhöhte (95-120 cm u. GOF; gS) Salzgehalte (Abb. 47 und 48). Dies ist ein Hinweis auf kapillar aufgestiegenes Grundwasser. Zudem lässt sich anhand der Labordaten erkennen, dass feiner Boden bei gleicher Bodenfeuchte bzw. dem gleichen pF-Wert prozentual mehr Wasser und Salz enthält als grober Boden (vgl. Abschn. 2.3.1) (Tab. 355, 356, 359 und 360). Bei der Herstellung eines Bodensättigungsextraktes wird dieser Effekt weitgehend kompensiert, d.h. die EC_e -Werte sind bei feinem und grobem Boden nicht so unterschiedlich wie die EC_5 -Werte und die daraus errechneten Salzgehalte.

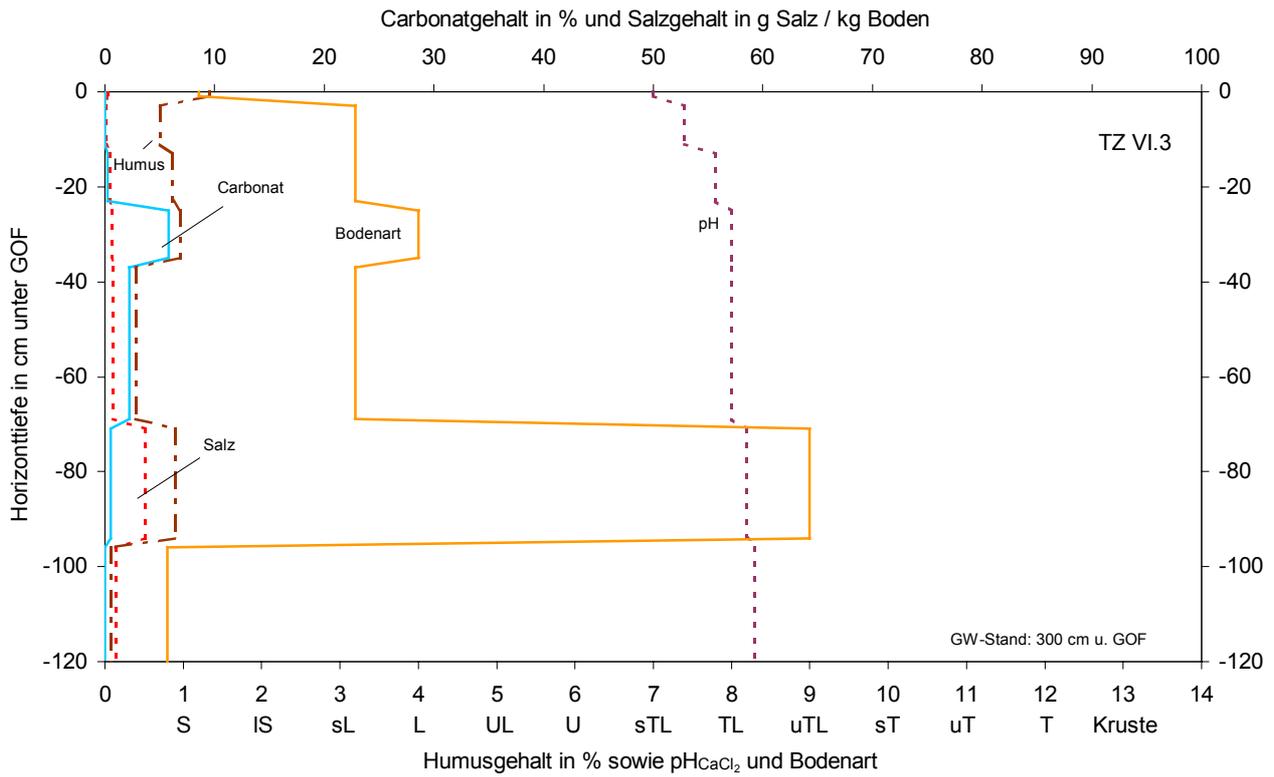


Abb. 47: Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 120 cm u. GOF des Standortes TZ VI.3 (Trockenzeit)

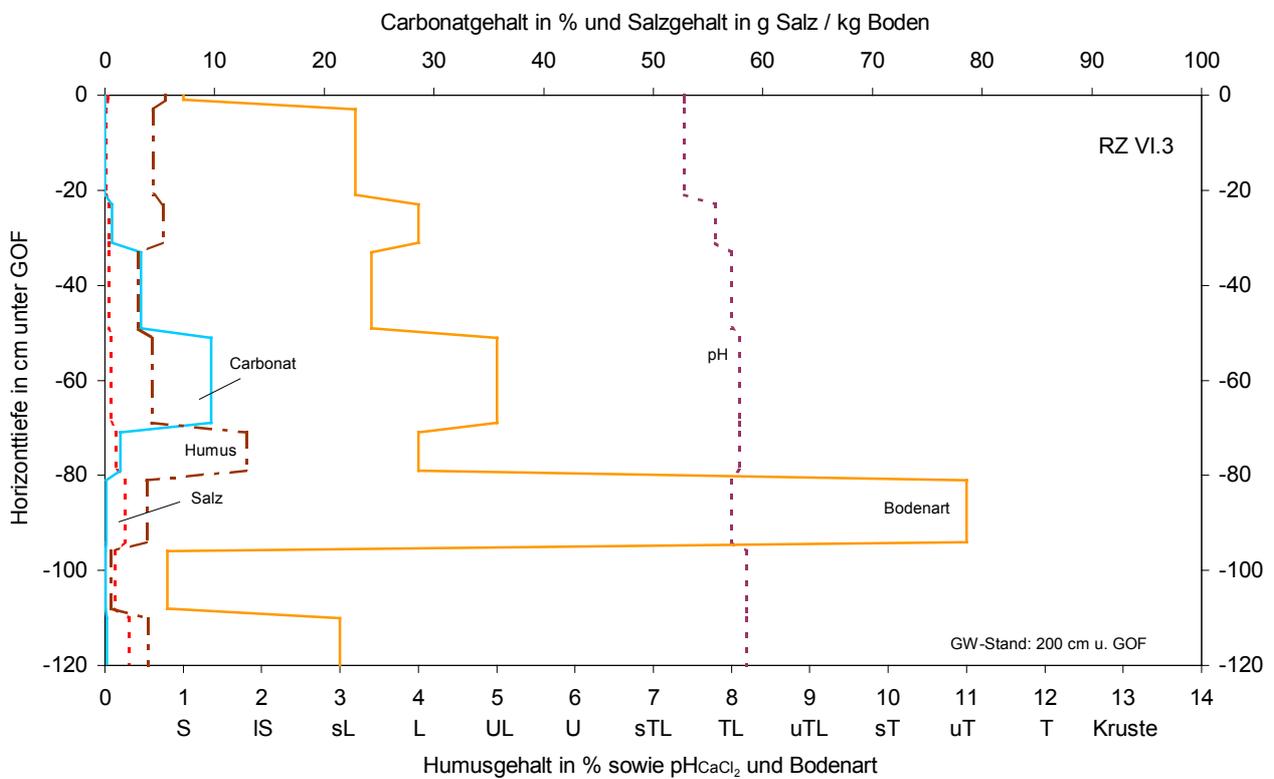


Abb. 48: Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 120 cm u. GOF des Standortes RZ VI.3 (Regenzeit)

5.7 Standortgruppe VII – grundwasser- und salzbeeinflusste Standorte nahe dem Río Lauca

Die Standorte VII.1 und VII.2 sind durch die Nähe zum Río Lauca alluvial geprägt und zeigen in der Regenzeit oberflächennah anstehendes Grundwasser. Der Standort VII.1 wurde bereits in der Trockenzeit aufgenommen (TZ- und RZ-Aufnahme) und hatte in der TZ einen Grundwasserflurabstand von 1,1 m unter GOF.

5.7.1 Standort VII.1 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene)

Die Vegetation am Standort VII.1 (**grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene**) wurde als ***Distichilis humilis* - *Salicornia pulvinata* - *Anthobryum triandrum* - Vegetationseinheit** klassifiziert (Foto 39; Tab. 20 Anhang; Tab. 361 bis 363 und 370 bis 371). Der Bestand wird von den in Polstern wachsenden Halophyten *Anthobryum triandrum* und *Salicornia pulvinata* dominiert, die Poaceae *Distichilis humilis* tritt mit weniger als 5 % Deckung auf. Der Boden ist nach USDA ein **Halaquept**. Die Menge der löslichen Salze beim Standort TZ VII.1 nimmt im Gegensatz zu den anderen in der Trockenzeit untersuchten salz- und grundwasserbeeinflussten Standorten nicht von oben nach unten im Bodenprofil ab, sondern ist bei den drei untersuchten Bodenhorizonten (0 bis 70 cm u. GOF) in etwa gleich hoch (Abb. 49 und 51; Tab. 365 bis 369). Das in der Regenzeit aufgenommene Bodenprofil zeigt hingegen die typische Verteilung von löslichen Salzen innerhalb des Bodenprofils: geringere Salzgehalte in dem oberen Bodenhorizont (bis 10 cm u. GOF; regenzeitliche Auswaschung), in dem darunter folgenden Horizont die höchsten Salzgehalte, die dann mit zunehmender Tiefe abnehmen; die ermittelten Werte der Parameter des Grundwassers (ab 60 cm u. GOF) sind etwas höher als die des Bodensättigungsextraktes des Horizontes in 55 bis 70 cm u. GOF (Abb. 50 und 52; Tab. 373 bis 377). Aus den Gesamtmengen der Ionen innerhalb des Bodenprofil bis 70 cm u. GOF kann entnommen werden, dass durch den Anstieg des Grundwassers in der Regenzeit, der Salzgehalt in diesem Bereich deutlich zugenommen hat; es wird hierbei davon ausgegangen, dass die etwa 2 bis 3 m auseinanderliegenden Pedons (TZ und RZ) zur gleichen Zeit ohne die Störung durch die Anlage der Bodengrube ähnliche Verteilungen der Salze haben würden. In den oberen 30 cm des Bodenprofils wurden zu beiden Aufnahmezeiten, d.h. bei beiden Bodenprofilen, geringe Mengen an Gips gefunden (< 1 %). Die Carbonatgehalte liegen zwischen 1 und 13 % (TZ und RZ) und sind in den oberen Horizonten etwas geringer als in den tieferen Horizonten. Die in 0,01 m CaCl₂ gemessenen pH-Werte sind deutlich höher als die der sehr stark bis extrem stark salzhaltigen Bodensättigungsextrakte, da nach SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL (1998, 111) die Salze die Hydrolyse verringern und somit der pH-Wert mit steigendem Salzgehalt sinkt. Wie beim Standort RZ II.3 korrespondieren hohe Carbonatgehalte (6 bis 13 %) mit feinen Bodenarten (UL) (Abb. 49 und 50; Tab. 364, 365, 372 und 373).



Foto 39:

Halaquept am Standort TZ VII.1 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene; 3705 m ü. M.; Trockenzeit) nahe dem Río Lauca; die hellen Flecken auf der Profilwand sind Salzausscheidungen (die Wand wurde vor der Aufnahme des Fotos nicht frisch abgestochen); oben im Bild Polster von *Anthobryum triandrum* und *Salicornia pulvinata* (*Distichilis humilis* ist an diesem Standort nur mit < 5 % Deckung vertreten), dazwischen Salzausscheidungen an der Bodenoberfläche; Aufnahmedatum: 24. September 1996

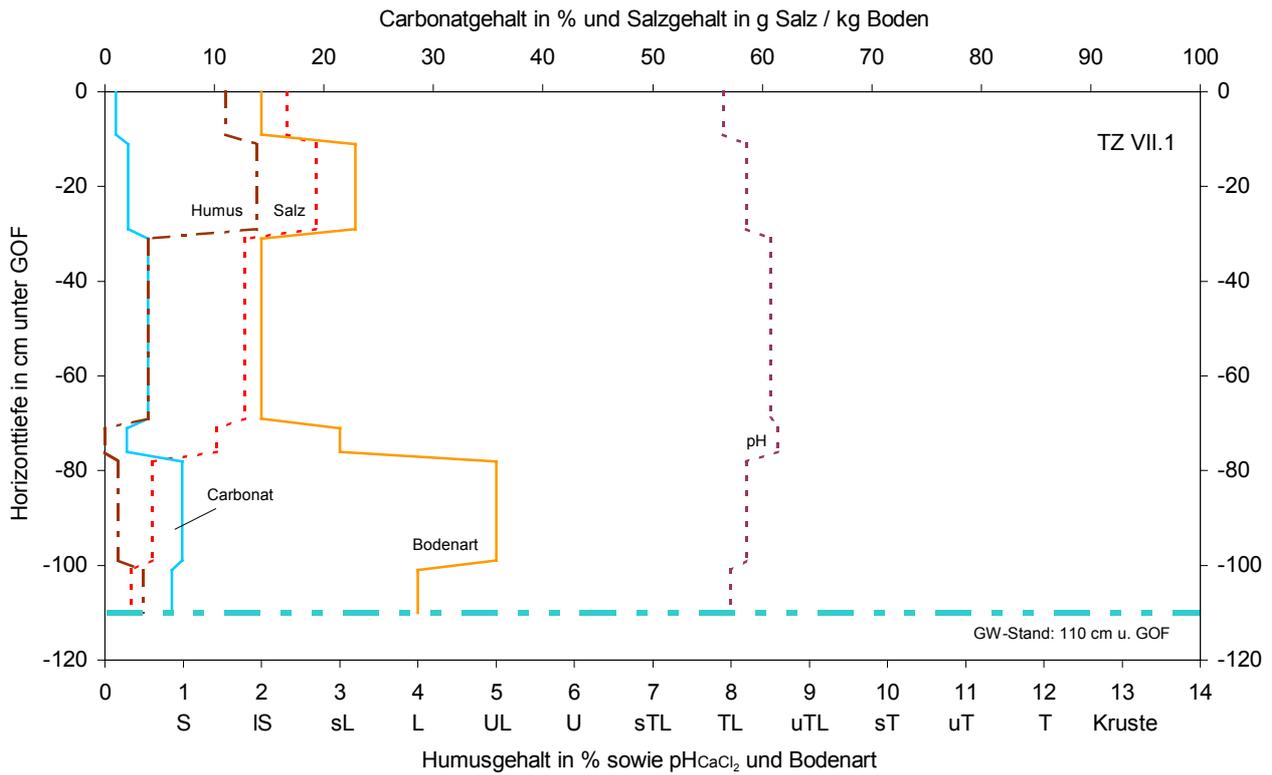


Abb. 49: Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 110 cm u. GOF des Standortes TZ VII.1 (Trockenzeit)

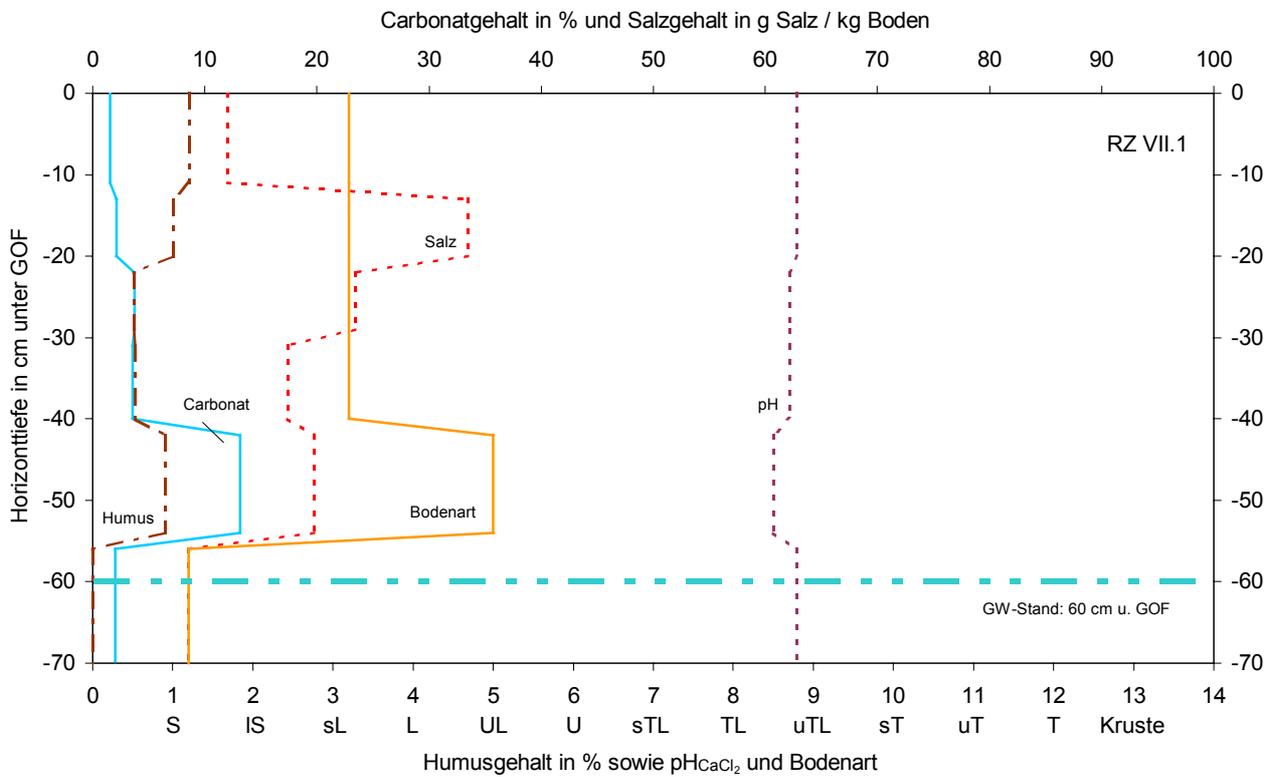


Abb. 50: Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 70 cm u. GOF des Standortes RZ VII.1 (Regenzeit)

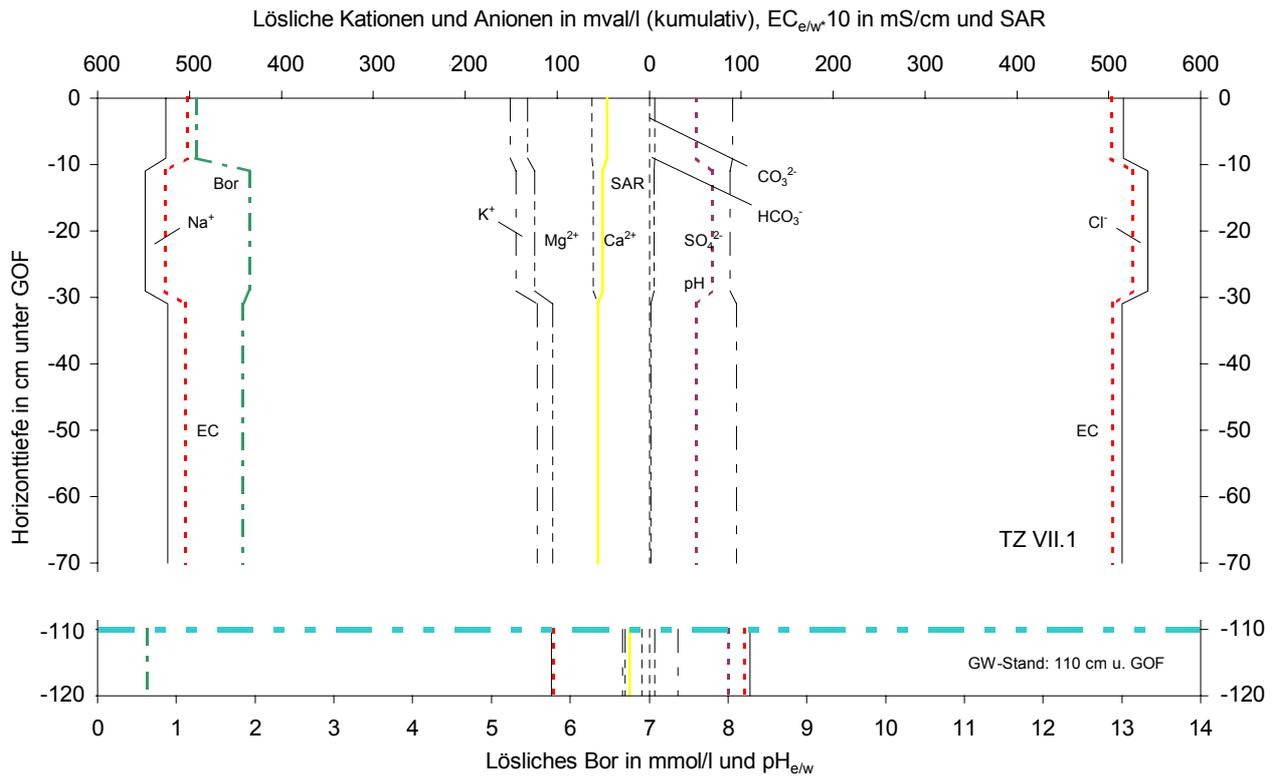


Abb. 51: Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/w} \cdot 10$, SAR, $pH_{e/w}$ und lösliches Bor des Bodensättigungsextraktes der Bodenhorizonte bis 70 cm u. GOF und des Grundwassers (ab 110 cm u. GOF) des Standortes TZ VII.1 (Trockenzeit)

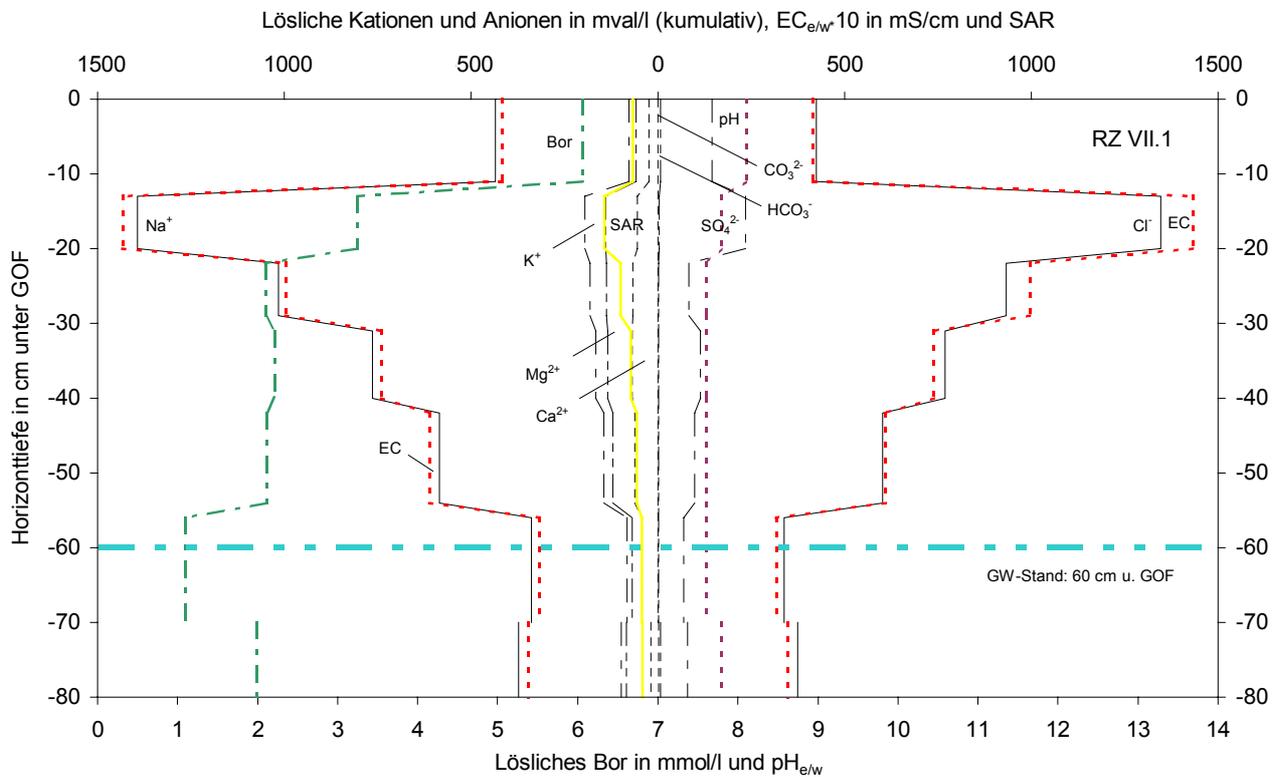


Abb. 52: Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/w} \cdot 10$, SAR, $pH_{e/w}$ und lösliches Bor des Bodensättigungsextraktes der Bodenhorizonte bis 70 cm u. GOF und des Grundwassers (ab 60 cm u. GOF, abgetragen ab 70 cm u. GOF) des Standortes RZ VII.1 (Regenzeit)

5.7.2 Standort VII.2 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene)

Der Vegetationsbestand am VII.2 (**grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene**) wurde als ***Distichilis humilis* - *Salicornia pulvinata* - *Anthobryum triandrum* - *Festuca orthophylla* - *Parastrephia phyllicaeformis* - Vegetationseinheit** klassifiziert (Tab. 20 Anlage; Tab. 378 und 379). *Festuca orthophylla* dominiert deutlich (Foto 41); *Salicornia pulvinata* fehlt. Der als **Halaquept** klassifizierte Boden zeigte zur Zeit der Aufnahme aufgrund der zu dieser Zeit starken Niederschläge keine Salzausscheidungen an der Bodenoberfläche (Foto 40; Tab. 378). Die Tiefenfunktionen der untersuchten Parameter des Bodensättigungsextraktes zeigen ein, für einen grundwasser- und salzbeeinflussten Boden in der Regenzeit, typisches Bild (Abb. 54). Der Einfluss der Bodenart auf die Relation zwischen dem prozentualen Salzgehalt nach EC_5 und den EC_e wird bei den Horizonten zwischen 16 und 22 cm u. GOF und zwischen 22 bis 31 cm u. GOF deutlich: der prozentuale Salzgehalt ist bei dem tiefer gelegenen Horizont mit der feineren Bodenart (UL) etwas höher; der EC_e hingegen ist bei dem höher gelegenen Horizont mit der weniger feinen Bodenart (ffs L) etwa höher, da der Sättigungspunkt bereits bei einer geringeren Wassermenge als beim feineren Boden erreicht wird und die Salzkonzentration im Extrakt somit höher ist (Abb. 53 und 54; Tab. 381 bis 386).



Foto 40: Halaquept am Standort RZ VII.2 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene; 3705 m ü. M.; Regenzeit) nahe dem Río Lauca; durch starke Niederschläge bedingt, befinden sich keine Salzausscheidungen an der Bodenoberfläche; der Boden lässt undeutlich eine Schichtung erkennen; der Horizont zwischen 22 und 31 cm u. GOF ist vermutlich ein "buried A-horizon"; Aufnahmedatum: 30. Januar 1997

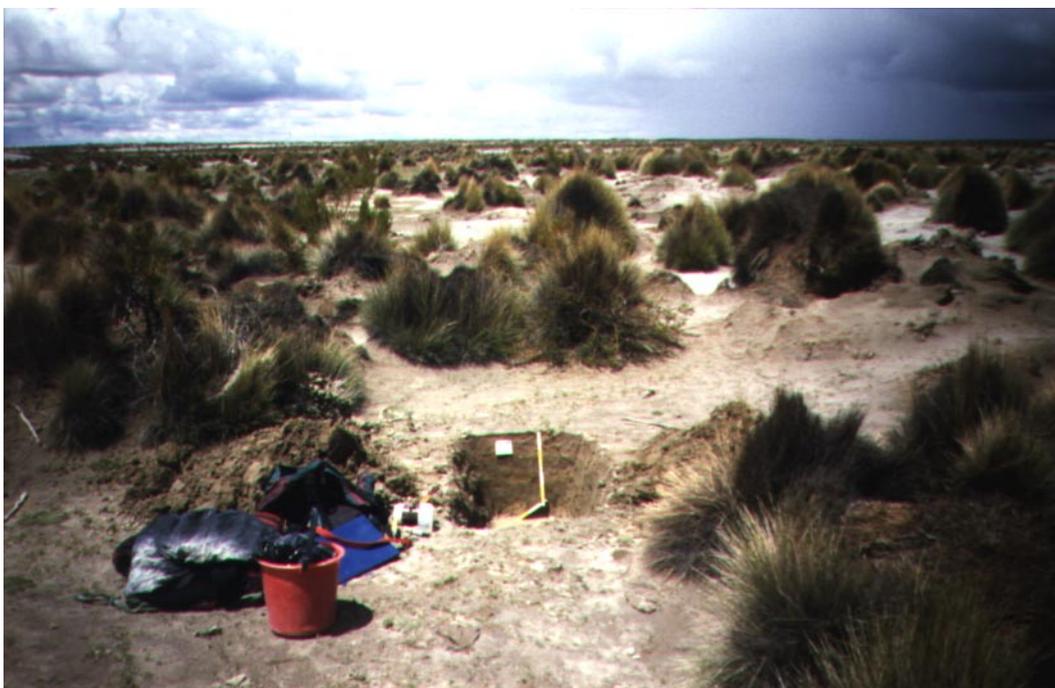


Foto 41: *Distichilis humilis* - *Salicornia pulvinata* - *Anthobryum triandrum* - *Festuca orthophylla* - *Parastrephia phyllicaeformis* - Bestand mit Dominanz von *Festuca orthophylla* im Bereich des Standortes RZ VII.2 (grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene; 3705 m ü. M.; Regenzeit) nahe dem Río Lauca; das Grundwasser steht zur Zeit der Aufnahme in 50 cm u. GOF an; Aufnahmedatum: 30. Januar 1997

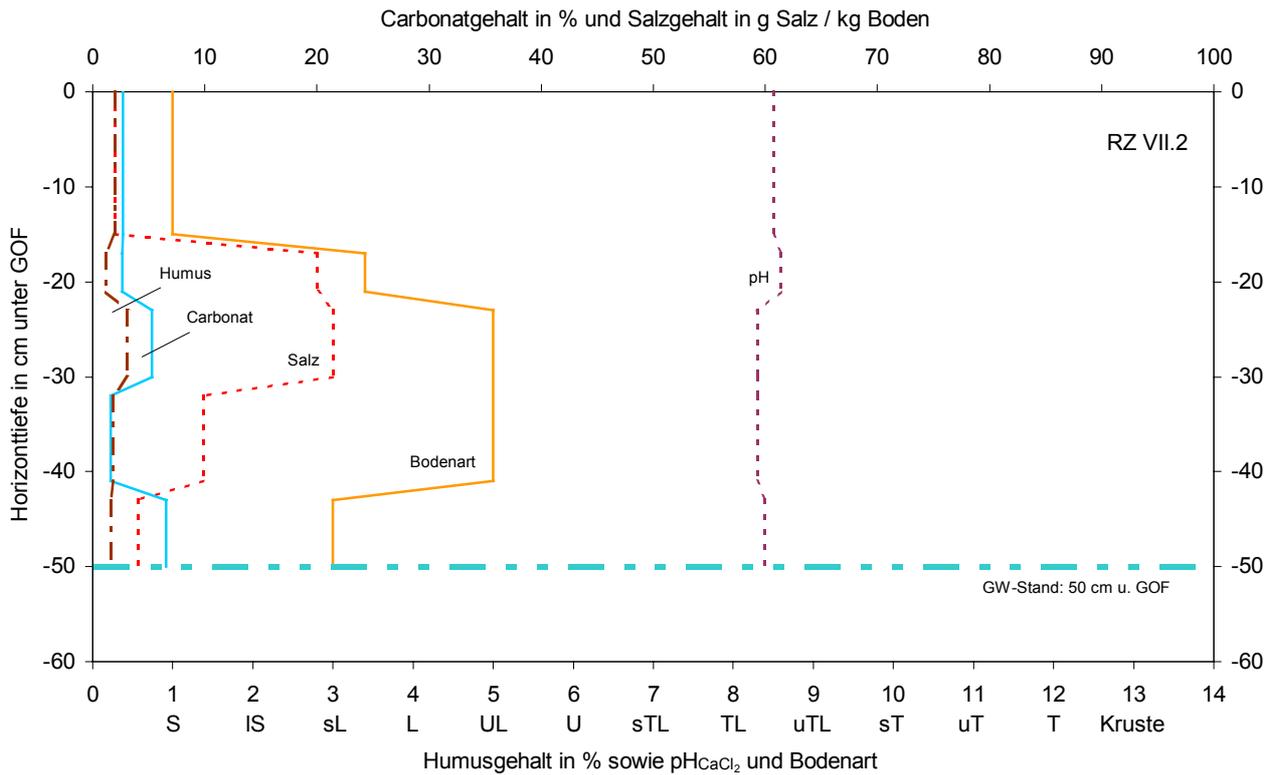


Abb. 53: Carbonat- Salz- und Humusgehalt sowie pH_{CaCl_2} und Bodenart der Bodenhorizonte bis 50 cm u. GOF des Standortes RZ VII.2 (Regenzeit)

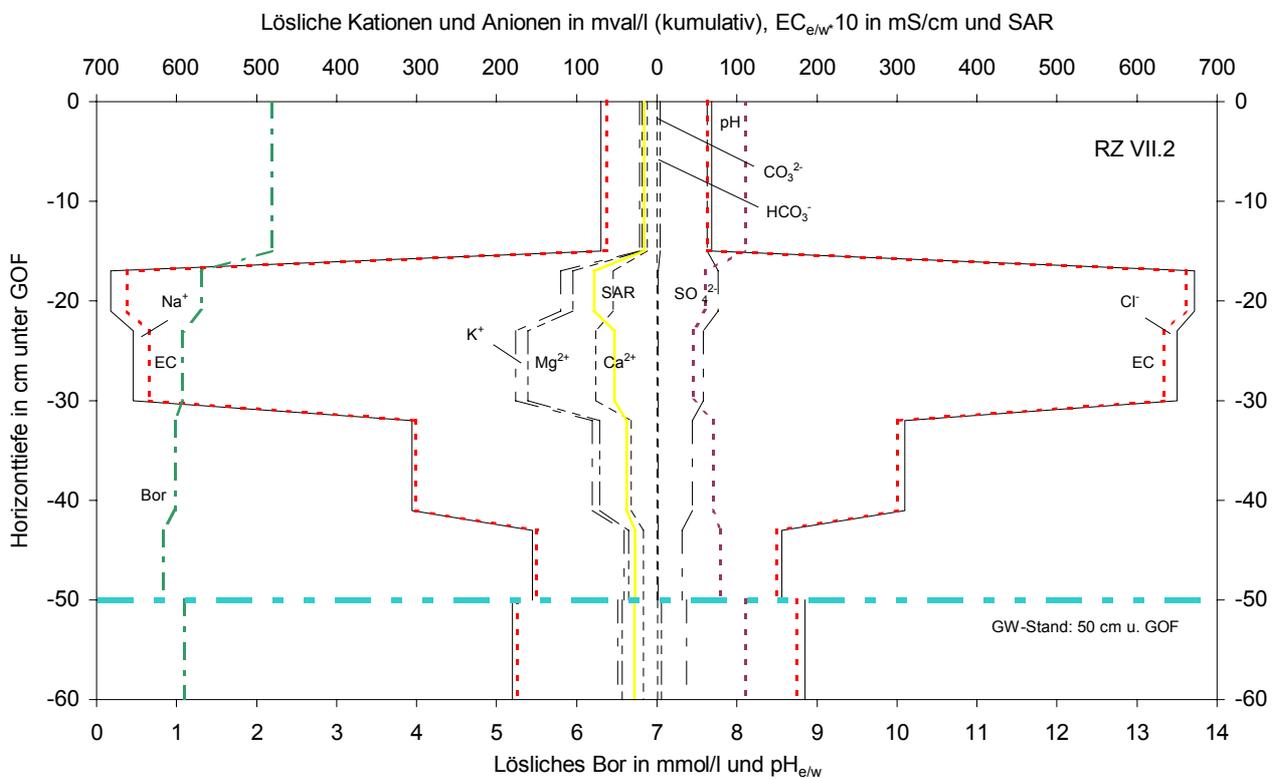


Abb. 54: Lösliche Kationen, lösliche Anionen, $EC_{e/w} \cdot 10$, SAR, $pH_{e/w}$ und lösliches Bor des Bodensättigungsextraktes der Bodenhorizonte bis 50 cm u. GOF und des Grundwassers (ab 50 cm u. GOF des Standortes RZ VII.2 (Regenzeit)

5.8 Flusswasser-, Oberflächenwasser- und Leitungswasserproben

Unabhängig von den aufgenommenen Standorten wurden Wasserproben aus dem Río Lauca und dem Río Sabaya, von einer oberflächlichen Wasseransammlung in der Regenzeit sowie des Leitungswassers in Huachacalla entnommen. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 387 bis 389 (im Anhang) dargestellt.

Die am 11.10.1996 in der Trockenzeit aus dem Río Lauca entnommene Flusswasserprobe ist nicht versalzt und hat keinen erhöhten SAR (< 13), die Borkonzentration ist hoch.

Obwohl das Erscheinungsbild des Flussufers des Río Sabaya stark unterschiedliche Salzgehalte des Flusswassers in der Trocken- und der Regenzeit vermuten lässt (Fotos 43 und 44), unterscheiden sich die Salzgehalte der in der Trocken- und Regenzeit entnommenen Flusswasserproben nur relativ wenig. Die am 11.10.1996 in der Trockenzeit aus dem Río Sabaya entnommene Flusswasserprobe ist sehr gering versalzt und hat keinen erhöhten SAR (< 13), die Borkonzentration ist hoch. Die Werte der Parameter der am 11.01.1997 in der Regenzeit aus dem Río Sabaya entnommenen Flusswasserprobe sind denen der in der Trockenzeit entnommenen Probe ähnlich. Die am 01.02.1997 in der Regenzeit aus dem Río Sabaya entnommene Flusswasserprobe hat höhere Salzgehalte (gering versalzt), einen etwas höheren SAR, jedoch < 13 , und eine höhere (sehr hohe) Borkonzentration. Bei den Anionen in den Flusswasserproben dominiert in der Trockenzeit Chlorid, in der Regenzeit Sulfat. Natrium hat sowohl in der Trockenzeit als auch in der Regenzeit einen Anteil von $> 50\%$ an der Summe der Kationen. Entscheidend ist vermutlich der Ursprung des Wassers im Einzugsgebiet.

Die am 11.01.1997 und 03.02.1997 in der Regenzeit in einem Tiefenbereich der äolisch geprägten Alluvialebene etwa 1 km nördlich der Standortgruppe V entnommenen Oberflächenwasserproben sind nicht versalzt, haben keinen erhöhten SAR (< 13), die Borkonzentration ist sehr gering und der pH_w -Wert ist schwach alkalisch. Bei dem Wasser dominiert Magnesium bei den Kationen und Chlorid bei den Anionen. Die Werte lassen eindeutig auf die ombrogene Herkunft des Wassers schließen. Durch die starken Niederschläge und hat sich offensichtlich, über einer gering durchlässigen Schicht, eine große Wassermenge gesammelt; ein Hinweis auf die wasserstauende Schicht ist der hohe Anteil an Ton in den Wasserproben.

Die in der Trockenzeit in Huachacalla entnommene Leitungswasserprobe ist nicht versalzt und hat keinen erhöhten SAR (< 13), die Borkonzentration ist mit $1,0\text{ mg/l}$ mittel und entspricht dem Grenzwert der Trinkwasser VO in Deutschland.



Foto 42: Salzausscheidungen am Ufer des Río Sabaya in der Trockenzeit; im Hintergrund die Cerro Pumiri; Aufnahmezeit: Oktober 1996



Foto 43: Ufer des Río Sabaya in der Regenzeit; wo in der Trockenzeit noch Salzausscheidungen an der Bodenoberfläche das Bild bestimmten, hat sich in der Regenzeit 1996/97 (erste sehr stark ausgeprägte Regenzeit nach 15 Jahren) Halophytenvegetation (vermutlich *Distichlis humilis*) entwickelt; im Hintergrund die Cerro Pumiri; Aufnahmezeit: Januar/Februar 1997

6 Synthese der pedologischen Ergebnisse

Nachdem in Kapitel 5 die Ergebnisse der Aufnahmen und Analysen für die Einzelstandorte dargestellt wurden, erfolgt in diesem Kapitel eine Synthese der Einzelergebnisse der pedologischen Untersuchungen in Form von Graphiken sowie eine kurze Interpretation der auf diese Weise gewonnenen Ergebnisse. Es werden hierbei die reliefabhängige Ausprägung der Bodenparameter, die tiefenabhängige (Tiefe der Horizonte u. GOF) Ausprägung der Bodenparameter innerhalb der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte und deren saisonale Änderung sowie die Abhängigkeit verschiedener Bodenparameter untereinander dargestellt.

6.1 Änderung der Bodenparameter im Relief

Die Ausprägung verschiedener Bodenparameter zeigt eine deutliche Abhängigkeit von der Lage der Standorte im Relief. Die Ergebnisse der meisten Parameter werden für die Trockenzeit- und die Regenzeit-Standorte in getrennten Abbildungen dargestellt, um eine bessere Übersicht zu gewährleisten. Saisonale Vergleiche werden sachgerechterweise in diesem Abschnitt nicht gezogen. Unterschiede (z.B. in der Spannweite) der TZ- und RZ-Werte beruhen überwiegend auf klein(st)räumigen pedologischen Unterschieden, vor allem innerhalb der Alluvialebene, sowie auf der Tatsache, dass in der TZ 16 und in der RZ 35 Standorte untersucht wurden (vgl. Kap. 3). Es wurde für alle Graphiken in diesem Abschnitt derselbe Maßstab für die y-Achse (Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand in m) verwendet, um einen schnellen Vergleich der Inhalte der Graphiken untereinander zu ermöglichen (auch wenn z.B. von den in der Trockenzeit entnommenen Proben nur grundwasserbeeinflusste Standorte auf den EC_e untersucht wurden). Zudem wird dadurch deutlich welche Standorte (z.T. nicht alle Horizonte) (erkennbar an dem Catenen- bzw. Standortgruppensymbol und der Höhe über dem lokalen GW-Stand) auf welche Parameter untersucht wurden bzw. welche nicht untersucht wurden.

Die "einfache" Skalierung wurde der logarithmischen Skalierung vorgezogen, obwohl die etwa 2 m über dem regenzeitlichen GW-Stand (d.h. der Grundwasserstand befand sich zur Zeit der Aufnahme 2 m u. GOF) gelegenen, nicht grundwasserbeeinflussten Standorte aufgrund des geringen "Höhenunterschieds" zu den grundwasserbeeinflussten Standorten (GW-Stand 0,4 bis 1,5 m ü. GOF) auf den Graphiken nur schwer von den letztgenannten Standorten zu unterscheiden sind. Die logarithmische Skalierung ergibt für Werte < 1 (z.B. 0,8 m u. GOF) negative Werte. Eine Umrechnung in Dezimeter umgeht dieses Problem. Die Darstellung der Ergebnisse in einer Graphik mit logarithmisch skaliertem y-Achse betont extrem die Unterschiede zwischen den grundwasserbeeinflussten Standorten (GW-Stand 0,4 bis 1,5 m ü. GOF; s.o.), was nicht gerechtfertigt ist, da es sich bei den aufgenommenen GW-Ständen um den "momentanen" Wasserstand zur Zeit der Aufnahme handelt: die Geländearbeiten zogen sich in der Regenzeit (wie auch in der Trockenzeit) über mehrere Wochen, in dieser Zeit stieg das Grundwasser sehr stark an. Bsp.: am Standort RZ I.8 in der Salztonebene stand das GW zur Zeit der Aufnahme am 08.01.1997 0,8 m u. GOF, Ende Januar war der gesamte Bereich überschwemmt.

Die Gebirgsstandorte liegen zwischen 26 und 156 m über dem lokalen GW-Stand (bestimmt über die Höhenlinien in der TK 50; Bezugsniveau ist der GW-Stand des höchstgelegenen untersuchten grundwasserbeeinflussten Standorts der jeweiligen Catena) und zwischen 3755 und 3850 m ü. M. Die Hangfußstandorte liegen zwischen 16 und 44 m. ü. GW-Stand und zwischen 3710 und 3750 m ü. M., die äolisch geprägten Standorte der Alluvialebene zwischen 2 und 19 m ü. GW-Stand

und zwischen 3693 und 3725 m. ü. M. Der GW-Stand der grundwasserbeeinflussten Standorte befindet sich 0,4 bis 1,5 m u. GOF; die absolute Höhe dieser Standorte liegt zwischen 3730 m ü. M. nördlich und 3692 m ü. M. südlich der Cerros (Neigung des Altiplano nach Süden). Die angegebenen relativen Höhen sind auf den regenzeitlichen GW-Stand bezogen.

Der Gesamtsalzgehalt in g Salz pro kg Boden wurde für alle Horizonte aller Standorte (mit Ausnahme der Salzkrusten des Standorts I.8) über die Messung der elektrischen Leitfähigkeit der 1:5-Bodensuspension (EC_5) bestimmt (vgl. Kap. 3) und ist in den Abb. 55 (Trockenzeit-Aufnahme) und 56 (Regenzeit-Aufnahme) gegen die Höhe des Standortes über dem lokalen Grundwasserstand abgetragen. Der Salzgehalt der Bodenhorizonte ist nur bei Standorten erhöht, deren Bodenoberfläche sich max. 1,5 m bis 1,8 m über dem regenzeitlichen Grundwasserstand befindet (vgl. RICHARDS 1954, 4). Die Salzgehalte der Bodenhorizonte der Standorte mit Grundwassereinfluss erreichen Werte von max. 50 g Salz pro kg Boden (5 % Salz im Boden). Relativ niedrige Salzgehalte bei den grundwasserbeeinflussten Böden haben regenzeitlich ausgewaschene Oberbodenhorizonte und tiefere Bodenhorizonte unterhalb 50 bis 60 cm u. GOF (vgl. Kap. 5).

Die elektrische Leitfähigkeit des Bodensättigungsextraktes (EC_e) wurde nur für ausgewählte Bodenproben bestimmt (vgl. Kap. 3) und ist naturgemäß ebenfalls nur bei Bodenhorizonten grundwasserbeeinflusster Standorte erhöht (Abb. 57 und 58); nach RICHARDS (1954) gilt ein Boden(horizont) mit einem $EC_e > 4$ mS/cm als Salzboden; die untersuchten grundwasserbeeinflussten Böden haben oberhalb von etwa 50 bis 60 cm u. GOF (vgl. Kap. 5) EC_e -Werte, die diesen Grenzwert um ein vielfaches übersteigen. Die Spannweite der untersuchten Horizonte der grundwasserbeeinflussten Böden umfasst 0,7 bis 300 mS/cm.

Der SAR, errechnet aus dem Verhältnis des löslichen Natriums zu den löslichen zweiwertigen Kationen Calcium und Magnesium im Sättigungsextrakt (vgl. Kap. 3), liegt nur bei Horizonten grundwasserbeeinflusster Böden oberhalb des Grenzwertes von 13 für Alkali- bzw. Natriumböden (nach RICHARDS 1954, vgl. Kap. 3); es werden bei den untersuchten Horizonten SAR-Werte von bis zu 400 erreicht (Abb. 59 u. 60).

Den Anteil des austauschbaren Natriums an der Summe der austauschbaren Kationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe des Standortes über dem lokalen Grundwasserstand zeigt Abb. 61. Die austauschbaren Basen wurden für die Horizonte zahlreicher nichtversalzter Standorte (nur Regenzeit-Proben) sowie für ausgewählte versalzte Horizonte bzw. Standorte bestimmt (vgl. Kap. 3). Der austauschbare Natriumanteil beträgt bei allen Horizonten der untersuchten nicht grundwasserbeeinflussten Standorte weniger als 4 %; bei den grundwasserbeeinflussten Standorten steigt dieser Wert in zahlreichen Horizonten auf Werte bis 24 % an. Die Auswirkungen eines hohen Natriumanteils auf die Vegetation und den Boden sind in Abschn. 2.4 ausführlich beschrieben.

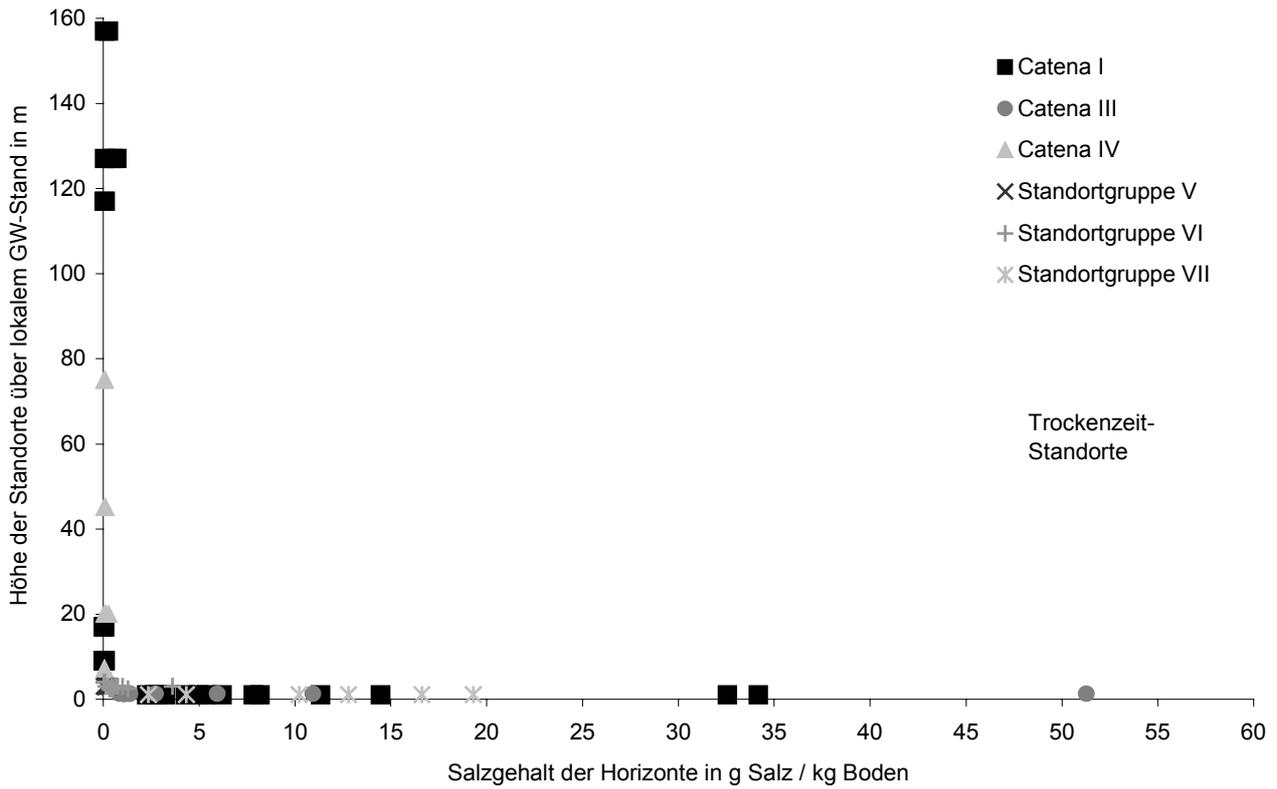


Abb. 55: Salzgehalt (nach EC₅) der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Trockenzeit-Standorte)

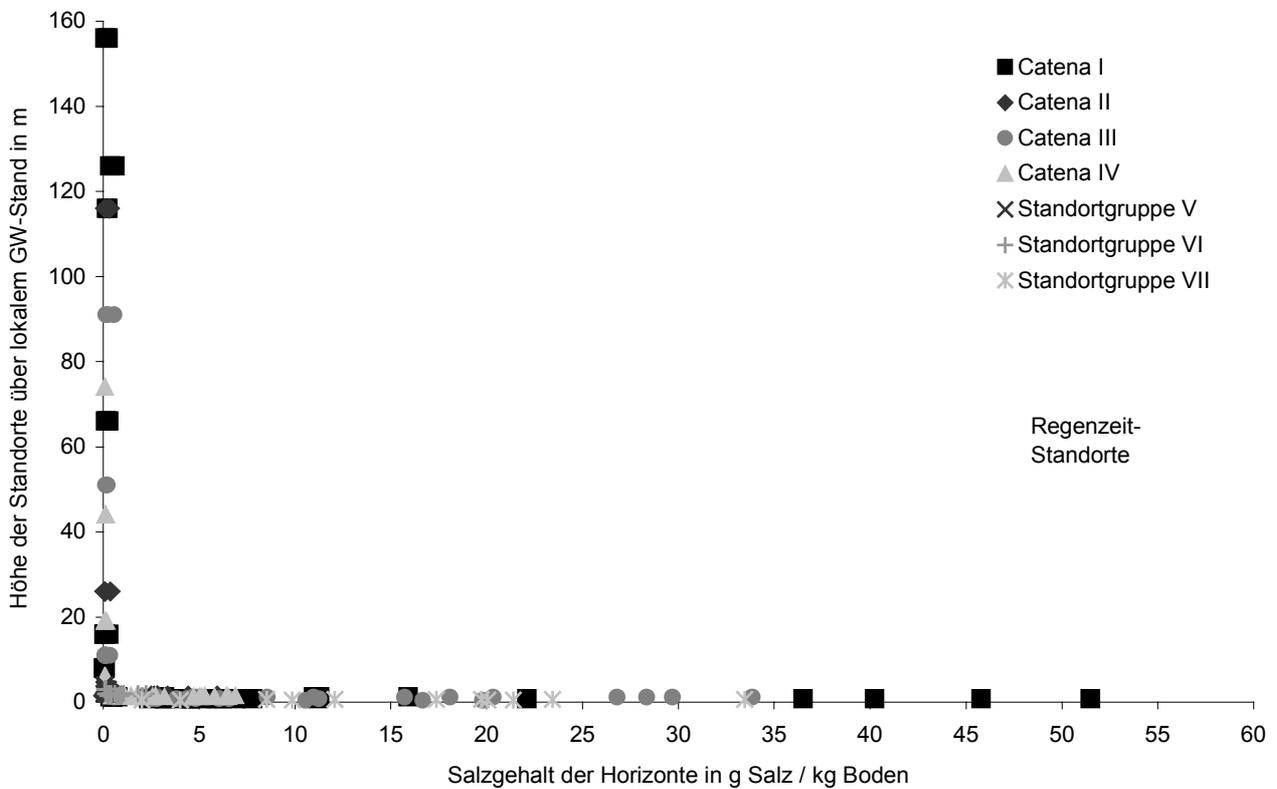


Abb. 56: Salzgehalt (nach EC₅) der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Regenzeit-Standorte)

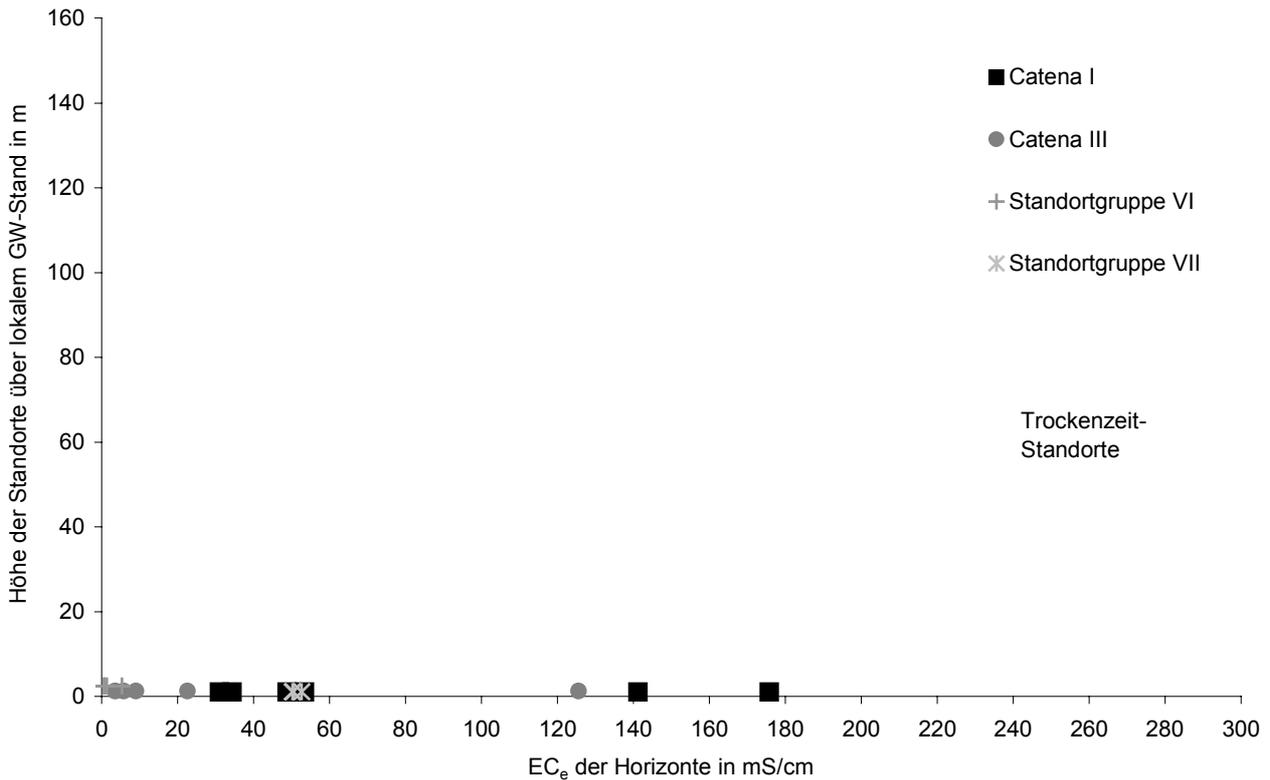


Abb. 57: Elektrische Leitfähigkeit des Sättigungsextraktes (EC_e) der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Trockenzeit-Standorte); die Grenze zwischen Nichtsalz- und Salzböden liegt nach RICHARDS (1954) bei einem EC_e von 4 mS/cm

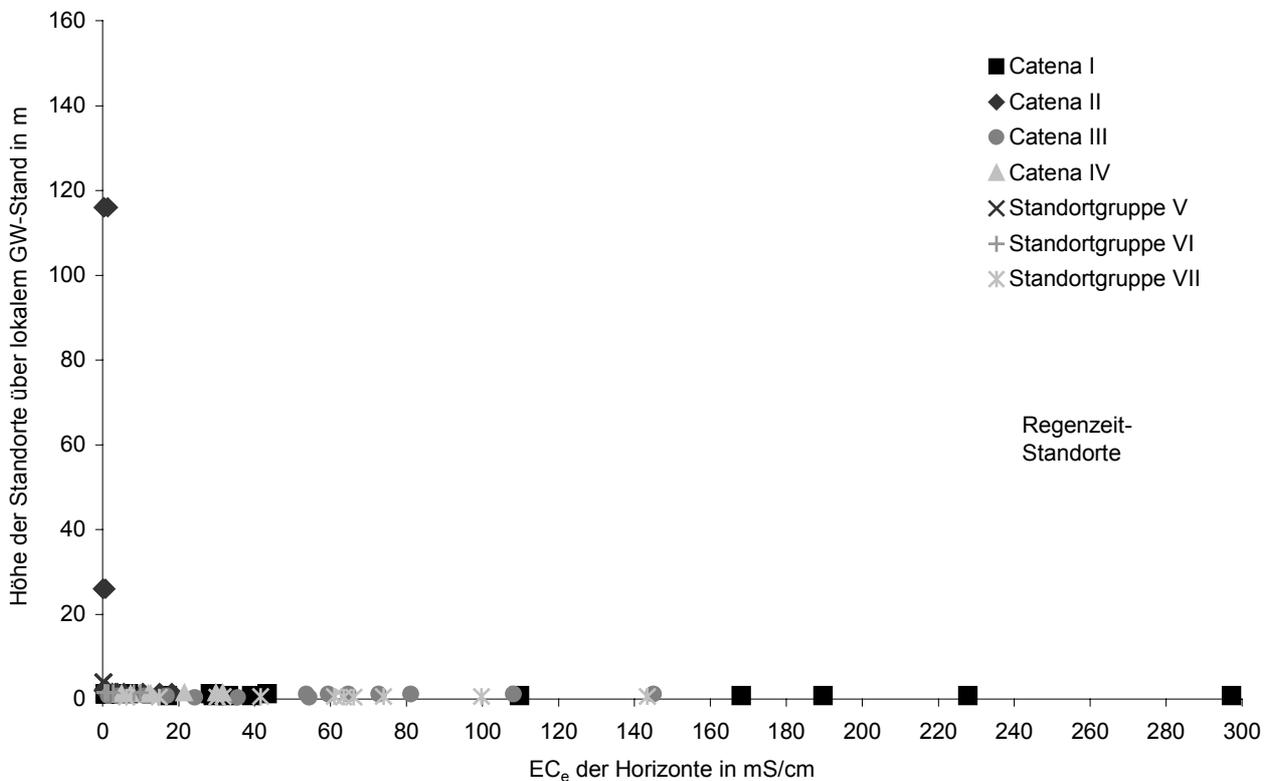


Abb. 58: Elektrische Leitfähigkeit des Sättigungsextraktes (EC_e) der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Regenzeit-Standorte); die Grenze zwischen Nichtsalz- und Salzböden liegt nach RICHARDS (1954) bei einem EC_e von 4 mS/cm

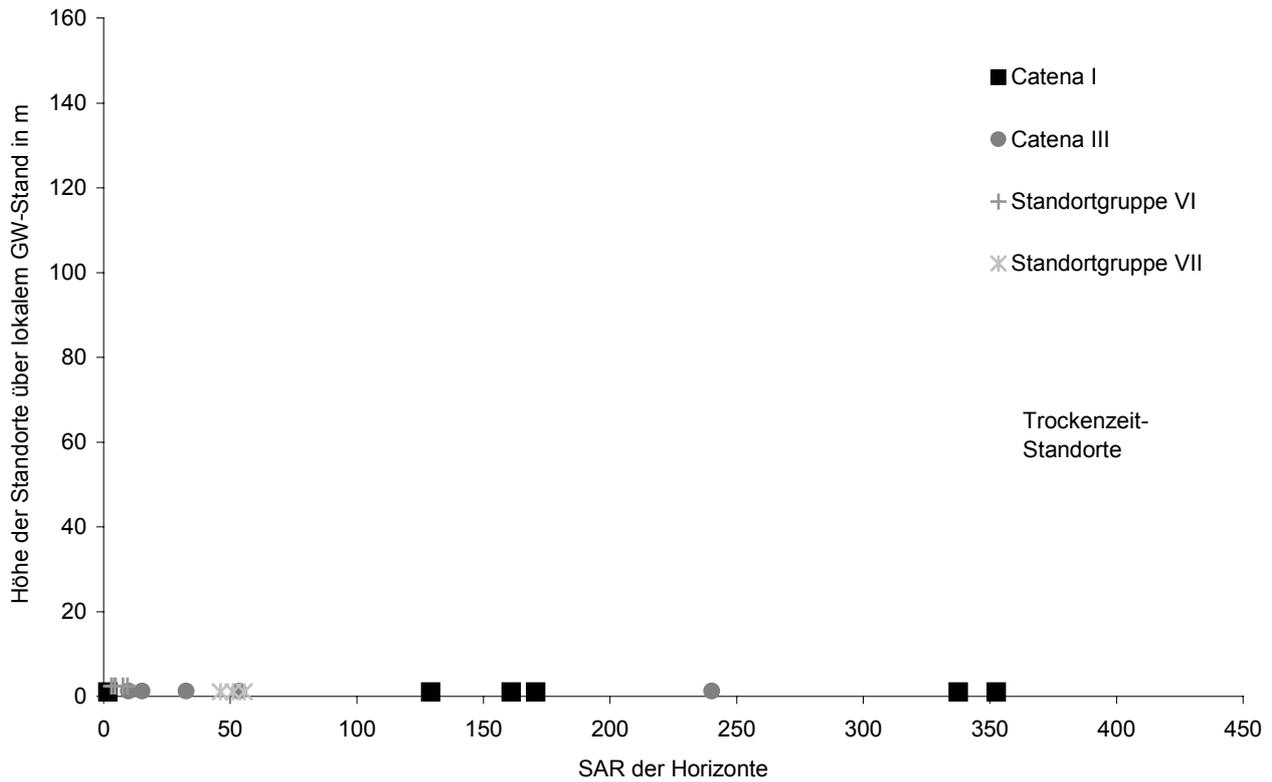


Abb. 59: SAR der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Trockenzeit-Standorte); die Grenze zwischen Alkali- bzw. Natriumböden und Nichtalkali- bzw. Nichtnatriumböden liegt nach RICHARDS (1954) bei einem SAR von 13

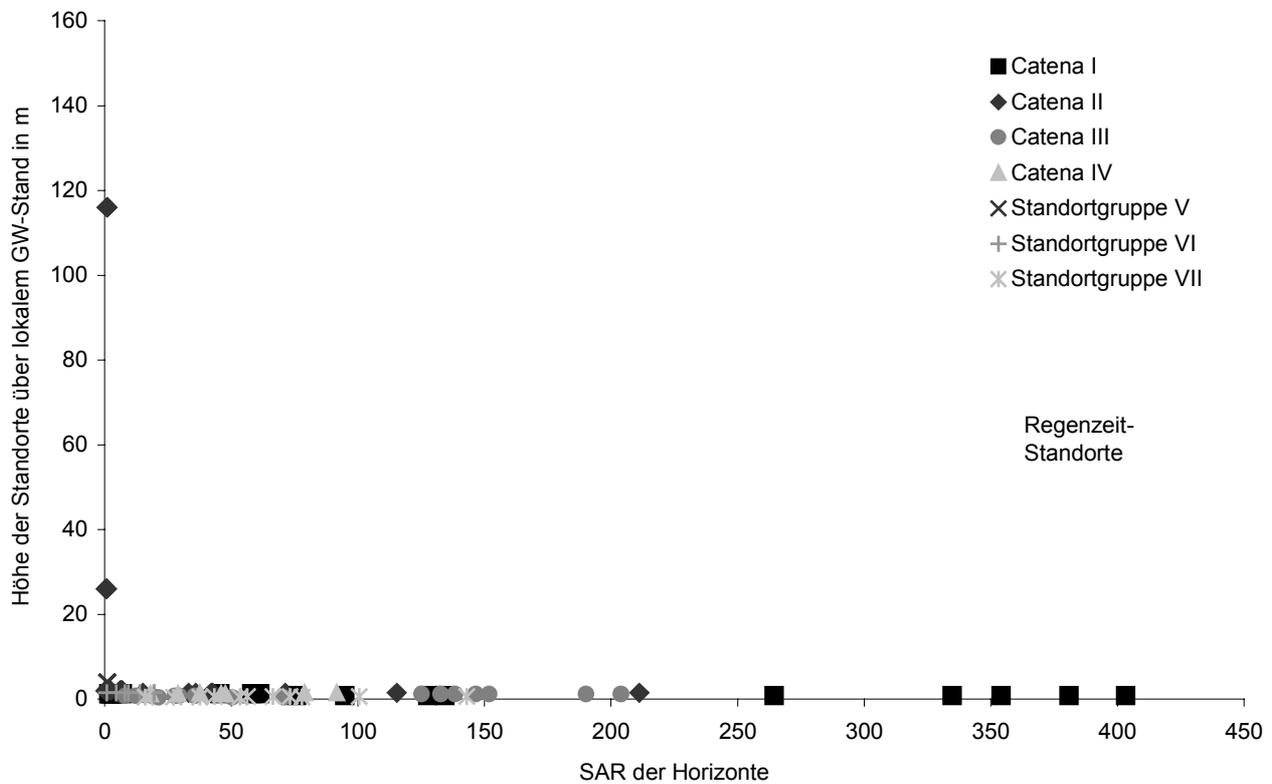


Abb. 60: SAR der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Regenzeit-Standorte); die Grenze zwischen Alkali- bzw. Natriumböden und Nichtalkali- bzw. Nichtnatriumböden liegt nach RICHARDS (1954) bei einem SAR von 13

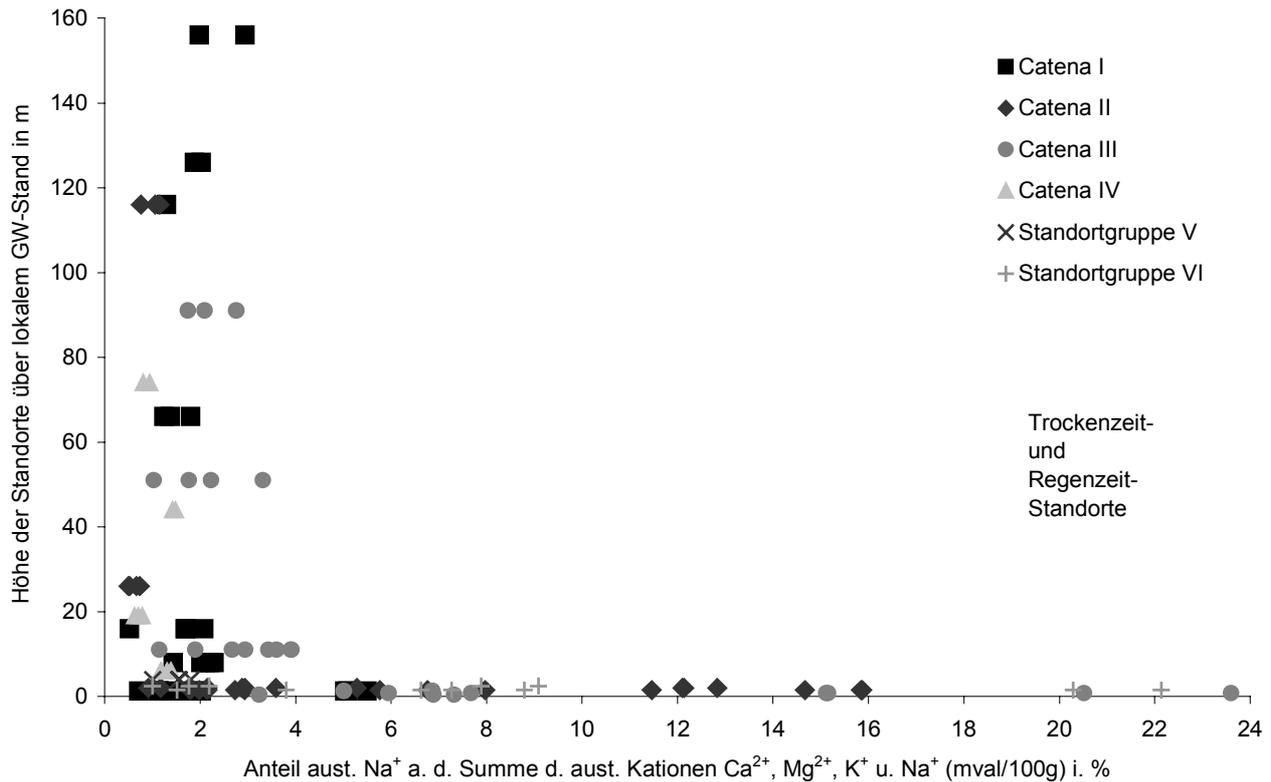


Abb. 61: Anteil des austauschbaren Na⁺ an der Summe der austauschbaren Kationen Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ und Na⁺ der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Trockenzeit- und Regenzeit-Standorte)

PH_{CaCl₂}-Werte > 8 werden nur von Bodenhorizonten grundwasserbeeinflusster Standorte erreicht (Abb. 62 und 63). Die pH_{CaCl₂}-Werte der untersuchten Bodenhorizonte liegen zwischen 3,4 und 9,7.

Die pH_e-Werte der Horizonte (Abb. 64 und 65) zeigen eine ähnliche Spannweite wie die pH_{CaCl₂}-Werte.

Eine Abhängigkeit der Borkonzentration im Sättigungsextrakt der Horizonte von der Höhe des Standortes über dem lokalen Grundwasserstand ist deutlich zu erkennen (Abb. 66 und 67). Eine Schädigung empfindlicher (Kultur)pflanzen tritt bereits bei Borgehalten von 0,3 mg/l ein. Dementsprechend sind neben den Grundwasser- und salzbeeinflussten Standorten auch die untersuchten höher gelegenen Standorte nicht für den Anbau borempfindlicher Feldfrüchte geeignet. Die grundwasserbeeinflussten Standorte zeigen überwiegend extrem hohe Borgehalte (bis max. 132 mg/l Sättigungsextrakt). Der Toleranzbereich borertragender Feldfrüchte liegt zwischen 2 und 4 mg/l Bor im Sättigungsextrakt.

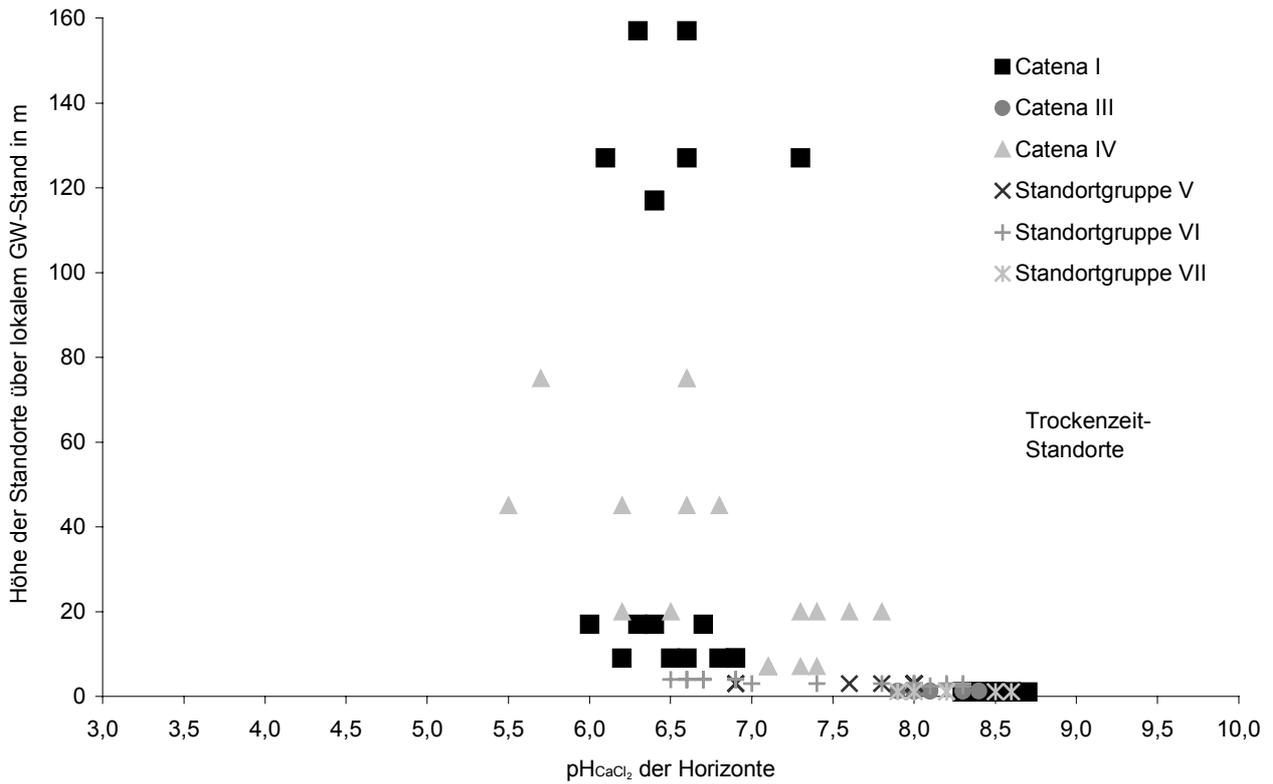


Abb. 62: pH_{CaCl_2} der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Trockenzeit-Standorte)

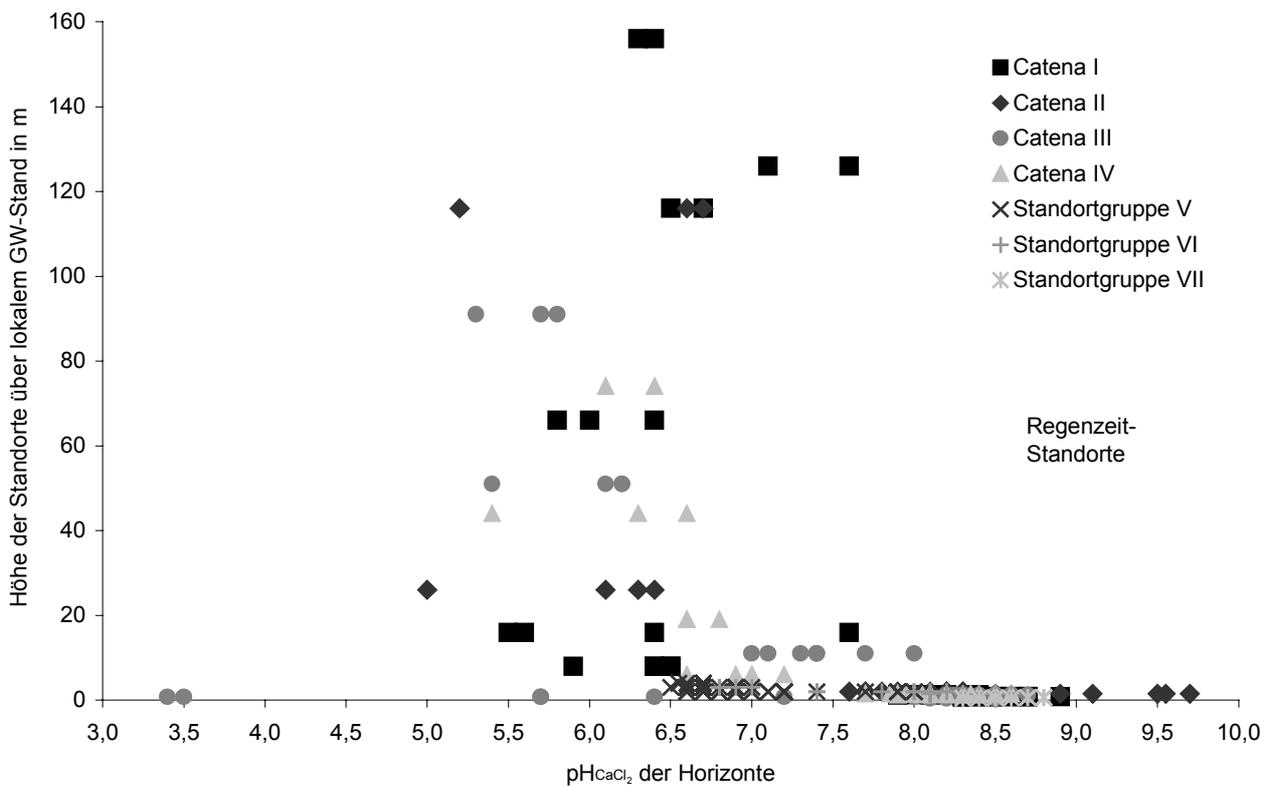


Abb. 63: pH_{CaCl_2} der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Regenzeit-Standorte)

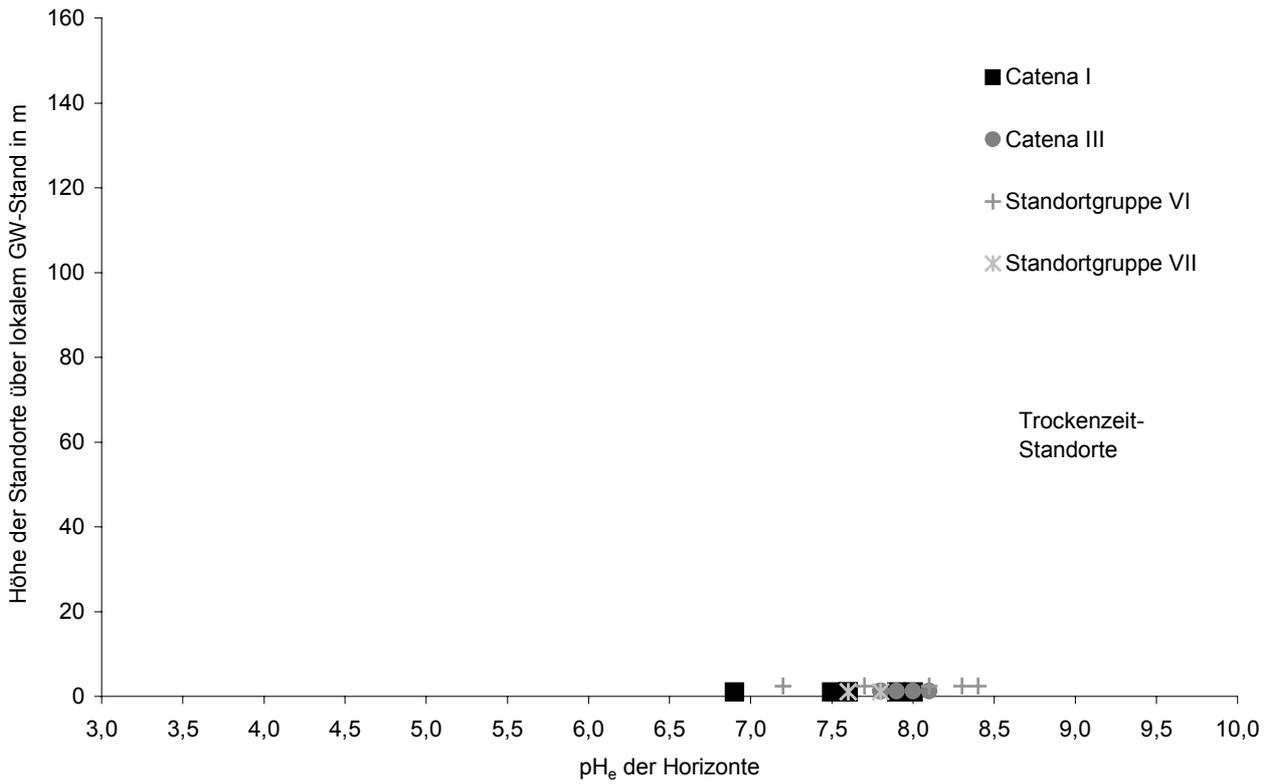


Abb. 64: pH_e der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Trockenzeit-Standorte)

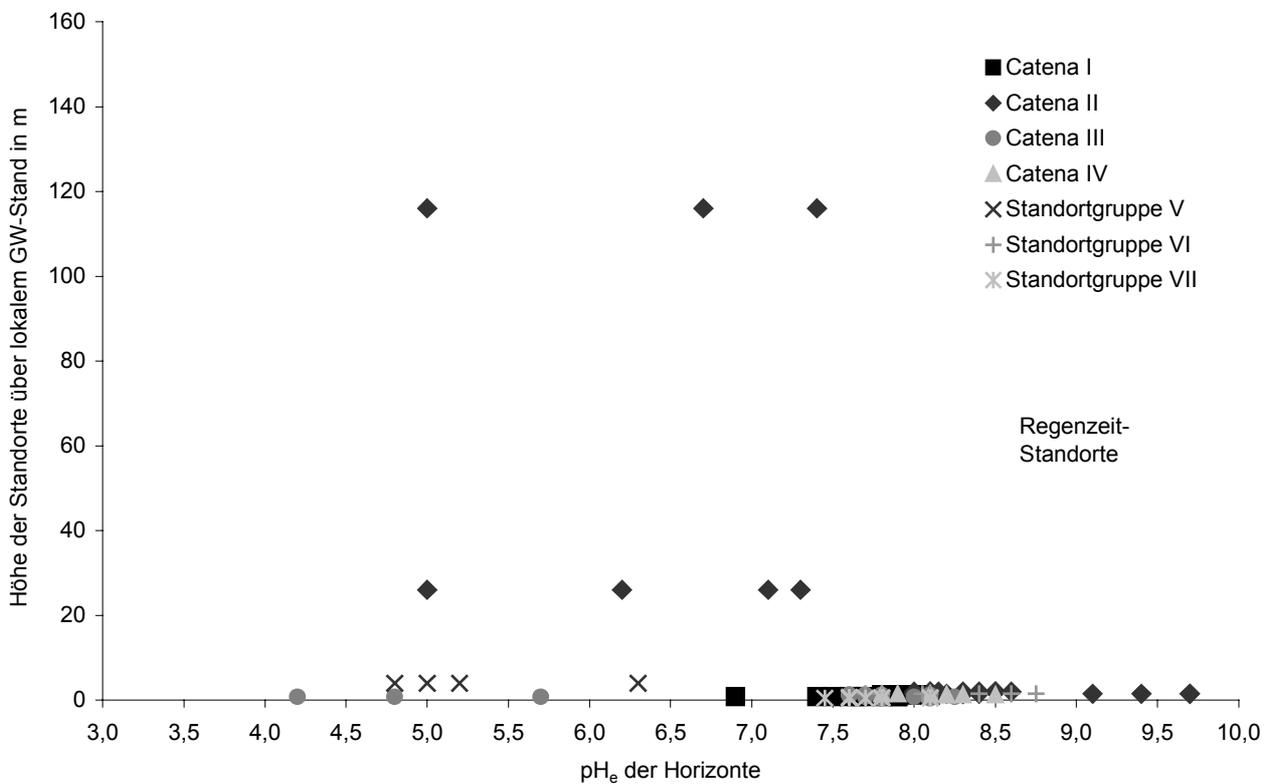


Abb. 65: pH_e der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Regenzeit-Standorte)

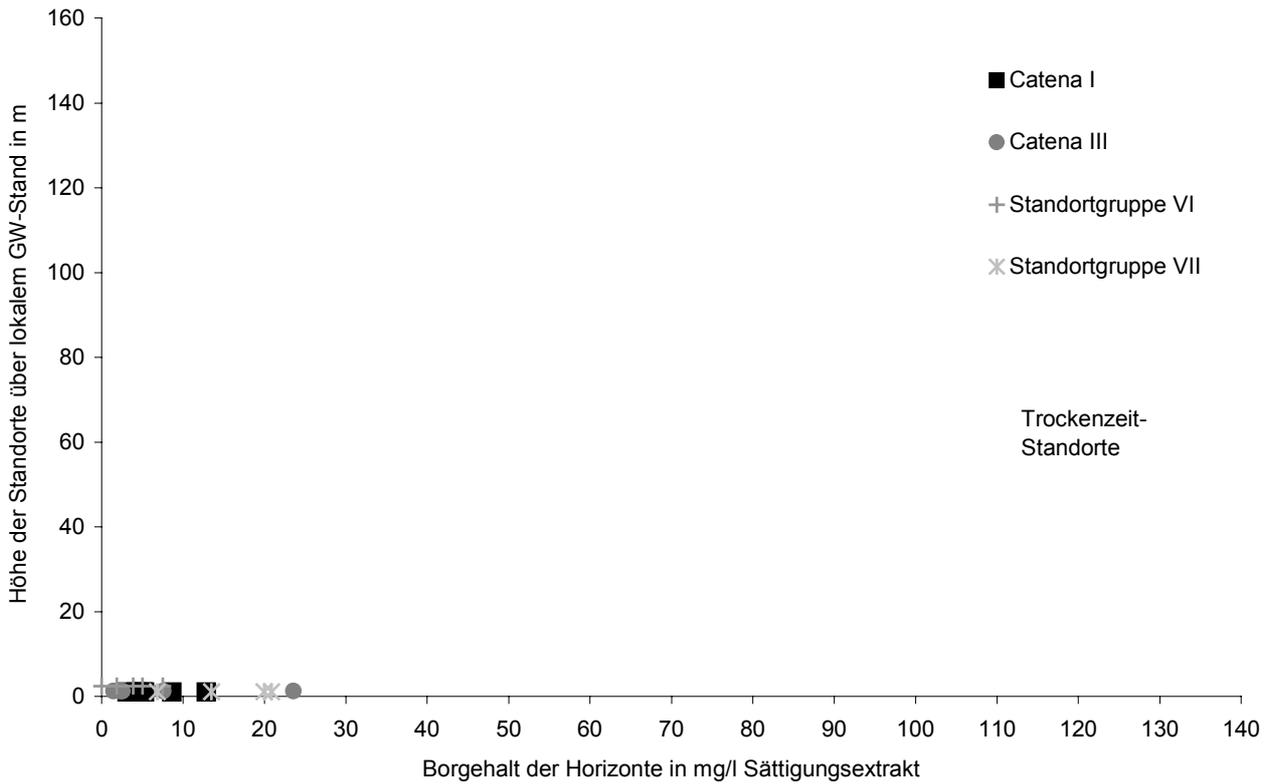


Abb. 66: Borgehalt des Sättigungsextraktes der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Trockenzeit-Standorte); eine Schädigung empfindlicher Pflanzen erfolgt bereits bei 0,3 mg/l Bor im Sättigungsextrakt

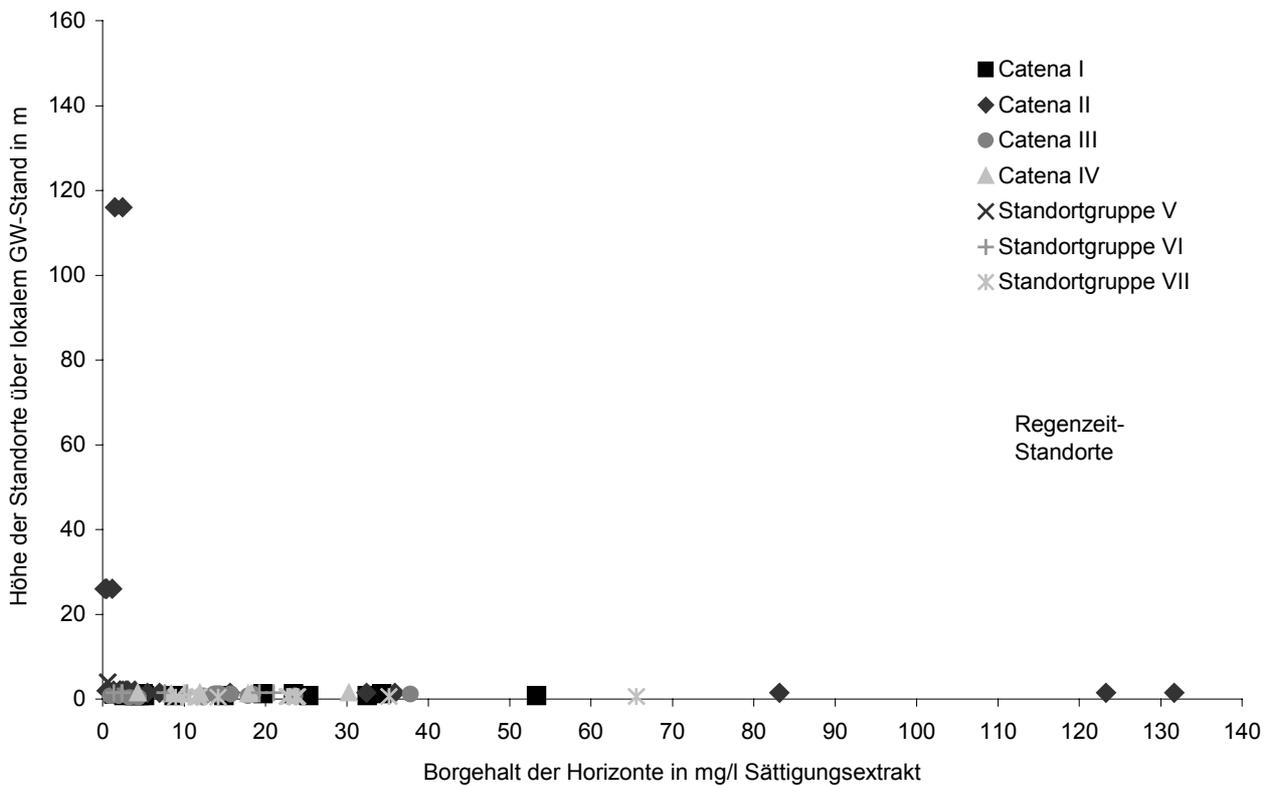


Abb. 67: Borgehalt des Sättigungsextraktes der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand; eine Schädigung empfindlicher Pflanzen erfolgt bereits bei 0,3 mg/l Bor im Sättigungsextrakt

Aufgrund der guten Wasserversorgung und trotz der extremen chemischen Bodenparameter werden die höchsten Humusgehalte (bis max. 12,4 %) von Oberbodenhorizonten der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte erreicht (Abb. 68 und 69, vgl. Kap. 5). Für den Anbau von Kulturpflanzen sind diese Standorte aufgrund des Bodenchemismus jedoch nicht geeignet. Die Bodenhorizonte der Gebirgsstandorte zeigen in der Regel höhere Werte (bis zu 2 % Humus) als die Oberbodenhorizonte (vgl. Kap. 5) der Standorte des Hangfußes und der äolisch geprägten Alluvialebene (< 0,6 % Humus), dies ist ein Grund warum die Gebirge im Gegensatz zu der äolisch geprägten Alluvialebene seit Jahrhunderten ackerbaulich genutzt werden.

Die Abb. 70 und 71 zeigen die Bodenart des Feinbodens (Bodenartenklassen nach USDA; vgl. Kap. 3) der Horizonte, abgetragen gegen die Höhe des Standortes über dem lokalen Grundwasserstand. Die Abbildungen zeigen eine Dominanz der Bodenarten Sand, lehmiger Sand und sandiger Lehm bei den untersuchten Horizonten. Aufgrund der Sortierung durch den Transport in die/der Alluvialebene (Schichtung unterschiedlicher Korngrößen) finden sich die Bodenhorizonte mit extrem groben (Grobsand) und feinen Feinbodenarten (tonige Böden) nur in den tieferen Bereichen.

Wie die löslichen Salze zeigt der Carbonatgehalt der Horizonte eine deutliche Abhängigkeit von der Höhe über dem lokalen Grundwasserstand (Abb. 72 und 73). Der hohe Carbonatgehalt eines Bodenhorizonts des Standorts TZ IV.3 (vgl. Kap. 5) von über 6 % ist als Relikt der Ablagerungen eines Paläosees zu deuten. Ansonsten wurden höhere Carbonatgehalte nur bei Horizonten von Standorten, die aktuell grundwasserbeeinflusst sind oder vor geologisch kurzer Zeit grundwasserbeeinflusst waren, festgestellt (bis 25 % bei nicht verkrusteten Bodenhorizonten bzw. bis 60 % bei Carbonatkrusten). D.h. die durch die Paläoseen in den höheren Bereichen (Lago Escara bis 3780 m ü. M., Lago Minchín bis 3760 m ü. M. und Lago Tauca bis 3720 m ü. M.; vgl. Abschn. 4.2) abgelagerten Carbonate wurden weitestgehend im Laufe der Jahrtausende von (Kohlensäure oder andere Säuren enthaltendem) Regenwasser gelöst und mit dem Boden- und Oberflächenwasser in den Vorfluter (Grundwasser, Flüsse und (Salz)-Seen) geführt und z.T. wieder ausgeschieden.

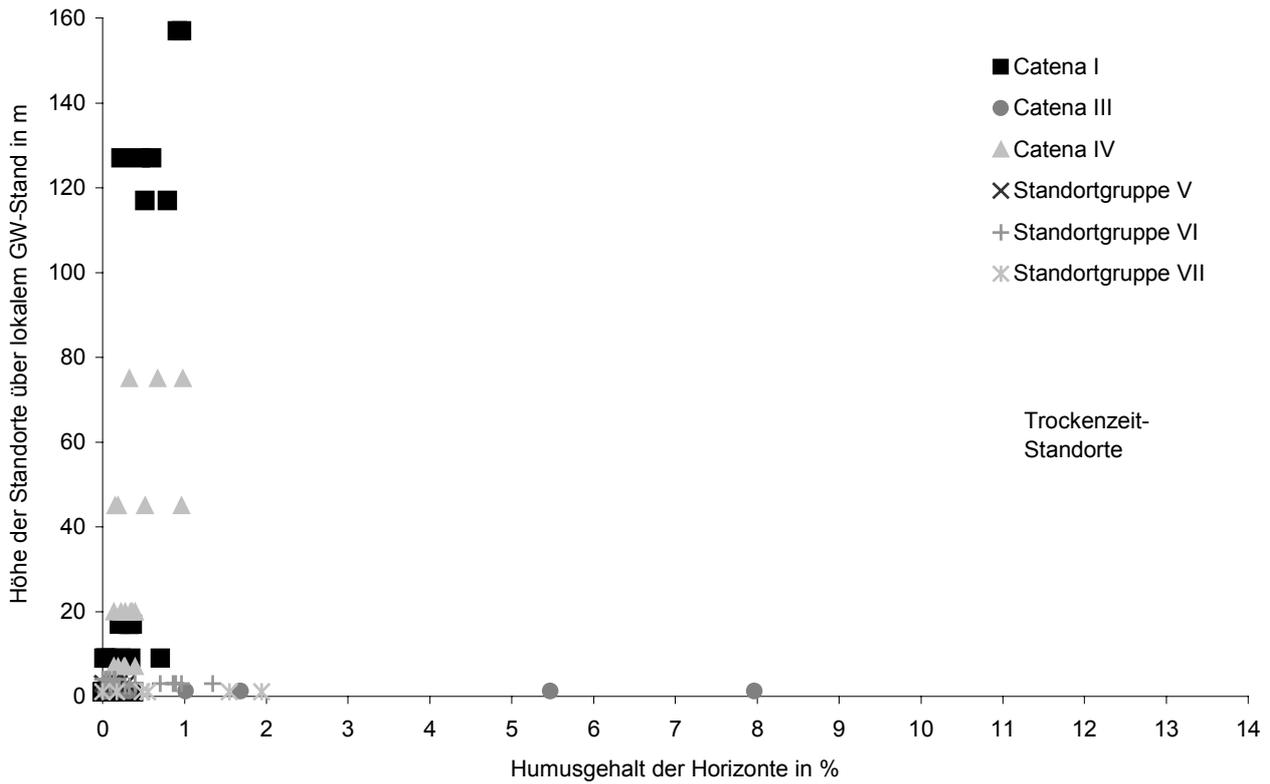


Abb. 68: Humusgehalt der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Trockenzeit-Standorte)

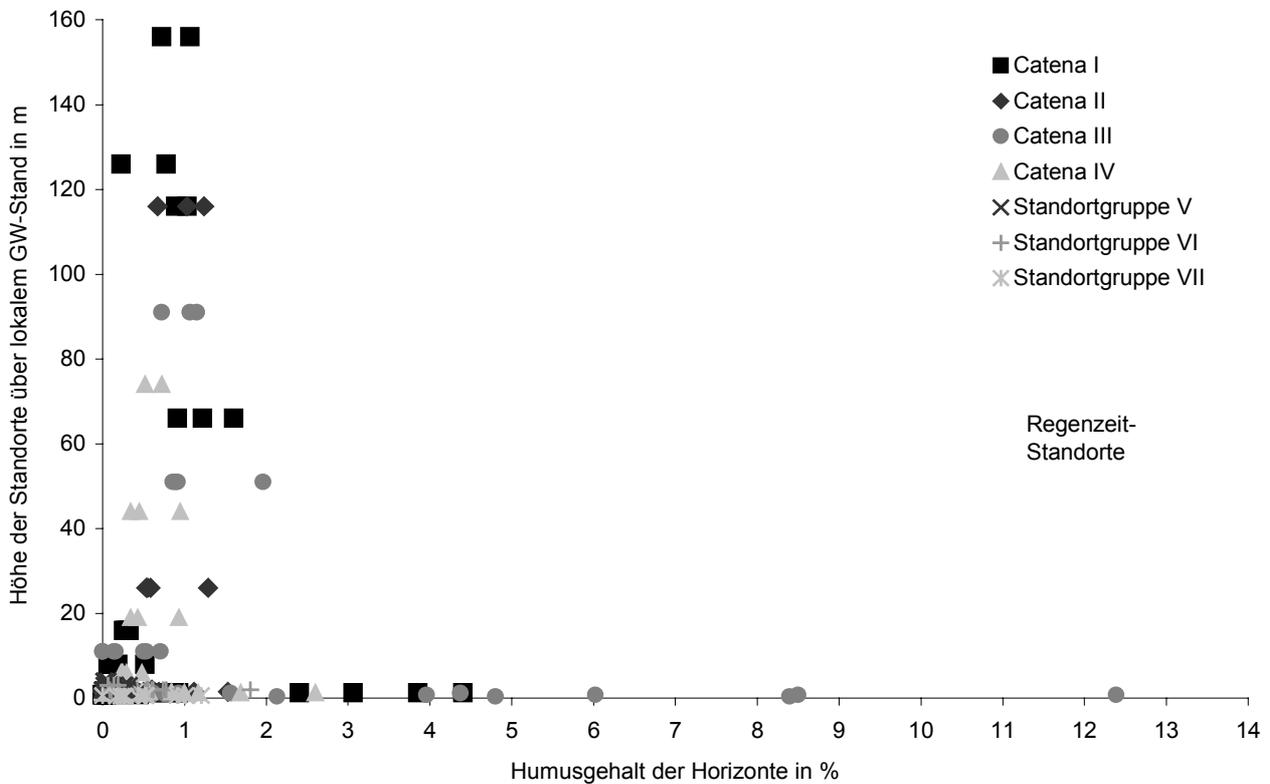


Abb. 69: Humusgehalt der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Regenzeit-Standorte)

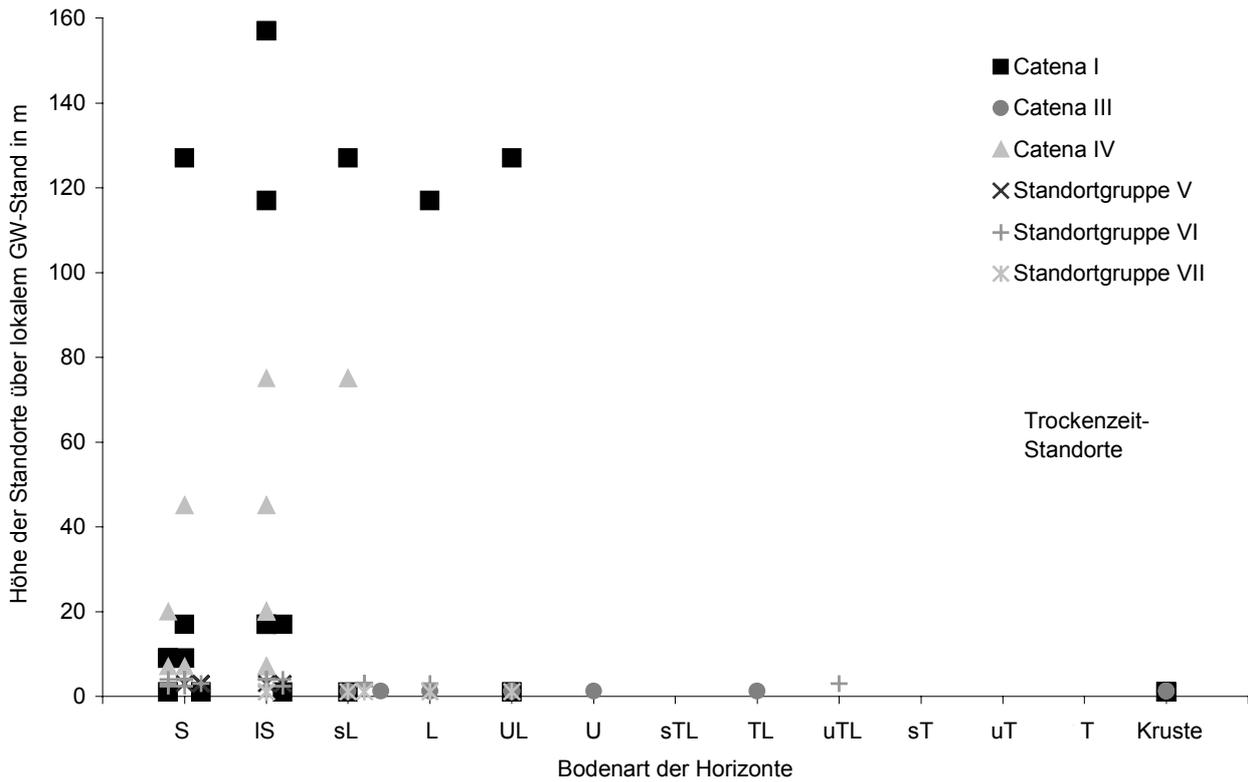


Abb. 70: Bodenart der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Trockenzeit-Standorte)

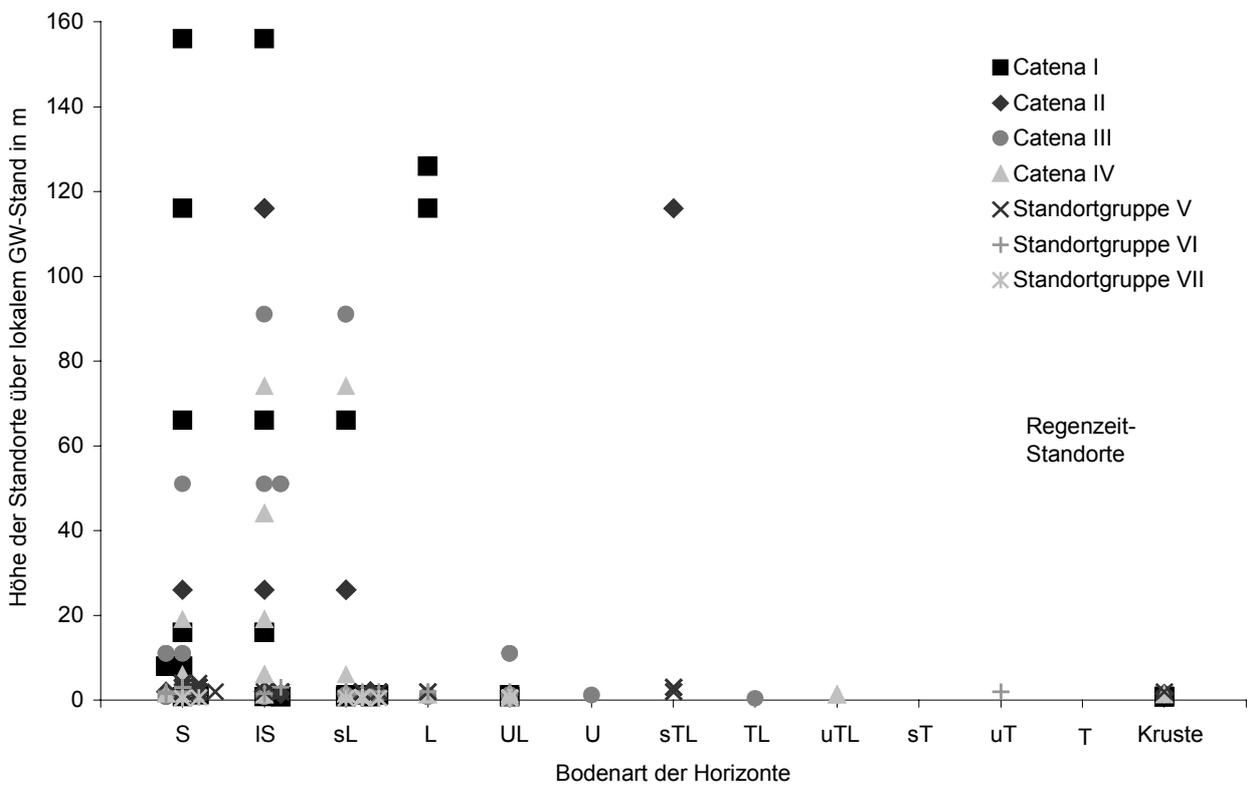


Abb. 71: Bodenart der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Regenzeit-Standorte)

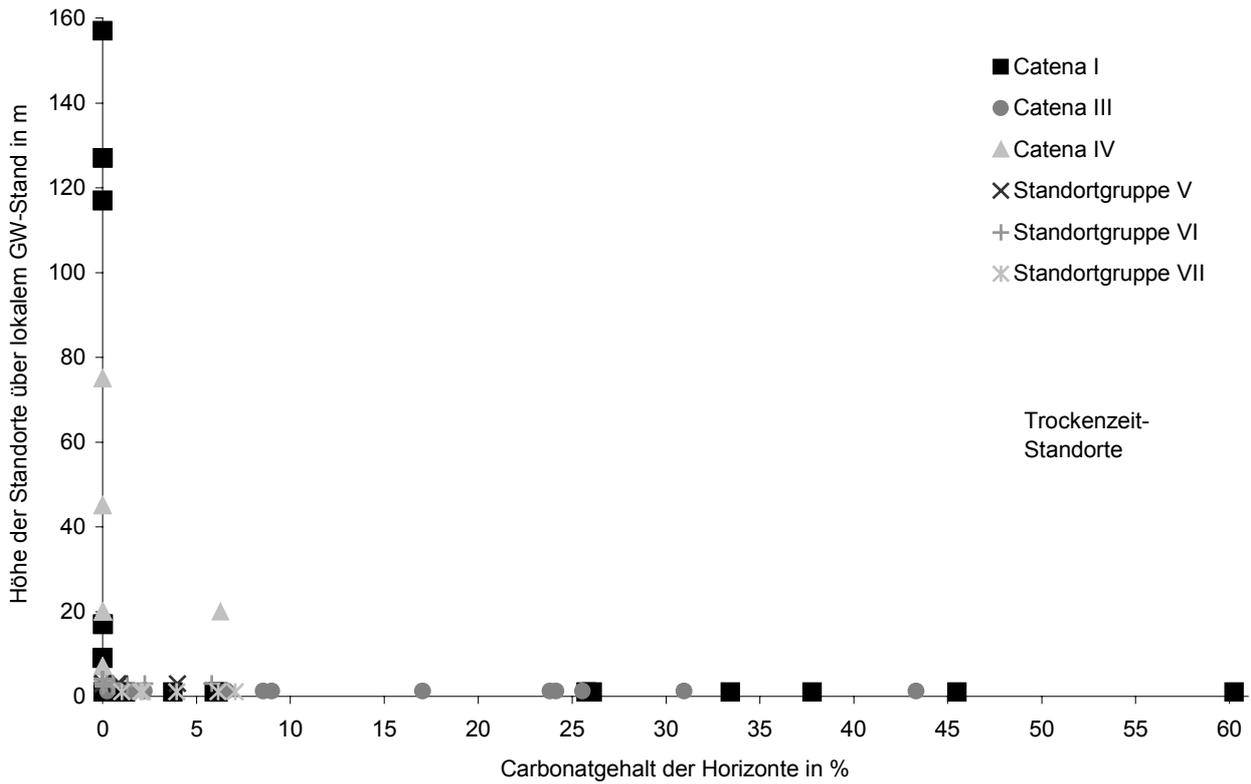


Abb. 72: Carbonatgehalt der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Trockenzeit-Standorte)

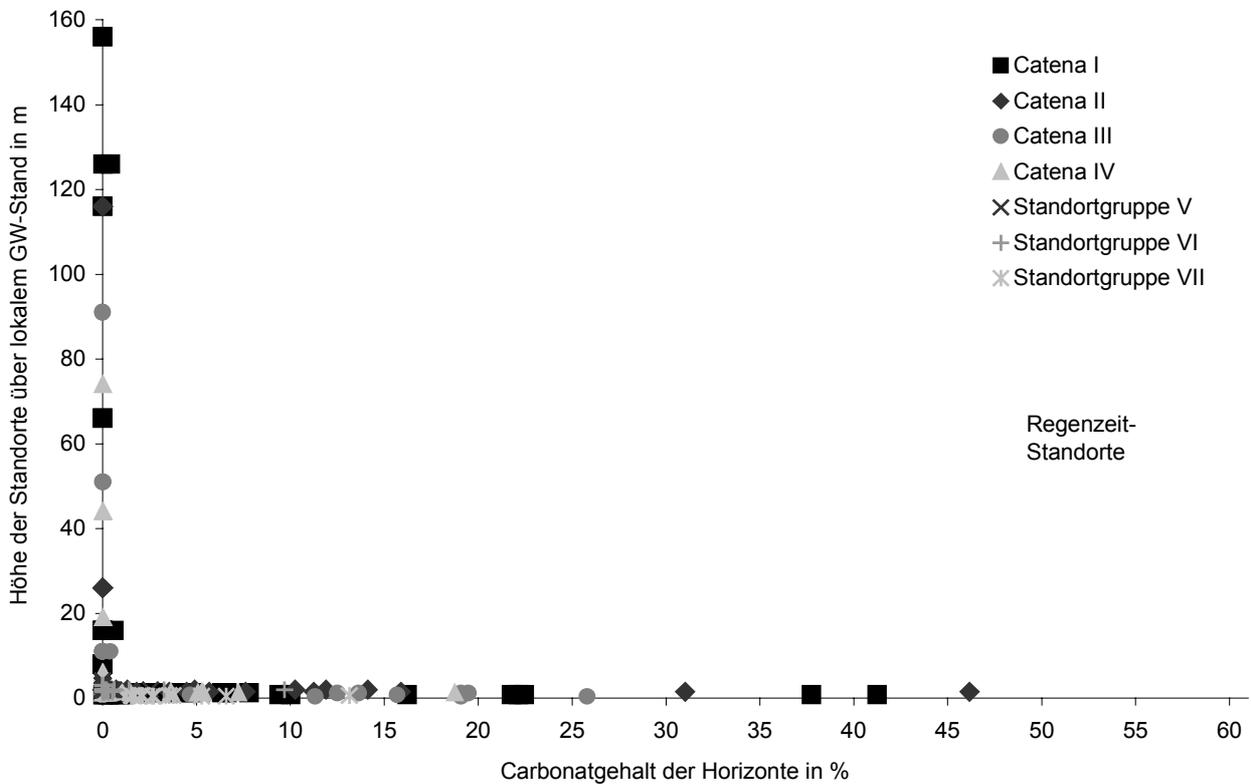


Abb. 73: Carbonatgehalt der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Regenzeit-Standorte)

Die Summe der austauschbaren Kationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium (austauschbare Basen) der Horizonte zeigt aufgrund der Abhängigkeit vom Humusgehalt, vom Carbonatgehalt (vgl. Kap. 3), vom pH-Wert, von der Bodenart und dem Bodenausgangsmaterial (s.o.) eine Abhängigkeit von der Höhe über dem lokalen Grundwasserstand (Abb. 74). Bei Horizonten grundwasserbeeinflusster Standorte wurden dementsprechend sehr hohe Werte (bis 144 mval pro 100 g Boden) ermittelt.

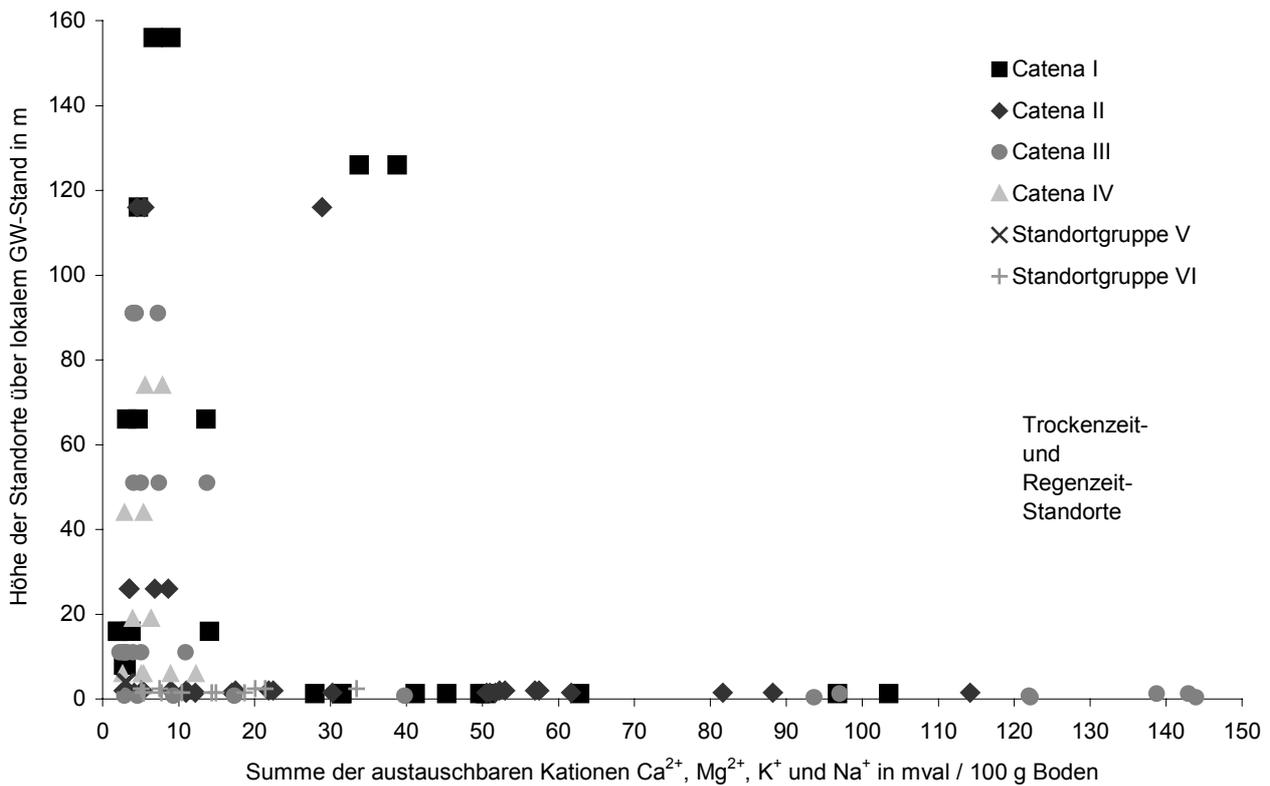


Abb. 74: Summe der austauschbaren Kationen Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ und Na⁺ (austauschbaren Basen) der Horizonte in Abhängigkeit von der Höhe der Standorte über dem lokalen GW-Stand (Trockenzeit- und Regenzeit-Standorte)

6.2 Änderung der Bodenparameter innerhalb der Bodenprofile der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte unter Berücksichtigung der saisonalen Unterschiede

Es besteht eine Abhängigkeit der Ausprägung zahlreicher Bodenparameter von der Tiefe der Horizonte unter GOF, wobei verschiedene Parameter eine saisonale Änderung der Tiefenfunktion zeigen. Die im Jahresverlauf durch den Wechsel von Trocken- und Regenzeit stark variierende Niederschlagsmenge und Evapotranspiration hat primär einen starken Einfluss auf die Verteilung der löslichen Salze innerhalb der Bodenprofile der grundwasserbeeinflussten Standorte. In der Trockenzeit nimmt die Salzkonzentration innerhalb des Bodenprofils von unten (häufig $< 0,5$ g Salz / kg Boden und $EC_e < 2$ mS/cm) nach oben (max. 50 g Salz / kg Boden und EC_e 180 mS/cm) zu, in der Regenzeit wurden bis auf weniger Ausnahmen (vgl. Kap. 5) die höchsten Salzkonzentrationen in tieferen Bodenhorizonten zwischen 10 und 40 cm u. GOF (max. 34 g Salz / kg Boden und EC_e 150 mS/cm) festgestellt (Abb. 75, 76, 77 und 78).

Der SAR (Abb. 79 und 80), welcher die "sodicity" (vgl. Abschn. 2.1) eines Bodens ausdrückt, zeigt bei den untersuchten Standorten eine ähnliche Tiefenfunktion wie der EC_e , da die untersuchten grundwasserbeeinflussten Böden natriumreich sind (s. auch Abschn. 6.3). Der Grenzwert von 13 für Alkali- bzw. Natriumböden nach RICHARDS (1954) wird bei allen untersuchten grundwasser- und salzbeeinflussten Standorten in den Salzanreicherungs-horizonten um ein Vielfaches überschritten. Der Anteil des löslichen Natriums an der Summe der löslichen Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ und NH_4^+ im Sättigungsextrakt beträgt bei den untersuchten Horizonten in der Regel zwischen 40 und 95 % (bezogen auf mval/l) (Abb. 81 und 82). Der Anteil des löslichen Chlorids an der Summe der löslichen Anionen CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , $B(OH)_4^-$ und NO_3^- im Sättigungsextrakt unterliegt eine deutlich größeren Variabilität innerhalb der Bodenprofile und im Vergleich zwischen verschiedenen Bodenprofilen (Abb. 83 und 84). So dominiert bei Standort RZ II.4 in den oberen Horizonten HCO_3^- bei den löslichen Anionen (vgl. Tab. 154 und 155 im Anhang).

Der Gehalt an löslichem Bor im Sättigungsextrakt nimmt in der TZ wie der Gesamtsalzgehalt von unten nach oben zu; in der RZ ist nur bei einzelnen Standorten ein Maximum in der Salzanreicherungszone (10 bis 40 cm u. GOF) zu erkennen (Abb. 85 und 86). Eine Verlagerung in tiefere Horizonte lässt sich bei den drei in der TZ und in der RZ untersuchten grundwasser- und salzbeeinflussten Standorten jedoch nicht erkennen. Am Standort VII.1 (Standort nahe Río Lauca) wurde sogar eine starke Zunahme des Borgehalts in den oberen Horizonten in der Regenzeit festgestellt.

Die pH-Werte (pH_{CaCl_2} und pH_e) zeigen bei den meisten Standorten keine starken Unterschiede innerhalb der Bodenprofile (überwiegend zwischen pH 7,5 und 8,5) und bei den drei in der TZ und RZ untersuchten Standorten keine starken saisonalen Änderungen (Abb. 89 und 90). Ausnahmen bilden der Standort RZ III.4 mit nach unten im Profil sehr stark abnehmenden pH-Werten und der Standort II.4 mit extrem hohen pH-Werten in der regenzeitlichen Salzanreicherungszone (max. 9,7) (vgl. Kap. 5).

Der Anteil des austauschbaren Natriums an der Summe austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ (austauschbare Basen) wird für die TZ und RZ-Standorte in einer Graphik (Abb. 91) dargestellt, da nur für einen grundwasser- und salzbeeinflussten TZ-Standort (III.5) die austauschbaren Basen bestimmt wurden. Die für die TZ und die RZ ermittelten Werte sind ähnlich. Die anderen RZ-Standorte zeigen ein Maximum zwischen 10 und 40 cm u. GOF.

Die Parameter Humusgehalt (Abb. 92 und 93), Carbonatgehalt (Abb. 94 und 95), Gipsgehalt und die Summe der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ (Abb. 96) zeigen zwar ebenfalls eine Abhängigkeit von der Tiefe des Horizontes unter GOF, werden jedoch nicht oder nur in sehr geringem Maße durch die saisonal wechselnden Witterungsbedingungen beeinflusst. Unterschiede dieser Parameter bei den Trockenzeit- und Regenzeitaufnahmen der Standorte (vgl. Kap. 5) beruhen auf räumlichen Inhomogenitäten des Bodens.

Der Humusgehalt nimmt im Allgemeinen von unten nach oben zu, wobei bei einigen Standorten das Maximum nicht im oberen Horizont erreicht wird; vermutlich ist hierfür die Ablagerung von mineralischem Bodenmaterial bei Überschwemmungen verantwortlich (Abb. 92 und 93).

Der Carbonatgehalt zeigt bei allen Standorten einen sehr starken Wechsel innerhalb der Bodenprofile (Abb. 94 und 95), der vermutlich durch wiederholte (episodische) Überlagerung der durch kapillaren Aufstieg und Verdunstung mit Carbonat angereicherten Schichten durch frisches Alluvialmaterial bedingt ist.

Die Summe der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ zeigt bei den drei in der TZ und RZ untersuchten Horizonten des Standorts III.5 erwartungsgemäß keine Änderung (TZ- und RZ-Werte sind vergleichbar, da über größere Fläche homogener Standort). Wie der nachfolgende Abschnitt zeigt, ist die Höhe der Summe der austauschbaren Kationen neben dem Humusgehalt und dem Tongehalt, vor allem vom Carbonatgehalt abhängig und ändert sich dementsprechend z.T. stark innerhalb der Bodenprofile.

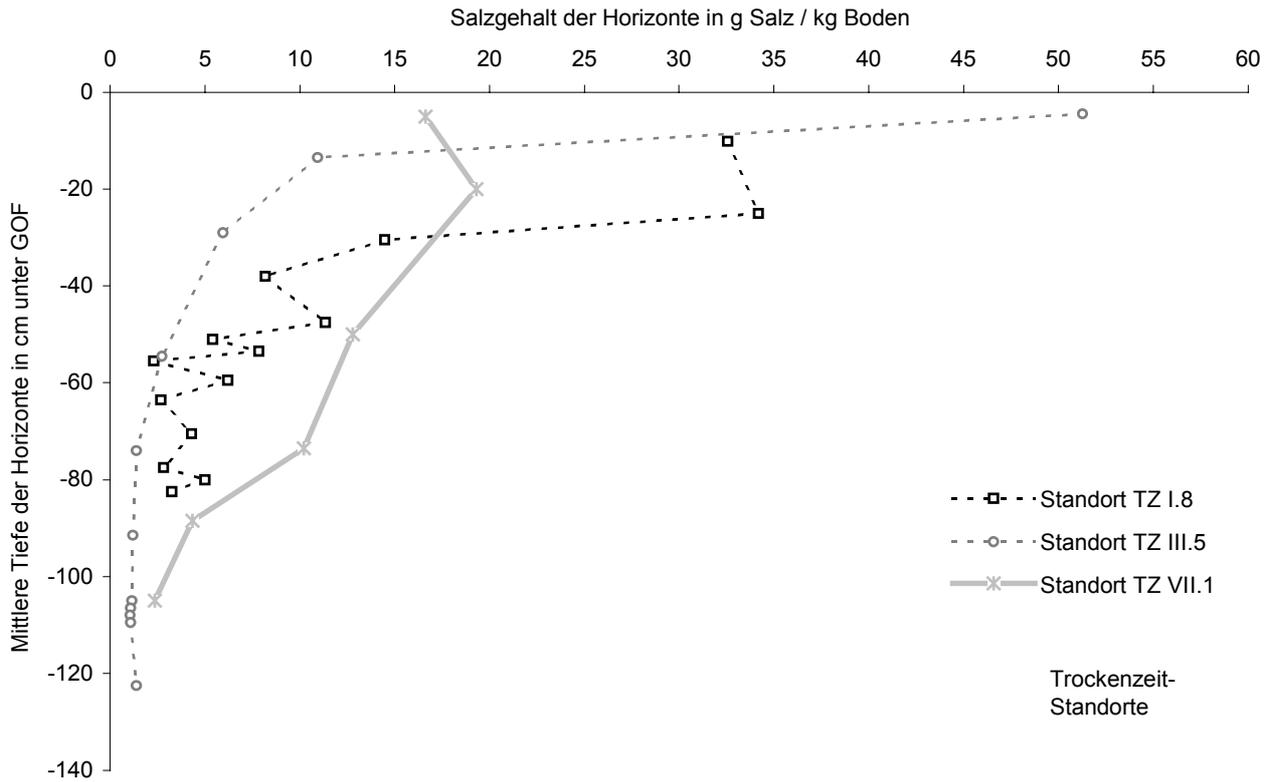


Abb. 75: Salzgehalt (nach EC₅) der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Trockenzeit-Standorte)

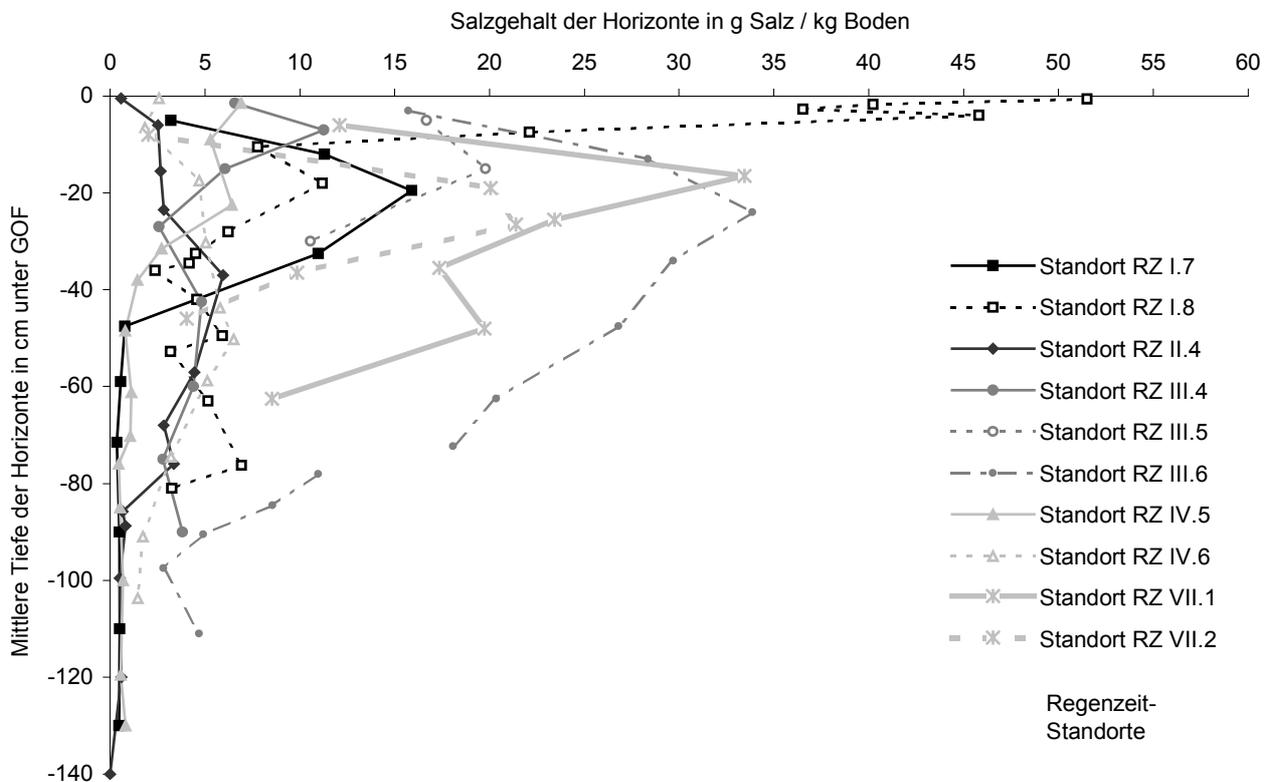


Abb. 76: Salzgehalt (nach EC₅) der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Regenzeit-Standorte)

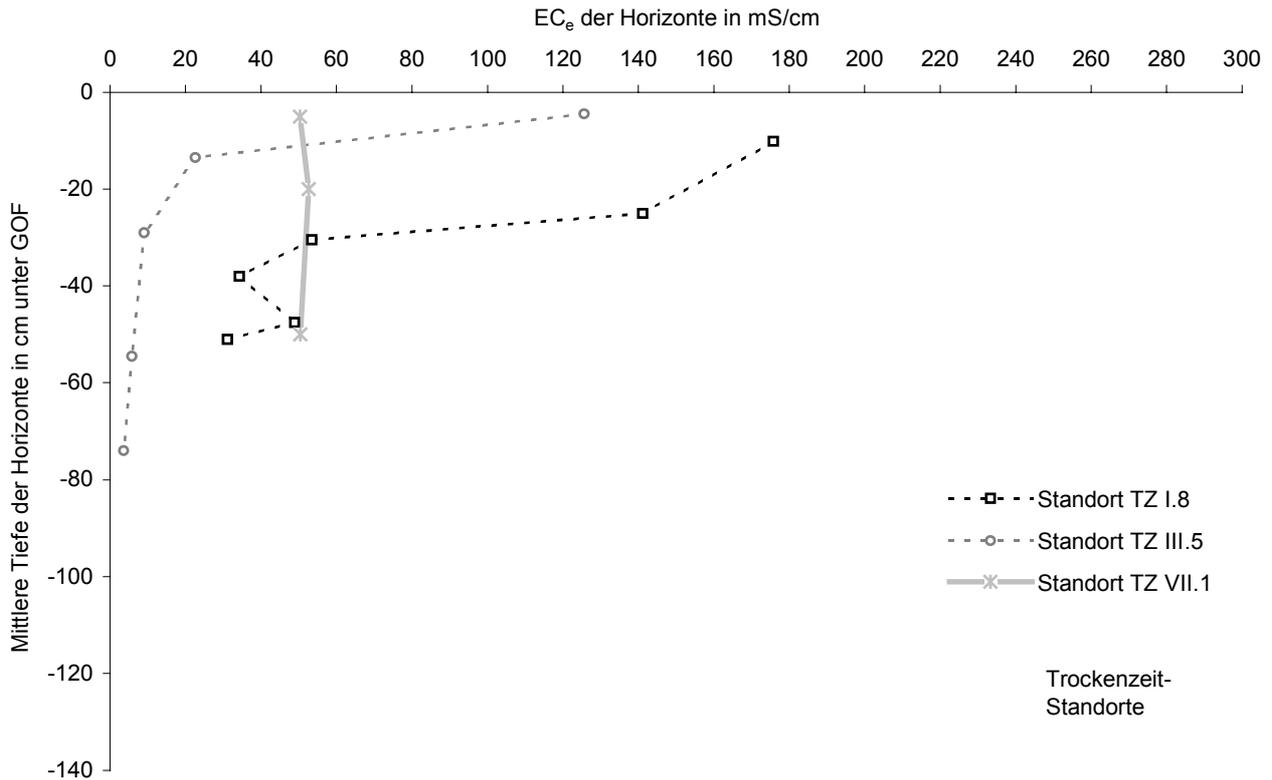


Abb. 77: Elektrische Leitfähigkeit des Sättigungsextraktes (EC_e) der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Trockenzeit-Standorte)

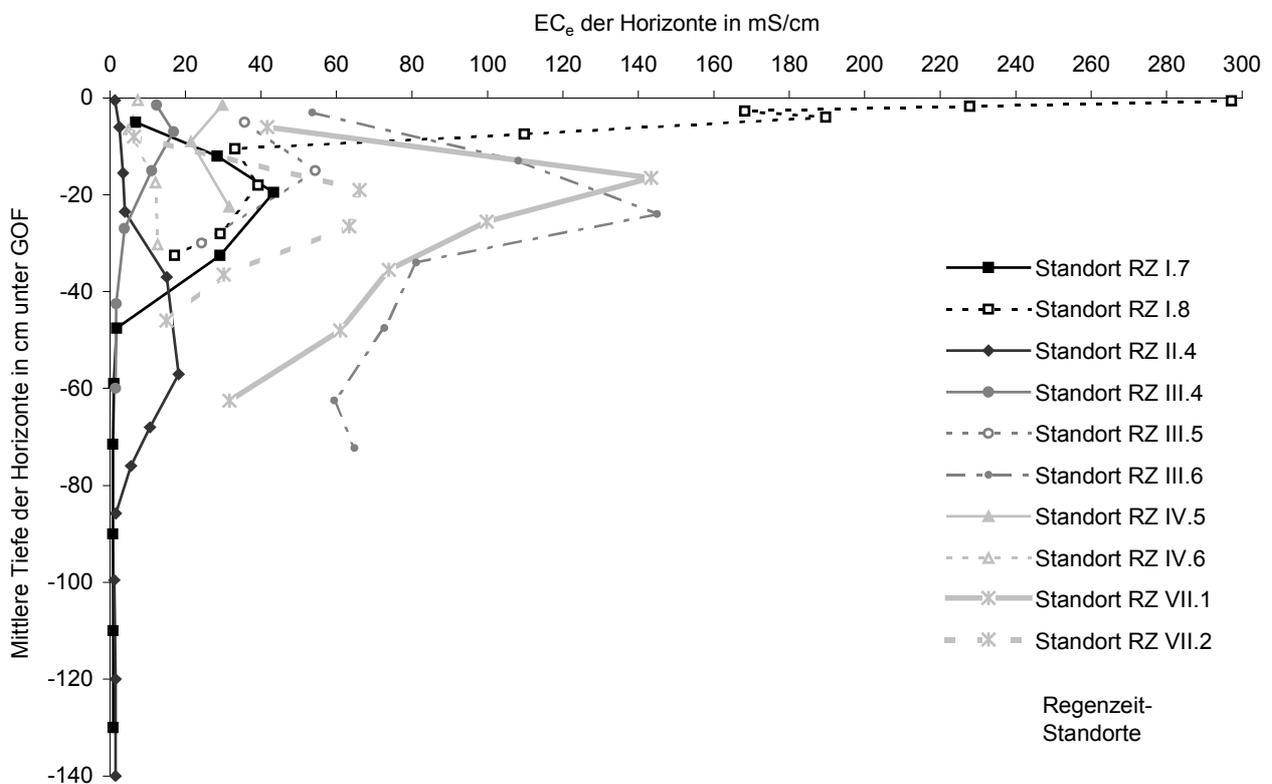


Abb. 78: Elektrische Leitfähigkeit des Sättigungsextraktes (EC_e) der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Regenzeit-Standorte)

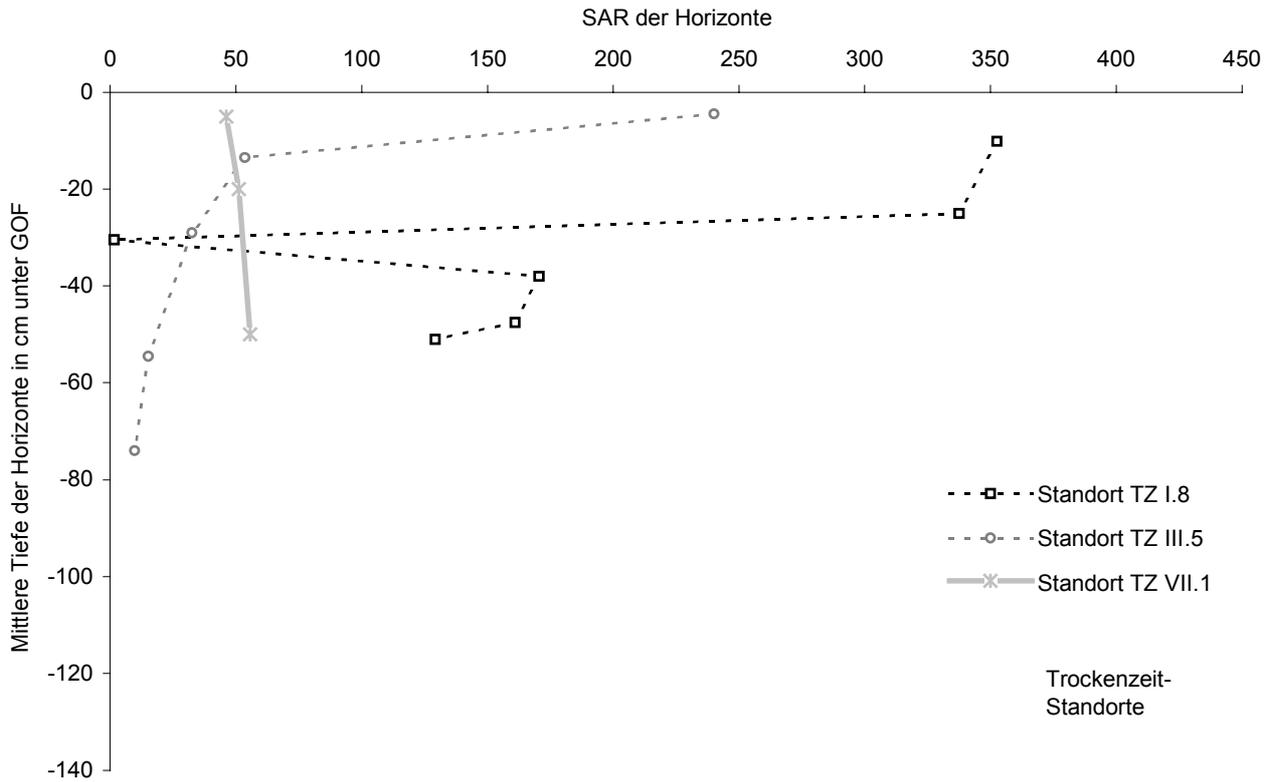


Abb. 79: SAR des Sättigungsextraktes der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Trockenzeit-Standorte)

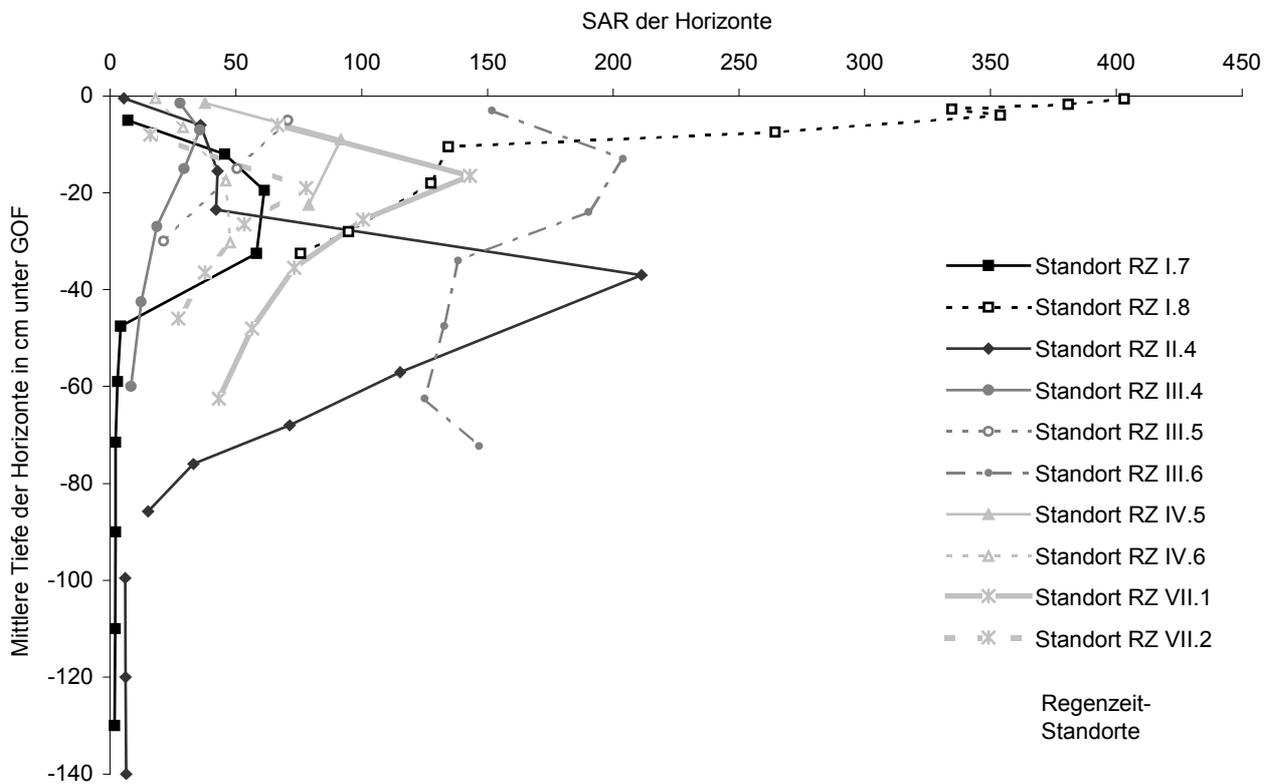


Abb. 80: SAR des Sättigungsextraktes der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Regenzeit-Standorte)

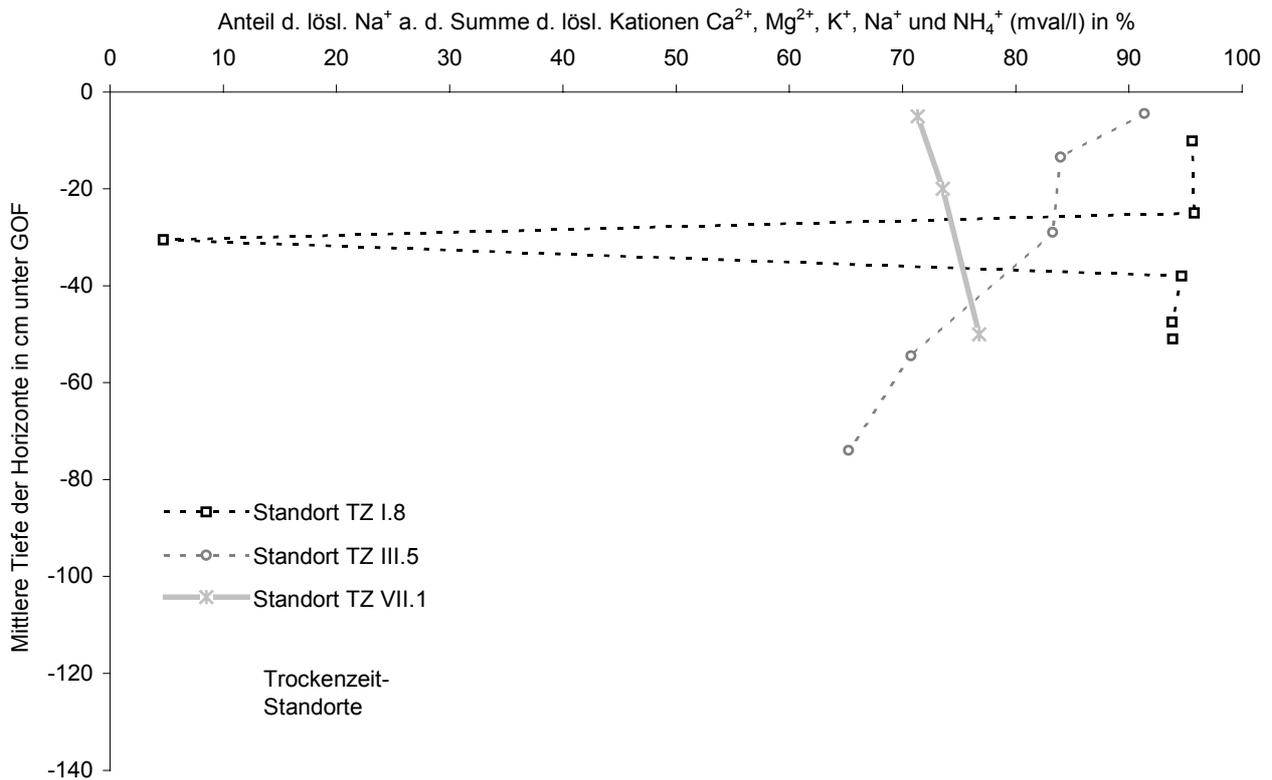


Abb. 81: Anteil des löslichen Natriums an der Summe der löslichen Kationen Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ und Na⁺ im Sättigungsextrakt der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Trockenzeit-Standorte)

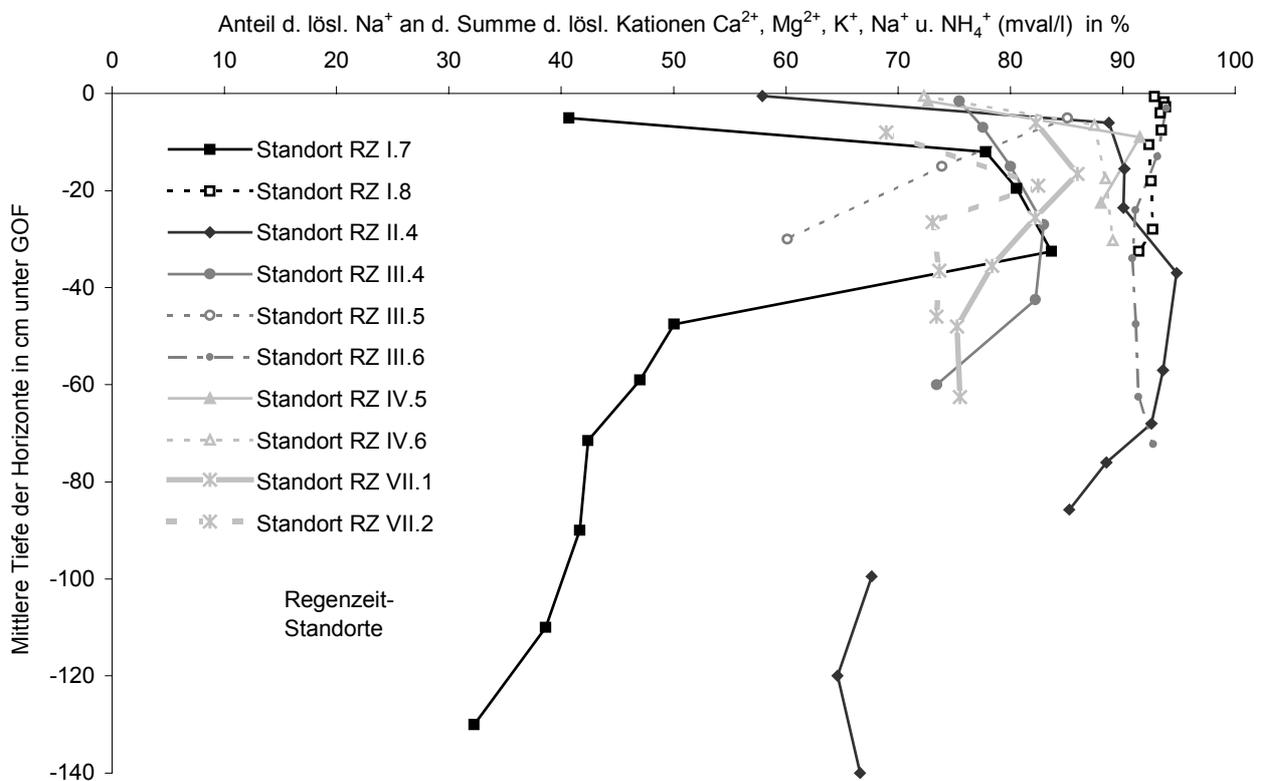


Abb. 82: Anteil des löslichen Natriums an der Summe der löslichen Kationen Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ und Na⁺ im Sättigungsextrakt der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Regenzeit-Standorte)

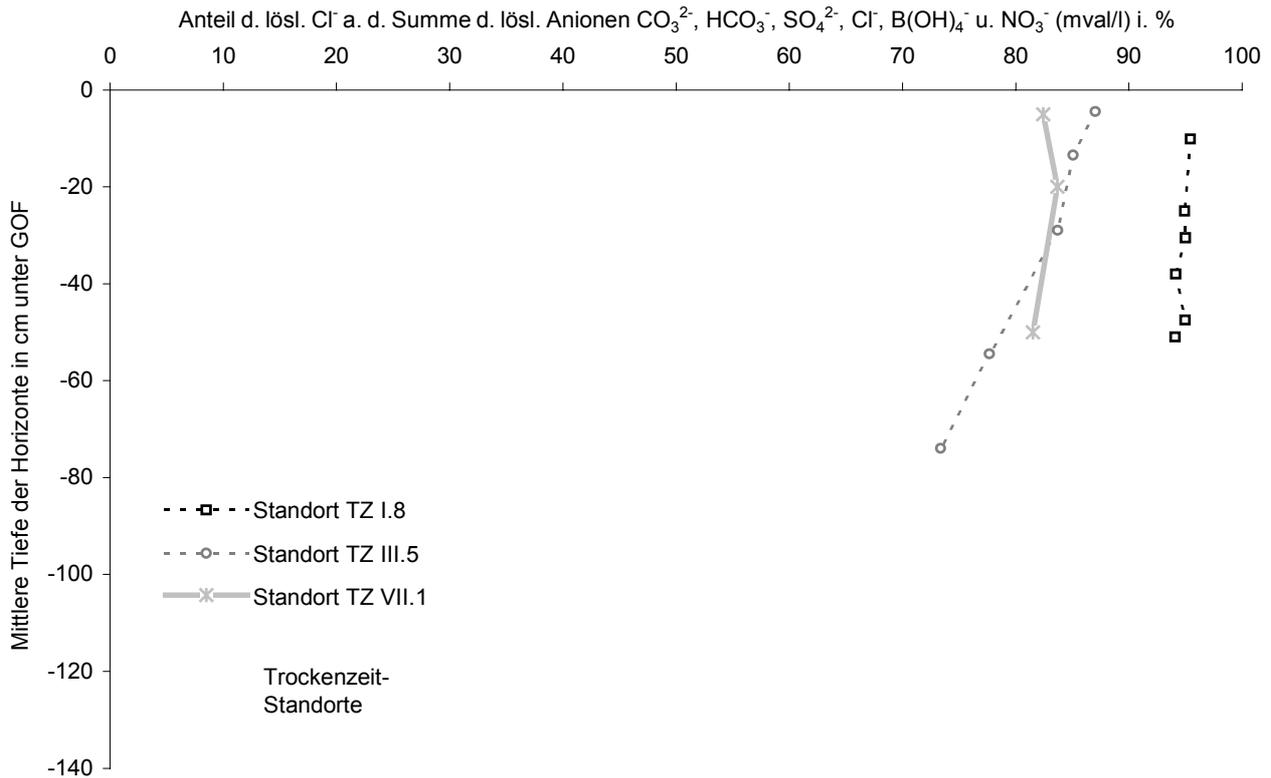


Abb. 83: Anteil des löslichen Chlorids an der Summe der löslichen Anionen CO₃²⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, B(OH)₄⁻ und NO₃⁻ im Sättigungsextrakt der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Trockenzeit-Standorte)

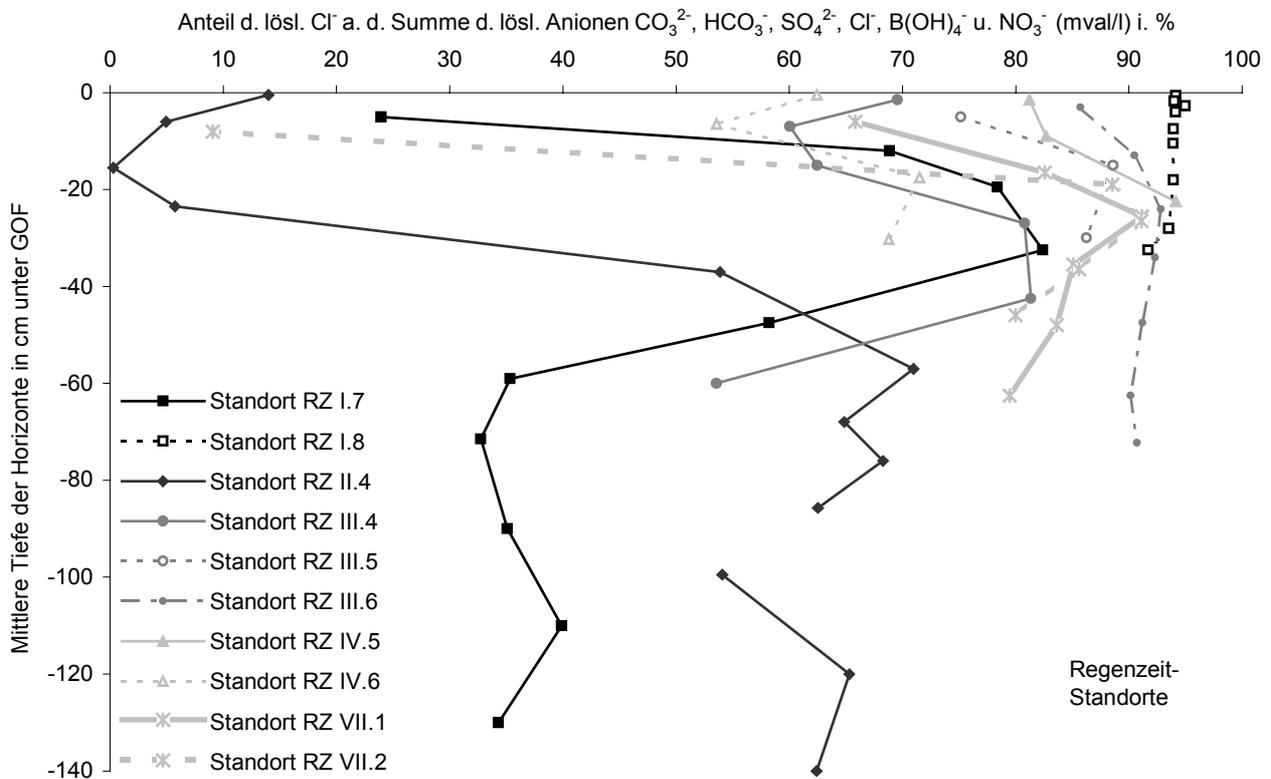


Abb. 84: Anteil des löslichen Chlorids an der Summe der löslichen Anionen CO₃²⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, B(OH)₄⁻ und NO₃⁻ im Sättigungsextrakt der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Regenzeit-Standorte)

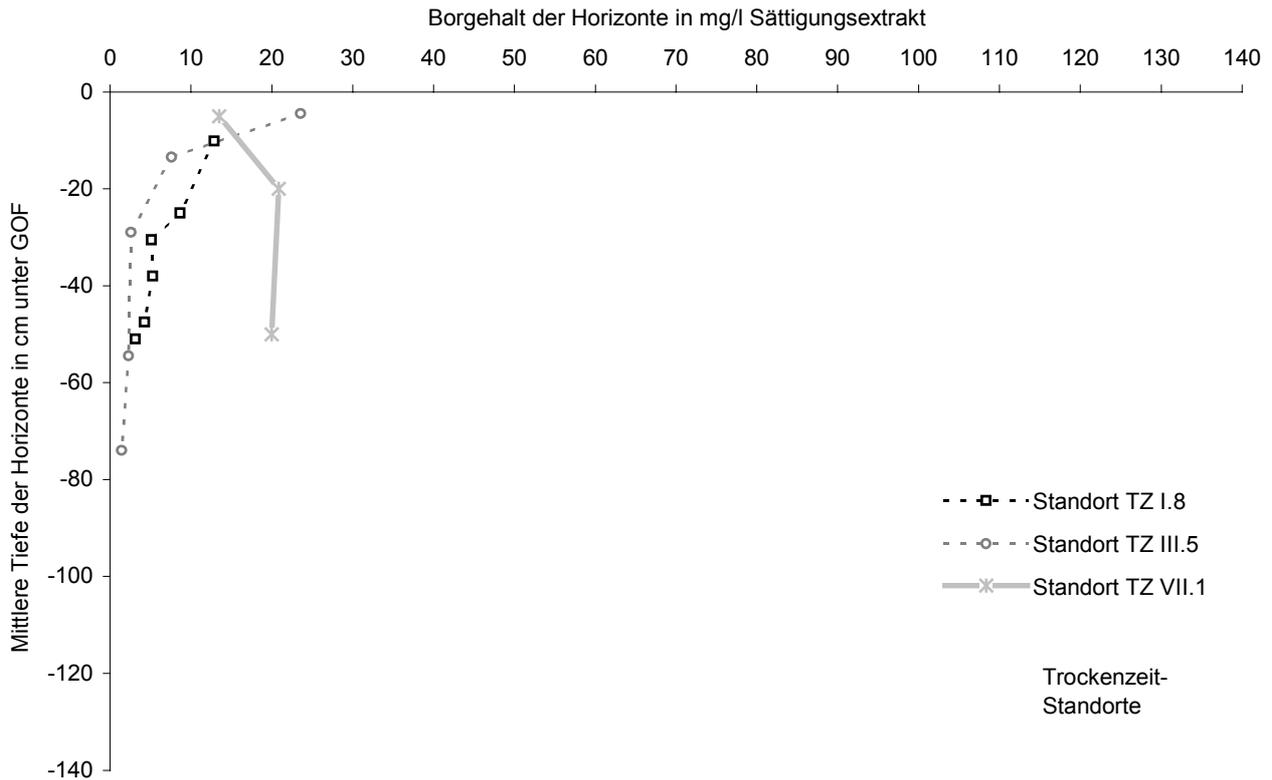


Abb. 85: Borgehalt im Sättigungsextrakt der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Trockenzeit-Standorte); eine Schädigung empfindlicher Pflanzen erfolgt bereits bei 0,3 mg/l Bor im Sättigungsextrakt

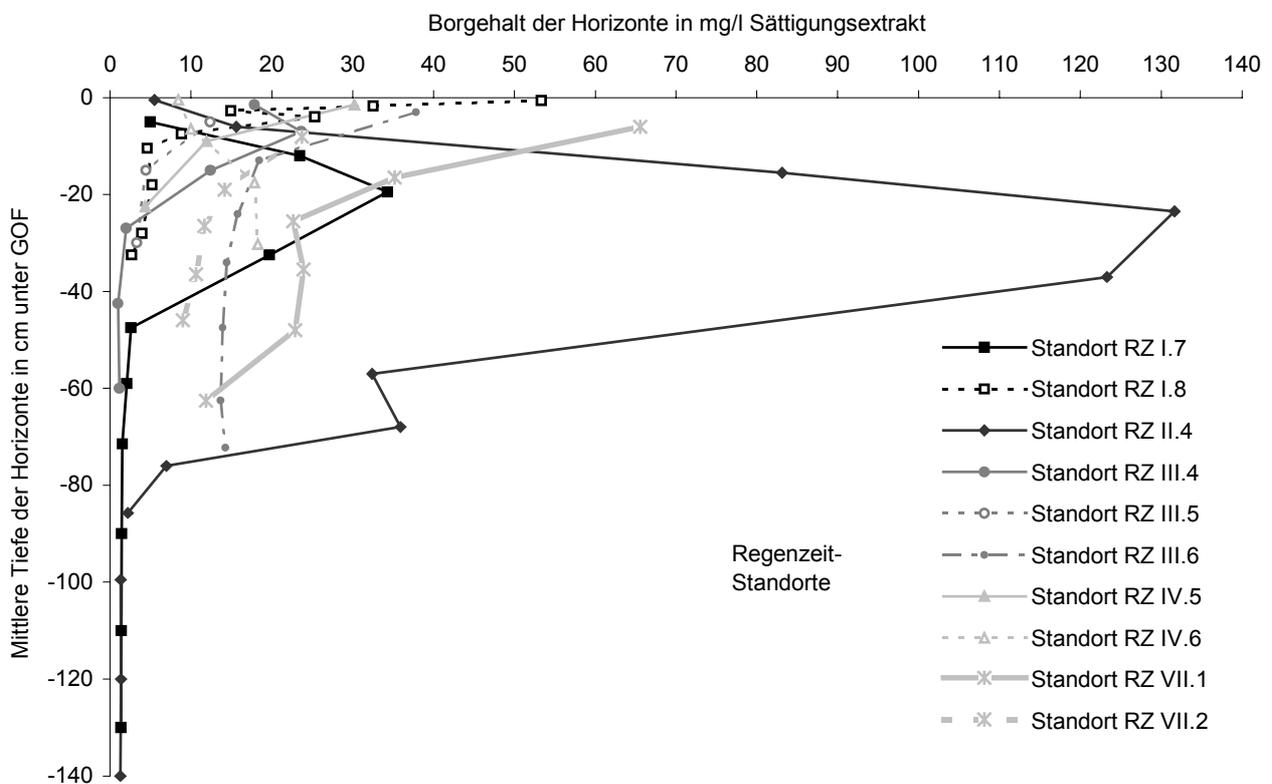


Abb. 86: Borgehalt im Sättigungsextrakt der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Regenzeit-Standorte); eine Schädigung empfindlicher Pflanzen erfolgt bereits bei 0,3 mg/l Bor im Sättigungsextrakt

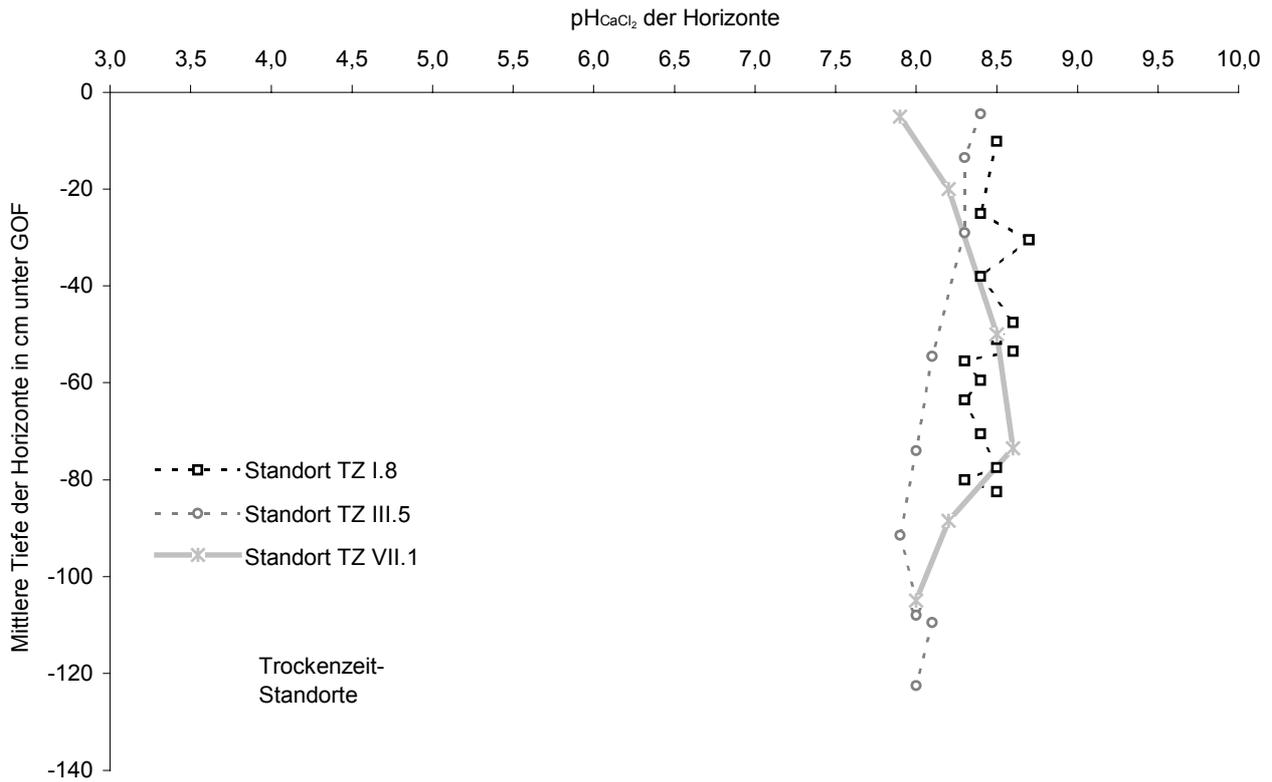


Abb. 87: pH_{CaCl_2} der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Trockenzeit-Standorte)

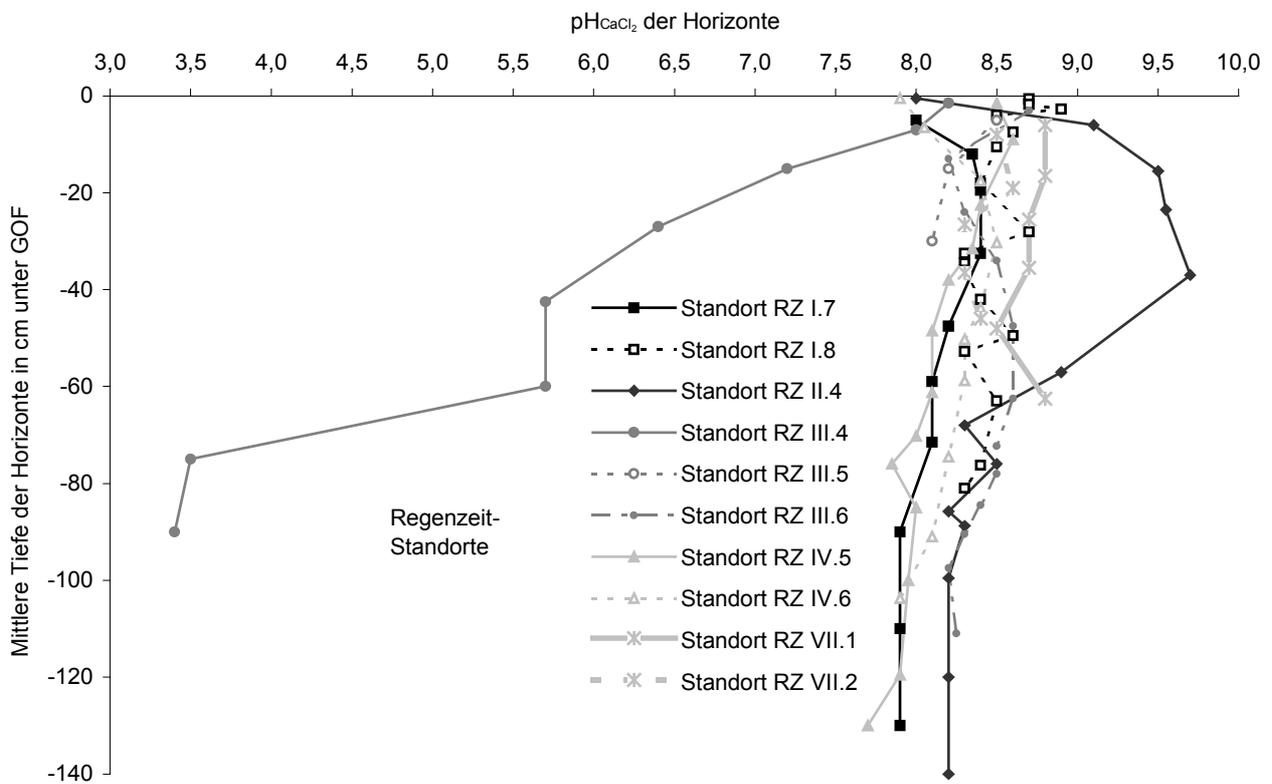


Abb. 88: pH_{CaCl_2} der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Regenzeit-Standorte)

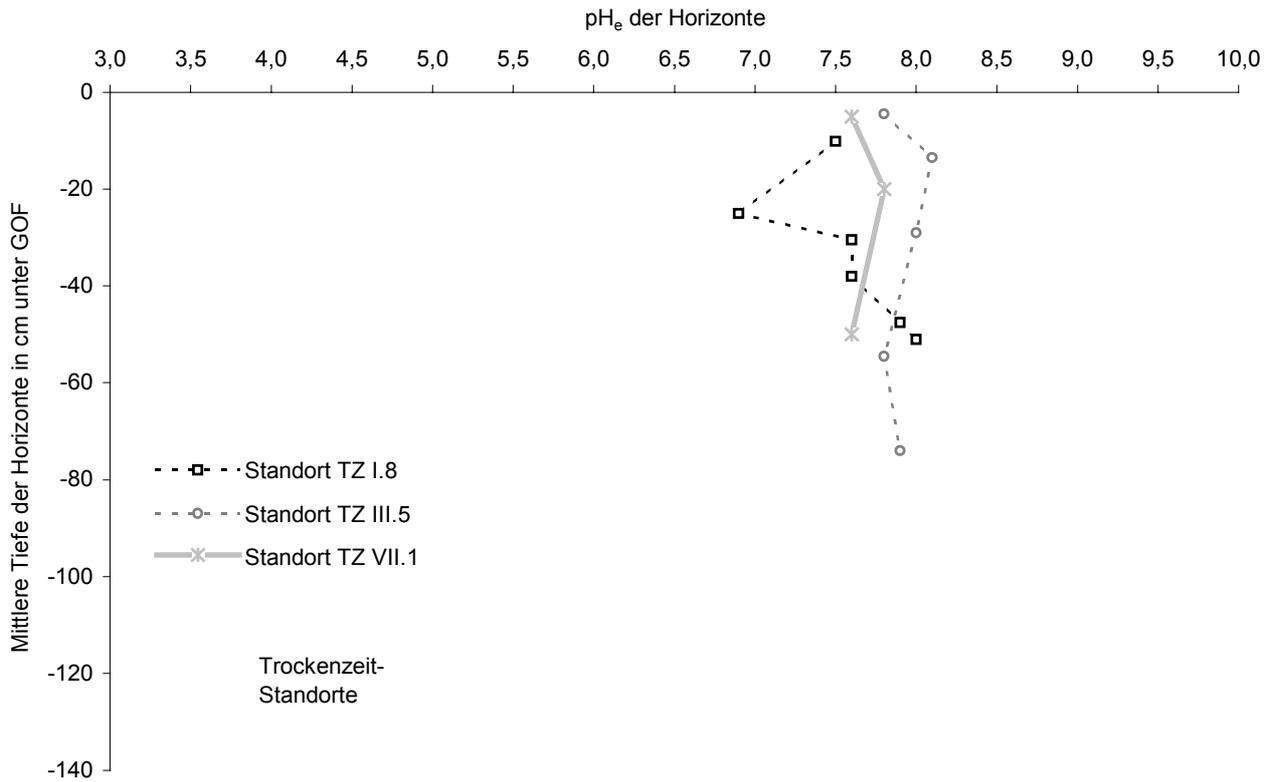


Abb. 89: pH_e der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Trockenzeit-Standorte)

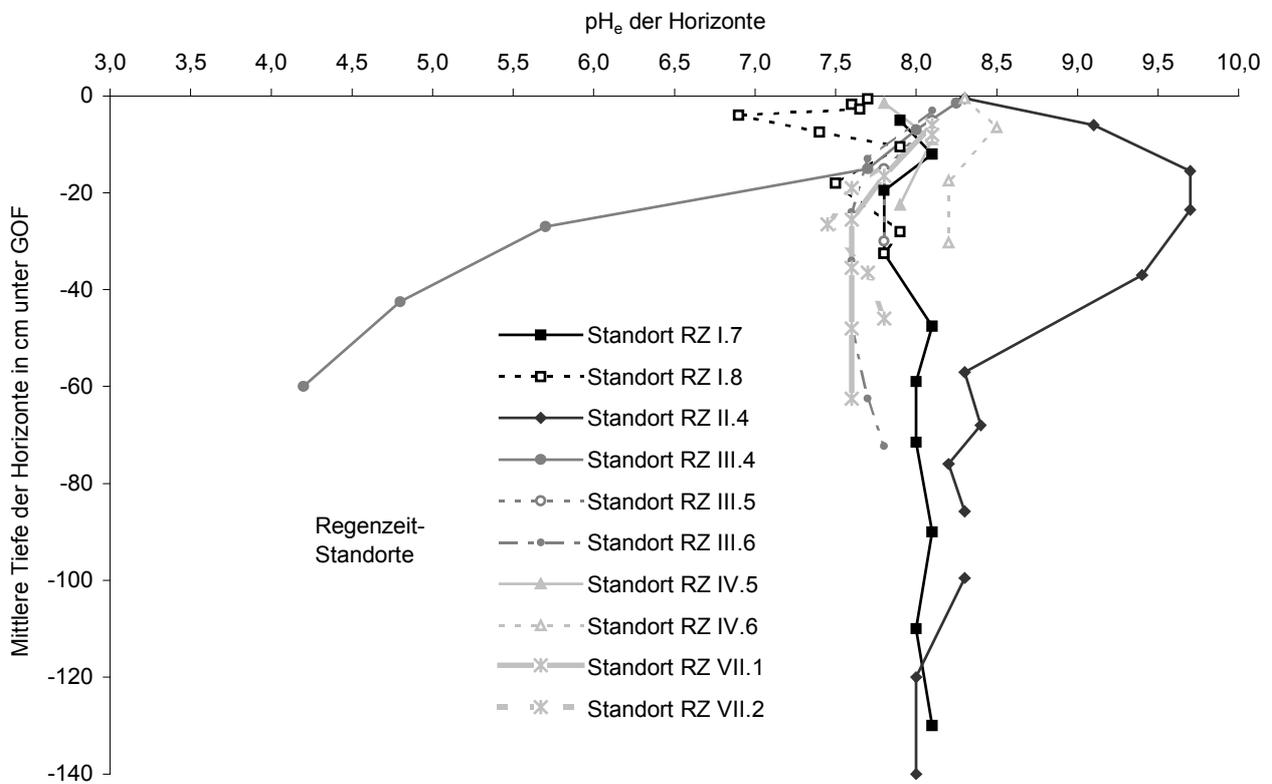


Abb. 90: pH_e der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Regenzeit-Standorte)

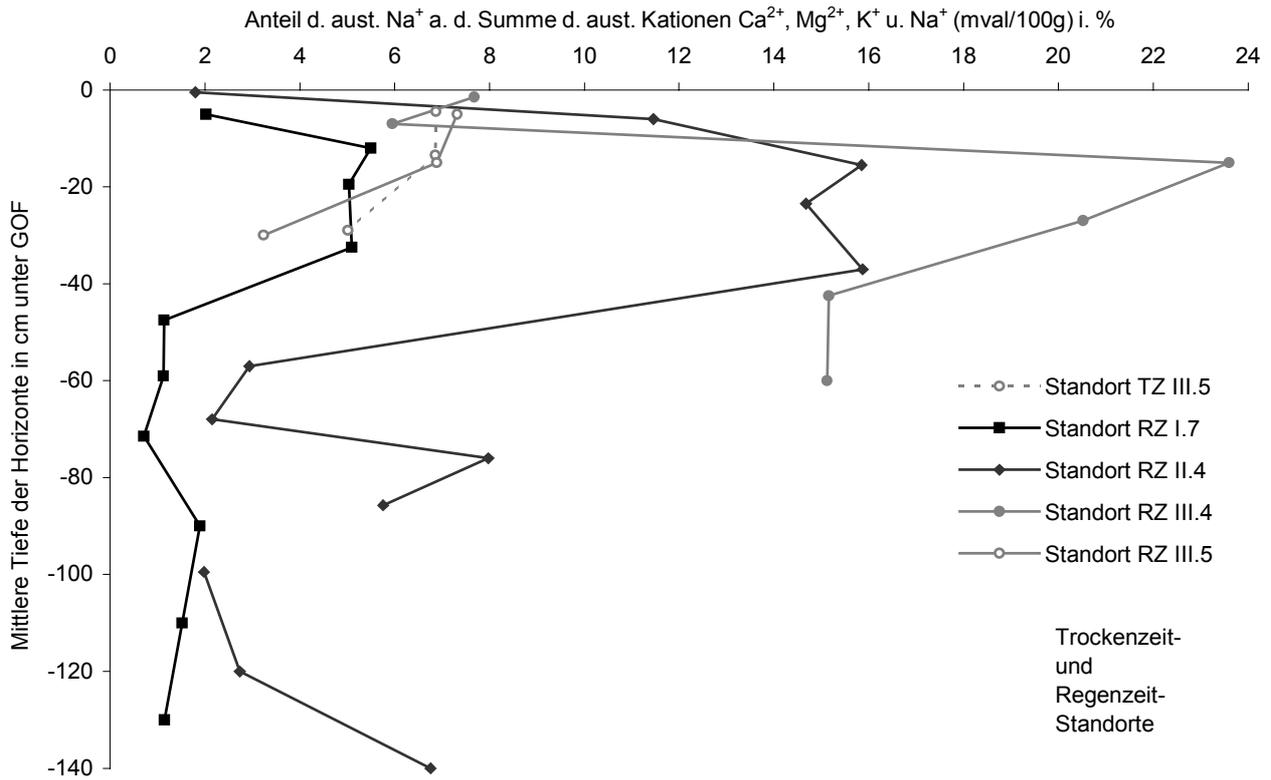


Abb. 91: Anteil des austauschbaren Natriums an der Summe der austauschbaren Kationen Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ und Na⁺ der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Trockenzeit- und Regenzeit-Standorte)

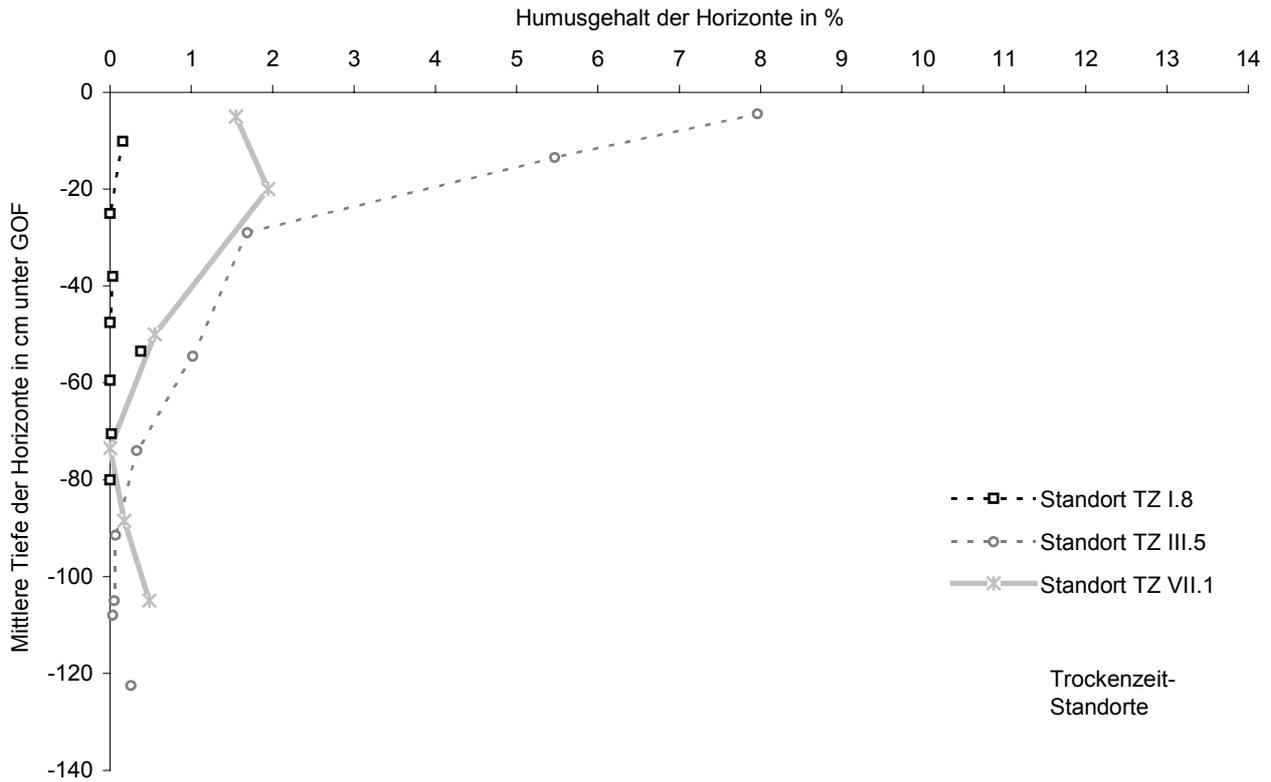


Abb. 92: Humusgehalt der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Trockenzeit-Standorte)

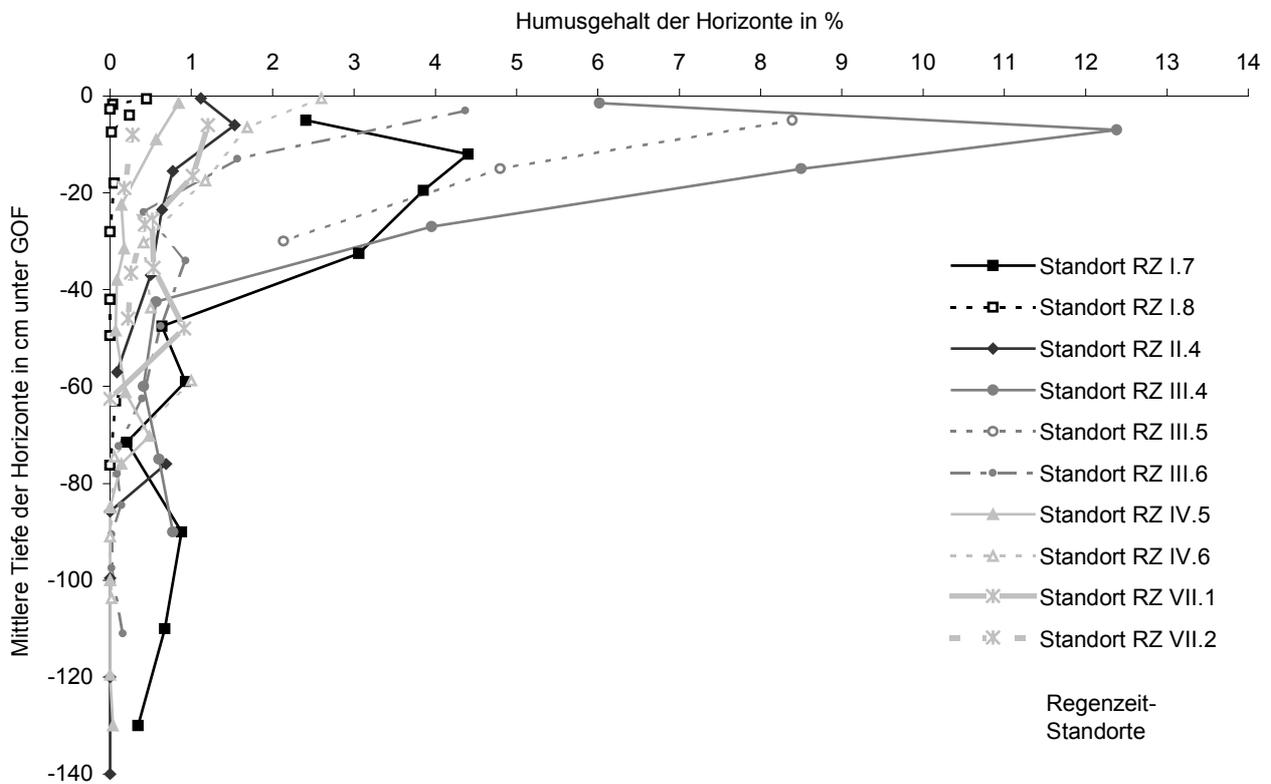


Abb. 93: Humusgehalt der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Regenzeit-Standorte)

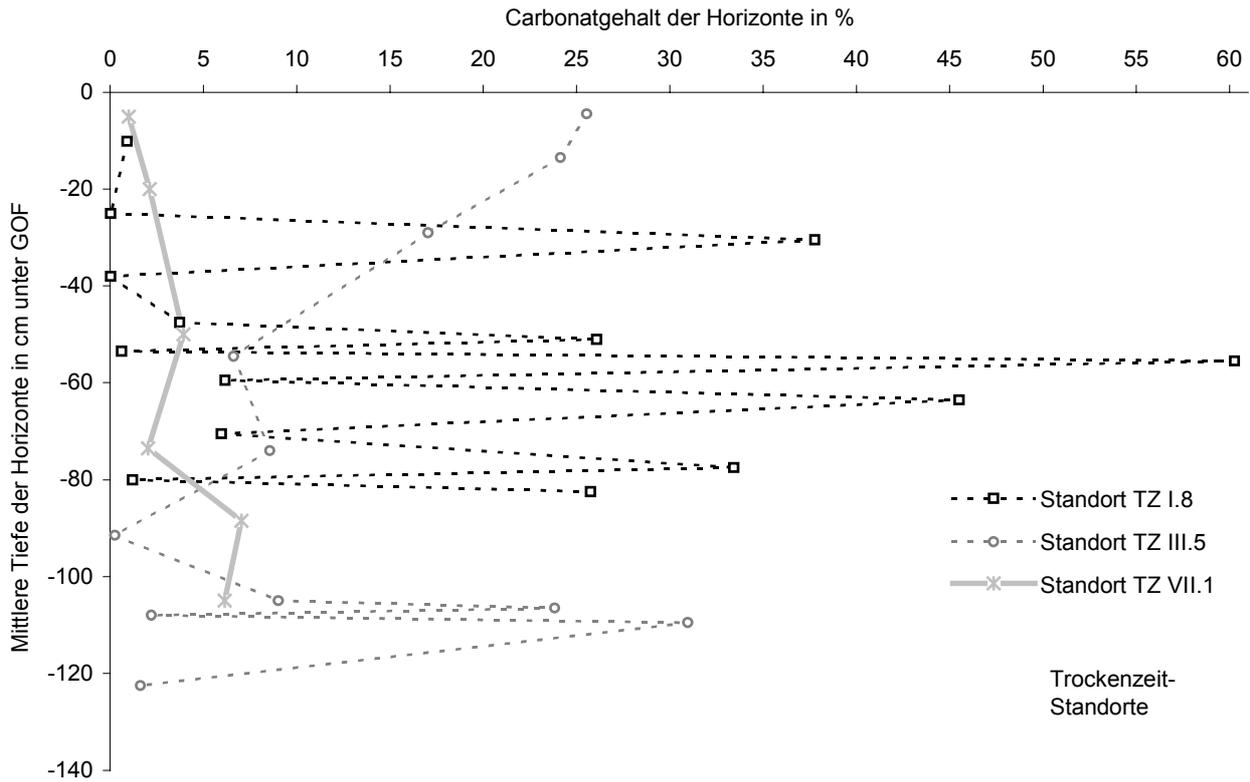


Abb. 94: Carbonatgehalt der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Trockenzeit-Standorte)

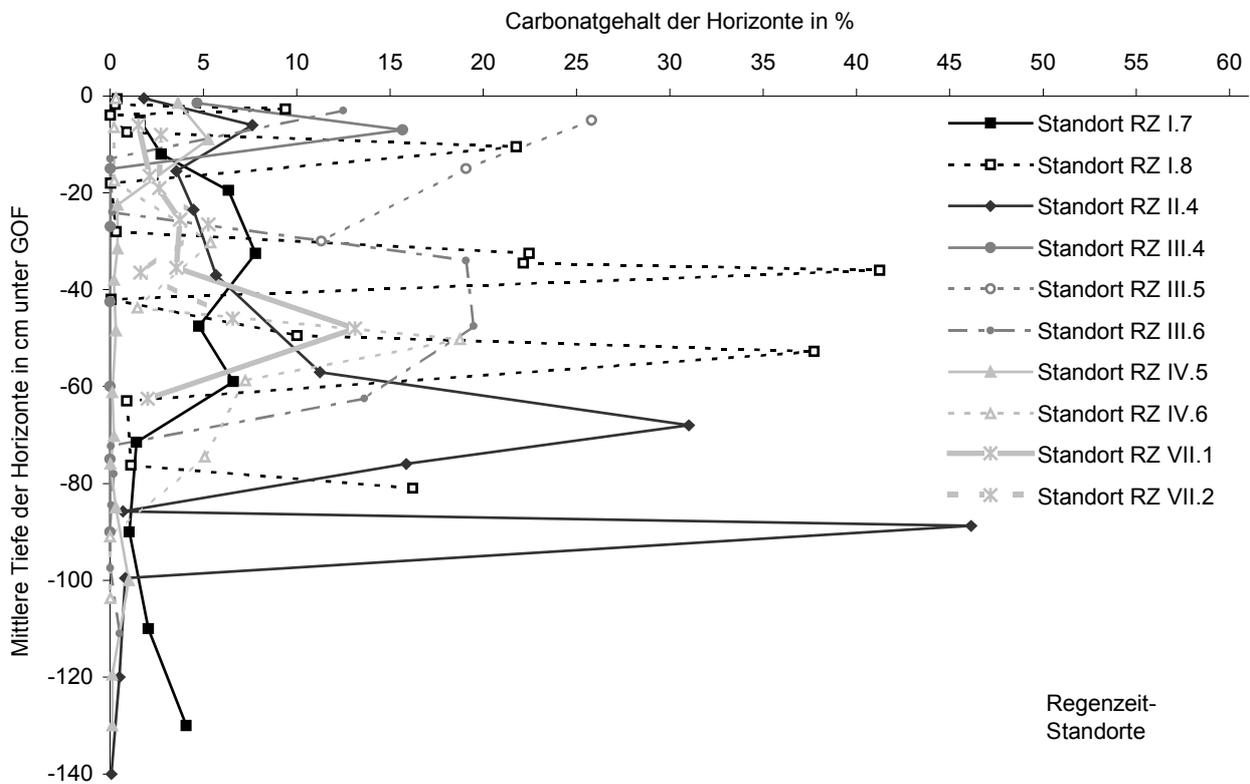


Abb. 95: Carbonatgehalt der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Regenzeit-Standorte)

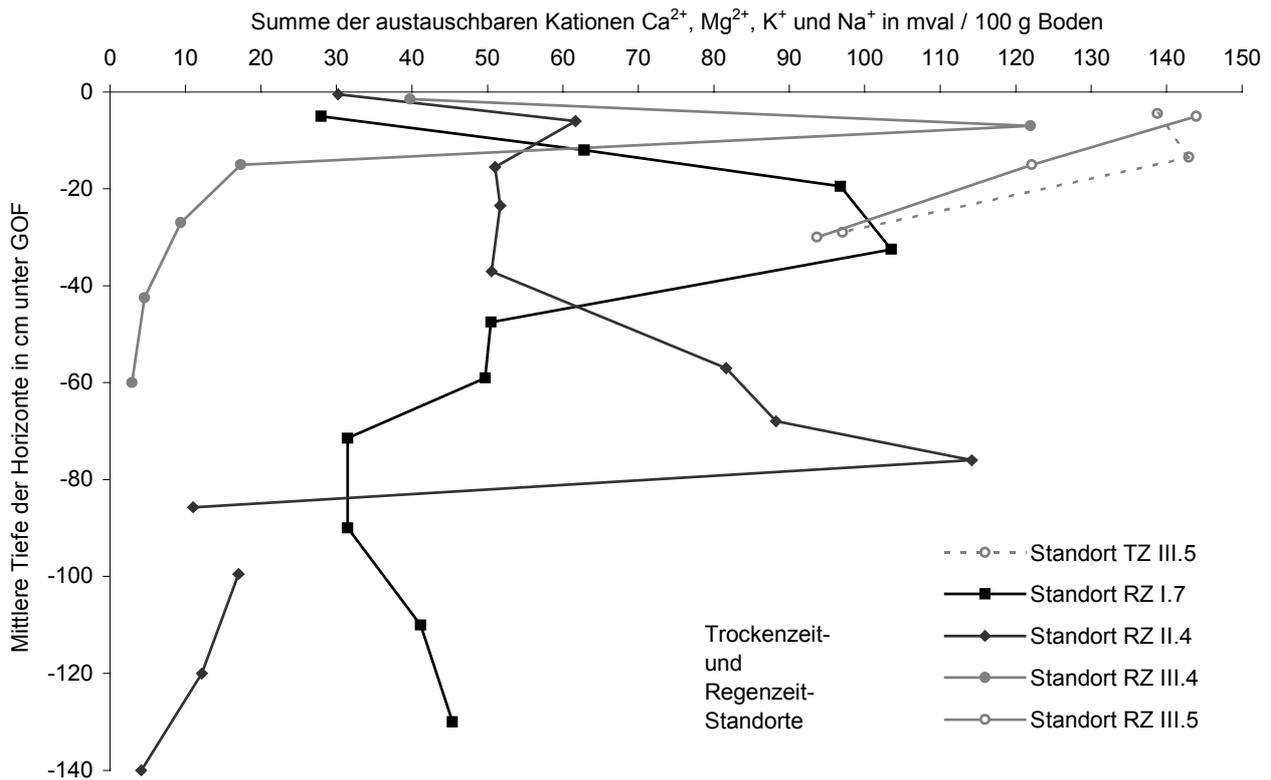


Abb. 96: Summe der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ der Horizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte in Abhängigkeit von der mittleren Tiefe der Horizonte u. GOF (Trockenzeit- und Regenzeit-Standorte)

6.3 Abhängigkeit verschiedener Bodenparameter untereinander

Die Beziehung zwischen der Summe der löslichen Anionen und dem Anteil der löslichen Anionen CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} und Cl^- an der Summe der löslichen Anionen im Sättigungsextrakt der Bodenhorizonte (bezogen auf mval pro Liter Sättigungsextrakt) ist in den Abb. 97 bis 100 dargestellt. Die löslichen Carbonationen erreichen den höchsten Anteil (max. etwa 10 %) bei geringen Gesamtsalzgehalten im Sättigungsextrakt, bei hohem Salzgehalt geht der Wert gegen Null (Abb. 97). Der Anteil der löslichen Hydrogencarbonationen kann bei geringen Gesamtsalzgehalten bis zu 93 % betragen, nimmt jedoch mit steigendem Gesamtsalzgehalt schnell ab (Abb. 98). Der Anteil der löslichen Sulfationen liegt meist zwischen 5 und 30 % und nimmt mit steigendem Salzgehalt tendenziell etwas ab (Abb. 99). Der Anteil der Chloridionen hingegen steigt mit dem Gesamtsalzgehalt und hat bei versalzten Bodenhorizonten ganz überwiegend einen Anteil von $> 60\%$ (Abb. 100). Die untersuchten Salzböden sind somit chloridreich.

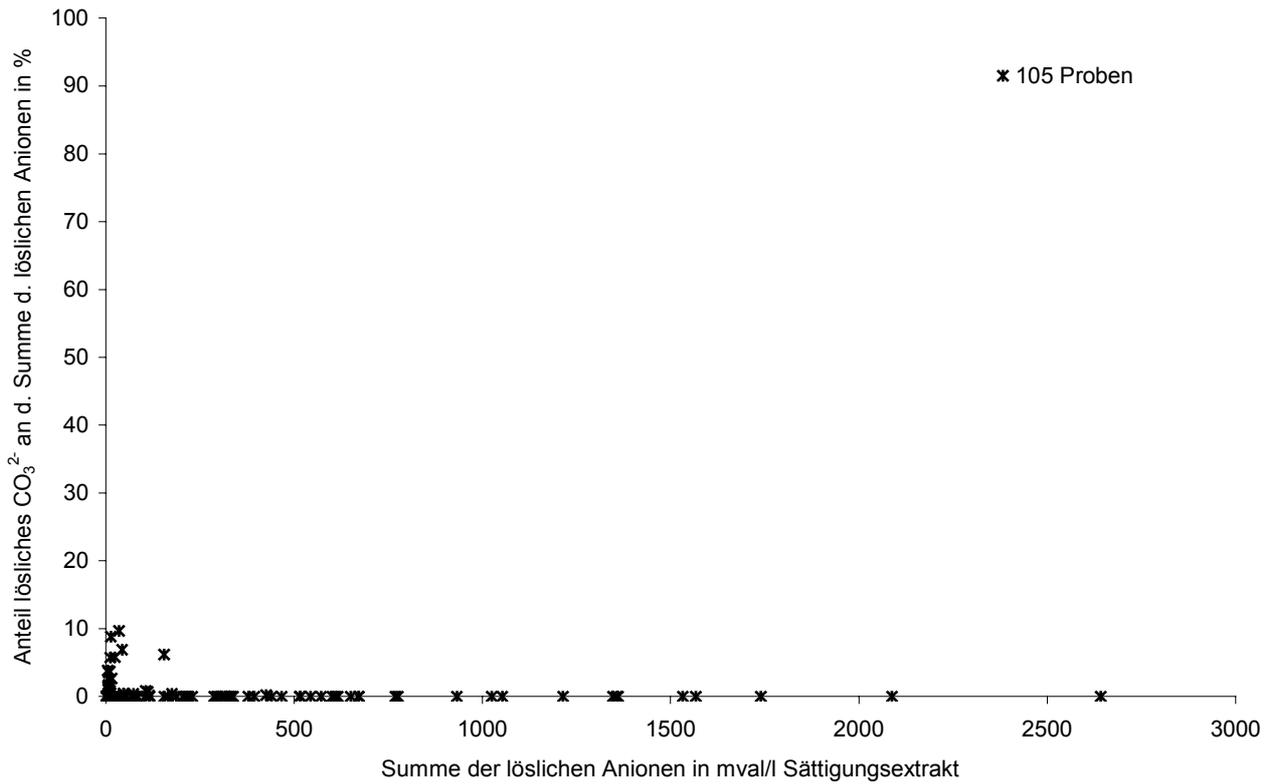


Abb. 97: Beziehung zwischen der Summe der löslichen Anionen und dem Anteil des löslichen Carbonats (CO_3^{2-}) an der Summe der löslichen Anionen im Sättigungsextrakt der Horizonte

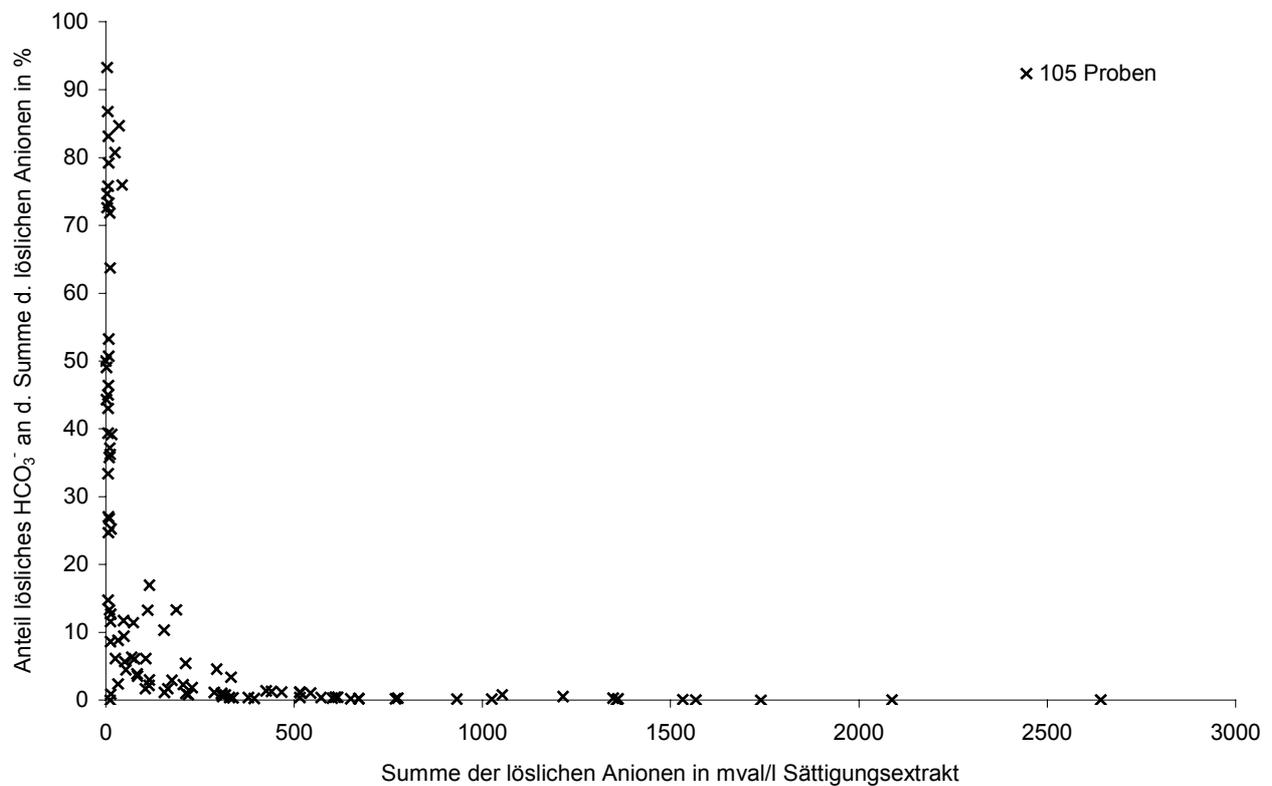


Abb. 98: Beziehung zwischen der Summe der löslichen Anionen und dem Anteil des löslichen Hydrogencarbonats (HCO_3^-) an der Summe der löslichen Anionen im Sättigungsextrakt der Horizonte

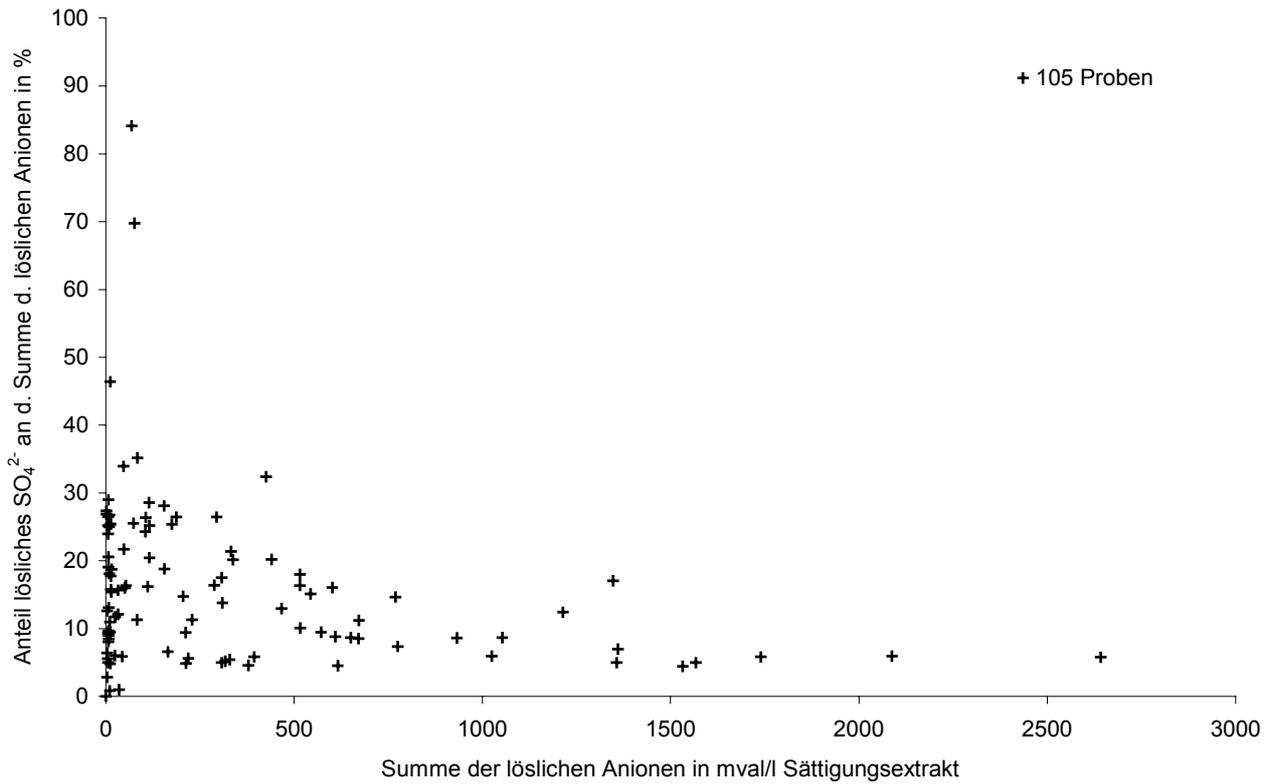


Abb. 99: Beziehung zwischen der Summe der löslichen Anionen und dem Anteil des löslichen Sulfats (SO_4^{2-}) an der Summe der löslichen Anionen im Sättigungsextrakt der Horizonte

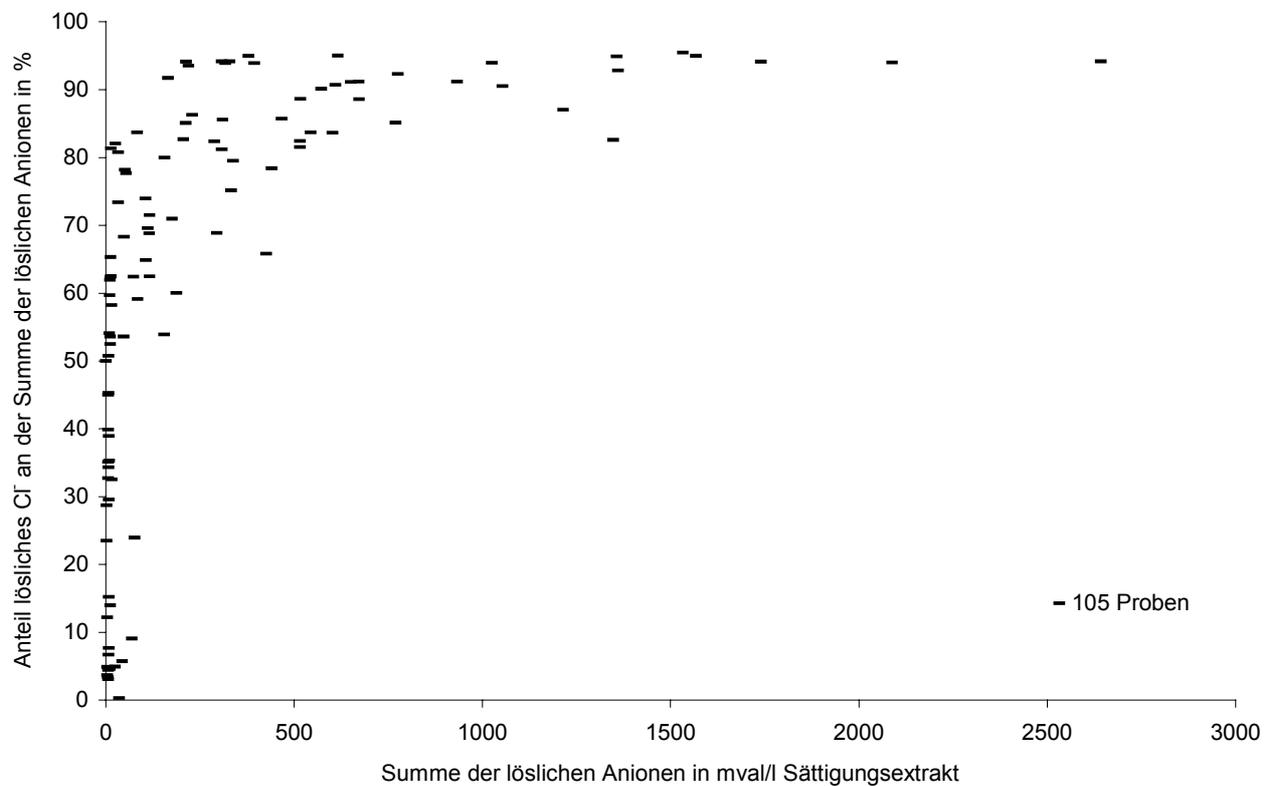


Abb. 100: Beziehung zwischen der Summe der löslichen Anionen und dem Anteil des löslichen Chlorids (Cl^-) an der Summe der löslichen Anionen im Sättigungsextrakt der Horizonte

Der Anteil der löslichen Kationen Ca^{2+} (Abb. 101), Mg^{2+} (Abb. 102), K^+ (Abb. 103) und Na^+ (Abb. 104) an der Summe der löslichen Kationen im Sättigungsextrakt der Bodenhorizonte ändert sich aufgrund der unterschiedlichen Löslichkeit der Salze, der Eintauschstärke und Haftfestigkeit der Kationen (Auswaschung aus höheren Bereichen; vgl. Kap. 2) mit der Gesamtsumme der löslichen Kationen. Der Anteil der löslichen Calciumionen und Magnesiumionen nimmt mit steigendem Salzgehalt ab, wobei der Anteil der Calciumionen bei nicht versalzten Böden bis zu 50 % und der Anteil der Magnesiumionen max. 25 % beträgt (Abb. 101 und 102). Die Kaliumionen erreichen bei Nichtsalzböden einen Anteil von bis zu 25 %; ansonsten liegt der Anteil der löslichen Kaliumionen um 5 % (Abb. 103). Der Anteil der löslichen Natriumionen nimmt hingegen mit der Salinität zu und beträgt bei Salzböden in der Regel über 70 % (Abb. 104).

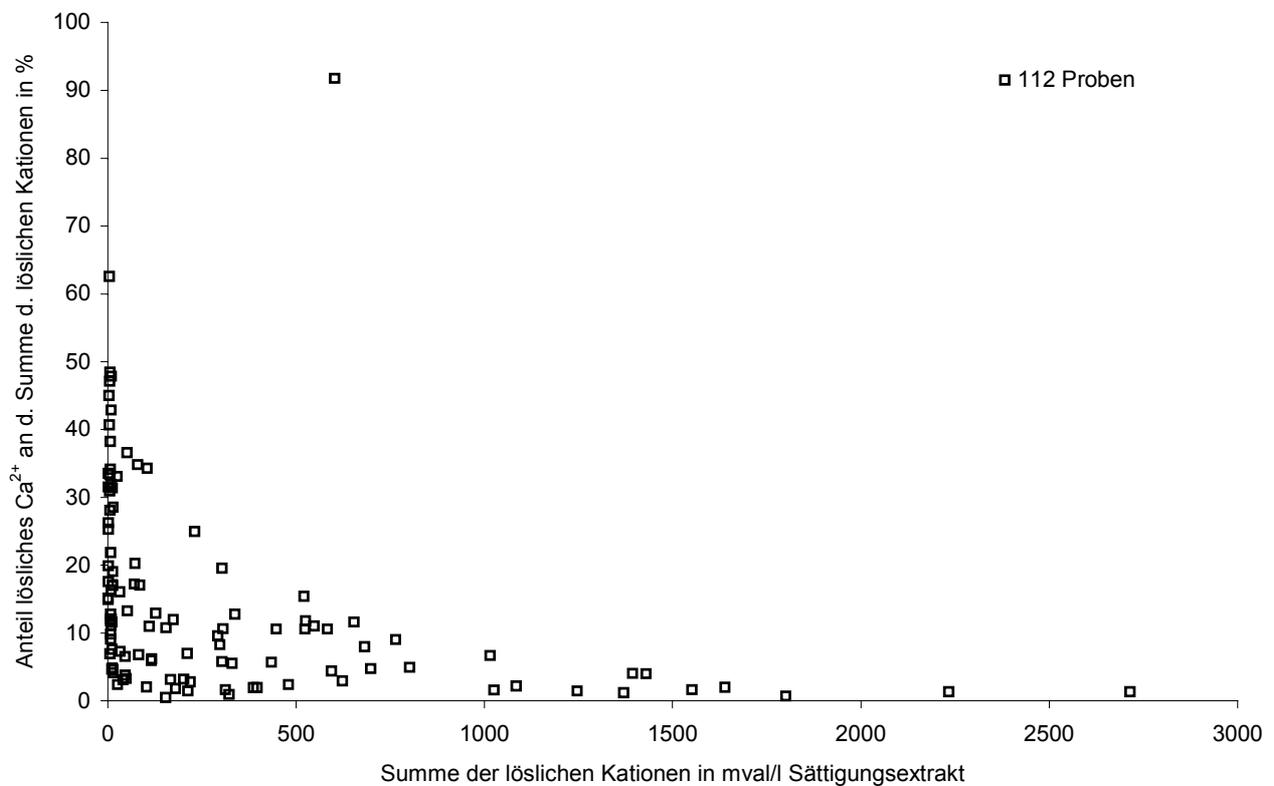


Abb. 101: Beziehung zwischen der Summe der löslichen Kationen und dem Anteil des löslichen Calciums (Ca^{2+}) an der Summe der löslichen Kationen im Sättigungsextrakt der Horizonte

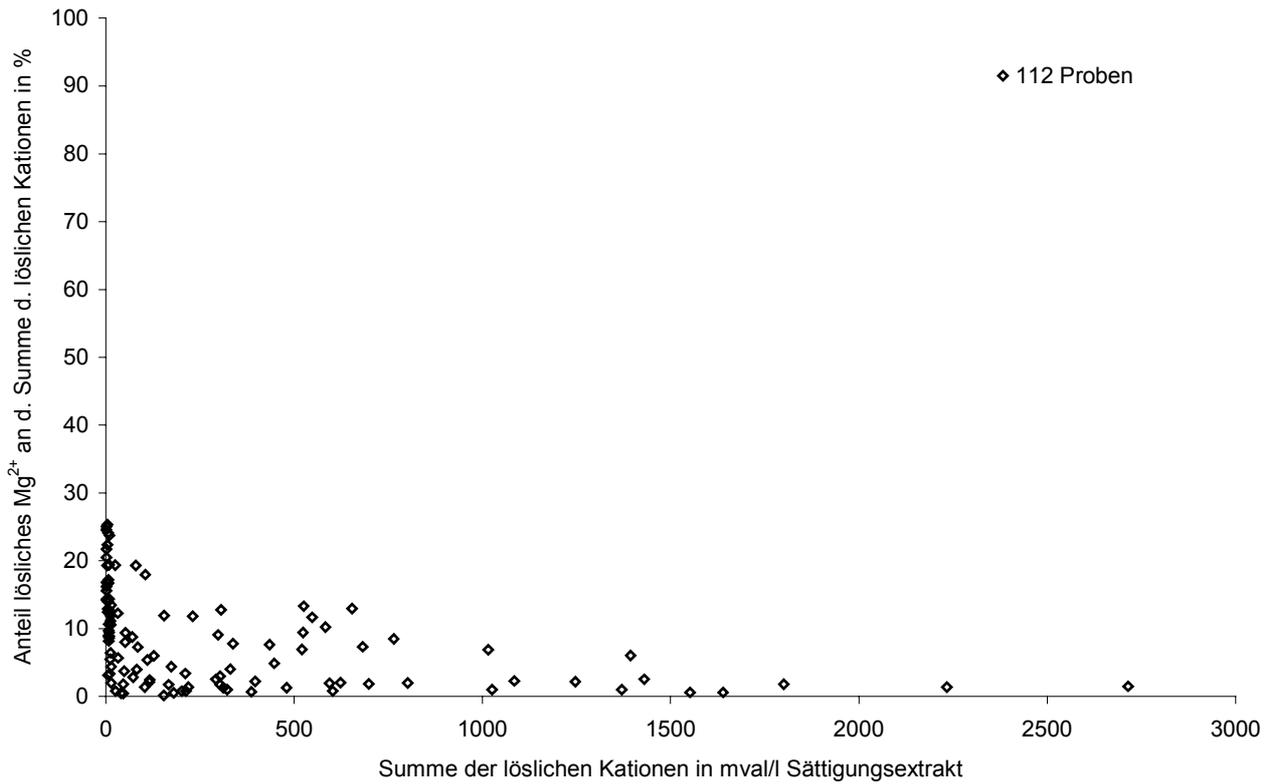


Abb. 102: Beziehung zwischen der Summe der löslichen Kationen und dem Anteil des löslichen Magnesiums (Mg^{2+}) an der Summe der löslichen Kationen im Sättigungsextrakt der Horizonte

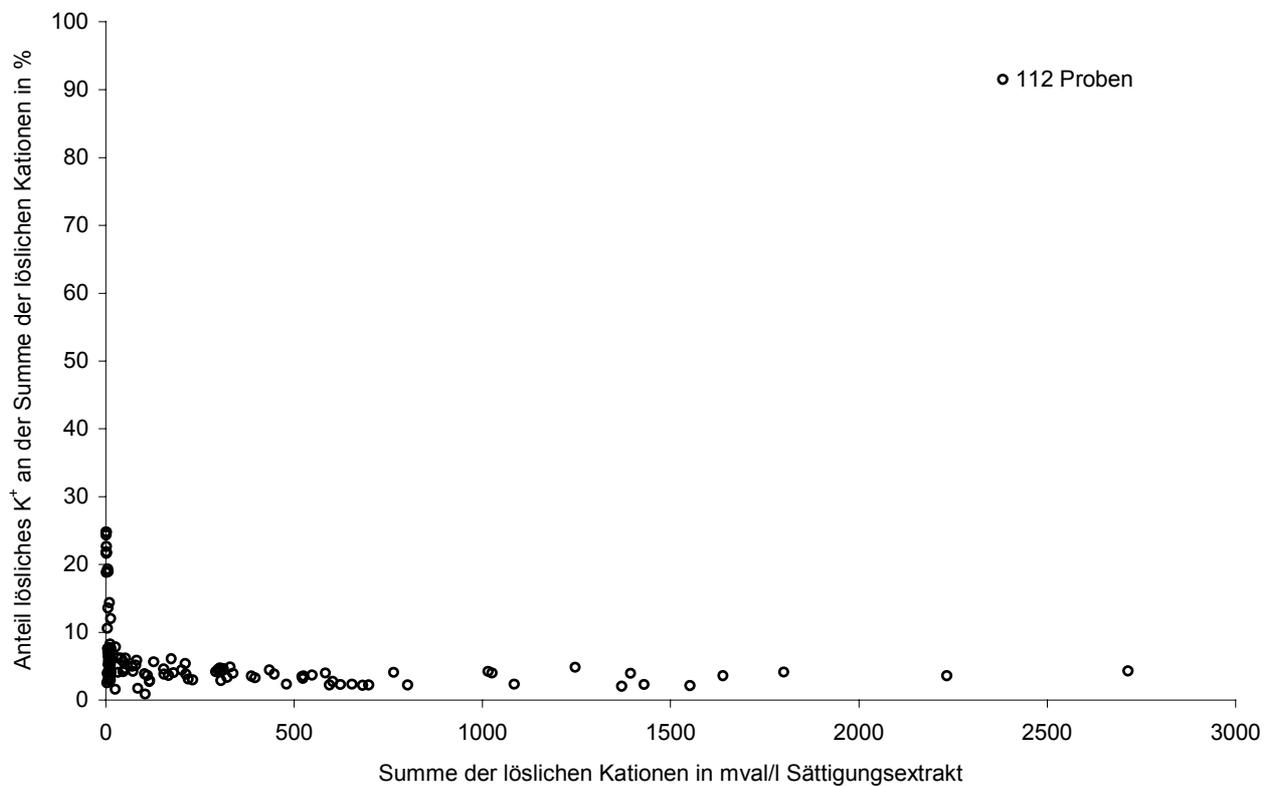


Abb. 103: Beziehung zwischen der Summe der löslichen Kationen und dem Anteil des löslichen Kaliums (K^+) an der Summe der löslichen Kationen im Sättigungsextrakt der Horizonte

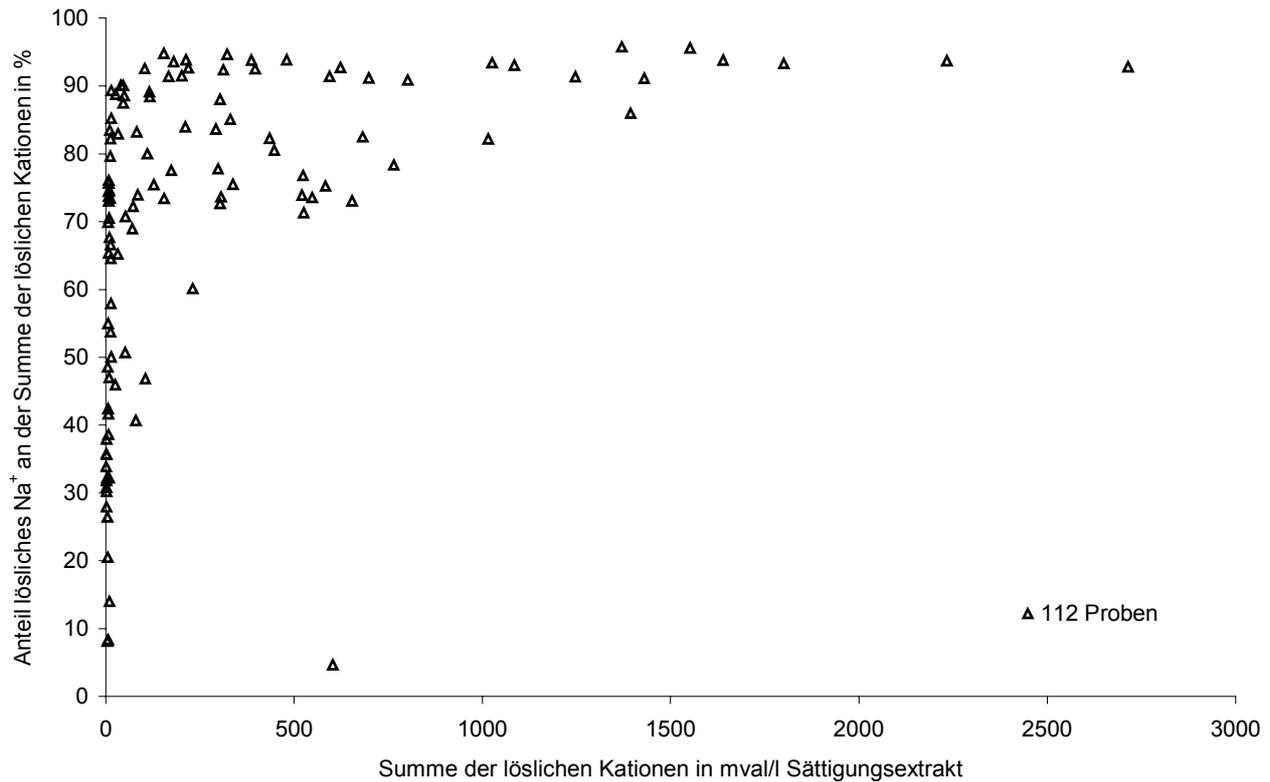


Abb. 104: Beziehung zwischen der Summe der löslichen Kationen und dem Anteil des löslichen Natriums (Na⁺) an der Summe der löslichen Kationen im Sättigungsextrakt der Horizonte

Es besteht eine positive Korrelation ($R^2 > 0,68$) zwischen den austauschbaren Kationen Ca²⁺ (Abb. 105), Mg²⁺ (Abb. 106), K⁺ (Abb. 107) und Na⁺ (Abb. 108) und der Summe der austauschbaren Kationen Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ und Na⁺ (austauschbare Basen) der Bodenhorizonte. Die Korrelation ist bei Calcium am stärksten ($R^2 = 0,9814$). Die durchschnittlichen Anteile der Kationen an der Summe der austauschbaren Kationen lassen sich mit Hilfe der in den Abb. 105, 106, 107 und 108 dargestellten Formeln errechnen (s. auch dünne Linien): gemäß der Eintauschstärke und Haftfestigkeit der Kationen (vgl. Kap. 2) nimmt der durchschnittliche Anteil von Calcium (79 %), über Magnesium (12 %), zu Kalium (2,7 %) ab. Der durchschnittliche Natriumanteil an den austauschbaren Basen ist, aufgrund des (extrem) hohen Natriumanteils an den löslichen Kationen zahlreicher untersuchter Horizonte, mit 5,9 % relativ hoch. Bei Normalböden (Nichtsalz- und nicht Natriumböden) ist der Natriumanteil an den austauschbaren Basen geringer als der Kaliumanteil.

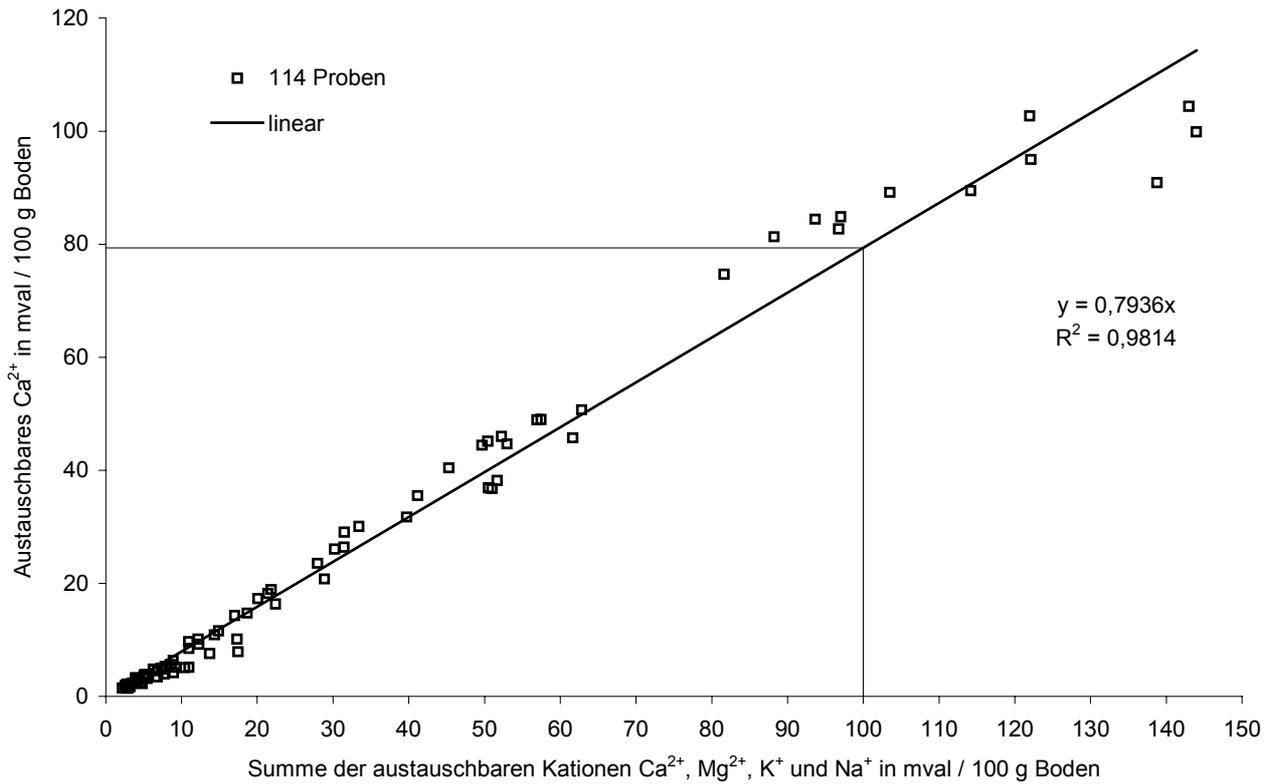


Abb. 105: Korrelation zwischen dem austauschbarem Calcium (Ca^{2+}) und der Summe der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ der Horizonte

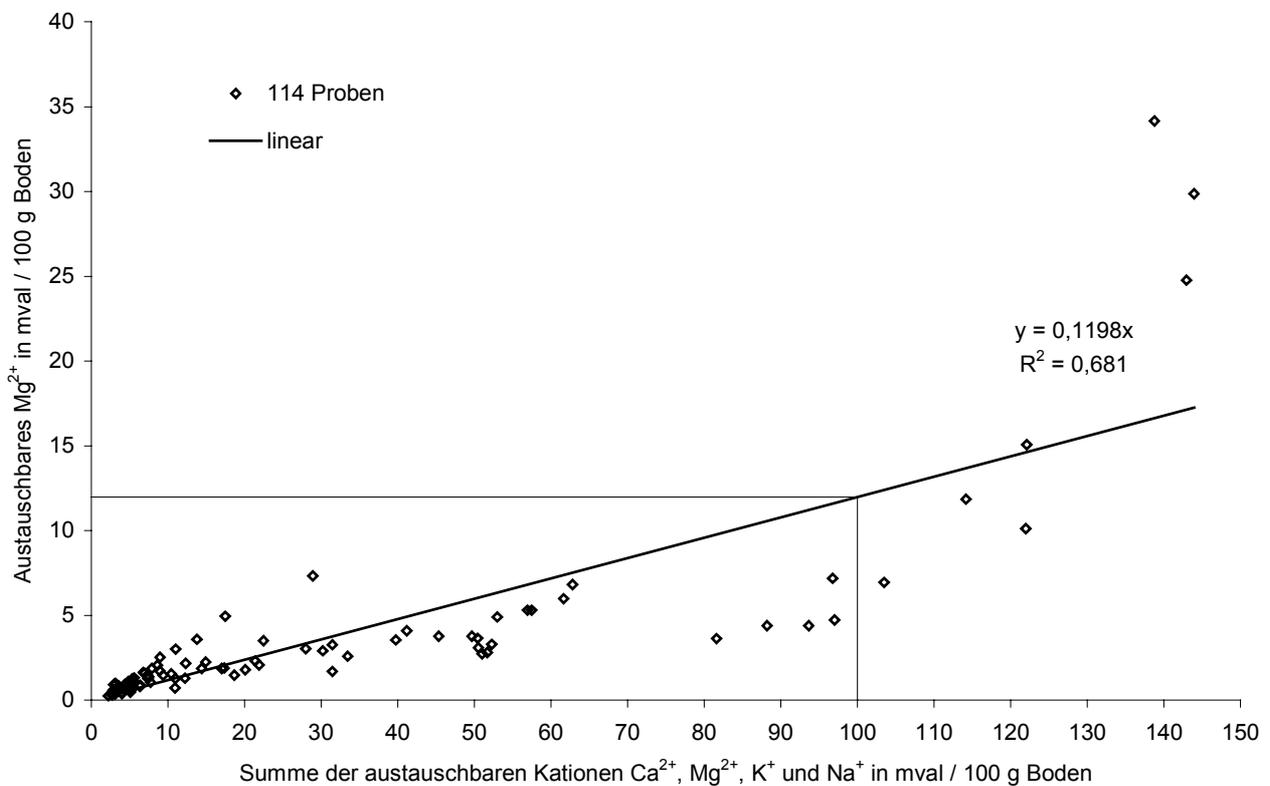


Abb. 106: Korrelation zwischen dem austauschbarem Magnesium (Mg^{2+}) und der Summe der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ der Horizonte

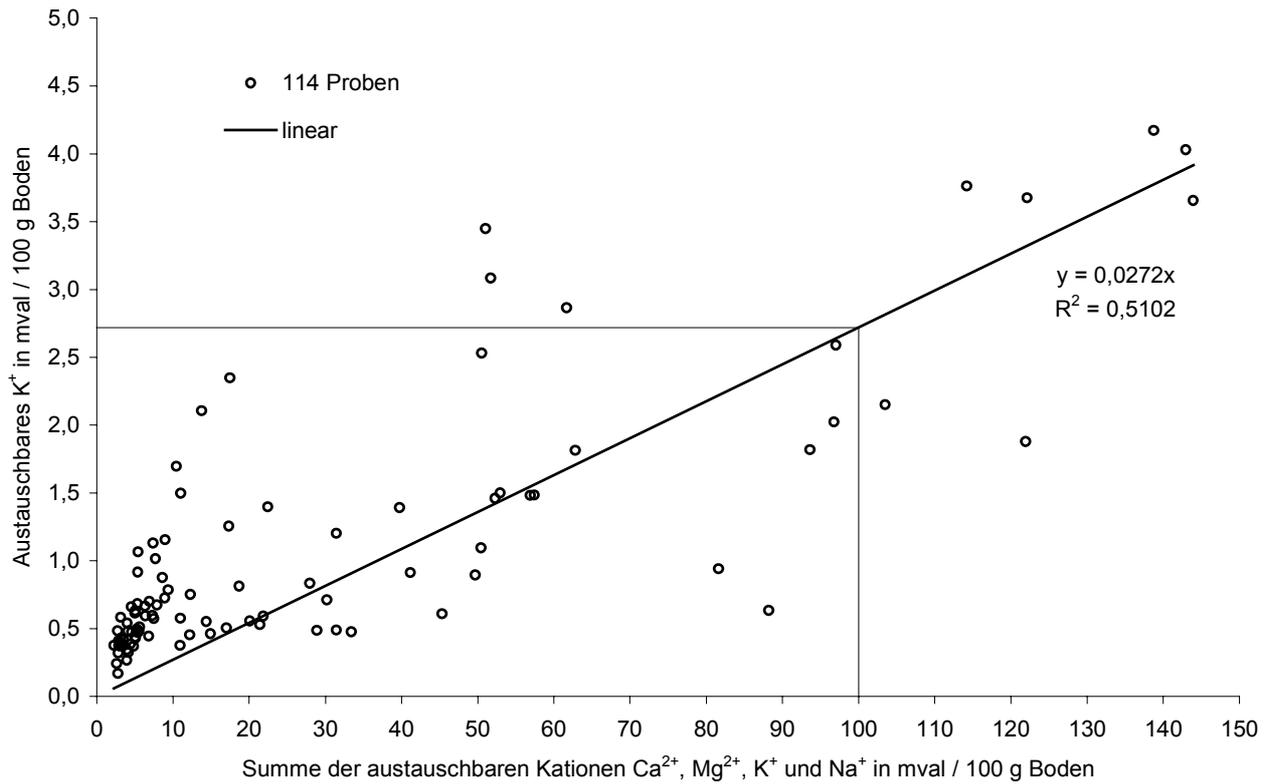


Abb. 107: Korrelation zwischen dem austauschbarem Kalium (K^+) und der Summe der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ der Horizonte

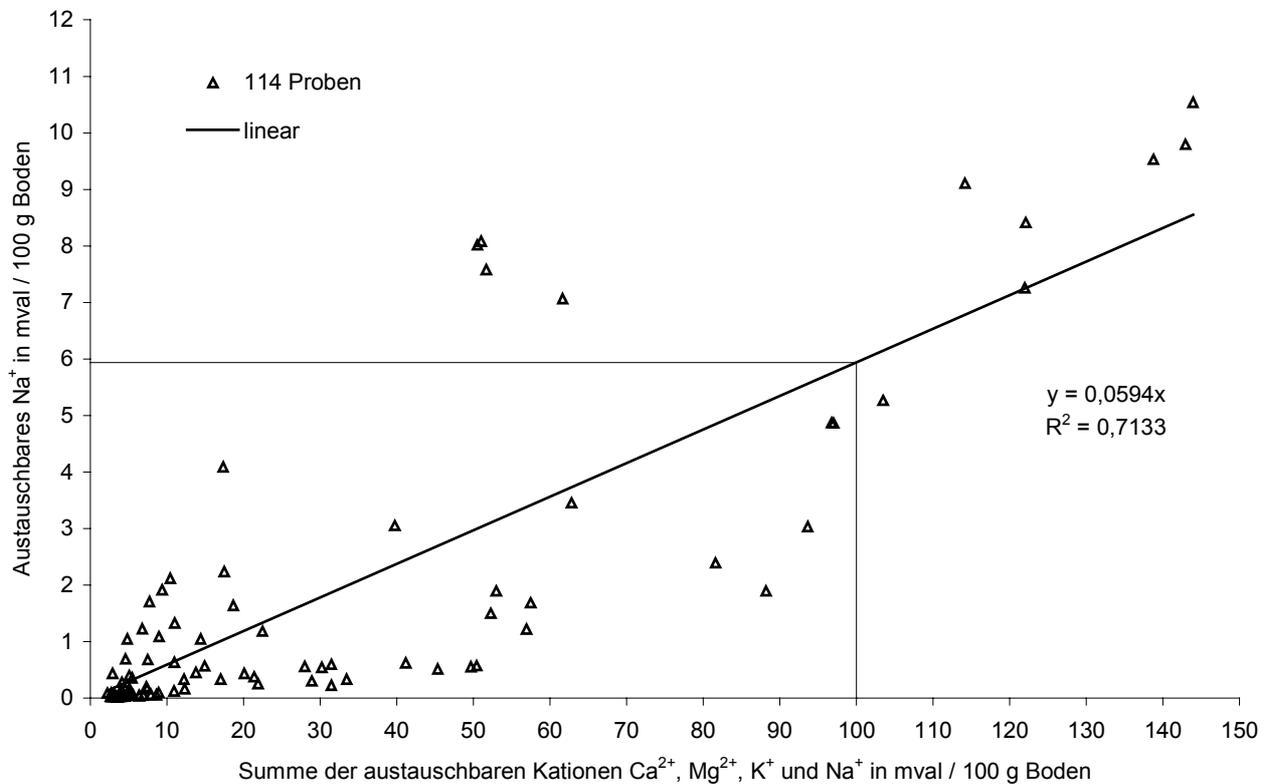


Abb. 108: Korrelation zwischen dem austauschbarem Natrium (Na^+) und der Summe der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ der Horizonte

Die Beziehung zwischen den NH_4OAc -extrahierbaren Kationen und dem Anteil der löslichen Kationen an den NH_4OAc -extrahierbaren Kationen zeigen die Abbildungen 108 bis 112. Der Anteil des löslichen Calciums an dem NH_4OAc -extrahierbaren Calcium beträgt unabhängig von dem Gehalt an extrahierbarem Calcium bis auf zwei Ausnahmen zwischen 0,2 und 5,6 % (Abb. 109). Der Anteil des löslichen Magnesiums nimmt mit steigendem Gehalt an extrahierbarem Magnesium ab und erreicht Werte um 20 (bzw. 35) % (Abb. 110). Die Anteile des löslichen Kaliums betragen mehr oder weniger unabhängig von dem Gehalt an extrahierbarem Kalium (bis auf eine Ausnahme < 5 %) zwischen 0,6 und 30 (37) % (Abb. 111). Der Anteil des löslichen Natriums an dem NH_4OAc -extrahierbaren Natrium liegt mit einer Ausnahme über 10 % und erreicht bei hohen Gehalten an extrahierbarem Natrium (bei den stark versalzten Horizonten grundwasser- und salzbeeinflusster Böden) Werte von 80 (89) % (Abb. 112). Der Anteil der Summe der löslichen Kationen an der Summe der extrahierbaren Kationen beträgt max. 38 % (Abb. 113).

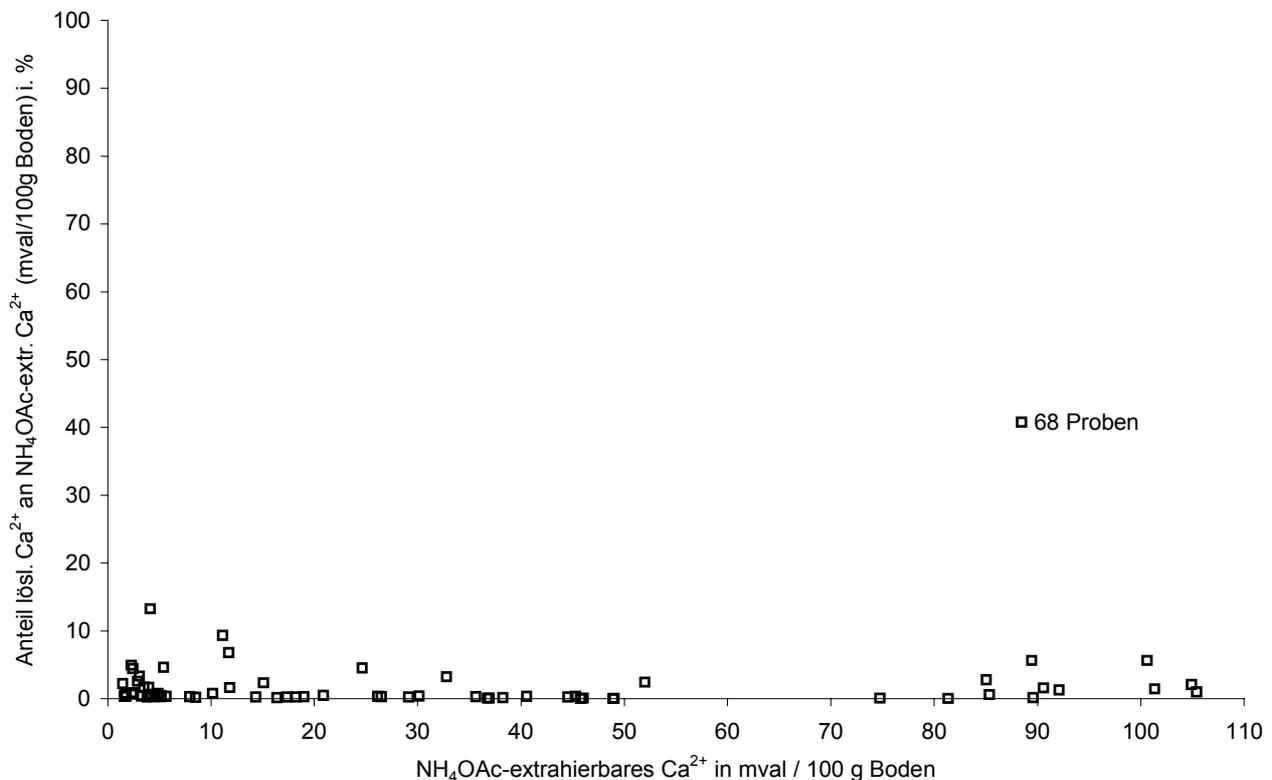


Abb. 109: Beziehung zwischen dem NH_4OAc -extrahierbaren Calcium und dem Anteil des löslichen Calciums an dem NH_4OAc -extrahierbaren Calcium der Horizonte

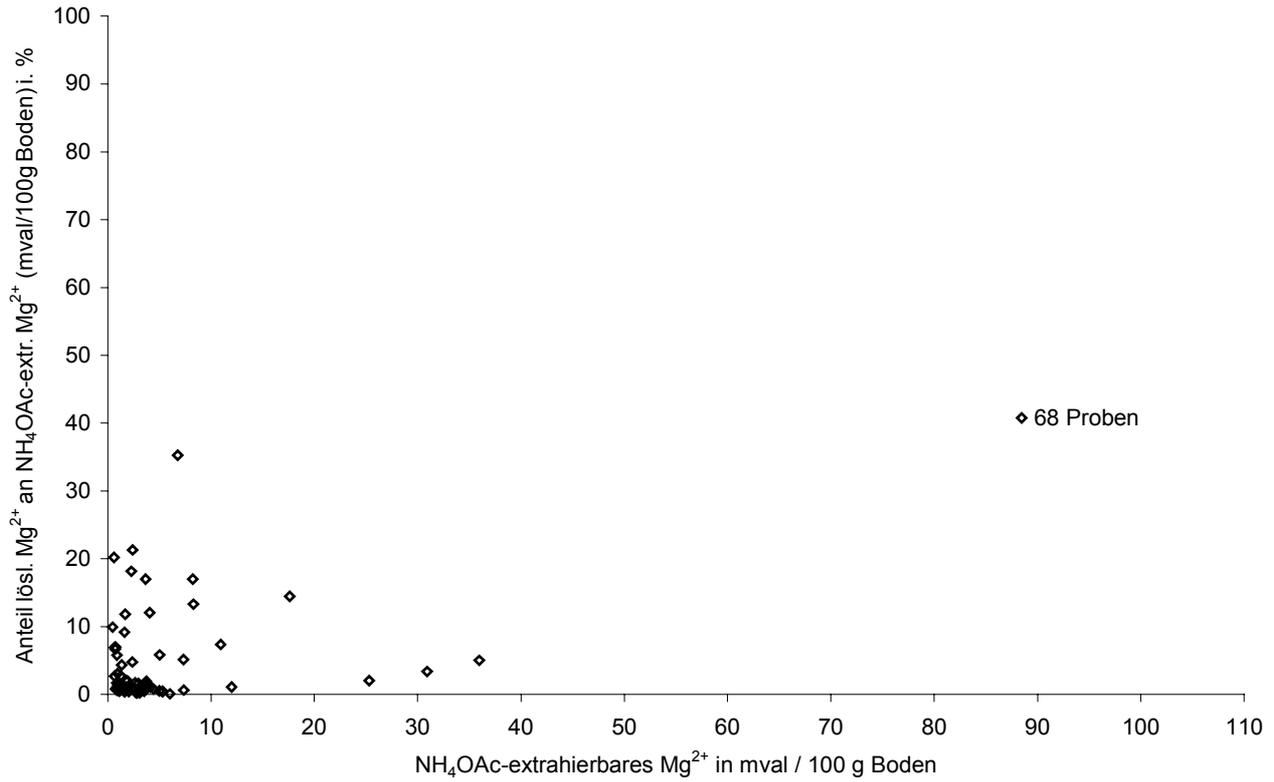


Abb. 110: Beziehung zwischen dem NH_4OAc -extrahierbaren Magnesium und dem Anteil des löslichen Magnesiums an dem NH_4OAc -extrahierbaren Magnesium der Horizonte

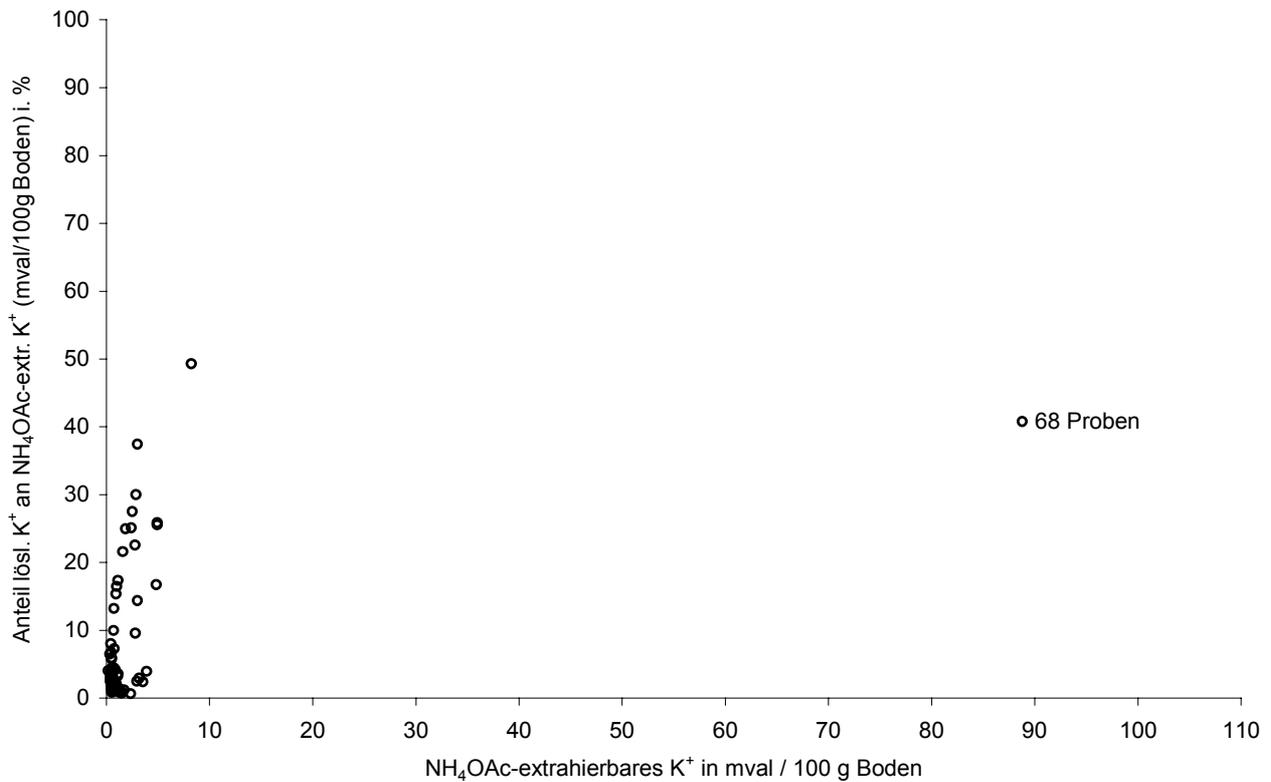


Abb. 111: Beziehung zwischen dem NH_4OAc -extrahierbaren Kalium und dem Anteil des löslichen Kaliums an dem NH_4OAc -extrahierbaren Kalium der Horizonte

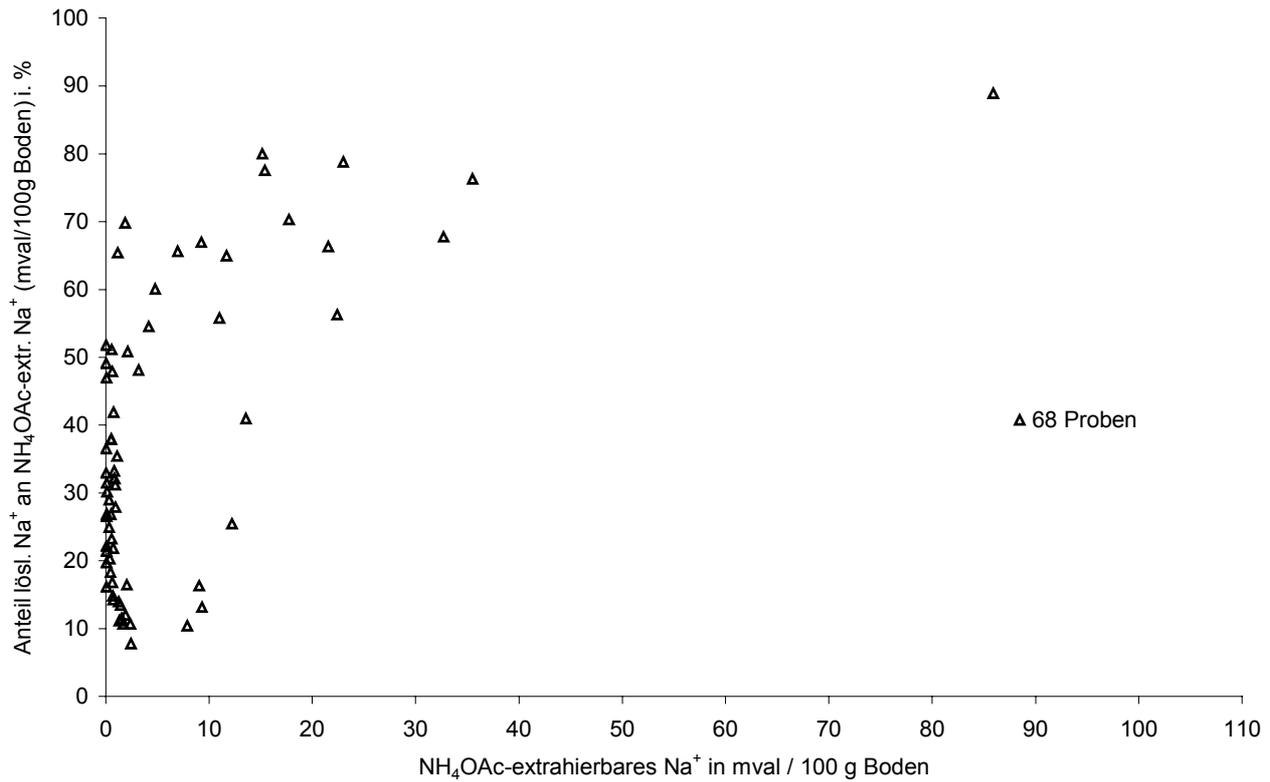


Abb. 112: Beziehung zwischen dem NH_4OAc -extrahierbaren Natrium und dem Anteil des löslichen Natriums an dem NH_4OAc -extrahierbaren Natrium der Horizonte

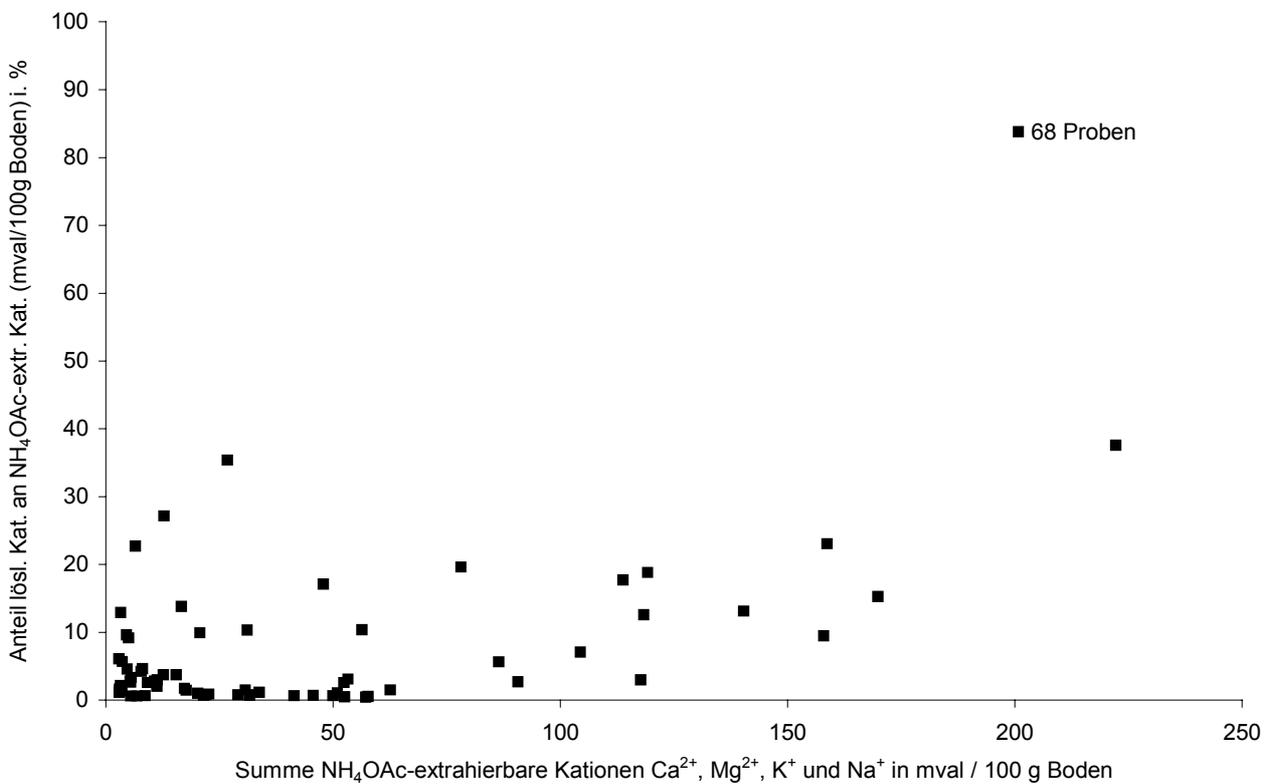


Abb. 113: Beziehung zwischen der Summe der NH_4OAc -extrahierbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ (Basen) und dem Anteil der löslichen Kationen an der Summe der NH_4OAc -extrahierbaren Kationen der Horizonte

Eine Korrelation besteht zwischen der Summe der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ (austauschbare Basen) und dem Humusgehalt (schwache Korrelation; Abb. 114), dem Carbonatgehalt (starke Korrelation; Abb. 115) sowie der Bodenart (stellvertretend für den Tongehalt; sehr schwache Korrelation; Abb. 116). Eine Scheinkorrelation (übermäßig starker Einfluss anderer Parameter) besteht zwischen Summe der austauschbaren Kationen und dem Salzgehalt (nach EC_5) (Abb. 117) sowie dem $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ (Abb. 118). Die Tatsache, dass bei der Bestimmung der austauschbaren Kationen durch das Ammoniumacetat Calciumcarbonat gelöst (vgl. Kap. 3) und somit das austauschbare Calcium erhöht wird, wird in Abb. 119 deutlich, in welcher die Korrelation ($R^2 = 0,8$) zwischen dem Carbonatgehalt und dem austauschbaren Calcium dargestellt ist.

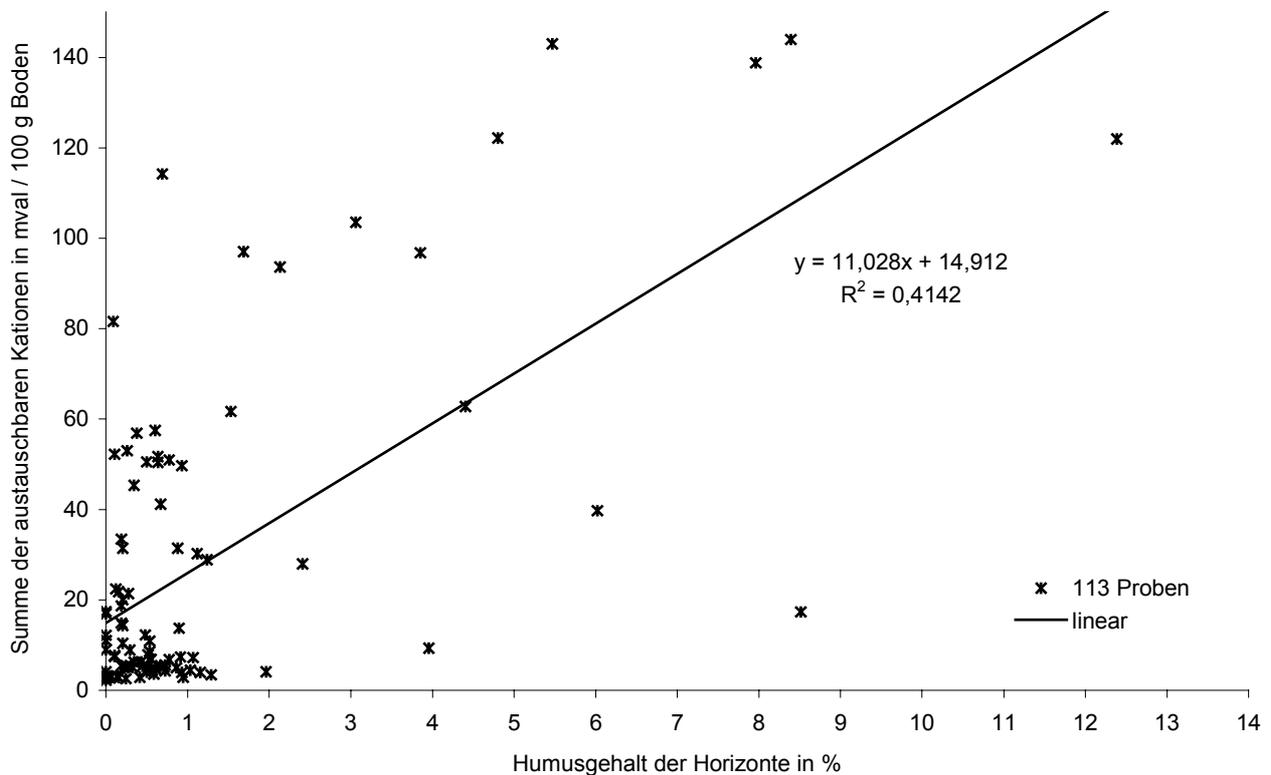


Abb. 114: Korrelation zwischen der Summe der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ (austauschbaren Basen) und dem Humusgehalt der Horizonte

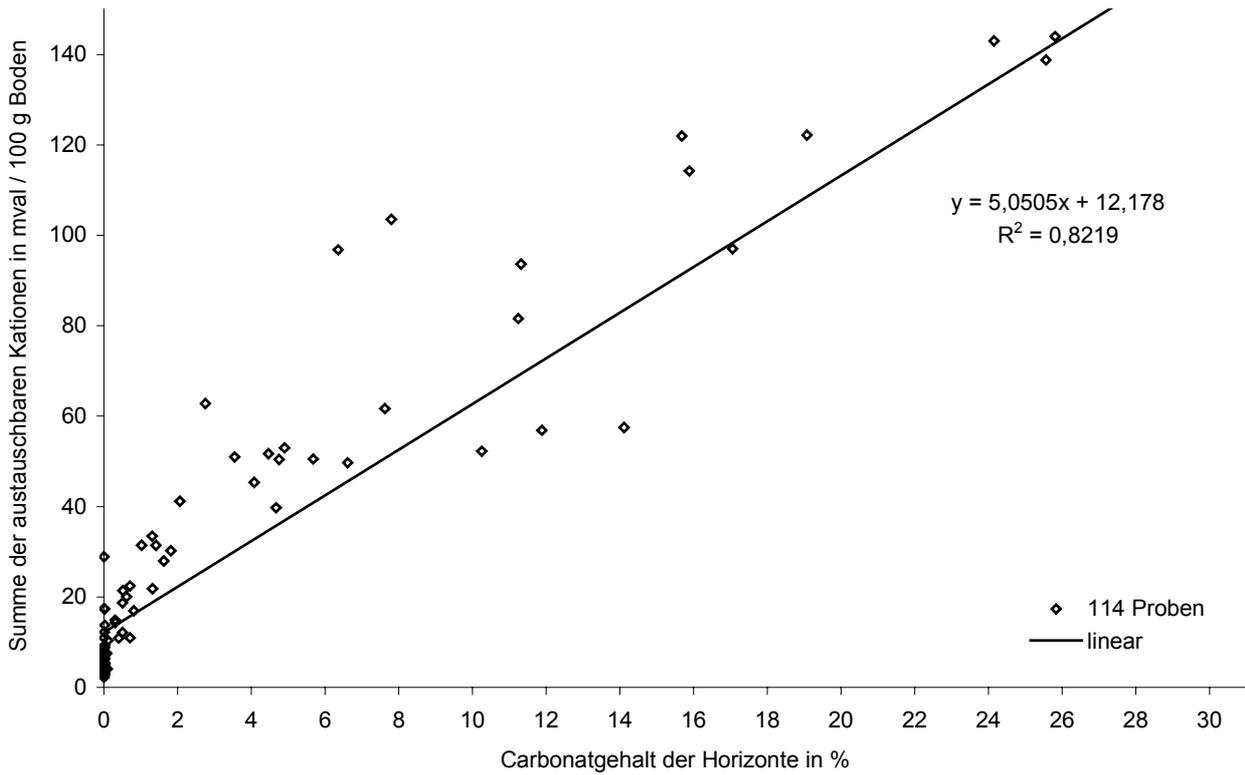


Abb. 115: Korrelation zwischen der Summe der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ (austauschbaren Basen) und dem Carbonatgehalt der Horizonte

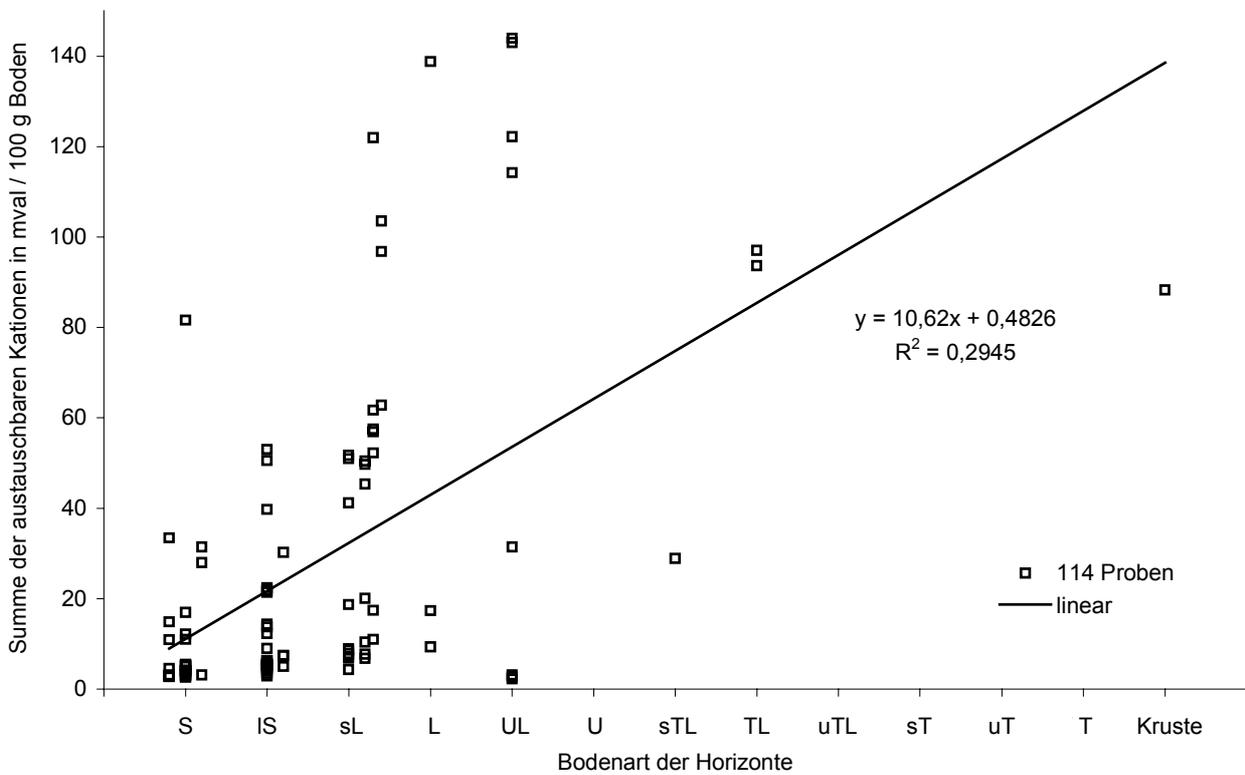


Abb. 116: Korrelation zwischen der Summe der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ (austauschbaren Basen) und der Bodenart der Horizonte

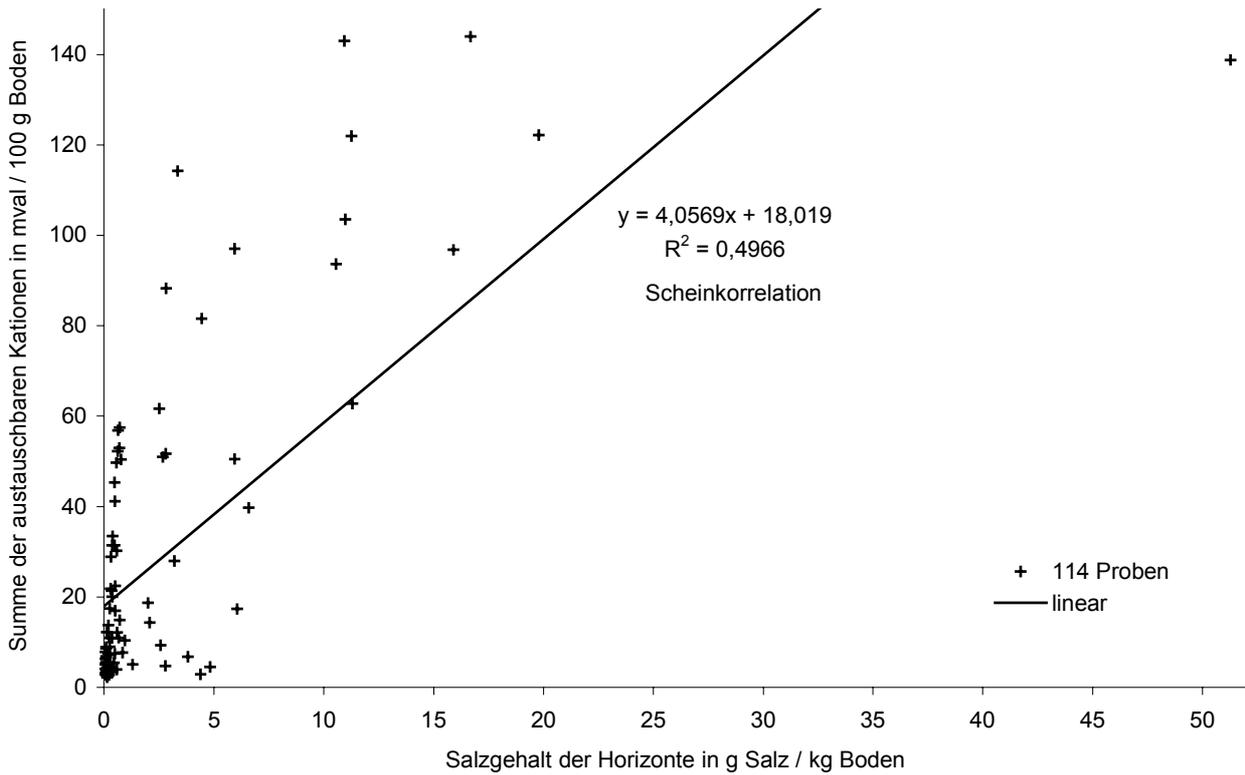


Abb. 117: Scheinkorrelation zwischen der Summe der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ (austauschbaren Basen) und dem Salzgehalt (nach EC_5) der Horizonte

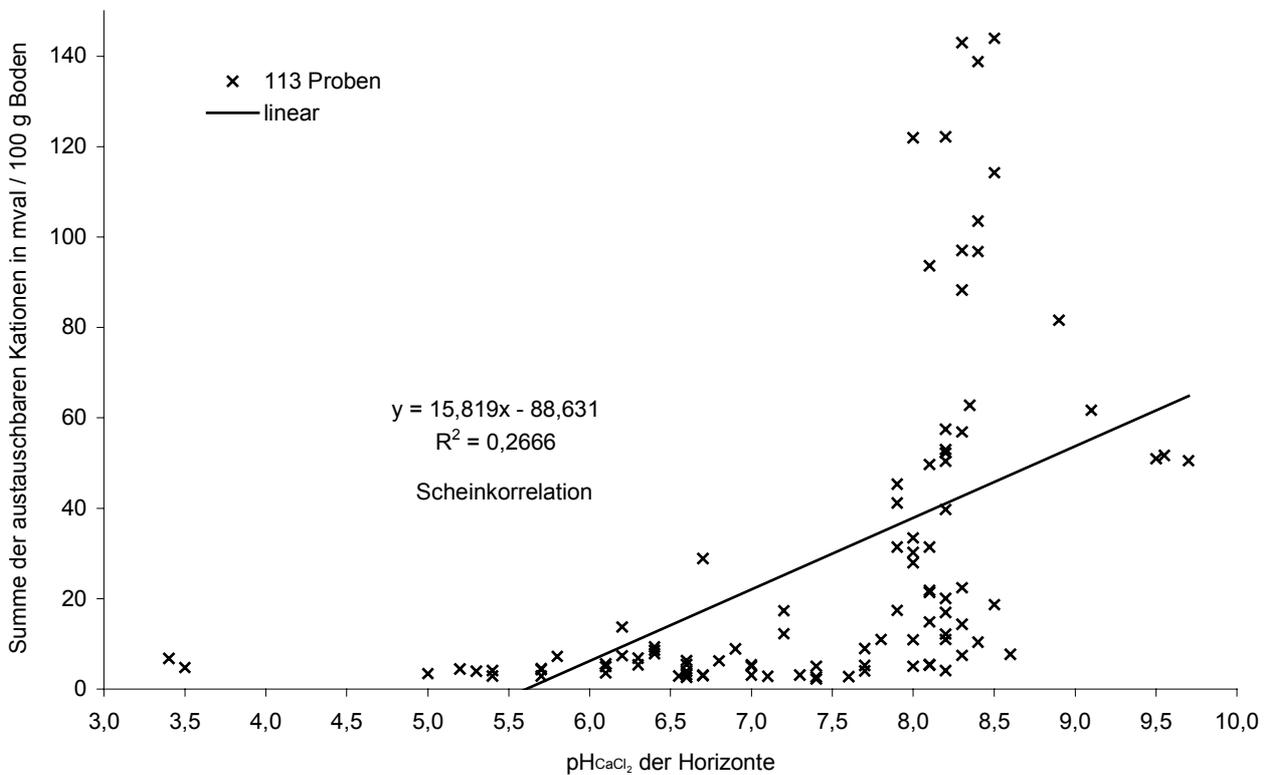


Abb. 118: Scheinkorrelation zwischen der Summe der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ (austauschbaren Basen) und dem pH_{CaCl_2} der Horizonte

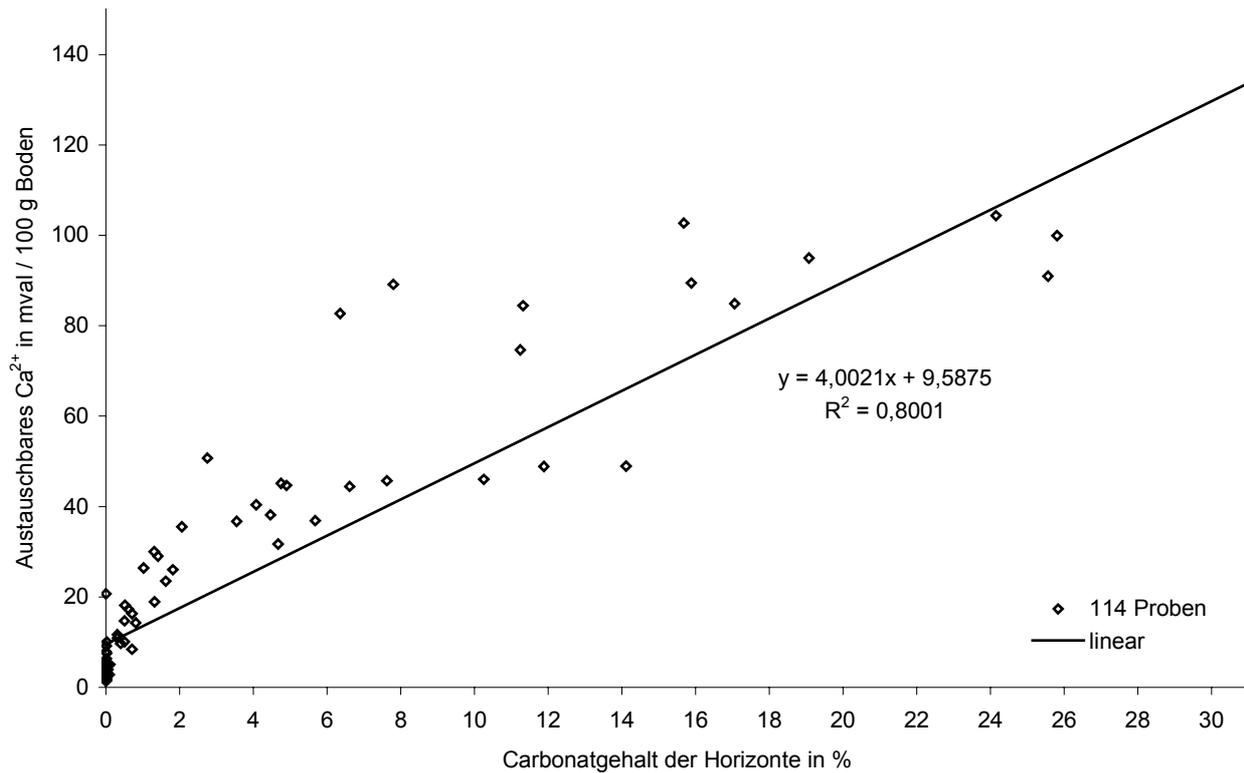


Abb. 119: Korrelation zwischen dem Carbonatgehalt und dem austauschbaren Calcium der Horizonte

pH_e -Werte $> 7,4 / 7,5$ werden im allgemeinen nur bei hohen SAR-Werten erreicht (vgl. Kap. 2 und RICHARDS 1954) (Abb. 120). Ein ähnlicher Zusammenhang besteht zwischen hohen Borgehalten und pH_e -Werten (vgl. SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1998) (Abb. 121).

Die Berechnung eines Korrelationskoeffizienten für die Beziehung zwischen der Bodenart und den Salzgehalt (nach EC_5) sowie dem EC_e ergibt, dass es keine Korrelation zwischen diesen Parametern gibt (Abb. 122 und 123). Das heißt aber nicht, dass die Bodenart überhaupt keinen Einfluss auf die Verteilung der Salze innerhalb der Bodenprofile besitzt. Vielmehr kann anhand der durchgeführten Aufnahmen und Analysen keine Aussage getroffen werden.

Zwischen der Bodenart und dem Carbonatgehalt hingegen wurde eine Korrelation ($R^2 = 0,56$) festgestellt (Abb. 124), die vermutlich darauf beruht, dass Carbonat überwiegend in feineren Fraktionen auftritt, u.a. bedingt durch die Vorbehandlung (Mörsern) bei der Korngrößenanalyse (es erfolgte keine chemische Zerstörung der Carbonate, vgl. Abschn. 3.2.1).

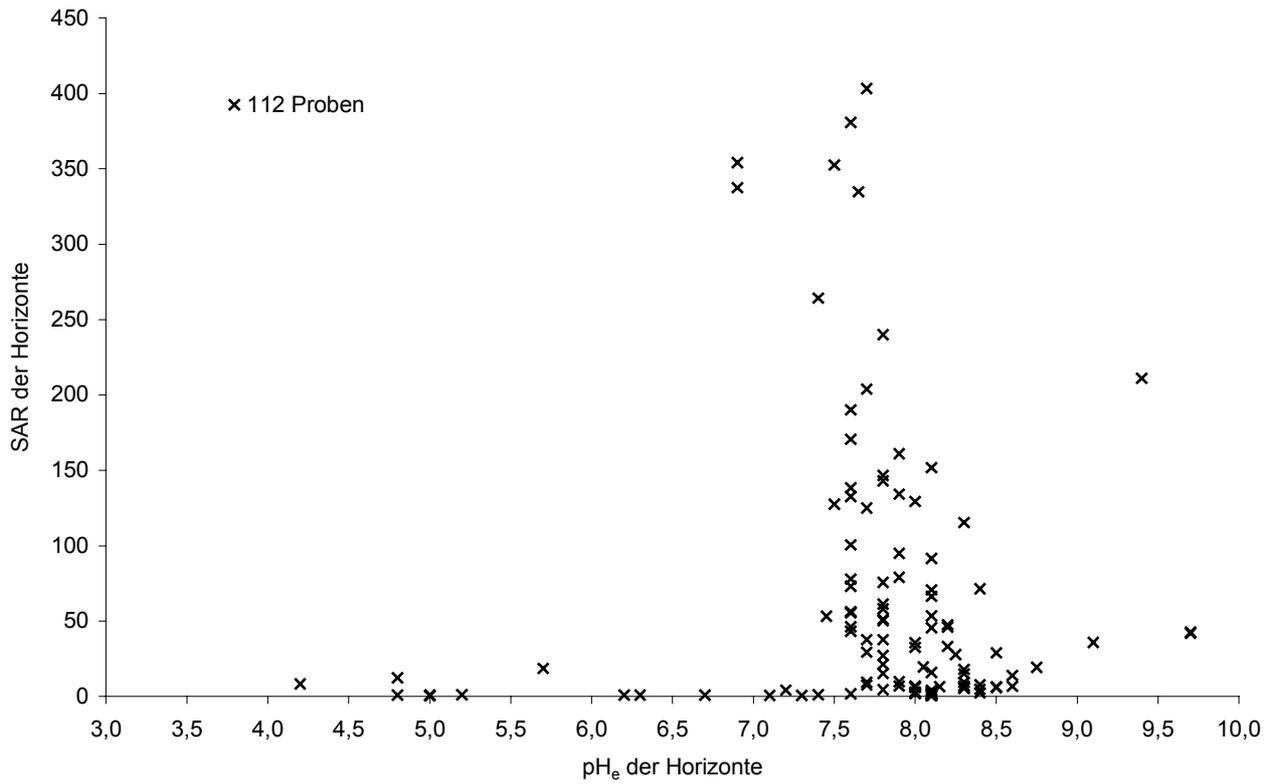


Abb. 120: Beziehung zwischen dem pH_e und dem SAR der Horizonte

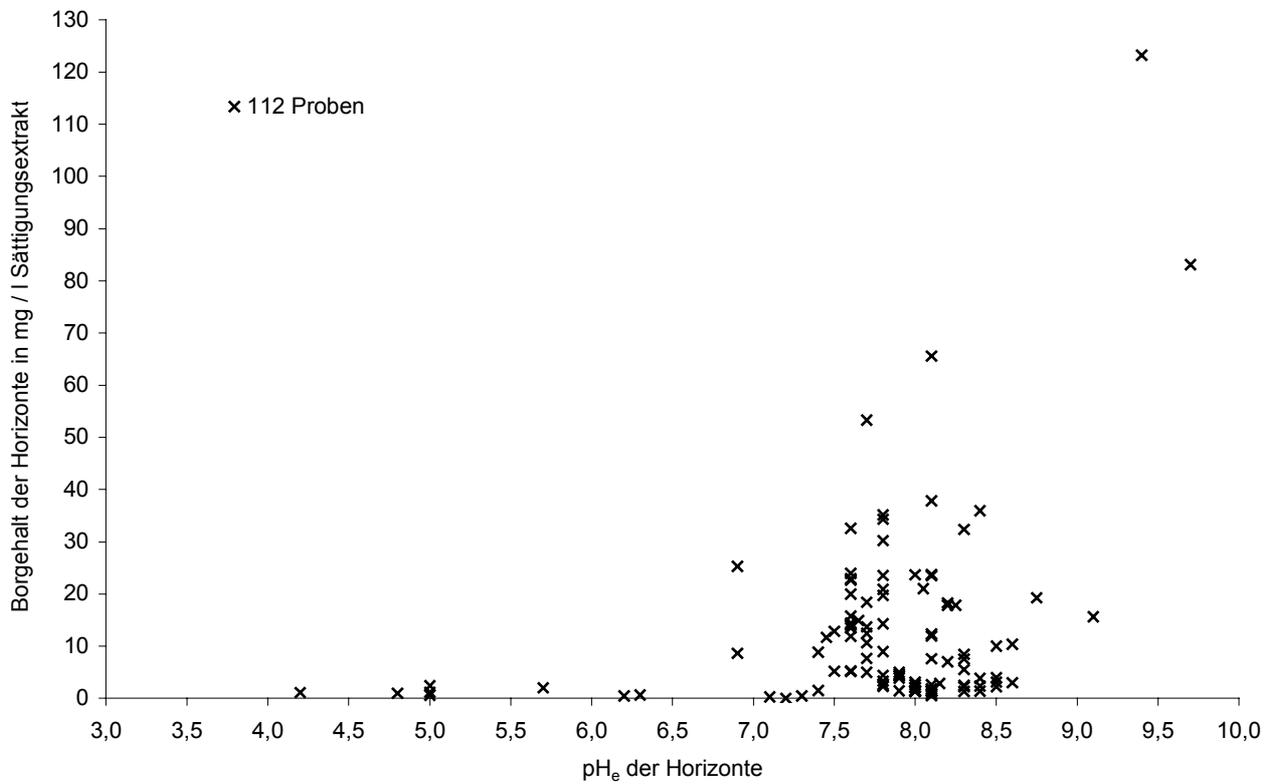


Abb. 121: Beziehung zwischen dem pH_e und dem Borgehalt der Horizonte

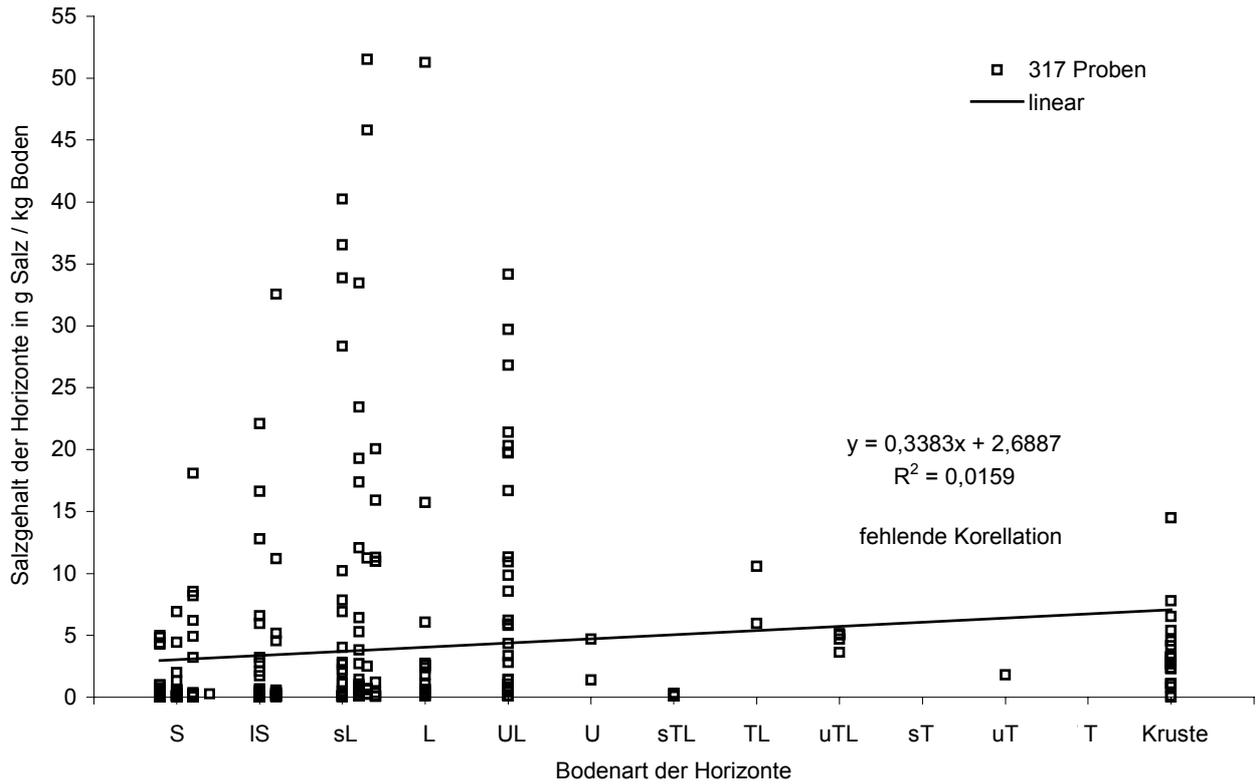


Abb. 122: Fehlende Korrelation zwischen der Bodenart und dem Salzgehalt (nach EC₅) der Horizonte

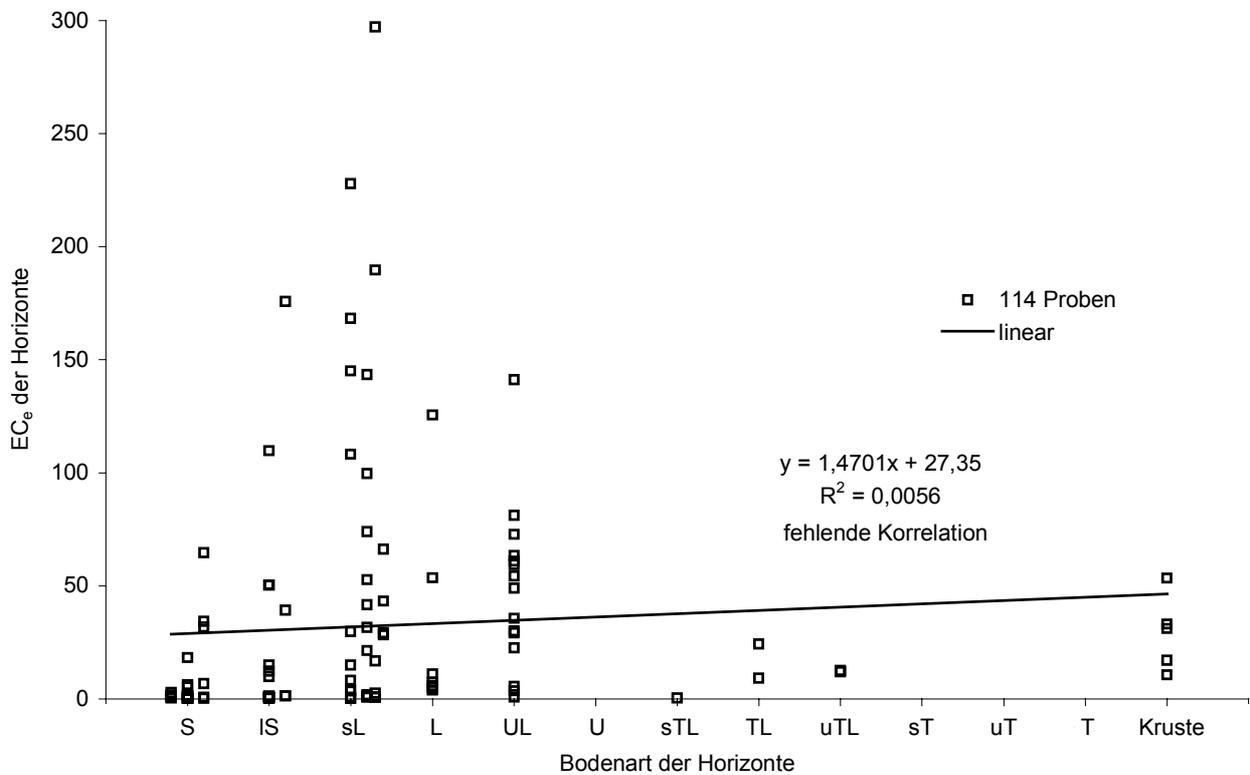


Abb. 123: Fehlende Korrelation zwischen der Bodenart und dem EC_e der Horizonte

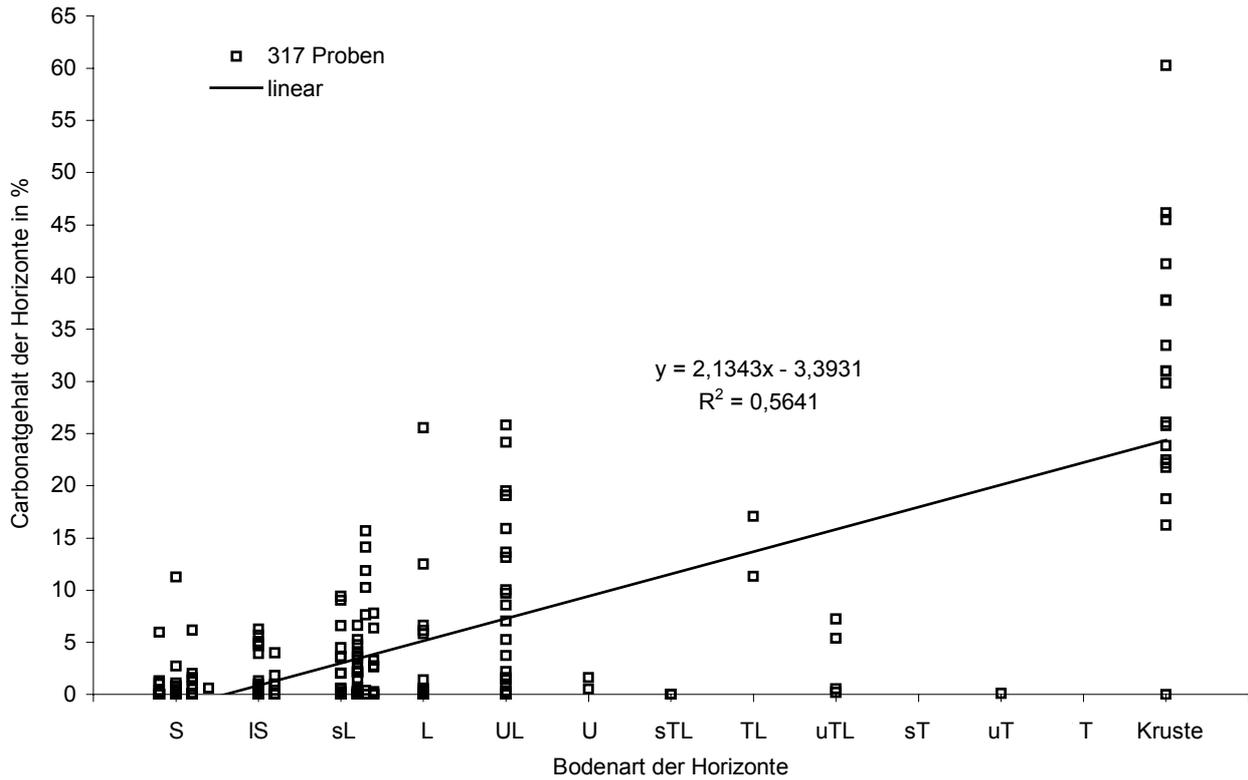


Abb. 124: Korrelation zwischen der Bodenart und dem Carbonatgehalt der Horizonte

Die Beziehung zwischen dem $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ und dem pH_e zeigt die Abb. 125. Der pH_e ist bei Salzböden in der Regel niedriger als der $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$; der Quotient aus pH_e und $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ ist somit bei hohen Salzgehalten kleiner 1 (Abb. 125). Der Grund hierfür liegt in der gegenüber der 1:2,5 0,01 m CaCl_2 -Bodensuspension höheren Gesamtsalzkonzentration des Sättigungsextraktes. Salze bewirken über die Herabsetzung der Hydrolyse eine Erniedrigung des pH-Wertes (vgl. SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1998, 111 und Kap. 5).

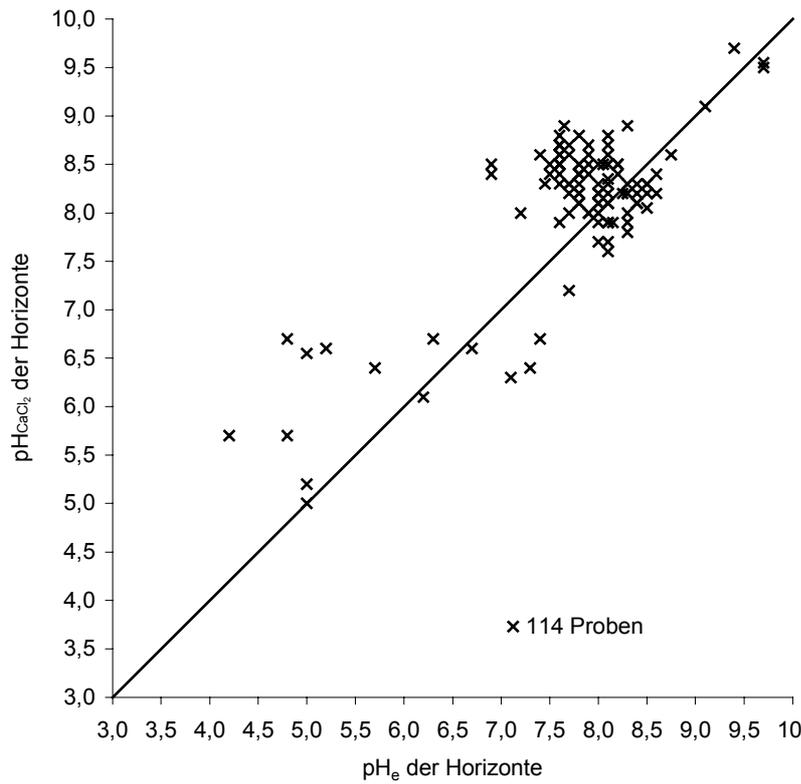


Abb. 125: Beziehung zwischen pH_{CaCl₂} und pH_e

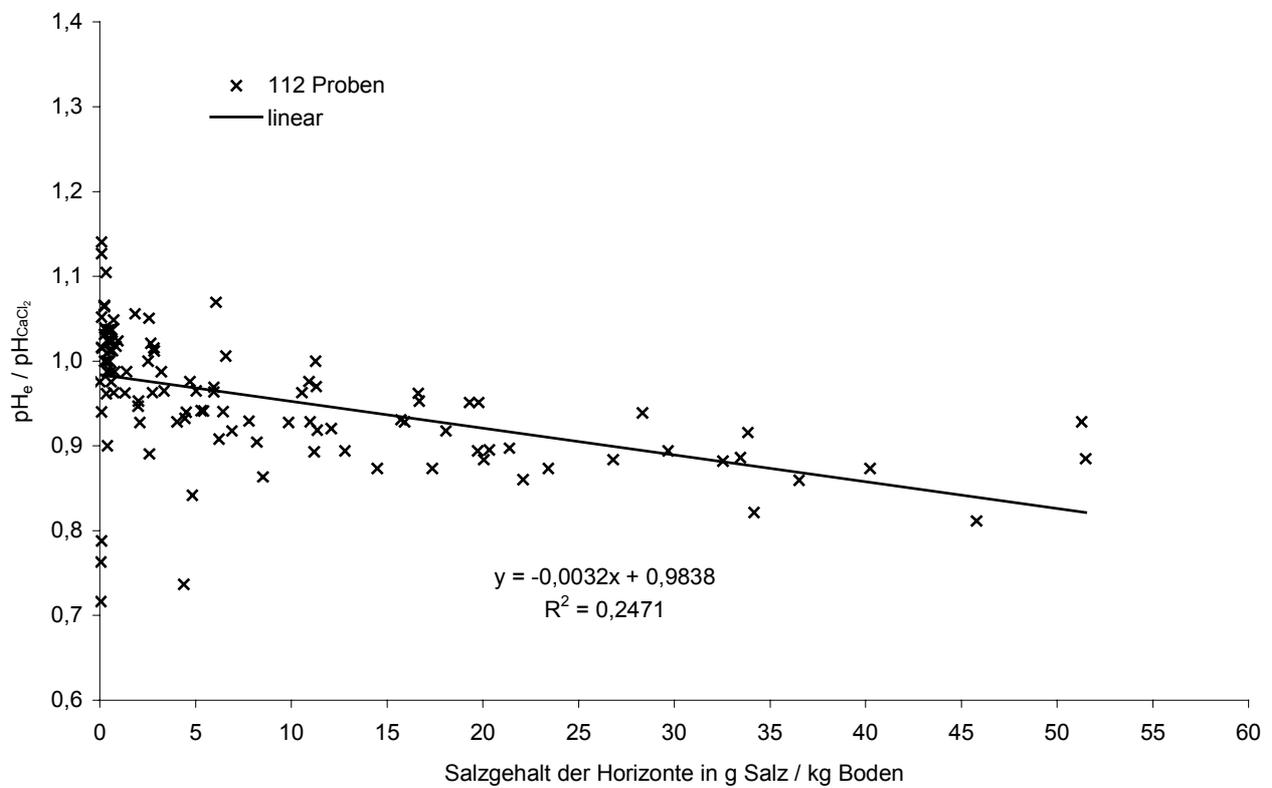


Abb. 126: Beziehung zwischen dem Salzgehalt und dem Quotienten aus pH_e und pH_{CaCl₂}

7 Die Ausscheidung von Vegetationseinheiten – Analyse des Einflusses verschiedener Parameter auf die Ausbildung der Vegetation

Auf der Grundlage der Vegetationsaufnahmen an den einzelnen Standorten (eine zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse erfolgte bereits in Kapitel 5; auch Tabellen zur Vegetation der Standorte im Anhang), wurden die Vegetationstabellen 20 a und 20 b (Anlage) erstellt, wobei die ausgeschiedenen Vegetationshaupt- und Vegetationsuntereinheiten ebenfalls bereits in den Kapiteln 4 (Tab. 23) und 5 (Text und Tabellen zu den Lageparametern der Standorte im Anhang) für die einzelnen Standorte genannt sind. Es wurde die Nomenklatur des MISSOURI BOTANICAL GARDEN w^3 TROPICOS, verfügbar über Internet (s. Literaturverzeichnis), verwendet. Die von Frau Prof. Dr. RUTHSATZ bestimmte Cactaceae *Mayeniopsis* wurde in w^3 TROPICOS jedoch nicht gefunden. Fotos zahlreicher Taxa befinden sich im Anhang; die Nummern der Fotos sind in den Vegetationstabellen 20 a und 20 b genannt. Der Begriff Deckungsgrad der Art (KNAPP, 1971, 34) wird in der vorliegenden Arbeit synonym zu dem Begriff Artmächtigkeit (BRAUN-BLANQUET 1964, 39 f.; kombinierte Schätzung von Abundanz und Deckung) verwendet (vgl. Tab. 8 in Kap. 3).

7.1 Allgemeines

Die geordnete Vegetationstabelle für die Regenzeit in der Anlage (Tab. 20 a) zeigt drei Cluster. Da in der Regenzeit 35 Standorte und in der Trockenzeit nur 16 Standorte aufgenommen wurden, wurde die Anordnung der Standorte und Arten von der Vegetationstabelle 20 a (Regenzeit) auf die Vegetationstabelle 20 b (Trockenzeit) übertragen. Es wurden drei Hauptvegetationseinheiten und zwei Übergangseinheiten auf der oberen Klassifikationsebene ausgeschieden. Diese fünf Einheiten sind in insgesamt 8 Untereinheiten gegliedert.

Die Arten, die innerhalb einer Gruppe von Standorten mit einer sehr hohen Stetigkeit und hohen Artmächtigkeit vorkommen und an anderen Standorten nicht vertreten sind, geben den drei Hauptvegetationseinheiten den Namen und werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit als Charakterarten (Ch.) bezeichnet. Der Begriff Charakter- oder Kennart (Ch.) wird nicht im streng pflanzensoziologischen Sinne nach BRAUN-BLANQUET (1964, 91 ff.) benutzt, da es sich bei den ausgeschiedenen Vegetationseinheiten nicht um Assoziationen, Verbände etc., sondern um, von der Verfasserin ausgeschiedene, Vegetationseinheiten handelt, die auf den Vegetationsaufnahmen eines eng begrenzten Raumes beruhen. Eine Zuordnung der im Rahmen dieser Arbeit ausgeschiedenen Vegetationseinheiten zu denen anderer Autoren ist jedoch z.T. möglich (s.u.).

Die Arten *Fabiana densa*, *Lampaya castellani* und *Distichilis humilis* treten jeweils bei einem Teil der Aufnahmen mit einer hohen Artmächtigkeit auf und schließen sich gegenseitig aus, d.h. an keinem der untersuchten Standorte kommt mehr als eine der drei Arten vor. Diese Arten sind namensgebend für die drei Hauptvegetationseinheiten (s.o.). Die Areale der Standorteinheiten decken sich mit denen der ausgeschiedenen Vegetationseinheiten. *Fabiana densa* ist die Charakterart der Standorte der Gebirge, *Lampaya castellani* die der äolisch geprägten Alluvialebene und *Distichilis humilis* die der grundwasser- und salzbeeinflussten Alluvialebene. Bei den beiden erstgenannten Arten handelt es sich um Sträucher, bei der letztgenannten Art um eine etwa 1 cm hohe *Poaceae*, die in Rasen wächst. *Salicornia pulvinata* und *Anthobryum triandrum*, die in Polstern wachsen (vgl. RUTHSATZ 1978, 497), treten wie *Distichilis humilis* ebenfalls ausschließlich in den grundwasserbeeinflussten, versalzten Bereichen der Alluvialebene auf. Da sie jedoch nur an 8 bzw. 9 der 10 aufgenommenen Standorte der grundwasserbeeinflussten Alluvialebene vorkom-

men, wurde die Hauptvegetationseinheit nicht nach diesen Arten benannt, obwohl es sich um Charakterarten der Einheit handelt.

An insgesamt drei der 35 untersuchten Standorte tritt keine der drei genannten Arten auf. Aufgrund der Artenkombination und der Ausprägung der Standortparameter wurden zwei dieser Standorte sowie ein Standort, an dem *Fabiana densa* nur gering (+) vorhanden ist, als Übergangseinheit zwischen der *Fabiana densa* - Vegetationseinheit und der *Lampaya castellani* - Vegetationseinheit und ein Standort als Übergangseinheit zwischen der *Lampaya castellani* - Vegetationseinheit und der *Distichilis humilis* - Vegetationseinheit ausgegliedert. Die erstgenannte Vegetationseinheit findet seine Verbreitung im Bereich des Hangfußes der Gebirge, der letztgenannte in der schwach grundwasser- und salzbeeinflussten Alluvialebene.

Die Tabelle 390 zeigt die Vegetationshaupteinheiten und -untereinheiten, wie sie im Rahmen der vorliegenden Arbeit ausgeschieden wurden. Die Untereinheiten werden nach der „charakteristischen Artenkombination“ benannt. Insofern es sich nicht um eine der beiden Übergangseinheiten handelt, wird zuerst die Charakterart der Hauptvegetationseinheit *Fabiana densa*, *Lampaya castellani* bzw. *Distichilis humilis* genannt, darauf folgen, jeweils durch einen Bindestrich (-) getrennt, die Namen der Arten, die in dieser Untereinheit (sowie in bis zu drei angrenzenden Untereinheiten) mit (80 bis) 100 %iger Stetigkeit und hoher Artmächtigkeit auftreten. Einige dieser Arten erfüllen die Kriterien von Trennarten. Nach BRAUN-BLANQUET (1964, 91 ff.) sind Trenn- oder Differentialarten Taxa, „die ohne strenge soziologische Bindung, d.h. ohne unter die Kennarten zu fallen, nur in einer von zwei oder mehreren verwandten Gesellschaften auftreten und dadurch bestimmte biotische, edaphische, mikroklimatische, chorologische und genetische Unterschiede aufzeigen“. Für Untereinheiten namensgebend, aber nicht als Trennart zu bezeichnen ist z.B. *Baccharis incarum*, da sie in beiden Untereinheiten der Hauptvegetationseinheit *Fabiana densa* vorkommt.

Dieses Verfahren wurde gewählt, da jede der namensgebenden Arten offensichtlich ein aufgrund der Ausprägung der Standortparameter relativ scharf abgegrenztes Areal innerhalb des Untersuchungsgebietes besitzt, wobei sich die Areale der namensgebenden Arten, mit Ausnahme der drei Halophyten, nicht decken. Die Lage und Größe der Areale spiegelt die Toleranz der Arten gegenüber den räumlich und zeitlich wechselnden Standortbedingungen wider. So ist die Charakterart der zonalen Vegetation der Puna *Festuca orthophylla* als euryök und sind die Charakterarten der azonalen Halophytenvegetation *Distichilis humilis*, *Salicornia pulvinata* und *Anthobryum triandrum* als stenök zu bezeichnen.

Aufgrund der hohen Zahl steter Arten sind bei den beiden Untereinheiten der *Fabiana densa* - Vegetationseinheit nur die Arten namensgebend, die bei der Mehrzahl der Standorte der Untereinheit mit einer Artmächtigkeit von mindestens 1 auftreten.

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit im Bereich von Huachacalla aufgenommenen Bestände zeigen z.T. ähnliche Artenzusammensetzungen wie die von RUTHSATZ (1977) in Nordwest-Argentinien untersuchten Pflanzenbestände. Hiernach sind die Vegetationseinheiten 1 bis 4 dem Verband *Fabianion densae* und die Vegetationseinheit 5 dem Verband *Salicornio-Distichilidion humilis* von RUTHSATZ (1977) zuzuordnen (s. Tab. 390).

Die Angaben zu den Bodenparameter in diesem Kapitel beziehen sich, insofern keine andere Angabe gemacht wird, auf das nach Durchwurzelungsintensität und Mächtigkeit der Bodenhorizonte gewichtete Mittel im Wurzelraum eines Standortes (vgl. Tab. 7, Kap. 3). Diese finden sich in den Zeilen 11 bis 21 der Vegetationstabellen für die Regenzeit und die Trockenzeit (Tab. 20 a und 20 b

in der Anlage). In der Tabelle 390 und im nachfolgenden Text wird für die jeweilige Vegetationseinheit die Spannweite der Werte für den Wurzelraum an den einzelnen Standorten dieser Einheit angegeben. Generell sind in diesem Kapitel alle Prozentangaben Masseprozent, außer bei der Angabe der Vegetationsdeckung. Der Begriff Standort wird häufig im Sinne von Vegetationsbestand benutzt.

Tab. 390: Liste der Vegetationseinheiten im Bereich von Huachacalla

- 1 *Fabiana densa* - Vegetationseinheit der Gebirge mit in situ entstandenen extrem schwach, sehr schwach bis schwach humosen (0,5-2 % organische Substanz), carbonat- und gipsfreien, nicht versalzten (< 0,05 % Salz), mäßig sauren bis neutralen, skelettreichen, verbrauchten Sand-, lehmigen Sand-, sandigen Lehm- oder Lehmböden
 - 1 a *Fabiana densa* - *Baccharis boliviensis* - *Opuntia* ssp. - *Adesmia* ssp. - *Stipa* ssp.
 - 1 b *Fabiana densa* - *Baccharis incarum* - *Adesmia* ssp. - *Stipa* ssp. - *Parastrephia lepidophylla*

- 2 Übergang zwischen *Fabiana densa* - und *Lampaya castellani* - Vegetationseinheit der Hangfußbereiche mit extrem schwach humosen (< 0,6 % organische Substanz), gips- und carbonatfreien bis sehr carbonatarmen, nicht versalzten (0,01-0,02 % Salz), schwach sauren bis neutralen, nicht bzw. sehr schwach verbrauchten Böden, die einem Wechsel von Sand- oder lehmigen Sandschichten, die z.T. skelettreich (fluviatil transportierte, gerundete Steine) sind, zeigen.
 - 2 a *Baccharis incarum* - *Adesmia* ssp. - *Stipa* ssp. - *Parastrephia lepidophylla* - *Festuca orthophylla*

- 3 *Lampaya castellani* - Vegetationseinheit der äolisch geprägten Alluvialebene mit extrem schwach bis schwach humosen (0,05-0,7 % organische Substanz), z.T. carbonathaltigen, meist gipsfreien, selten sehr gering gipshaltigen, nicht bis sehr gering versalzten (0,005-0,07 % Salz im Wurzelraum), neutralen bis mäßig alkalischen, nicht bzw. sehr schwach verbrauchten Böden, die durch einem Wechsel von Sand-, lehmigen Sand- oder sandigen Lehmschichten, die z.T. skelettreich (transportierte, runde Steine) sind, gekennzeichnet sind.
 - 3 a *Lampaya castellani* - *Parastrephia lepidophylla* - *Festuca orthophylla*

- 4 Übergang zwischen *Lampaya castellani* - und *Distichilis humilis* - Vegetationseinheit der saisonal schwach grundwasser- und salzbeeinflussten Alluvialebene mit extrem schwach humosen, carbonathaltigen, gipsfreien, gering versalzten (0,1 % Salz), mäßig alkalischen, z.T. skelettreichen, nicht bzw. sehr schwach verbrauchtem Boden, in dem Sand-, lehmige Sand- oder sandige Lehmschichten innerhalb des Bodenprofils wechseln
 - 4 a *Festuca orthophylla*

- 5 *Distichilis humilis* - Vegetationseinheit der grundwasserbeeinflussten Alluvialebene mit extrem schwach bis sehr stark humosen (0,2-12 % organische Substanz), schichtenweise carbonatreichen, selten sehr gering gipshaltigen, im Oberboden stark bis extrem stark versalzten (bis 5 % Salz), natriumreichen, (schwach,) mäßig bis sehr stark alkalischen, z.T. skeletthaltigen Böden, die durch einen starken Wechsel von Sand-, lehmigen Sand-, sandigen Lehm-, Lehm- oder Schlufflehmschichten und bei vier Standorten durch Carbonatkrusten innerhalb der Bodenprofile geprägt sind (Salz-, Alkali- und Salzkalkböden).
 - 5 a *Distichilis humilis* - *Salicornia pulvinata* - *Anthobryum triandrum* - *Festuca orthophylla* - *Parastrephia phyllocaeformis*
 - 5 b *Distichilis humilis* - *Salicornia pulvinata* - *Anthobryum triandrum*
 - 5 c *Distichilis humilis* - *Salicornia pulvinata* - *Anthobryum triandrum* – in extrem geringer Deckung (Salztonebene)

7.2 Die Vegetationseinheiten im Untersuchungsgebiet

7.2.1 *Fabiana densa* - Vegetationseinheit

Im Bereich der Standorte der Gebirge (3755 bis 3850 m ü. M. bzw. 25 bis 155 m über dem Niveau der Ebene im Bereich der Catena) tritt *Fabiana densa* mit einer Stetigkeit von 100 %, d.h. an allen 9 dieser Einheit zugeordneten Standorten, und einer Artmächtigkeit von 1 oder 2, d.h. reichlich vorhanden bis 25 % der Aufnahme­fläche deckend, auf. Mit Ausnahme eines Standortes (IV.2), der floristisch und morphologisch einen Übergang zwischen dem Gebirge und dem Hangfußbereich bildet, wo *Fabiana densa* in geringer Artmächtigkeit (+) vorkommt, ist die Art auf diese Einheit beschränkt und bildet somit die Charakterart für die Vegetationseinheit der Gebirge (s.o.). Der Standort IV.2 wurde der Übergangsv egetationseinheit des Hangfußbereiches zugeordnet, da *Festuca orthophylla* hier mit einer Artmächtigkeit von 5-25 % vertreten ist und ausschließlich in den Einheiten des Hangfußbereichs und der Ebene vorkommt.

In Abhängigkeit von den Standortgegebenheiten erreicht *Fabiana densa*, eine strauchförmig wachsende *Solanaceae* mit kleinen behaarten Blättern, Höhen zwischen 50 und 100 cm, in Ausnahmen 150 cm.

Die Böden der Gebirge sind in situ entstanden und zeigen eine Zunahme des Anteils des Grobbodens von der Geländeoberfläche (GOF) zum unverwitterten Festgestein, das in einer Tiefe zwischen 0,2 und 0,8 m u. GOF ansteht. Der Bodenhorizont, der dem Festgestein aufliegt, enthält mehr als 60 % Grobboden. Die Gebirgsstandorte enthalten in den oberen 10 bis 20 cm meist Skelettgehalte zwischen 40 und 60 %. Der Skelettgehalt von Standorten mit einer Gründigkeit von 0,7 oder 0,8 m u. GOF geht in den oberen 20 cm des Profils häufig auf 15 bis 40 % zurück. Die Bodenart des Wurzelraumes ist lehmiger Sand, sandiger Lehm oder Lehm. Die Böden der untersuchten Gebirgsstandorte sind an zwei Standorten extrem schwach (0,5 % organische Substanz), sonst sehr schwach bis schwach humos (0,6-1,3 % organische Substanz), gipsfrei und mit einer Ausnahme carbonatfrei. Die Salzgehalte von max. 0,05 % haben keinen Einfluss auf das Wachstum von Pflanzen. SALM und GEHLER (1987, 42 und 1989) haben für die Böden der Gebirge und Gebirgsfußflächen im Raum von Huaraco, die von ähnlichen Pflanzengesellschaften bewachsen sind, ebenfalls Salzgehalte unter 0,5 g pro kg Boden festgestellt. Der $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ liegt im Wurzelraum der Gebirgsstandorte meist zwischen 5,7 und 6,6 und nimmt mit der Tiefe zu; der carbonathaltige Boden (s.o.; frisch verwittertes anstehendes Festgestein) besitzt einen $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ von 7,3. Die Böden sind somit mäßig sauer bis neutral. Eine Zunahme des $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ mit der Tiefe wurde auch im Raum Huaraco festgestellt und von SALM (1983, 51) durch einen geringeren Humusgehalt, eine geringere CO_2 -Produktion und eine geringere Absorption der basisch wirkenden Kationen durch die Wurzeln in größeren Bodentiefen erklärt. Zusätzlich ist sicherlich noch die Abgabe von H^+ durch die Pflanzenwurzeln im Austausch gegen die Basen zu nennen, die in den oberen, stärker durchwurzelten Horizonten höher ist. Die Summe der pflanzenverfügbaren Basen (NH_4OAc -extrahierbare Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+) im Wurzelraum ist bei sieben Standorten gering (5,8-10,0 mval/100 g Boden) und bei zwei Standorten hoch (17 mval/100 g Boden) bzw. sehr hoch (37 mval/100 g Boden). Der Anteil der einzelnen Basen an der Summe der austauschbaren Basen nimmt entsprechend der Eintauschstärke und Haftfestigkeit (bedingt durch Wertigkeit und Dicke der Hydrathülle der Kationen) von Calcium (um 65 % bis 70 %) über Magnesium (um 20 %) und Kalium (um 10 %) zu Natrium (um 1 %) ab (SCHROEDER 1992, 70 f.; Werte eigene Ergebnisse). Die gemittelte Summe der austauschbaren Basen vergleichbarer Standorte im Raum Huaraco

(Colina: Area seminatural con vegetación) wird mit 10,2 mval/100g Boden (0-15 cm u. GOF) bzw. 12,9 mval/100g Boden (15-30 cm u. GOF) angegeben (SALM 1983, 55). Die Werte von SALM basieren auf der Untersuchung von drei Standorten je Standorteinheit (vier Einheiten in der Ebene und eine Einheit im Bereich der Gebirge) mit zwei Probeentnahmetiefen (0-15 und 15-30 cm u. GOF) (SALM 1983, 44 f.). Der Anteil von Natrium an der Summe der austauschbaren Basen bei den Hangstandorten in Raum von Huaraco ist mit ca. 6 % deutlich höher als im Bereich von Huachacalla, dies liegt vermutlich an der (ehemaligen) Bewässerung im Raum von Huaraco mit natriumreichem Wasser. Das Calcium-Magnesium-Verhältnis ist bei allen untersuchten Standorten im Raum von Huaraco mit < 2 gering (SALM 1983, 55); dies hängt vermutlich mit dem Bodenausgangsmaterial zusammen. Der durchschnittliche Gehalt an organischer Substanz ist bei den Gebirgsstandorten im Raum Huaraco mit 1,3 % (0-15 cm u. GOF) bzw. 0,8 % (15-30 cm u. GOF) etwas höher (SALM 1983, 53) als der durchschnittliche Wert der Gebirgsstandorte im Bereich von Huachacalla. Da die jährlichen Niederschlagssummen (um 400 mm) und die Temperatur (um 8 °C) in beiden Gebieten ähnlich sind, ist dieser Sachverhalt vermutlich auf den Eintrag von organischer Substanz durch die intensive Beweidung des „Colinabereichs“ zwischen 1970 und 1980 (nach der ackerbaulichen Nutzung bis 1970) im Raum Huaraco zurückzuführen. Im Bereich von Huachacalla dürfte die ackerbauliche und viehwirtschaftliche Nutzung der untersuchten Standorte zeitlich länger vor der Untersuchung in den Jahren 1996 und 1997 zurückliegen und extensiver gewesen sein.

Für zwei Gebirgsstandorte (II.1 und II.2) wurde ein Sättigungsextrakt der Bodenproben hergestellt und u.a. auf die löslichen Kationen und Anionen sowie Bor untersucht. Die elektrische Leitfähigkeit des Sättigungsextraktes (EC_e) liegt mit 0,4 bzw. 0,1 mS/cm weit unter dem Grenzwert für Salzböden von 4 mS/cm. Der SAR im Wurzelraum ist bei den beiden untersuchten Gebirgsstandorten mit 1,0 bzw. 0,8 sehr gering, d.h. der Boden enthält keinen erhöhten Anteil an löslichem Natrium und ist somit nicht als Alkali- bzw. Natriumboden zu bezeichnen. Der pH-Wert der Sättigungsextrakte (pH_e) ist neutral. Der Borgehalt im Wurzelraum des Standortes II.1 liegt bei 1,5 mg/l Sättigungsextrakt. Dieser mittelhohe Borgehalt (vgl. Tab. 17) lässt nach BRESLER, MCNEAL und CARTER (1982, 181) nur das Wachstum von semitoleranten und toleranten Nutzpflanzen zu (vgl. Tab. 3). Den nur geringen Borgehalt von 0,4 mg/l, wie er bei Standort II.2 gemessen wurde, tolerieren nach den o.g. Autoren auch sensitive Feldfrüchte. Die Borkonzentration ist wie der Gesamtsalzgehalt im obersten Bodenzentimeter der beiden Standorte deutlich höher, als in den darunterliegenden Horizonten. D.h., obwohl die Entnahme der Bodenproben in der Mitte der Regenzeit (Ende Januar) vorgenommen wurde, war die Verteilung der löslichen Salze im Bodenprofil zur Zeit der Probenentnahme durch aufsteigendes Bodenwasser geprägt. Ob das lösliche Salz und das Bor vorwiegend äolisch bzw. mit dem Niederschlag eingetragen wurde (Ausstrag aus den versalzten Bereichen der grundwasser- und salzbeeinflussten Alluvialebene) oder aus der Verwitterung des Bodenausgangsmaterials stammt, lässt sich auf der Grundlage der Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen nicht beantworten.

Nach der Vegetationstabelle ist kein Einfluss der chemischen Bodenparameter auf das Vorkommen bzw. die Artmächtigkeit der Taxa an den Standorten innerhalb der *Fabiana densa* - Vegetationseinheit erkennbar. Für einzelne Taxa sind physikalische Bodenparameter, wie Bodenart, Skelettgehalt und Gründigkeit für die Verbreitung innerhalb der Einheit von Bedeutung, so bevorzugt *Mayeniopsis* flachgründige Standorte. Der Einfluss der Exposition und der Inklination des Standorts auf das Vorkommen bzw. die Artmächtigkeit verschiedener Taxa wird nachfolgend diskutiert.

An vier der 9 Gebirgsstandorte tritt *Baccharis boliviensis* mit einer Artmächtigkeit von 1 oder 2 auf. Diese vier Standorte haben eine Hangneigung zwischen 15 und 20 °. Diese Standorte sowie zwei weitere 10 ° geneigte Gebirgsstandorte, an denen *Baccharis boliviensis* in geringen Deckungsanteilen (+) vorhanden ist, sind E-exponiert. Die Art ist bei den untersuchten Standorten auf die steileren E-exponierten Hänge der Gebirge beschränkt (sechs Standorte). An den beiden o.g. 10 ° sowie an den geringer geneigten Standorten des Gebirges (2-5 °), an denen *Baccharis boliviensis* nicht vorhanden ist, tritt *Parastrephia lepidophylla* ein immergrüner, im Gebirge bis etwa 1 m hoher Strauch der Familie *Asteraceae* mit einer Artmächtigkeit von 1 (reichlich vorhanden) auf. Diese von TROLL (1959, 54) als echte Tola bezeichnete Art gehört zu den Charakterarten der Puna. Sein Vorkommen zieht sich über alle Standorte des Hangfußbereichs und der äolisch geprägten Alluvialebene. Die untere Verbreitungsgrenze von *Parastrephia lepidophylla* scheint durch einen Salzgehalt von etwa 0,1 % im Wurzelraum gegeben zu sein und fällt mit der „unteren“ Verbreitungsgrenze von *Lampaya castellani* zusammen.

Die Parameter Exposition und Hangneigung wirken vermutlich über den Wärme- und Wasserhaushalt auf die Artenzusammensetzung der Gebirgsstandorte. Nach RUTHSATZ (1977, 119 f.) ist *Baccharis boliviensis* vermutlich weniger kälteresistent und weniger trockenresistent als *Fabiana densa*. Das Wurzelwerk von *Baccharis boliviensis* ist nur in den oberen Bodenzentimetern entwickelt, wo es sich relativ weit ausdehnt, d.h. sie kann bereits von geringen Niederschlagsmengen profitieren, jedoch nicht von der Bodenfeuchte, die in den tiefen Bodenhorizonten gespeichert wird; *Fabiana densa* hingegen besitzt tiefreichende Wurzeln, die sich in den oberen 10 bis 20 cm kaum verzweigen RUTHSATZ (1977, 120). Die stärker geneigten E-exponierten Hänge erhalten vermutlich häufiger Niederschlag (Konvektionsregen), als die weniger geneigten S bzw. SW-exponierten Hänge, zudem erhalten die letztgenannten Hänge in der Jahressumme aufgrund der geographischen Lage der Standorte zwischen 18°45' und 19°00' Süd weniger Sonnenstrahlung pro Flächeneinheit als die Osthänge. Die Tatsache, dass *Parastrephia lepidophylla* an den mesoklimatisch bevorzugten Standorten im Gebirge nicht vorkommt, ist nur bedingt mit der Konkurrenz um den Wurzelraum mit *Baccharis boliviensis* zu erklären, da *Parastrephia lepidophylla* nach RUTHSATZ (1977, 120) ein tiefreichendes, weitverzweigtes Wurzelwerk besitzt. Eventuell sind die Unterschiede anthropozoogen bedingt (Brand, Beweidung, ehemaliger Anbau von Feldfrüchten). Ob es sich an den Gebirgsstandorten um *Parastrephia lepidophylla* oder *Parastrephia quadrangularis* handelt, konnte bei einigen Individuen nicht geklärt werden: Möglicherweise handelt es sich um Bastarde.

Die *Fabiana densa* - Vegetationseinheit wurde aufgrund der erläuterten floristischen Unterschiede in eine *Fabiana densa* - *Baccharis boliviensis* - *Opuntia* ssp. - *Adesmia* ssp. - *Stipa* ssp. und in eine *Fabiana densa*- *Baccharis incarum* - *Adesmia* ssp. - *Stipa* ssp. - *Parastrephia lepidophylla* - Untereinheit gegliedert.

Baccharis incarum, ein immergrüner bis 80 cm hoher Strauch mit harten rautenförmigen Blättern, wird an der Grenze zur äolisch geprägten Alluvialebene von *Lampaya castellani* „ersetzt“. Im Raum Huaraco fallen die unteren Verbreitungsgrenzen von *Baccharis incarum* und *Parastrephia lepidophylla* mit der Grenze zwischen der Gebirgsfußfläche und der Ebene zusammen und werden mit dem Anstieg des Salzgehaltes des Bodens in der Ebene auf 0,5 bis 2 g Salz pro kg Boden (0,05 bis 0,2 %) erklärt (SALM und GEHLER 1987, 44 und 1989). Der Salzgehalt ist nach den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit bei *Baccharis incarum* jedoch nicht der alleinige Grund für das Nichtvorkommen dieser Art in der Ebene, da sie im Bereich von Huachacalla an den Standorten

der äolisch geprägten Alluvialebene bis auf eine Ausnahme (ein Individuum an Standort I.6) ebenfalls nicht vorkommt, obwohl der Boden nicht versalzt ($< 0,05$ % Salz) ist. Das Fehlen der Art in der äolisch geprägten Alluvialebene ist vermutlich mit einer größeren Nachfrosthäufigkeit und -intensität sowie mit schlechterer Wasserversorgung (nach eigenen Beobachtungen fallen die Niederschläge in der Regenzeit zunächst nur im Bereich der Gebirge) als im Bereich des Gebirges und des Hangfußes zu erklären (s.u.).

Im Bereich der *Fabiana densa* - *Baccharis boliviensis* - *Opuntia* ssp. - *Adesmia* ssp. - *Stipa* ssp. - Vegetationseinheit ist die Artmächtigkeit von *Baccharis incarum*, vermutlich aufgrund der Konkurrenz zu *Baccharis boliviensis*, an drei Standorten nur sehr gering (r).

Das Vorkommen von vier krautigen Arten, die nur in der Regenzeit vorgefunden wurden, ist offensichtlich an die Standortgegebenheiten, die auch *Baccharis boliviensis* benötigt, gebunden. Dies sind die *Asteraceae* *Stevia* ssp., *Portulaca* ssp. mit dicken fleischigen Blättern, eine andere nicht bestimmte *Portulacaceae* sowie der Farn *Cheilanthes pruinata*.

Neben *Fabiana densa* und *Baccharis incarum* wurden an allen Gebirgsstandorten, *Opuntia* ssp. (*Cactaceae*), die ephemere *Caryophyllaceae* *Cardionema ramosissima* sowie der bis 60 cm hohe regengrüne Dornstrauch *Adesmia* ssp. (*Fabaceae*) kartiert. Bis auf *Opuntia* ssp. wurden die Arten auch an einigen Standorten im Bereich des Hangfußes sowie an einem Standort der äolisch geprägten Alluvialebene (I.6) vorgefunden, der aufgrund der hohen Artmächtigkeit (5-25 %) von *Lampaya castellani* der *Lampaya castellani* - Vegetationseinheit zugeordnet wurde.

An jeweils einem Standort der Gebirge fehlten die *Cactaceae* *Mayeniopsis*, eine nicht bestimmte kugelförmig wachsende *Cactaceae* sowie die krautige *Asteraceae* *Bidens* ssp.. *Mayeniopsis* ist auch an den 3 Hangfußstandorten sowie dem Standort I.6 (s.o.) der äolisch geprägten Alluvialebene vertreten. Reichlich tritt *Mayeniopsis* nur an den drei sehr flachgründigen Standorten (anstegehendes Festgestein in 0,2 bzw. 0,3 m u. GOF) auf.

Eine Stetigkeit zwischen 60 und 80 % bei den Gebirgsstandorten besitzen die Dornsträucher *Tetraglochin cristatum* (*Rosaceae*), die bis 20 cm Höhe erreicht, und *Junellia seriphioides* (*Verbenaceae*), die bis 60 cm Höhe erreicht, sowie die holzige *Ephedraceae* *Ephedra* cf. *rupestris*, die nicht höher als 10 cm wird und durch hellrote Früchte sowie das Fehlen von sichtbaren Blättern (Rutenstrauch) gekennzeichnet ist.

An je 4 von 9 Gebirgsstandorten wurden eine nicht bestimmte violett blühende *Iridaceae*, die als Zwiebel die Trockenzeit überdauert (Geophyt) und zusätzlich an einem Hangfußstandort kartiert wurde und eine nicht bestimmte Art, die vermutlich der Familie der *Asteraceae* angehört, kartiert.

An den Gebirgsstandorten und ggf. im Hangfußbereich wurden folgende Taxa an zwei oder drei Standorten kartiert: die hochwachsende *Poaceae* *Nassella* ssp., die *Asteraceae* *Gamochoaeta* ssp., eine weitere nicht näher bestimmte *Poaceae*, die *Poaceae* *Aristida* ssp., die *Amaranthaceae* *Gomphrena meyeniana*, die *Cyperaceae* *Cyperus andinus* sowie eine nicht bestimmte *Boraginaceae*.

Nur an jeweils einem Standort im Gebirge wurden *Nicotiana* ssp. (*Solanaceae*), *Notholaena nivea* (*Pteridophyta*), *Calandrinia* ssp. (*Portulacaceae*) und *Plantago sericea* (*Plantaginaceae*) gefunden. Taxa, die nur an einem Standort kartiert wurden, sind nicht in der Vegetationstabelle (Tab. 20a und 20 b), jedoch in Kap. 5 aufgeführt.

Sechs Arten kommen sowohl im Bereich des Gebirges und Hangfußes als auch in der äolisch geprägten Alluvialebene vor, nicht jedoch in der grundwasserbeeinflussten Alluvialebene, die höhere Salzgehalte im Boden aufweist. Dies sind die wenige cm hohe *Poaceae Bouteloua simplex*, die auch in der Trockenzeit kartiert wurde, eine nicht bestimmte Art bei der es sich entweder um die Gattung *Geranium* oder *Tarasa* handelt, die bis 20 cm hohe ephemere *Malvaceae Tarasa ssp.*, die ebenfalls krautige *Amaranthaceae Guilleminea densa*, das aufgrund seiner gelben Farbe und Höhe von bis zu 60 cm auffällige Horstgras *Stipa ssp.* sowie ein niedrig wachsendes Kraut, das durch kleine dunkelgrüne Blätter mit roten Rändern gekennzeichnet ist und als *Euphorbia ssp.* bestimmt wurde.

Von den genannten Arten kommt nur *Stipa ssp.* in größerer Artmächtigkeit von 1 oder 2 vor. Die fünf anderen Arten haben bis auf Ausnahmen nur sehr geringe oder geringe Deckungsanteile. Auffällig ist, dass *Stipa ssp.* im Gebirge sowie im Hangfußbereich jeweils nur in einer Aufnahme fehlt und an den anderen Standorten mindestens reichlich vorhanden (1 oder 2) ist, wohingegen das Vorkommen der Art im Bereich der äolisch geprägten Alluvialebene auf die sechs Standorte der Standortgruppe V, die sich im Bereich von höheren Dünen befindet, beschränkt ist und dort nur wenig vorhanden (+) ist. Unterschiede zwischen den Dünentälern, -hängen und -kuppen wurden hierbei nicht festgestellt. Möglicherweise ist *Stipa ssp.* im Bereich der höheren Dünen vor der nachts von den Hängen herabfließenden kalten Luft geschützt, so dass sich hier gegenüber der Ebene ohne höhere Dünen die Nachtfrosthäufigkeit und -intensität etwas geringer ist. Denkbar ist ebenfalls, dass es sich im Gebirge- und Hangfußbereich um eine andere Art der Gattung *Stipa* handelt als in der Ebene.

Hoffmannseggia ssp. eine ephemere *Fabaceae* mit gefiederten Blättern wurde an zwei Gebirgsstandorten, zwei Hangfußstandorten, 10 Standorten der äolisch geprägten Alluvialebene, dem im Wurzelraum gering versalzten Übergangstandort VI.1 und einem im Wurzelraum stark versalzten Standort (VII.2) in meist geringer Artmächtigkeit (+) in der Regenzeit kartiert. Der Wurzelraum umfasst alle Horizonte, die von den Pflanzen des Standortes durchwurzelt sind. Die gewichteten Mittelwerte für den Wurzelraum sind somit für flachwurzelnde Arten, wie *Hoffmannseggia ssp.* nicht aussagefähig. Beide versalzten Standorte haben in der Regenzeit in den oberen 15 bzw. 16 cm des Bodenprofils keinen bzw. nur einen gering erhöhten Salzgehalt.

Die Gesamtzahl der Taxa der *Fabiana densa* - Vegetationseinheit liegt zwischen 17 und 25 in der Regenzeit und zwischen 11 und 14 in der Trockenzeit. Die Gesamtdeckung der Vegetation liegt bei allen 9 untersuchten Gebirgsstandorten im oberen Bereich der Klasse 2 (5-25 %).

Für die Hügel und Gebirgsfußflächen im Raum um Huaraco im zentralen Altiplano wurden ähnliche Pflanzengesellschaften, die sich aus Sträuchern und krautigen Pflanzen zusammensetzen, beschrieben (RUTHSATZ und FISEL 1984, 226 f.; DE MORALES 1994, 56 ff.). Auch dort sind die Standorte salzfrei (< 0,5 g Salz / kg Boden; s.o.). Allerdings besteht dort eine viel intensivere Nutzung durch Ackerbau und Viehwirtschaft. Im Bereich von Huachacalla wurden nach Beobachtungen und Befragungen der Verfasserin die Gebirge nur noch in regenreichen Jahren wie 1997 und dann sehr kleinräumig für den Anbau von Feldfrüchten, wie Kartoffeln genutzt. Die Luftbilder der KUCERA-Serie aus dem Jahre 1963 lassen hingegen bis 4000/4200 m ü. M. unterschiedlichen Bewuchs auf den durch Lesesteinmauern getrennten Parzellen der Gebirgshänge erkennen, was auf eine ackerbauliche Nutzung schließen lässt.

Die Trockenpuna ist nach TROLL (1959, 54 f.) durch offene Bestände von Tola-Sträuchern, z.B. *Lepidophyllum quadrangulare* (Jacq.) Benth. & Hook in SW-Peru (nach w³TROPICOS Synonym für *Parastrephia quadrangularis* (Meyen) Cabrera und *Parastrephia phyllocaeformis* (Walp.) Cabrera) oder von *Festuca orthophylla* sowie durch „das Auftreten von dornigen, laubwerfenden Zwergsträuchern und auf steinigem Grund auch von sukkulenten Kakteen“ gekennzeichnet.

Die im Bereich der Gebirge und des Hangfußbereichs meist mit sehr geringer (r), geringer (+) oder < 5 % Artmächtigkeit (1) auftretenden Sukkulente (3 Taxa) und Dornsträucher (*Adesmia* ssp., *Tetraglochin cristatum* und *Junellia seriphioides*) sind nach TROLL (1959, 55) in der Dorn-Sukkulente- oder Salz-Puna die prägenden Elemente.

Die *Fabiana densa* - Vegetationseinheit ist somit eher der Trockenpuna als der Dorn-Sukkulente-Puna nach TROLL (1959, 54 f.) zuzuordnen.

Die *Fabiana densa* - *Baccharis boliviensis* - *Opuntia* ssp. - *Adesmia* ssp. - *Stipa* ssp. - Untereinheit zeigt eine ähnliche Zusammensetzung der Arten wie die *Baccharis incarum* - Variante der *Fabiana densa* - *Baccharis boliviensis* - Zentralassoziation von RUTHSATZ (1977, 118 ff. und A 7), wobei eine der beiden Charakterarten des Unterverbandes von RUTHSATZ mit ziemlicher Sicherheit nicht in den untersuchten Beständen vorhanden ist und die andere Charakterart *Portulaca perennis* eventuell *Portulaca* ssp. oder der nicht bestimmten *Portulacaceae* (s. Tab. 20 a) entspricht. Das Vorkommen von *Portulaca* ssp. deckt sich mit dem Areal der *Fabiana densa* - *Baccharis boliviensis* - *Opuntia* ssp. - *Adesmia* ssp. - *Stipa* ssp. - Untereinheit.

Die *Fabiana densa* - *Baccharis incarum* - *Adesmia* ssp. - *Stipa* ssp. - *Parastrephia lepidophylla* - Untereinheit konnte keiner Vegetationsgesellschaft nach RUTHSATZ (1977) zugeordnet werden.

Die Böden der *Fabiana densa* - Vegetationseinheit (Gebirgsstandorte) wurden nach USDA als (Lithic) Ustorthent und nach DBG als Braunerde oder Ranker klassifiziert.

RICHARDS (1954, 29) bezeichnet im Rahmen seiner Klassifikation von Böden nach der elektrischen Leitfähigkeit des Bodensättigungsextraktes (EC_e), dem SAR und dem pH des Sättigungsextraktes (pH_e) Böden, wie sie an den Standorten dieser Einheit gefunden wurden, als Normalböden.

7.2.2 Übergang zwischen der *Fabiana densa* - und der *Lampaya castellani* - Vegetationseinheit

Der Hangfußbereich unterscheidet sich pedologisch nur wenig von der äolisch geprägten Alluvialebene. Die Unterschiede in der floristischen Zusammensetzung sind vermutlich auf die bessere Wasserversorgung des Hangfußes, bedingt durch hangabwärts fließendes Oberflächen- und Bodenwasser und zu Beginn der Regenzeit früher einsetzende Niederschläge im Einflussbereich der Gebirge (Steigungsregen; eigene Beobachtungen s.o.) sowie durch eine geringere Nachtfrosthäufigkeit und -intensität als im Bereich der Ebene, in der sich nachts Kaltluftseen bilden, zurückzuführen. Die Standorte liegen etwa 43, 10 bzw. 15 m über dem Niveau der Ebene. Die Hangneigung im Bereich der Hangfußstandorte beträgt 3, 10 bzw. 2 °.

Die für den Übergang zwischen der *Fabiana densa* - Vegetationseinheit der Gebirge und der *Lampaya castellani* - Vegetationseinheit der äolisch geprägten Alluvialebene charakteristische Artenkombination ist *Baccharis incarum*, die im Gebirge und im Hangfußbereich vorkommt, *Ades-*

mia ssp., die ebenfalls im Gebirge und im Hangfußbereich vorkommt, *Stipa* ssp., die im Gebirge, im Hangfußbereich und in der äolisch geprägten Alluvialebene vorkommt, *Parastrephia lepidophylla*, die in einem Teil der Gebirge, im Hangfußbereich und in der äolisch geprägten Alluvialebene vorkommt sowie *Festuca orthophylla*, die im Hangfußbereich, in der äolisch geprägten Alluvialebene und in einem Teil der grundwasserbeeinflussten Alluvialebene vorkommt. Bei den anderen im Hangfußbereich vorkommenden Arten, handelt es sich um Arten, die im Gebirge und im Hangfußbereich oder im Gebirge, im Hangfußbereich und in der äolisch geprägten Alluvialebene vorkommen.

Die Gesamtzahl der Taxa der Standorte im Bereich des Hangfußes liegt zwischen 12 und 19 in der Regenzeit und bei 12 bzw. 5 in der Trockenzeit.

Der Boden ist extrem schwach humos (< 0,6 % organische Substanz), carbonatfrei bis sehr carbonatarm (0,0-0,2 %), gipsfrei und nicht versalzt (0,01-0,02 %). Der pH_{CaCl₂} nimmt bei zwei der drei Hangfußstandorte von oben nach unten zu und beträgt im Wurzelraum 6,2 (schwach sauer) bzw. 6,7 (neutral). Die neutrale bis schwach alkalische Bodenreaktion in den Bodenhorizonten des Standortes III.3 (pH_{CaCl₂} 7,5 im Wurzelraum) ist wahrscheinlich auf einen leicht erhöhten Anteil von löslichem und austauschbarem Natrium an den NH₄OAc-extrahierbaren Basen von im Durchschnitt etwa 3 % zurückzuführen und hat keinen erkennbaren Einfluss auf die Zusammensetzung der Vegetation. Die Summe der austauschbaren Basen ist sehr gering bis gering. Der Boden ist sehr schwach verbraunt. Die Bodenart des Wurzelraumes ist Sand oder lehmiger Sand. Charakteristisch für die Standorte im Bereich des Hangfußes ist ein Wechsel von Sand- oder lehmigen Sandschichten, die an zwei Standorten in den mittleren Bodenhorizonten einen hohen bis extrem hohen Anteil an gerundeten Steinen haben, was auf einen fluviatilen Transport des Materials hindeutet. Der dritte Hangfußstandort (I.5) ist durch in 0,75 m u. GOF anstehendes Festgestein gekennzeichnet, das jedoch auch von fluviatil transportiertem Material überlagert ist.

Nach TROLL (1959, 54 f.) ist die *Baccharis incarum* - *Parastrephia lepidophylla* - *Festuca orthophylla* - Übergangseinheit wie auch die Einheit der Gebirge als Trockenpuna einzuordnen. Die Einheit konnte keiner Pflanzengesellschaft nach RUTHSATZ (1977) zugeordnet werden.

Die Böden der Hangfußstandorte wurden nach USDA als Ustorthent und nach DBG als Lockersyrosem oder Braunerde klassifiziert.

Nach RICHARDS (1954) handelt es sich bei allen Böden der Einheit um Normalböden.

7.2.3 *Lampaya castellani* - Vegetationseinheit

Die Anzahl der Taxa der Standorte der äolisch geprägten Alluvialebene liegt bis auf eine Ausnahme (Standort I.6) zwischen 4 und 11 in der Regenzeit und 3 und 5 in der Trockenzeit. Der Standort I.6 ist zwar durch eine höhere Zahl der Taxa sowie Arten gekennzeichnet, die ansonsten nur an Gebirgs- und Hangfußstandorten wachsen, wurde jedoch aufgrund des Vorkommens von *Lampaya castellani*, der Charakterart der äolisch geprägten Alluvialebene, der *Lampaya castellani* - Vegetationseinheit zugeordnet (s.o., s. Tab. 20 a und 20 b in der Anlage).

Lampaya castellani, die Charakterart der äolisch geprägten, nicht grundwasserbeeinflussten Alluvialebene ist ein im Untersuchungsgebiet bis zu 60 cm hoher immergrüner Strauch der Familie *Verbenaceae* mit dicken, harten Blättern, der in der Regenzeit violett blüht. Die Bedeutung der Art als Medizinalpflanze ist in der Literatur häufig dokumentiert (TORRICO et al. 1994, 245 f.; CALLA

1995, 28). Die Beschreibung des Vorkommens und der ökologischen Ansprüche der Art durch TORRICO et al. (1994, 245) charakterisieren sehr gut die Standorteinheit, in der die Art im Bereich von Huachacalla vorkommt: Im Bereich der Sandflächen des südlichen Altiplano in 3600-4300 m ü. M. mit einer Vorliebe für Dünen und andere äolisch bedingte Ansammlungen von losem Sand, mit Bodenfeuchte in größeren Tiefen. *Lampaya castellani* bereitet als Pionier der Sandflächen (Psammophyt) den Boden für andere Arten vor (TORRICO et al. 1994, 245).

Die charakteristische Artenkombination der typischen *Lampaya castellani* - Vegetationseinheit ist *Lampaya castellani*, *Parastrephia lepidophylla* und *Festuca orthophylla*. Außerdem kommen an 9 von 12 Standorten der *Lampaya castellani* - Vegetationseinheit neben diesen drei genannten Arten eine geringe Anzahl von Sträuchern der Art *Parastrephia phyllicaeformis* vor. Diese im Untersuchungsgebiet bis 140 cm hochwerdende *Parastrephia*-Art, die sich von *Parastrephia lepidophylla* durch etwa größere, abgespreizte Blätter und helleres Holz unterscheidet, leitet wie *Festuca orthophylla* zu den grundwasserbeeinflussten Standorten der Alluvialebene über, wo diese Arten an drei von insgesamt 10 untersuchten grundwasserbeeinflussten, versalzten Standorten vorkommt.

Die gegenüber dem Gebirge und Hangfuß in der Ebene erhöhte Frosthäufigkeit und -stärke durch nachts von den Hängen herabfließende Kaltluft und eventuell stärkere nächtliche Ausstrahlung durch geringere Bewölkung (s.o.; vgl. Kap. 4) erlaubt nur Arten, die Minimumtemperaturen von minus 10-15 °C in der Trockenzeit und minus 5 bis 10 °C in der Regenzeit überstehen (vgl. extreme Minimumtemperatur der Station Huachacalla Abb. 11; Kap. 4). Die perennierenden Arten dieser Einheit, wie *Parastrephia lepidophylla* und *Lampaya castellani* zeichnen sich durch xeromorphe Blätter aus, die sowohl vor nächtlicher Frosttrocknis als auch vor starken Verdunstungsverlusten durch starke Einstrahlung am Tage, die insbesondere in der Trockenzeit auftreten, schützen. *Festuca orthophylla* treibt nur in der Regenzeit hellgrüne Blätter aus, die längs eingerollt und starr sind; in der Trockenzeit haben die mächtigen Horstgräser eine gräulich gelbe Farbe.

Der Grundwasserstand des Standortes VI.3 beträgt in der Regenzeit vermutlich etwas weniger als 2 m unter GOF, da in den tieferen Horizonten dieses Standorte erhöhte Salzgehalte festgestellt wurden. Etwas tiefer (2 bis 3/4 m u. GOF) liegt vermutlich der Grundwasserstand in der Regenzeit bei den Standorten II.3, V.1-6 und VI.2. Hier befinden sich die Standorte V.3 und V.5 an einem Dünenhang und der Standort V.4 auf einer Dünenkuppe. Aufgrund des Verlaufs der Höhenlinien auf der Topographischen Karte wurde für den Standort I.6 eine Höhe von 8 m, den Standort IV.4 eine Höhe von 6 m und für den Standort IV.3 von 19 m über dem lokalen Grundwasserstand bestimmt, wobei sich vermutlich bei dem letztgenannten Standort, wie bei den Gebirgs- und Hangfußstandorten kein Grundwasser im Untergrund befindet und es sich somit um einen theoretischen Wert handelt. D.h. der Grundwasserstand wurde von den grundwasserbeeinflussten Standorten der jeweiligen Catena auf die höher gelegenen Standorte der Catena ohne Grundwasser im Boden projiziert. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Pflanzen der *Lampaya castellani* - Vegetationseinheit auf Niederschlagswasser angewiesen sind, das aufgrund der relativ groben Bodenart (überwiegend Sand und lehmiger Sand, seltener sandiger Lehm) rasch in den Boden eindringt und nur geringfügig kapillar aufsteigt (vgl. Abschn. 2.3.1) und somit ohne große Verdunstungsverluste den Pflanzen zur Verfügung steht, insofern das Niederschlagswasser nicht perkoliert und auf diese Weise den Wurzelraum verlässt. Zudem kann es aufgrund der geringen Wasserspannung des Bodenwassers bei grobkörnigen Böden (vgl. Abschn. 2.3.1) gut von den tiefreichenden Wurzeln aufgenommen werden. Die Tatsache, dass der Niederschlag nach Beob-

achtungen der Verfasserin überwiegend nachts fällt, vermindert ebenfalls die Evaporation. Die jährliche Niederschlagsmenge im Bereich der Ebene ist vermutlich geringer als im Bereich der Gebirgsmassive und liegt wahrscheinlich unter 400 mm (vgl. Abschn. 4.3), die Ebene erhält jedoch bei stärkeren Niederschlägen Zuschusswasser durch Oberflächen- und Bodenwasserbewegungen (z.B. Transport auf wasserstauenden Schichten).

Der Humusgehalt im Wurzelraum ist bis auf eine Ausnahme (Standort VI.3 mit 0,7 % organischer Substanz) extrem gering (< 0,6 % organische Substanz). Die Böden der äolisch geprägten Alluvialebene zeichnen sich bis auf zwei Standorte (VI.3 und II.3) durch Carbonatarmut (0 bis 1,2 %), Gipsfreiheit, sehr geringe Salzgehalte von 0,005 bis 0,02 % und eine neutrale bis schwach alkalische Bodenreaktion aus. Die Standorte VI.3 und Standort II.3 leiten durch einen höheren Carbonat- (2,9 % bzw. 3,7 %), Gips- (<<< 1 %) und Salzgehalt (0,07 % bzw. 0,04 %) sowie die mäßig alkalische Bodenreaktion ($\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ 7,9 bzw. 8,0) pedologisch zu den grundwasserbeeinflussten Standorten der Alluvialebene über. Ein daraus resultierender Einfluss auf die Artenzusammensetzung der *Lampaya castellani* - Vegetationsbestände ist jedoch nicht zu erkennen (s. Tab. 20 a und 20 b in der Anlage). Die Summe der austauschbaren Basen, die für fünf in der Regenzeit aufgenommene Standorte der äolisch geprägten Alluvialebene bestimmt wurde, ist bei je zwei Standorten sehr gering (2,9 bzw. 3,0 mval/100g Boden) bzw. gering (6,2 bzw. 6,7 mval/100g Boden) und bei dem Standort II.3 mit etwa 25 mval/100g Boden sehr hoch. Der letztgenannte Wert ist jedoch durch eine größere Menge an NH_4OAc -löslichem Carbonat in den mittleren Bodenhorizonten des Standortes stark erhöht. So ist der Calciumanteil an den NH_4OAc -extrahierbaren Basen bei diesen Horizonten mit etwa 85 % überdurchschnittlich hoch. Bei den untersuchten carbonatfreien, nicht versalzten Böden liegt der Calciumanteil bei durchschnittlich etwa 65 %. Offensichtlich (vgl. Tab. Anteile austauschbarer Basen im Anhang) ist bei den carbonathaltigen bzw. -reichen Böden neben Calciumcarbonat auch Magnesiumcarbonat, allerdings in geringeren Anteilen, vorhanden. Das bei den carbonathaltigen Böden gegenüber carbonatfreien Böden veränderte Verhältnis der pflanzenverfügbaren löslichen und austauschbaren Basen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ scheint demnach bei der *Lampaya castellani* - Vegetationseinheit keinen Einfluss auf die Artenzusammensetzung der Bestände zu haben. Allerdings befinden sich die carbonatreichen Horizonte bei den beiden Bodenprofilen (II.3 und VI.3) erst in Tiefen von mehr als 25 cm.

Erstaunlicherweise besitzt der Standort (I.6) mit der geringsten Summe der NH_4OAc -extrahierbaren Basen (dieser Wert entspricht bei nicht versalzten Böden praktisch der Summe der austauschbaren Basen) im Wurzelraum (vgl. Tab. 20 a) die höchste Anzahl an Taxa (18 in der Regenzeit) in dieser Vegetationseinheit. Eine gegenüber anderen *Lampaya castellani* - Beständen bessere Wasserversorgung wurde ebenfalls nicht festgestellt.

Die *Lampaya castellani* - *Parastrephia lepidophylla* - *Festuca orthophylla* - Vegetationseinheit kann damit in bezug auf die Nährstoff-, Wärme-, und Wasserversorgung als sehr genügsam angesehen werden.

JORDAN (1981 und 1983 b) beschrieb entsprechende Bestände für die Dünengebiete Boliviens.

Die Ergebnisse der pedologischen Untersuchung von Standorten (drei Probenentnahmestellen mit je zwei Entnahmetiefen) einer ähnlichen Vegetationseinheit (halbnatürliche Bereiche in der Ebene mit *Parastrephia lepidophylla*) im Raum Huaraco (SALM 1983, 43 ff.) sind ähnlich wie die im Rahmen der vorliegenden Arbeit gewonnenen Ergebnissen. Der $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ ist jedoch in Huaraco deutlich niedriger und der Humusgehalt deutlich höher (> 1,5 %). Die Summen der austauschbaren Basen

zeigen z.T. ähnliche Werte wie in Huaraco (5,9 mval/100 g Boden in 0 bis 15 cm u. GOF und 5,6 mval/100g Boden in 15 bis 30 cm u. GOF), z.T. geringere Werte (s.o.).

Die Bestände der *Lampaya castellani* - Vegetationseinheit entsprechen der Trocken-Puna nach TROLL (1959, 54 f.).

Nach RUTHSATZ (1977) müssten die Bestände der *Lampaya castellani* - *Parastrephia lepidophylla* - *Festuca orthophylla* - Vegetationseinheit wohl der *Lampaya castellani* - Subassoziation der *Parastrephia lepidophylla* - Assoziation des *Fabianion densae* zugeordnet werden. Eine entsprechende Artenkombination ist bei RUTHSATZ (1977, 123, Tab. 16, *Lampaya castellani*-Gebüsche der Dünenfelder) zu finden.

Die Böden der *Lampaya castellani* - Vegetationseinheit (äolisch geprägte Standorte) wurden nach USDA als Ustorthent, Ustipsamment, Haplustept oder Ustifluent und nach DBG als Lockersyrossem bzw. an einem Standort als Regosol klassifiziert.

Nach RICHARDS' Klassifikation von Salz- und Alkaliböden (1954, 4 ff.) sind alle Böden dieser Einheit als Normalböden zu bezeichnen.

7.2.4 Übergang zwischen der *Lampaya castellani* - Vegetationseinheit und der *Distichilis humilis* - Vegetationseinheit

In der Aufnahme VI.1 wurde keine der drei Charakterarten der Hauptvegetationseinheiten gefunden. *Festuca orthophylla* ist hier mit einem Deckungsgrad von 25 bis 50 % dominant. *Distichilis humilis* wurde jedoch in einer nur wenige hundert Meter von der Aufnahmefläche entfernten schwachen Geländevertiefung angetroffen. Zudem ist *Junellia minima* vertreten, die sonst nur noch an einem Standort der *Distichilis humilis* - Vegetationseinheit kartiert wurde. Dieser Standort leitet von der *Lampaya castellani* - Vegetationseinheit zu der *Distichilis humilis* - Vegetationseinheit über und wird als *Festuca orthophylla* - Vegetationseinheit bezeichnet.

Nach Untersuchungen von GARABITO et al. (1995, 27 ff.) zeigt *Distichilis humilis* bei einer elektrischen Leitfähigkeit des Bodensättigungsextraktes (EC_e) zwischen 1 und 20 mS/cm die höchsten Deckungsgrade und *Anthobryum triandrum* zwischen 1 und 22 mS/cm. Die Deckungsgrade von *Salicornia pulvinata* steigen mit steigendem Salzgehalt zwischen 3 und 76 mS/cm (positive Korrelation). Bei einer EC_e im Wurzelraum des Standortes VI von 3,6 mS/cm (entsprechend 0,1 % Salz bzw. 1 g Salz / kg Boden nach EC_5) ist somit das Wachstum dieser Halophyten durch den (relativ geringen) Salzgehalt nicht limitiert. Das zu trockene Bodenfeuchteregime dieses Standortes kann somit als Ursache für das Fehlen dieser Arten, die im Untersuchungsgebiet ausschließlich auf grundwasserbeeinflussten Böden gefunden wurden, angesehen werden.

Für *Parastrephia lepidophylla* und *Lampaya castellani* hingegen, die nach den Ergebnissen dieser Arbeit nur an Standorten mit einem Salzgehalt bis max. 0,7 g pro kg Boden (0,07 %) und einem pH_{CaCl_2} von max. 7,9 vorkommen, ist der Standort im Wurzelraum vermutlich zu stark versalzt und mit einem pH_{CaCl_2} von 8,3 zu alkalisch. Zudem sind im Wurzelraum in der Regenzeit der SAR mit 9,5 (SAR > 13 Alkali- bzw. Natriumboden) und die Borkonzentration im Sättigungsextrakt mit 8 mg/l relativ hoch. Das lösliche und austauschbare Natrium, gemessen als NH_4OAc -extrahierbares Natrium, erreicht in den 15 bis 62 cm u. GOF liegenden Horizonten des Standortes VI.1 in der Regenzeit Werte zwischen 2 und 3 mval/100g Boden; bei nicht grundwasserbeeinflussten Stand-

orten liegt die Natriumkonzentration in den Bodenhorizonten meist zwischen 0,03 und 0,2 mval/100g (entsprechend 0,7 bis 5 mg/100g) Boden.

Festuca orthophylla als eine der Charakterarten der Trockenpuna, hat einen weiten Toleranzbereich hinsichtlich Salzgehalt (0,005 bis 0,7 % an den untersuchten Standorten), pH_{CaCl₂} (6,2 bis 9,2; Bodenentnahme jedoch nicht direkt an der Wurzel von *Festuca orthophylla*) und Bodenwasserhaushalt (Dünen bis sehr hoch anstehendes Grundwasser in 0,5 m u. GOF, vor Ende der Regenzeit). Die drei mittel bis stark versalzten Standorte von *Festuca orthophylla* in der *Distichilis humilis* - Vegetationseinheit gewähren durch den Einfluss des in der Regenzeit in 0,5, 1,3 bzw. 1,5 m u. GOF anstehenden Grundwassers allerdings eine relativ zu den nicht versalzten Standorten gute Wasserversorgung. Der in diesem Kapitel besprochene sehr gering versalzte Übergangstandort VI.1 (0,1 % Salz nach EC₅, EC_e 3,6 mS/cm) besitzt ebenfalls einen wenn auch sehr schwachen, temporären Grundwassereinfluss. Das während der Regenzeit stark ansteigende Grundwasser in den Tiefenbereichen der Ebene gelangt durch laterale Bodenwasserbewegungen in die tieferen Bodenhorizonte dieses Standortes, die dem hier in 0,8 m u. GOF anstehendem Festgestein aufliegen. Dieses wurde aus den in der Regenzeit stark ansteigenden Salzgehalten in den tieferen Horizonten bei gleichbleibend niedrigen Salzgehalt in den oberen Bodenhorizonten abgeleitet. Die hohe Artmächtigkeit von 3 (5 bis 50 % Deckung) von *Festuca orthophylla* an diesem Standort, die an anderen Standorten im Untersuchungsgebiet max. 2 beträgt, ist somit vermutlich hauptsächlich durch mangelnde Konkurrenz der Arten der angrenzenden *Lampaya castellani* - und *Distichilis humilis* - Vegetationseinheiten zu erklären (s.o.). Die gute Nährstoffversorgung durch austauschbare Kationen und lösliche Kationen und Anionen, die für die Art nicht zu hohen Konzentrationen von Bor, Natrium und Chlorid, die für Pflanzen zwar essenziell aber in zu hohen Konzentration toxisch sind, sowie die relativ gute Wasserversorgung tragen vermutlich ebenfalls zu dem guten Gedeihen der Art an diesem Standort bei. Dass es sich bei *Festuca orthophylla* um einen fakultativen Halophyten handelt, der nach LARCHER (1994, 315) „durch geringe Versalzung des Boden stimuliert, bei Salzakkumulation bald gehemmt“ wird, ist nicht auszuschließen.

Junellia minima, eine verholzte 1 bis 2 cm hohe Polsterpflanze, wurde im Untersuchungsgebiet nur an zwei Standorten gefunden. Die Böden beider Fundorte sind (sehr) schwach grundwasserbeeinflusst, gering bis mittel versalzt (0,1 % bzw. 0,3 % im Wurzelraum) und mäßig alkalisch. Diese Ergebnisse bestätigen die Vermutung von BECK (1985, 8), dass *Junellia minima* eine Resistenz gegenüber kurzfristigen Überschwemmungen und geringen Salzgehalten im Boden besitzt. Die von BECK erwähnte Bevorzugung der Art von Substraten mit feiner Textur, wurde durch die Untersuchungen im Bereich von Huachacalla nicht bestätigt, jedoch handelt es sich bei beiden Fundorten um Standorte mit relativ hohen Gehalten an pflanzenverfügbaren Nährstoffen (löslich und austauschbar). Es wurde an jedem der beiden Fundorte nur ein Individuum dieser Polsterpflanzenart angetroffen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Boden im Wurzelraum des Standortes VI.1 extrem humusarm (0,2 %), sehr carbonatarm (0,2 %), gipsfrei, gering versalzt (0,1 % Salz, EC_e 3,6 mS/cm) und mäßig alkalisch (pH_{CaCl₂} 8,3, pH_e 8,1) ist sowie eine mittelhohe Summe von austauschbaren Basen (11 mval/100g Boden) und eine sehr hohe Borkonzentration besitzt.

Es handelt sich bei dieser Einheit um eine von TROLL (1959, 54) beschriebene typische Ausprägung der Trocken-Puna in der *Festuca orthophylla* („Iru-Ichu“) dominiert. Das Kriterium für eine

Gras-Puna (Feucht-Puna) nach TROLL (1959, 53), eine geschlossene Grasdecke bei 7 bis 9 humiden Monaten, wird von den Beständen der *Festuca orthophylla* - Einheit nicht erfüllt, zudem liegt das Untersuchungsgebiet geographisch 200 km SW der Zone der Feucht-Puna nach TROLL.

Bei diesem Übergangstandort mit *Festuca orthophylla* und *Hoffmannseggia* ssp. handelt es sich nach der Klassifikation von RUTHSATZ (1977, 122) eventuell um eine verarmte Variante der *Lampaya castellani* - Subassoziation der *Parastrephia lepidophylla* - Assoziation des *Fabianion densae* (s.o.).

Der Boden der *Festuca orthophylla* - Vegetationseinheit (schwach grundwasserbeeinflusster Standort) wurde nach USDA als Haplustept und nach DBG als Lockersyrosem klassifiziert.

Nach den Kriterien von RICHARDS (1954) handelt es sich, wenn man die gewichteten Mittelwerte für den Wurzelraum heranzieht um einen nicht versalzten, nicht alkalischen Normalboden.

7.2.5 *Distichilis humilis* - Vegetationseinheit

Die *Distichilis humilis* - Vegetationseinheit ist in eine Übergangs-Vegetationseinheit mit *Festuca orthophylla* und *Parastrephia phyllicaeformis* (*Distichilis humilis* - *Salicornia pulvinata* - *Anthobryum triandrum* - *Festuca orthophylla* - *Parastrephia phyllicaeformis* - Vegetationseinheit) und eine horstgras- und tolafreie *Distichilis humilis* - Vegetationseinheit (*Distichilis humilis* - *Salicornia pulvinata* - *Anthobryum triandrum* - Vegetationseinheit), die nur aus der in Rasen wachsenden *Poaceae Distichilis humilis* und den in Polstern wachsenden Halophyten *Anthobryum triandrum* und *Salicornia pulvinata* zusammengesetzt ist, sowie eine extrem vegetationsarme *Distichilis humilis* - *Salicornia pulvinata* - *Anthobryum triandrum* - Vegetationseinheit (Salztonebene) untergliedert. Die drei Halophyten wachsen noch bei Salzgehalten von 2,2 %, entsprechend einem EC_e von 75 mS/cm (Standort III.6), einem SAR von 150 (Standort III.6), einem pH_e von 9,1 (Standort II.4) und einer Borkonzentration von 55 mval/l Sättigungsextrakt (II.4) im Wurzelraum. Der niedrigsten Salzgehalte an den Standorten der *Distichilis humilis* - Vegetationseinheit betragen 0,3 bis 0,4 % Salz im Wurzelraum, dies deckt sich in etwa mit den Ergebnissen von SALM und GEHLER (1987, 44 f. und 1989), die für Böden, die mehr als 2 g Salz pro kg Boden enthalten, eine Dominanz von *Distichilis humilis* und für Böden, die mehr als 4 g Salz pro kg Boden enthalten, das Auftreten von *Anthobryum triandrum* festgestellt haben. Wobei im Bereich von Huachacalla für *Anthobryum triandrum* bei einem Salzgehalt von 0,35 % im Wurzelraum eine Artmächtigkeit von 2 (5-25 % Deckung) festgestellt wurde. Diese Ergebnisse bedeuten aber nicht, dass diese Arten auf diese hohen Salze angewiesen sind. Vielmehr ist die ganzjährige Verfügbarkeit größerer Bodenwassermengen, durch hoch anstehendes Grundwasser, als notwendiger Faktor anzugeben, die im Untersuchungsgebiet bei dem herrschenden semiariden Klima mit höheren Salzgehalten, insbesondere im Oberboden verbunden sind. Nach GARABITO et al. (1995, 27 ff.) (vgl. vorhergehendes Unterkapitel), gedeihen beide Arten bereits gut bei einer Leitfähigkeit des Bodensättigungsextraktes von 1 mS/cm, was bei einem Sättigungsprozentsatz von 40 % 0,026 % Salz bzw. 0,26 g Salz pro kg Boden entspricht.

Bei *Distichilis humilis* handelt es sich vermutlich um einen fakultativen Halophyten, da die Deckungsgrade der Art nach Untersuchungen von GARABITO et al. (1995, 29) zwischen 1 und 20 mS/cm EC_e am höchsten sind (bis 46 % Deckung), zwischen 20 und 83 mS/cm EC_e nicht mehr als 6 % betragen und bei mehr als 83 mS/cm EC_e gegen 0 % gehen. *Distichilis humilis* als relativ flachwurzelnende Pflanze ist deutlich stärker von den trockenzeitlichen Salzakkumulationen in den

oberen Bodenzentimetern betroffen als die anderen tieferwurzelnden Arten dieser Einheit, gedeiht jedoch an dem Standort III.5, trotz einer EC_e von 126 mS/cm in den oberen 9 Bodenzentimetern in der Trockenzeit mit einer Deckung von 25 bis 50 %.

Nach demselben Autor (1995, 31 f.) bevorzugt *Distichilis humilis* Böden mit oberflächennahem Grundwasser und feiner Bodenart, meidet jedoch Böden die stark alkalisch sind, wie der Autor vermutet wegen des hohen Natriumanteils. GEHLER (1992, 96) vermutet, dass *Distichilis humilis*, deren feines Wurzelsystem nur wenige Zentimeter in den Boden eindringt, Salzdrüsen besitzt, über die eine Salzsekretion erfolgt, da diese für andere *Distichilis*-Arten beschrieben wurden.

Anthobryum triandrum ist noch GARABITO et al. (1995, 27) ebenfalls ein fakultativer Halophyt mit den höchsten Deckungsgraden (bis 50 %) zwischen 1 und 22 mS/cm EC_e , der sich jedoch auch an extrem hohe Salzgehalte (bis 132 mS/cm EC_e) anpassen kann. Im Gegensatz zu *Distichilis humilis* nimmt der Deckungsanteil von *Anthobryum triandrum* in Bereichen mit feiner Bodenart und oberflächennahem Grundwasser nach GARABITO et al. (1995, 31) ab. Außerdem vermutet er eine Empfindlichkeit der Art gegenüber länger anhaltenden Überflutungen. *Anthobryum triandrum* besitzt ebenfalls Drüsen zur aktiven Salzausscheidung (GEHLER 1992, 96).

Salicornia pulvinata als obligater Halophyt benötigt hingegen höhere Salzgehalte. Nach GARABITO et al. (1995, 27) steigt der Deckungsgrad tendenziell zwischen EC_e 3 mS/cm und EC_e 76 mS/cm, ist zwischen EC_e 46 mS/cm und EC_e 76 mS/cm am höchsten (bis max. 65 %) und erreicht zwischen EC_e 80 und 132 mS/cm nur noch Deckungsgrade bis max. 12 %. Nach GARABITO et al. (1995, 30) fördert ein hoch anstehender Grundwasserspiegel die Entwicklung von *Salicornia pulvinata*. Die Blätter und der Stamm von *Salicornia pulvinata* zeigen eine Halosukkulenz, bedingt durch die Verdünnung der aufgenommenen Salze. Arten, wie *Salicornia pulvinata*, die Ionen, vor allem Natrium und Chlorid in hohen Konzentrationen speichern, werden als „salt inclusions“ bezeichnet (GEHLER 1992, 96). Natrium besitzt aufgrund seiner großen Ionen-Wasserhülle eine verquellende Wirkung (Salzsukkulenz), Calcium eine entquellende (KREEB 1983, 205).

Festuca orthophylla erreicht ihre, wenn auch vergleichsweise geringere, Salztoleranz, wie auch andere *Poaceen*, über Mechanismen, die verhindern, dass größere Salzmenge in den Spross (vor allem Diskriminierung von Natrium) gelangen und wird daher als „salt excluder“ bezeichnet (GEHLER 1992, 96)

Bei einer elektrischen Leitfähigkeit des Sättigungsextraktes von 132 mS/cm gedeiht nach GARABITO et al. (1995, 27 ff.) nur noch *Anthobryum triandrum*. Diese Leitfähigkeit entspricht nach RICHARDS (1954) einem osmotischen Druck von 47,5 atm (48,1 bar) im Sättigungsextrakt. Nach LORINI, GEYGER und LIBERMAN (1984), die u.a. die Saugspannung von Pflanzen untersucht haben, erreicht *Sueda cf. foliosa* ein sukkulenter Halophyt, mit 44 bar die höchsten gemessenen Werte, andere Halophyten erreichen Werte von 23 bzw. 13 bar. Zu den im Bereich von Huachacalla vorkommenden Halophyten wurden keine entsprechenden Daten gefunden.

An dem Standort III.5 tritt *Distichilis humilis* als Reinbestand auf. Für die Erklärung des Fehlens von *Anthobryum triandrum*, die sonst an allen grundwasserbeeinflussten Standorten wächst, und von *Salicornia pulvinata*, die mit einer weiteren Ausnahme sonst bei allen Aufnahmen der Vegetationseinheit vorkommt, kann, wenn man die Werte mit denen anderer Standorte vergleicht, weder der Salzgehalt, der SAR, der pH-Wert noch der Borgehalt herangezogen werden. Möglicherweise ist die *Poaceae* ein Pionier auf jüngst abgelagerten salzhaltigen Alluvialböden. *Anthobryum tri-*

andrum und *Salicornia pulvinata* als verholzte Polsterpflanzen brauchen vermutlich länger um sich auf frischem Alluvium zu etablieren.

Als zweite (unwahrscheinliche) Erklärungsmöglichkeit ist der bei dem Standort III.5 mit 18 bis 25 % Carbonat in den oberen 20 cm u. GOF gegenüber den anderen grundwasserbeeinflussten Standorten deutlich höhere Carbonatanteil heranzuziehen. Möglicherweise tolerieren *A. triandrum* und *S. pulvinata* diese hohen Carbonatgehalte nicht, wobei sich jedoch bei Nichtsalzböden der Carbonatgehalt vorwiegend über den pH-Wert auf die Artenzusammensetzung der Vegetation auswirkt, der bei diesem Salznatriumboden ohnehin im mäßig alkalischen Bereich liegt. Der Gipsgehalt des Bodens hat keinen Einfluss auf die Artenzusammensetzung im Untersuchungsgebiet, da alle untersuchten Standorte gipsfrei sind bzw. nur in einzelnen Horizonten sehr geringe Gipsgehalte (< 1 %) aufweisen.

Die dritte Erklärungsmöglichkeit für die absolute Dominanz von *Distichilis humilis* am Standort III.5 ist der höhere Grundwasserstand (0,4 m u. GOF) und die feinere Bodentextur (Schlufflehm) im Vergleich zu den anderen untersuchten Standorten der Einheit. Nach GARABITO et al. (1995), die das ökologische Verhalten von *Distichilis humilis*, *Salicornia pulvinata* und *Anthobryum triandrum* untersucht haben (s.o.), bevorzugt *Distichilis humilis* Standorte mit oberflächennah anstehendem Grundwasser und feiner Textur (s.o.). Dieses Ergebnis wird durch die Vegetationskartierung im Rahmen der vorliegenden Arbeit insofern bestätigt, als dass am Standort III.6 die zeitweise wasserführenden flachen Abflussbahnen von *Distichilis humilis* besiedelt sind, während die wenige Zentimeter höher gelegenen, inselartigen Bereiche von *Anthobryum triandrum* und *Salicornia pulvinata* bedeckt sind, und dass am Standort IV.5, an dem das Grundwasser-Niveau mit 1,5 m u. GOF tiefer liegt als bei den anderen Standorten der Einheit, *Distichilis humilis* nur in geringer Artmächtigkeit (+) auftritt.

Parastrephia phyllicaeformis tritt neben *Parastrephia lepidophylla* an dem meisten Standorten der äolisch geprägten Ebene auf, kommt jedoch im Gegensatz zu dieser, wie auch *Festuca orthophylla*, bei allen Aufnahmen der *Distichilis humilis* - *Salicornia pulvinata* - *Anthobryum triandrum* - *Parastrephia phyllicaeformis* - *Festuca orthophylla* - Vegetationseinheit vor. Die Arten tolerieren offenbar nach den Ergebnissen der Untersuchungen der drei Standorte dieser Einheit einem hohen Salzgehalt (0,7 %, 0,4 % bzw. 0,35 %; EC_e 22,5 mS/cm, 20 mS/cm bzw. 8,5 mS/cm), einen hohen SAR (30, 75 bzw. 90), eine schwach bis stark alkalische Bodenreaktion (pH_e 7,8, 8,0 bzw. 9,1) und eine extrem hohe Borkonzentration (15, 10 bzw. 55 mg/l) im Wurzelraum. In der typischen *Distichilis humilis* - Vegetationseinheit treten die beiden Arten nicht auf, obwohl die Werte an drei Standorten der Einheit nur etwa so hoch sind wie die niedrigen Werte der Standorte der Einheit mit *Parastrephia phyllicaeformis* und *Festuca orthophylla*. Ein Grund hierfür lässt sich auch in der Kombination der Werte nicht erkennen. Möglicherweise hat der Boden im Wurzelraum der einzelnen *Parastrephia phyllicaeformis* und *Festuca orthophylla* Pflanzen niedrigere Werte als die aus der Bodengrube entnommenen Bodenproben (starke räumliche Variabilität der Werte) oder das Vorkommen bzw. Nichtvorkommen der Arten ist durch eine mittel- bzw. langfristige Änderung der Werte (zeitliche Variabilität der Werte) an den Standorten begründet, da die Arten bei der Keimung wesentlich empfindlicher gegen hohe Salz-, Natrium- und Borgehalte sind als im Alter. Denkbar ist ebenfalls, dass nur einzelne Individuen der Arten eine höhere Toleranz gegenüber den hohen Werten der genannten Parameter besitzen. Nicht auszuschließen ist, dass die für die Interpretation herangezogenen, nach der Gesamtdurchwurzelungsintensität und Mächtigkeit der Horizonte, gewichteten Mittelwerte nicht den tatsächlichen Gegebenheiten im Wurzelraum der

einzelnen Pflanzen entsprechen. Insbesondere bei stark geschichteten Bodenprofilen mit einer hohen Variabilität der Werte, sind die ermittelten Werte nicht sehr zuverlässig.

Im Raum Huaraco verschwindet *Festuca dolichophylla* bei Gehalten von 8 g Salz pro kg Boden (0,8 %) (SALM und GEHLER 1987, 45). Obwohl es sich hierbei um eine andere Art der Gattung *Festuca* handelt korrespondiert dieser Wert mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit, d.h. für alle Fundorte von *Festuca orthophylla* wurde ein Salzgehalt von $\leq 0,7$ % Salz im Wurzelraum ermittelt (vgl. Tab. 20 a).

Die Durchwurzelungstiefe bzw. Hauptwurzelzone der verschiedenen Arten variiert durch die Standortgegebenheiten, wie Tiefe unter GOF und Salzgehalt des Grundwassers sowie chemische und physikalische Parameter der Bodenhorizonte.

Zusammenfassend wird nachfolgend die Spannweite der Werte der untersuchten Parameter im Wurzelraum (nach Durchwurzelungsintensität und Horizontmächtigkeit gewichtete Werte) für die 10 Standorte der *Distichilis humilis* - Vegetationseinheit in der Regenzeit angegeben (s. auch Tab. 20 a Vegetationstabelle Regenzeit). Es sei an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen, dass es sich hierbei nicht um exakte Werte handelt, da die Standorte in der grundwasserbeeinflussten Alluvialebene stark geschichtet sind und die zeitliche und räumliche Variabilität der Werte innerhalb der Bodenprofile sehr groß ist. Zudem wurden die nicht oder sehr schwach durchwurzelten Horizonte bei 8 der 10 Standorte nicht untersucht (s.o.). Die Beurteilung der Durchwurzelungsintensität ist ein weiterer Unsicherheitsfaktor.

Der Humusgehalt im Wurzelraum der Standorte der *Distichilis humilis* - Vegetationseinheit liegt zwischen 0,1 und 7,3 %, der Carbonatgehalt zwischen 0,9 und 20 %, der Gipsgehalt zwischen 0 % und max. 1 % in einzelnen Horizonten von zwei Standorten, der Salzgehalt nach EC_5 zwischen 0,3 und 2,2 %, der pH_{CaCl_2} zwischen 7,4 und 9,2, die EC_e zwischen 8,5 und 75 mS/cm, der SAR zwischen 12,5 und 150, der pH_e zwischen 7,2 und 9,1 und die Borkonzentration im Sättigungsextrakt zwischen 7 und 55 mg/l. Die austauschbaren Basen wurden nur für vier Standorte dieser Einheit untersucht. Die Summe der austauschbaren Basen der vier untersuchten Standorte der Einheit ist durch NH_4OAc -lösliches Carbonat erhöht und liegt im Wurzelraum zwischen 40 und 100 mval pro 100 g Boden. Diese sehr hohen Summen der austauschbaren Basen sind z.T. jedoch auch durch die hohen pH-Werte und Humusgehalte (vgl. Kap. 2) bedingt.

Die Salzflora, die nach TROLL (1959, 55) am Rande der Salare in der Zone der Dorn-Sukkulenten- oder Salz-Puna ausgebildet ist, befindet sich im Bereich von Huachacalla innerhalb der Trocken-Puna.

Die Bestände der *Distichilis humilis* - *Salicornia pulvinata* - *Anthobryum triandrum* - Untereinheit sind vermutlich der von RUTHSATZ (1977, 128 ff.) ausgeschiedenen *Anthobryum triandrum* - Variante bzw. der verarmten Variante (Standort III.5) der typischen Subassoziatiion der Zentralassoziatiion des *Salicornio-Distichilidion humilis* zuzuordnen.

Die *Distichilis humilis* - *Salicornia pulvinata* - *Anthobryum triandrum* - *Festuca orthophylla* - *Parastrephia phyllocaeformis* - Untereinheit ist wahrscheinlich ebenfalls dem *Salicornio-Distichilidion humilis* zuzuordnen, da RUTHSATZ (1977, 128, Tab. 18) einen Bestand, der neben *Distichilis humilis*, *Salicornia pulvinata* und *Anthobryum triandrum* ausschließlich *Festuca orthophylla* und eine *Parastrephia*-Art (dort *Parastrephia lucida*) enthielt, in diesen Verband gestellt hat. Andere Autoren fassen nach Angaben von RUTHSATZ (1977) diese *Parastrephia lucida* - Bestände mit den *Para-*

strepchia lepidophylla dominierten Tolaren zusammen. Die Bodenuntersuchungen im Rahmen der vorliegenden Arbeit rechtfertigen nach Meinung der Verfasserin jedoch eine Zusammenfassung der Bestände von „Tolaren versalzter Standorte“ und von „Gebirgs-Salzrasen“ wie sie von RUTHSATZ (1977) vorgenommen wurde, da sich im Bereich von Huachacalla die Standorte der beiden Vegetationseinheiten hinsichtlich der chemischen Bodenparameter (Salzgehalt; SAR, Bor-konzentration) im Grundsatz nicht unterscheiden, aber sehr starke Unterschiede zu den Standorten der Tolare mit *Parastrephia lepidophylla* aufweisen.

Die Böden der *Distichilis humilis* - Vegetationseinheit (Standorte der grundwasserbeeinflussten Alluvialebene) wurden nach USDA als Halaquept klassifiziert. Nach DBG lässt sich eine Klassifikation dieser versalzten Böden nicht sinnvoll durchführen.

Nach der Klassifikation von RICHARDS (1954) sind die Böden dieser Einheit nach den gewichteten Mittelwerten für den Wurzelraum Salzalkaliböden.

Das Areal der *Distichilis humilis* - Vegetationseinheit deckt sich mit dem Areal der als Halaquept klassifizierten Böden sowie dem Areal der Salzalkaliböden im Untersuchungsgebiet.

8 Fazit

Die Ergebnisse der Untersuchungen des Bodens und der Vegetation im Bereich von Huachacalla geben eine relativ genaues Bild der reliefbedingten Abfolge der Boden- und Vegetationseinheiten im Untersuchungsgebiet, sind insgesamt schlüssig und ergänzen die Kenntnisse über die Geoökologie des zentralen Altiplano. Es zeigten sich gute Übereinstimmungen mit den Ergebnissen anderer pedologischer und vegetationskundlicher Arbeiten im Bereich der (Trocken)-Puna.

Im Nachhinein betrachtet, wäre die Aufnahme einer größeren Zahl grundwasser- und salzbeeinflusster Standorte in der Trockenzeit sinnvoll gewesen (in der Trockenzeit wurden drei, in der folgenden Regenzeit 10 grundwasser- und salzbeeinflusste Standorte untersucht), um die über die saisonal bedingte Änderung der Verteilung der löslichen Salze innerhalb der Bodenprofile getroffenen Aussagen abzusichern.

Die Feldarbeiten in der Regenzeit waren beendet bevor die Niederschläge ihre höchste Intensität erreicht und zu Überschwemmungen in weiten Bereichen der Ebene geführt haben, was eine Untersuchung dieser Standorte unmöglich gemacht hätte. Andererseits war zu Beginn der Feldarbeiten in der Regenzeit Anfang Januar 1997 die Auswaschung der löslichen Salze aus den oberen Bodenhorizonten noch nicht weit fortgeschritten, zudem herrschte tagsüber häufig ein aszendierender Bodenwasserstrom, da zu Beginn der Regenzeit die Niederschläge fast ausschließlich nachts fielen und tagsüber meist nur geringe Bewölkung vorhanden war.

Der Umfang der Laborarbeiten war sehr groß; insbesondere die Korngrößenanalyse und die Herstellung und Untersuchung der Bodensättungsextrakte waren sehr zeitaufwendig. Wobei sich zeigte, dass der Einfluss der Bodenart auf die Verteilung der Salze innerhalb der Bodenprofile nur relativ gering ist und anhand der gewonnenen Daten keine Aussage über die Stärke des Einflusses der Bodenart auf die Verteilung der Salze innerhalb des Bodenprofils gemacht werden kann (sehr starke räumliche Variabilität der Schichtung in der Alluvialebene; zu geringe Anzahl in der Trockenzeit und in der Regenzeit untersuchter Standorte). Gesicherte quantitative Aussagen über den Einfluss der Bodenart und der anderen in der 4. Annahme (s. Kap. 1) genannten Parameter auf die Prozesse der Bodenversalzung lassen sich nur auf der Grundlage der Ergebnisse von Feldversuchen treffen. Aus diesem Grund sind die theoretischen Grundlagen des Transports und der Verteilung der Salze im Boden in Abschn. 2.3 ausführlich dargestellt.

Auf der Grundlage der Ergebnisse lassen sich Nutzungsempfehlungen aussprechen, wobei sich diese mit den aktuellen bzw. ehemaligen Nutzungen decken, die auf jahrhundertelangen Erfahrungen der "Campesinos" (Landbevölkerung) beruhen.

Die Gebirgshänge sind offenbar im Gegensatz zu der äolisch geprägten Alluvialebene aufgrund günstigerer mesoklimatischer Bedingungen in regenreichen Jahren für den Anbau von Feldfrüchten, wie Kartoffeln oder Gerste geeignet (in der Alluvialebene kommt es nachts zur Bildung von Kaltluftseen). Eine extensive Nutzung der zonalen Puna-Vegetation der Gebirge und äolisch geprägten Alluvialebene als Lama-/Alpaka-Weide ist ohne eine weitere Degradation der Vegetation möglich. In der grundwasser- und salzbeeinflussten Alluvialebene ist aufgrund der osmotischen und toxischen Effekte der löslichen Salze ein Anbau von Feldfrüchten unmöglich. Die aktuelle Nutzung der von Halophyten bestandenen Flächen als Lama-/Alpaka- und/oder Schafweide ist somit als optimale Nutzung anzusehen.

Die aktuellen Pflanzengesellschaften auf dem Altiplano sind "anthropozoogene Ersatzgesellschaften von weitgehend unbekanntem Klimaxgesellschaften" (RUTHSATZ 1983, 571).

9 Zusammenfassung

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Bereich der Ortschaft Huachacalla, die auf dem zentralen Altiplano im Bolivien, 30 km nördlich des Salar de Coipasa, 3740 m über dem Meeresniveau, am Fuße von zwei Gebirgsmassiven, welche die Hochebene um etwa 1000 m überragen, liegt. Die zonale Vegetationsformation der Puna ist durch offene Bestände von (Dorn-)Sträuchern, Horstgräsern und Sukkulente n sowie durch das Fehlen von Bäumen gekennzeichnet. Das Klima ist semiarid und durch eine sommerliche Regenzeit sowie Tageszeitenklima mit häufigem Frostwechsel geprägt.

Die Ergebnisse der Geländearbeiten (Aufnahme der Lage-, der Vegetations- und der Bodenparameter von 16 Standorten in der Trockenzeit und 35 Standorten in der Regenzeit; Entnahme von 316 Bodenproben) und der Laboranalysen auf verschiedene physikalische und chemische Parameter sowie ihrer Synthese lassen folgende Aussagen bezüglich der Verifikation bzw. Falsifikation der in der Einleitung genannten Annahmen zu.

Die 1. Annahme, die besagt, dass es eine regelhafte Abfolge von Bodeneinheiten im Relief gibt, wird durch die Ergebnisse der Arbeit bestätigt. Über die Ausprägung der untersuchten Bodenparameter lassen sich drei Bodeneinheiten unterscheiden, die an bestimmte Reliefeinheiten gebunden sind und zwischen denen Übergangsbereiche bestehen: 1) Böden der Gebirge, 2) Böden der äolisch geprägten Alluvialebene und 3) Böden der grundwasser- und salzbeeinflussten Alluvialebene.

1) Böden der Gebirge:

salz- ($< 0,05\%$), gips- und carbonatfreie, mäßig saure bis neutrale, skelettreiche in situ entstandene lehmige Sand-, sandige Lehm-, seltener Lehmböden mit oberflächennah anstehendem Festgestein zwischen 0,2 und 0,8 m u. GOF, Humusgehalten zwischen 0,6 und 2 % im A-Horizont und einer Zunahme der Summe der austauschbaren Basen mit zunehmender Tiefe (ca. 5 mval / 100 g Boden im A-Horizont; sehr gering bis gering) sowie geringen bis mittleren Borkonzentrationen; (Lithic) Ustorthents nach USDA; Ranker und Braunerden nach DBG; Normalböden (weder Salz- noch Natriumböden) nach RICHARDS (1954)

2) Böden der äolisch geprägten Alluvialebene:

salz- ($< 0,05\%$) und gipsfreie oder im Unterboden sehr gering bis mäßig salzhaltige ($< 0,4\%$), dann z.T. sehr gering gipshaltige Böden mit Carbonatanreicherungen in einzelnen Horizonten verschiedener Standorte, schwach saurer bis mäßig alkalischer Reaktion, Humusgehalten $\leq 0,6\%$ im A-Horizont und bei Schichten aus reinem Sand mit einer sehr geringen Summe der austauschbaren Basen (um 3 mval / 100 g Boden) und nach der Untersuchung von nur drei Standorten geringer Borkonzentration der salzfreien und hoher bis extrem hoher Borkonzentration der versalzten Horizonte; aufgrund der fluviatilen Schichtung variiert die Bodenart innerhalb der Bodenprofile z.T. stark (Grobsand unter schluffigem Ton); vereinzelt treten skelettreiche (gerundete Steine) Horizonte auf; Ustorthents, Ustipsamments, Ustifluvents und Haplustepts nach USDA; Lockersyroseme nach DBG; Normalböden (weder Salz- noch Natriumböden) nach RICHARDS (1954)

- 3) Böden der grundwasser- und salzbeeinflussten Alluvialebene: oberhalb 60 cm u. GOF in mindestens 30 cm stark bis extrem salzhaltige (0,4 bis 2,5 %), natriumreiche (SAR > 13; max. ca. 175) Böden der grundwasserbeeinflussten Alluvialebene (GW-Stand max. 1,5 m u. GOF) mit überwiegend extrem hohen EC_e -Werten und Borgehalten sowie Carbonatanreicherungshorizonten (max. 26 % Carbonat) und bei einigen Standorten mit bis 2 cm mächtigen, vermutlich pedogenen, aszendente entstandenen Carbonatkrusten (max. 60 % Carbonat) innerhalb der Bodenprofile; der Humusgehalt im A-Horizont der Standorte liegt zwischen 0,2 und 12,4 %; die Summe der austauschbaren Basen erreicht bei carbonatreichen und stark humosen Horizonten bis zu 150 mval / 100 g Boden; die Reaktion der $CaCl_2$ -Bodensuspension ist bei den meisten Standorten im gesamten Bodenprofil mäßig alkalisch bis stark alkalisch (pH_{CaCl_2} 7,9 bis 8,9); der pH-Wert des Sättigungsextraktes (pH_e) derselben Horizonte liegt, aufgrund der Herabsetzung der Hydrolyse durch Salze, einige Zehntel (bei hohem Salzgehalt) bis mehr als eine pH-Einheit (bei extrem hohem Salzgehalt) unter diesen Werten; Gips wurde nur in wenigen Horizonten, einzelner Standorte in sehr geringen Konzentrationen festgestellt; die Bodenart des Feinbodens variiert aufgrund der starken Schichtung innerhalb der Bodenprofile (Grobsand bis Schlufflehm); der Grobboden (max. 24 %) besteht ausschließlich aus feineren Fraktionen; Halaquepts nach USDA; Salznatriumböden nach RICHARDS (1954).

Die 2. Annahme wurde ebenfalls bestätigt. Die Vegetationseinheiten, die durch eine charakteristische Artenzusammensetzung gekennzeichnet sind, sind über die Bodenparameter an die Bodeneinheiten gebunden, zudem hat das Relief über seine Auswirkungen auf das Mesoklima Einfluss auf die Zusammensetzung der Vegetation. Der Salzgehalt, der (Boden)wasserhaushalt, der pH-Wert, die Nährstoffversorgung, die toxisch wirkenden Stoffe (Natrium in höheren Konzentrationen und Bor bereits in geringen Konzentrationen), die Gründigkeit und die Exposition und Hangneigung haben Einfluss auf die Verbreitung der Vegetationseinheiten. Die Bodenart wirkt vor allem über andere Parameter, wie z.B. die Nährstoffversorgung und Wasserversorgung auf die Verbreitung der Vegetationseinheiten. Alle Vegetationseinheiten sind durch jahrtausendelangen anthropozoogenen Einfluss (ackerbauliche Nutzung und/oder Beweidung) geprägt. Es wurden drei Hauptvegetations- und zwei Übergangseinheiten ausgeschieden:

- 1 ehemals ackerbaulich und weidewirtschaftlich genutzte (dorn-)strauch-, horstgras- und sukkulente reiche *Fabiana densa* - Vegetationseinheit der Gebirge
- 2 Übergang zwischen *Fabiana densa* - und *Lampaya castellani* - Vegetationseinheit der Hangfußbereiche
- 3 *Lampaya castellani* - Vegetationseinheit der äolisch geprägten Alluvialebene mit hohen Anteilen an *Festuca orthophylla* ("Iru-Ichu", "Paja brava") und *Parastrephia lepidophylla* ("Tola"), die extensiv weidewirtschaftlich genutzt wird
- 4 Übergang zwischen *Lampaya castellani* - und *Distichilis humilis* - Vegetationseinheit der saisonal schwach grundwasser- und salzbeeinflussten Alluvialebene
- 5 *Distichilis humilis* - Vegetationseinheit der grundwasser- und salzbeeinflussten Alluvialebene mit *Distichilis humilis*, *Salicornia pulvinata* und *Anthrobryum triandrum* (Halophytenvegetation mit in Kurzrasen und polsterförmig wachsenden Pflanzen), die z.T. intensiv weidewirtschaftlich genutzt wird (Lama-, Alpaka und/oder Schafweide)

Die 3. Annahme kann bezüglich der reliefbedingten Verteilung der leichtlöslichen Salze und der Carbonate bestätigt werden. Die leichtlöslichen Salze sind auf die grundwasserbeeinflussten Böden beschränkt. Carbonate sind auch oberhalb des grundwasserbeeinflussten Bereichs zu finden. Zum einen handelt es sich hierbei um Relikte von Evaporiten des Lago Escara, Minchín und/oder Tauca, zum anderen um Carbonatanreicherung in einzelnen Bodenhorizonten von Profilen, die sich wenige Meter über dem heutigen Grundwasserniveau befinden und unter Grundwassereinfluss entstanden sind. Gips kommt nur in einzelnen Horizonten grundwasserbeeinflusster Böden in sehr geringen Konzentrationen vor.

Hinsichtlich der 4. Annahme, der saisonal bedingten vertikalen Verlagerung der Salze innerhalb des Bodenprofils, erreicht die Aussagefähigkeit der Untersuchungen ihre Grenzen, d.h. es können auf der Grundlage der Ergebnisse keine quantitativen Aussagen bezüglich des Einflusses verschiedener Parameter getroffen werden. Der entscheidende Grund hierfür sind die klein(st)räumig wechselnden Ablagerungsverhältnisse in der Alluvialebene, welche die Aussagefähigkeit eines intertemporalen Vergleichs zwischen zwei Bodenprofilen (Trockenzeit- und Regenzeitaufnahme), die wenige Meter voneinander entfernt liegen, einschränkt. Der zweite Grund ist, dass die Aufnahmen in der Regenzeit aus organisatorischen Gründen zu Zeiten durchgeführt wurden, als die Regenzeit noch nicht ihre höchste Intensität erreicht hatte und tagsüber in der Regel keine Niederschläge fielen, so dass zur Zeit der Aufnahme häufig ein aufsteigender Bodenwasserstrom dominierte. Zudem wurden in der Trockenzeit nur drei grundwasser- und salzbeeinflusste Standorte untersucht.

Die Parameter des Bodensättigungsextraktes der tieferen Bodenhorizonte der grundwasser- und salzbeeinflussten Standorte haben nach den Untersuchungen in der Regel sehr ähnliche Werte wie das Grundwasser. Es kommt zu einer Anreicherung von Salzen im Oberboden, wenn das Bodenwasser den Boden durch Evapo(transpi)ration verlässt. In der Trockenzeit wurden die höchsten Salzkonzentrationen in den oberen Zentimetern des Bodenprofils festgestellt, in der Regenzeit in größeren Tiefen (meist zwischen 10 bis 40 cm u. GOF), bedingt durch die regenzeitlichen Auswaschung der löslichen Salze in tiefere Bereiche. Hierbei ist Chlorid von den Anionen und Natrium von den Kationen am mobilsten; bei den untersuchten grundwasser- und salzbeeinflussten Standorten dominieren die vorgenannten Ionen.

Die 5. Annahme kann durch die Laboranalysen nicht eindeutig bestätigt werden, d.h. ein nennenswerter äolischer Transport von Salzen aus der Salztonebene in höhere Bereiche (Gebirge) kann nicht einwandfrei nachgewiesen werden. In der Trockenzeit wurde keine separate Probe aus dem obersten Zentimeter der Bodenprofile entnommen. Die Ergebnisse der Laboranalysen zeigen etwas höhere Salzgehalte in dem obersten Bodenzentimeter der Gebirgsstandorte in der Regenzeit, die auf einen Eintrag von Salzen schließen lassen. Dieser Eintrag erfolgt vermutlich in der Trockenzeit äolisch und in der Regenzeit überwiegend mit dem Niederschlagswasser (feinste Salzkristalle in der Luft (Aerosole) dienen als Kondensationskerne), da zu dieser Zeit die Luftbewegungen deutlich schwächer waren als in der Trockenzeit. Zum Zeitpunkt der Aufnahme in der Regenzeit waren die Salzgehalte im obersten Zentimeter der Bodenprofile etwas höher als in den darunterliegenden Horizonten (s.o.), da zu dieser Zeit am Tage ein aufsteigender Bodenwasserstrom herrschte. Auf der Grundlage der Ergebnisse der durchgeführten Laboranalysen kann jedoch nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden, dass es sich um pedogene Salze handelt, die durch die Verwitterung in situ entstanden sind. Aufgrund der geringen Salzgehalte sind jedoch alle Horizonte der Gebirgsstandorte als nicht versalzt anzusprechen.

10 Quellen

10.1 Literatur

- AG BODEN 1994: Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Auflage. Hannover
- AHLFELD, F. 1962: Neue Erkenntnisse über Stratigraphie und Tektonik Boliviens. In: Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, (6), 293-303
- AMMANN, C. 1996: Aktuelle Niederschlagsmuster. In: Climate Change in den trockenen Anden. Bern, 81-127. (= Geographica Bernensia G 46)
- BARTH, W. 1972: Die geowissenschaftliche Literatur Boliviens in den Jahren 1960-1971: Ein Überblick. In: Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, Teil 1, 1/2, 100-130
- BECK, S.G. 1985: Flórula ecológica en Bolivia. In: Ecología en Bolivia, 6, 1-41
- BECK, S. y E. GARCÍA 1991: Flora y vegetación en los diferentes pisos altitudinales. In: E. Forno y M. Boudoin (Eds.): Historia Natural de un Valle en los Andes: La Paz. Instituto de Ecología, UMSA, La Paz, 65-108
- BINGHAM, F.T. 1982: Bor. In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.): Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. Second Edicion. Madison, 431-447. (= Agronomy 9)
- BOUL, S.W., F.D. HOLE AND R.J. MCCRACKEN 1973: Soil Genesis and Classification. Ames
- BRADY, N.C. and R.R. WEIL 1996: The Nature and Properties of Soils. Eleventh Edicion. Upper Saddle River
- BRAUN-BLANQUET, J. 1964: Pflanzensoziologie. 3. Auflage. Wien
- BRESLER, E., B.L. MCNEAL and D.L. CARTER 1982: Saline and Sodic Soils. Principles – Dynamics – Modeling. Berlin, Heidelberg, New York. (= Advanced Series in Agricultural Sciences 10)
- CABRERA, A.L. 1957: La vegetación de la Puna Argentina. In: Revista de Investigaciones Agrícolas, (11), 4, 317-412
- CABRERA, A.L. 1968: Ecología vegetal de la Puna. In: C. Troll, H. Hahn, W. Kuls, W. Lauer (Eds.): Geo-Ecology of the Mountainous Regions of the Tropical Americas. Proceedings of the UNESCO Mexico Symposium August, 1-3, 1966. Bonn, 90-116 (= Colloquium Geographicum 9)
- CALLA, R. 1995: Aproximaciones etnográficas a la cubierta vegetal en Potosí. La Paz. (= Investigaciones Altiplano Sur 1)
- CHILON, E. 1996: Manual de Edafología. Prácticas de campo y laboratorio. La Paz. (= Serie Libros UNIR – UMSA 1).
- DBG (Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft, Arbeitskreis für Bodensystematik, Hrsg.) 1985: Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. Kurzfassung. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, (44), 1-90
- DIMATEC 1995: Bedienungsanleitung für die programmgesteuerte Hochtemperatur-Analyseeinheit DIMA 1000 HT V3. o.O.
- DIMATEC 1996: Handbuch zum "DIMAQS"/Feststoff. o.O.
- DVWK 1986: Merkblätter zur Wasserwirtschaft 208. Hamburg und Berlin

- ERIKSEN, W. 1986: Frostwechsel und hygrische Bedingungen in der Punastufe Boliviens - ein Beitrag zur Ökoklimatologie der randtropischen Anden -. In: H.J. Buchholz (Hrsg.): Bolivien. Beiträge zur physischen Geographie eines Andenstaates. Hannover, 1-21 (= Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft zu Hannover 1985)
- ESCHENBRENNER, V. 1982: Los suelos de la region de Challapata Bolivia (Mapa pedologico a 1:50.000). Programa ERTS, ORSTOM, U.M.S.S. ohne Ort
- Estudio de tenencia y uso de la tierra en el departamento de Oruro. Proyecto BOL / 089 / R07 / MC. 1991a). D. Paz Ballivián, M. Carranza Fernández y E. Iriarte Jiménez (Consultores). Volumen Cinco. Aspectos agropecuarios y de suelos (segunda parte). La Paz
- Estudio de tenencia y uso de la tierra en el departamento de Oruro. Proyecto BOL / 089 / R07 / MC 1991b):. D. Paz Ballivián, M. Carranza Fernández y E. Iriarte Jiménez (Consultores). Volumen seis. Anexo "Perfiles base de la clasificación de suelos". La Paz
- FAO - UNESCO 1990: Soil map of the world. Revised Legend. Rome. (= World Soil Resources Report 60). Reprinted
- FAO - UNESCO 1971: Soil map of the world. 1:5 000 000. Volume IV. South America. Rome
- FAO, ISRIC and ISSS 1998: Word reference base for soil resources. Rome. (= World Soil Resource Reports 84). <http://www.fao.org/docrep/W8594E/w8594e00.htm> (12.04.00)
- FAO, UNESCO, ELSEVIER and ISRIC 1987: Soils of the World (Wandkarte). Amsterdam
- FINCK, A. 1963: Tropische Böden. Einführung in die bodenkundlichen Grundlagen tropischer und subtropischer Landwirtschaft. Hamburg und Berlin
- FORTAK, H. 1982: Meteorologie. 2. Auflage. Berlin
- GARABITO, M., X. SANDY, J.S. DE QUEIROZ Y M. CUESTA 1995: Estudio sinecologico de las poblaciones de *Salicornia pulvinata* y *Anthobryum triandrum* en los campos nativos de pastoreo del canton San Jose Llanga. La Paz. (= IBTA 166/Boletin tecnico 34/SR-CRSP 32)
- GEHLER, E. 1992: Mineralstoffgehalte von Salzböden und Halophyten des bolivianischen Altiplano. Göttingen
- GEOBOL-ERTS 1978: Estudio integrado de los recursos naturales del departamento de Oruro. La Paz
- GHASSEMI, F., A.J. JAKEMAN and H.A. NIX 1995: Salinisation of Land and Water Resources. Human causes, extent, management and case studies. Canberra
- GUEST R. L. and H. BLUTSTEIN 1981: Aids for Analytical Chemists. Delivery of Acid Preservative for Trace Metal Determinations in Waters. In: Analytical Chemistry, (53), 727-731
- ISSS WORKING GROUP RB 1998: World Reference Base for Soil Resources: Introduction (J.A. Deckers, F.O. Nachtergaele and O.C. Spaargaren, Eds.). ISSS, ISRIC and FAO. Leuven
- JORDAN, E. 1981: Die rezenten Dünengebiete Boliviens und ihre regional-genetische Differenzierung. In: K. Gießner und H.-G. Wagner (Hrsg.): Geographische Probleme in Trockenräumen der Erde 159-194 (= Würzburger Geographische Arbeiten 53)
- Jordan, E. 1983 a: Die Verbreitung von *Polylepis*-Beständen in der Westkordillere Boliviens. In: H. Dierschke und H. Haeupler (Hrsg.): Ellenberg-Festschrift, 101-116 (= Tuexenia, Neue Serie 3)

- JORDAN, E. 1983 b: Los arenales recientes de Bolivia en su multiple diferenciación. In: *Ecología en Bolivia*, 3, 1-88
- KLEY, J., K.-J. REUTTER UND E. SCHEUBER 1991: Die zentralen Anden. Geologische Strukturen eines aktiven Kontinentalrandes. In: *Geographische Rundschau*, (43), 3, 134-142
- KNAPP, R. 1971: Einführung in die Pflanzensoziologie. Stuttgart
- KREEB, K.H. 1983: Vegetationskunde. Methoden und Vegetationsformen unter Berücksichtigung ökosystemischer Aspekte. 3. Auflage. Stuttgart
- KRETZSCHMAR, R. 1989: Kulturtechnisch-bodenkundliches Praktikum. Ausgewählte Laboratoriumsmethoden. Eine Anleitung zum selbstständigen Arbeiten an Böden. 6. Auflage. Kiel
- KUNTZE, H., G. ROESCHMANN und G. SCHWERDTFEGER 1994: Bodenkunde. 5. Auflage. Stuttgart
- LANDON, J.R. (Ed.) 1984: *Booker Tropical Soil Manual. A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics*. Bath
- LARCHER, W. 1994: Ökophysiologie der Pflanzen. 5. Auflage. Stuttgart.
- LAVENU, A. 1991: Formación geológica y evolución. In: C. Dejoux y A. Iltis (eds.): *El Lago Titicaca. Síntesis del conocimiento limnológico actual*. La Paz, 19-27
- LESER, H. und H.-J. KLINK (Hrsg.) 1988: Handbuch und Kartieranleitung Geoökologische Karte 1:25 000 (KA GÖK 25). Trier. (= Forschungen zur deutschen Landeskunde 228)
- LORINI, J., E. GEYGER y M. LIBERMAN 1984: Ecofisiología de algunas halófitas en un ambiente especial del altiplano central de Bolivia. In: *Ecología en Bolivia*, 5, 1-28
- MASSING, L. und P. WOLFF 1987: Melioration von Salz- und Alkaliböden – eine praktische Anleitung. Witzgenhausen. (= *Der Tropenlandwirt. Zeitschrift für die Landwirtschaft in den Tropen und Subtropen*, Beiheft 30)
- MERCK 1996: Reagenzien, Chemikalien, Diagnostica. Darmstadt
- MISSOURI BOTANICAL GARDEN: W3-TROPICOS. <http://mobot.mobot.org/Pick/Search/pick.html> (zw. 03.1999 u. 07.2000)
- MONTES DE OCA, I. 1997: *Geografía y Recursos Naturales de Bolivia*. Tercera Edición. La Paz
- MORALES, C.B. DE 1994: *Huaraco, Comunidad de la puna*. Instituto de Ecología, UMSA, La Paz
- MUNSELL 1992: *Soil Color Charts*. Newburgh, New York
- NATIONAL SOIL SURVEY CENTER 1995: *Soil Survey Laboratory Information Manual. Version 1.0*. Natural Resources Conservation Service, USDA, Lincoln, Nebraska. (= *Soil Survey Investigations Report 45*). <http://www.statlab.iastate.edu/soils/nssc/ssir45/ssir45.htm>
- NATIONAL SOIL SURVEY CENTER 1996: *Soil Survey Laboratory Methods Manual. Version 3.0*. Natural Resources Conservation Service, USDA. (= *Soil Survey Investigations Report 42*). <http://www.statlab.iastate.edu/soils/nssc/ssir42/ssir42.htm>
- REEUWIJK, L.P. VAN (Ed.) 1995: *Procedures for Soil Analysis*. Fifth Edicion. ISRIC, Wageningen. (= ISRIC Technical Paper 9)
- RENGER, M. und O. STREBEL 1982: Beregnungsbedürftigkeit der landwirtschaftlichen Nutzflächen in Niedersachsen. In: *Geologisches Jahrbuch*, F 13, 3-66

- RHOADES, J.D. 1982: Cation Exchange Capacity. In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.): *Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. Second Edition.* Madison, Wisconsin, 149-157 (= *Agronomy* 9)
- RHOADES, J.D. 1982: Soluble Salts. In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.): *Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. Second Edition.* Madison, Wisconsin, 167-179 (= *Agronomy* 9)
- RHOADES J.D. and S. MIYAMOTO 1990: Testing Soils for Salinity and Sodicity. In: R.L. Westerman (Ed.): *Soil Testing and Plant Analysis. Third Edition.* Madison, Wisconsin, 299-336 (= *Soil Science Society of America Book Series* 3)
- RICHARDS, L.A. (Ed.) 1954: *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils.* United States Salinity Laboratory Staff, USDA, Washington, D.C. (= *Agriculture Handbook* 60)
- RICHARDS, L.A. (Ed.) 1973: *Diagnostico y rehabilitación de suelos salinos y sodicos.* México. Sexta edición (Séptima reimpresión: 1993)
- RISACHER, F. 1984: Origine des concentrations extrêmes en bore et en lithium dans les saumures de l'Altiplano bolivien. In: *Comptes rendus de l'Académie des Sciences. Serie 2*, (11), 701-706
- RISACHER, F. and B. FRITZ 1991a: Geochemistry of Bolivian Salars, Lipez, Southern Altiplano: Origin of Solutes and Brine Evolution. In: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, (55), 687-705
- RISACHER, F. and B. FRITZ 1991b: Quaternary geochemical evolution of the Salars of Uyuni and Coipasa, Central Altiplano, Bolivia. In: *Chemical Geology*, (90), 211-231
- ROWELL, D.L. 1997: *Bodenkunde. Untersuchungsmethoden und ihre Anwendungen.* Berlin, Heidelberg
- RUTHSATZ, B. 1977: *Pflanzengesellschaften und ihre Lebensbedingungen in den Andinen Halbwüsten Nordwest-Argentiniens.* Vaduz. (= *Dissertationes Botanicae* 39)
- RUTHSATZ, B. 1978: Las Plantas en cojín de los semi-desiertos andinos del Noroeste Argentino. Su distribución local como adaptación a los factores climáticos, edáficos y antopogénicos de sus ambientes. *Darwiniana*, (21), 2, 491-539
- RUTHSATZ, B. 1983: Der Einfluß des Menschen auf die Vegetation semiarider bis arider tropischer Hochgebirge am Beispiel der Hochanden. Stuttgart, 535-576. (= *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft* 96)
- RUTHSATZ, B. und U. FISEL 1984: The Utilization of Natural Resources by a Small Community on the Highlands of Bolivia and its Effects on Vegetation Cover and Site Conditions. In: *Erdwissenschaftliche Forschung*, (18), 211-234
- SALM, H. 1983: Estudio preliminar de suelos del altiplano central de Bolivia. In: *Ecología en Bolivia*, 4, 43-57
- SALM, H. y E. GEHLER 1987: La salinización del suelo en el altiplano central de Bolivia y su influencia sobre la cobertura vegetal. In: *Ecología en Bolivia*, 10, 37-48
- SALM, H. y E. GEHLER 1989: Suelos Salinos en el Altiplano Central de Bolivia y su Relación con el Crecimiento de las Plantas. In: *Revista Boliviana de Química*, (8), 3-10
- SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1984: *Lehrbuch der Bodenkunde. 11. Auflage* (von P. Schachtschabel, H.-P. Blume, K.-H. Hartge und U. Schwertmann). Stuttgart

- SCHAEFFER/SCHACHTSCHABEL 1998: Lehrbuch der Bodenkunde. 14. Auflage (von P. Schachtschabel, H.-P. Blume, G. Brümmer, K.-H. Hartge und U. Schwertmann). Stuttgart
- SCHINLE, I. 1991: Kalkdynamik in den Bodengesellschaften der Halbinsel Yucatan (Mexiko). Stuttgart
- SCHLICHTING, E., H.-P. BLUME und K. STAHR 1995: Bodenkundliches Praktikum. Eine Einführung in pedologisches Arbeiten für Ökologen, insbesondere Land- und Forstwirte und für Geowissenschaftler. 2. Auflage. Berlin, Wien. (= Pareys Studentexte 81)
- SCHOENEBERGER, P.J., D.A WYSOCKI, E.C. BENHAM and W.D. BRODERSON 1998: Field Book for Describing and Sampling Soils. Version 1.1. Natural Resources Conservation Service, USDA, National Soil Survey Center, Lincoln, Nebraska.
http://www.statlab.iastate.edu/soils/nssc/field_gd/field_gd.htm
- SCHROEDER, D. 1992: Bodenkunde in Stichworten. 5. Auflage (von W.E.H. Blum). Berlin, Stuttgart
- SERVANT, M. et J.-C. FONTES 1978: Les lacs quaternaires des hauts plateaux des andes boliviennes. Premières interprétations paléoclimatiques. In: Cah. ORSTOM, sér. Géol., (10), 1, 9-23
- SOIL SURVEY DIVISION STAFF 1993: Soil Survey Manual. USDA, Washington, DC. (= Agriculture Handbook 18)
- SOIL SURVEY STAFF 1996: Keys to Soil Taxonomy. Seventh Edition. Natural Resources Conservation Service, USDA, Washington, D.C.
- SOIL SURVEY STAFF 1998: Keys to Soil Taxonomy. Eighth Edition. Natural Resources Conservation Service, USDA. <http://www.statlab.iastate.edu/soils/keytax/KeystoSoilTaxonomy1998.pdf>
- SOIL SURVEY STAFF 1999: Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Second Edition. Natural Resources Conservation Service, USDA. (= Agriculture Handbook 436). <http://www.statlab.iastate.edu/soils/soiltax/tax.pdf>
- SQUEO, F. A., H. VEIT, G. ARANCIO, J. R. GUTIERREZ, M. T. K. ARROYO and N. OLIVARES 1993: Spatial Heterogeneity of High Mountain Vegetation in the Andean Desert Zone of Chile. In: Mountain Research and Development, (13), 2, 203-209
- THOMAS, G. W. 1982: Exchangeable Cations. In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.): Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. Second Edition. Madison, Wisconsin, 159-165 (= Agronomy 9)
- TORRICO, G., C. PECA, S. BECK, E. GARCÍA 1994: Leñosas útiles de Potosí. Proyecto FAO/Holanda/CDF "Desarrollo forestal comunal en el Altiplano boliviano". Potosí
- TROLL, C. 1959: Die tropischen Gebirge. Ihre dreidimensionale klimatische und pflanzengeographische Zonierung. Bonn. (= Bonner Geographische Abhandlungen 25)
- TROLL, C. 1968: The Cordilleras of the Tropical Americas. Aspects of Climatic, Phytogeographical and Agrarian Ecology. In: C. Troll, H. Hahn, W. Kuls, W. Lauer (Eds.): Geo-Ecology of the Mountainous Regions of the Tropical Americas. Proceedings of the UNESCO Mexico Symposium August, 1-3, 1966. Bonn, 15-56 (= Colloquium Geographicum 9)
- VACHER, J.J., J. CHOQUECALLATA, V.H. PEREZ y C. MIRANDA 1994: Agroclimatología de Zonas de Intervención del I.B.T.A (Análisis preliminar). ORSTOM, SENAMHI und IBTA. La Paz
- VARIAN 1989: Flame Atomic Absorption Spectrometry. Analytical Methods. Mulgrave Victoria

- WEBERBAUER, A. 1911: Die Pflanzenwelt der peruanischen Anden. Leipzig. (= Die Vegetation der Erde 12)
- WEISCHET, W. 1996: Regionale Klimatologie. Teil 1. Die Neue Welt. Amerika, Neuseeland, Australien. Stuttgart
- WELZ, B. 1997: Atomabsorptionsspektrometrie. 4. Auflage. Weinheim.
- WILHELMY, H. 1994: Geomorphologie in Stichworten. I. Endogene Kräfte, Vorgänge und Formen. Stuttgart
- YOUNG, A. 1976: Tropical Soils and Soil Survey. (= Cambridge geographical studies 9).
- ZEIL, W. 1986: Südamerika. Stuttgart. (= Geologie der Erde 1)
- ZEPP, H. und M.J. MÜLLER (Hrsg.) 1999: Landschaftsökologische Erfassungsstandards. Ein Methodenbuch. Flensburg. (= Forschungen zur deutschen Landeskunde 244)

10.2 Karten und Luftbilder

- I.G.M.: América del Sur (Bolivia) 1:250.000 Corque SE 19-11 (Topographische Karte)
- I.G.M.: América del Sur (Bolivia) 1:250.000 Salinas de Garcí Mendoza SE 19-15 (Top. Karte)
- I.G.M.: Carta Nacional, Bolivia 1:50.000 Río Lauca Hoja 5937 I (Topographische Karte)
- I.G.M.: Carta Nacional, Bolivia 1:50.000 Escara Hoja 5937 II (Topographische Karte)
- I.G.M.: Carta Nacional, Bolivia 1:50.000 Yunguyo Hoja 5937 III (Topographische Karte)
- I.G.M.: Carta Nacional, Bolivia 1:50.000 Huachacalla Hoja 5937 I (Topographische Karte)
- GEOBOL-ERTS: Mapa de suelos, 1:250.000 Corque SE-19-11
- GEOBOL-ERTS: Mapa de suelos; 1:250.000 Salinas de Garcí Mendoza SE-19-15
- GEOBOL-ERTS: Mapa Geologico Litologico, 1:250.000 Corque SE-19-11
- GEOBOL-ERTS: Mapa Geologico Litologico; 1:250.000 Salinas de Garcí Mendoza SE-19-15
- GEOBOL-ERTS: Mapa Geomorfologico, 1:250.000 Corque SE-19-11
- GEOBOL-ERTS: Mapa Geomorfologico; 1:250.000 Salinas de Garcí Mendoza SE-19-15
- GEOBOL-ERTS: Mapa Hidrologico, 1:250.000 Corque SE-19-11
- GEOBOL-ERTS: Mapa Hidrologico; 1:250.000 Salinas de Garcí Mendoza SE-19-15
- GEOBOL-ERTS: Mapa Mineralogico, 1:250.000 Corque SE-19-11
- GEOBOL-ERTS: Mapa Mineralogico; 1:250.000 Salinas de Garcí Mendoza SE-19-15
- GEOBOL-ERTS: Uso actual de la tierra, 1:250.000 Corque SE-19-11
- GEOBOL-ERTS: Uso actual de la tierra; 1:250.000 Salinas de Garcí Mendoza SE-19-15
- GEOBOL (SERVICIO GEOLOGICO DE BOLIVIA): 1:100.000 Huachacalla Hoja No. 5937 (Geol. Karte)
- GEOBOL (SERVICIO GEOLOGICO DE BOLIVIA): 1:100.000 Sabaya Hoja No. 5936 (Geol. Karte)
- KUCERA 1963: Schwarzweiß-Orthophotos 1:40.000 Nr. 4159, 4161, 4276, 4318, 4320, 4322, 4324, 4718, 4720, 4722, 4761, 4763 und 4765

**Boden und Vegetation
im Bereich von Huachacalla
(Altiplano – Bolivien) –
unter besonderer Berücksichtigung
der Bodenversalzung**

**Band II
(Anhang)**

Inaugural -Dissertation

**zur
Erlangung des Doktorgrades der
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf**

**vorgelegt von
Carola Dörrie
aus Gronau (Leine)**

**Düsseldorf
2001**

Gedruckt mit der Genehmigung der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Referent: Prof. Dr. Ekkehard Jordan

Korreferent: Prof. Dr. Wolfgang Schirmer

Tag der mündlichen Prüfung: 30. Januar 2001

<http://www.ulb.uni-duesseldorf.de/diss/mathnat/2001/doerrie.html>

Anhang Tabellen

Tab. 24: Lageparameter Standort I.1

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Huachacalla Hoja 5937 IV
UTM-Koordinaten:	19KEV773186
Topographische Lage:	200 m östl. von Estancia Willkhi Nueva
Luftbild-Nr.:	4320
Höhe ü. M.:	3850 m
Höhe ü. GW-Stand:	157 m (TZ) / 156 m (RZ)
Neigung:	2 °
Exposition:	SW (220 °)
Reliefformtyp:	Hängiger Kulminationsbereich
Dünen:	keine
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	keine
Aktuelle Bodennutzung:	keine (Ödland); gelegentlich Lama- bzw. Alpakaweide
Anthropogene Veränderungen:	Lesesteinmauern
Bodenausgangsmaterial:	vulkanisches (Fest)gestein in situ verwittert
Oberfl. anstehendes Festgestein:	0,4 m u. GOF
Standorteinheit:	Gebirge
Vegetationshaupteinheit:	<i>Fabiana densa</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Fabiana densa</i> - <i>Baccharis incarum</i> - <i>Adesmia</i> ssp. - <i>Stipa</i> ssp. - <i>Parastrephia lepidophylla</i>
Bodeneinheit	Lithic Ustorthent (USDA); Braunerde (DBG)

Tab. 25: Vegetation Standort TZ I.1

Datum der Aufnahme:	03.10.1996
Gesamtzahl der Taxa:	11
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	< 5 %
Deckung der niederen Krautschicht:	< 5 %
Deckung der Cacteen:	sehr gering
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Fabiana densa</i> Remy, <i>Baccharis incarum</i> Wedd., <i>Opuntia</i> ssp. Mill., <i>Adesmia</i> ssp. DC., <i>Mayeniopsis</i> , <i>Tetraglochin cristatum</i> (Britton) Rothm., <i>Bouteloua simplex</i> Lag., <i>Stipa</i> ssp. L., <i>Parastrephia lepidophylla</i> (Wedd.) Cabrera

Tab. 26: Profilbeschreibung Standort TZ I.1

A	0-20 cm u. GOF 10YR 5/3 braun (trocken); 10YR 3/4 dunkel gelblich braun (feucht); lehmiger Sand mit sehr hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ I.1.1
BC	20-40 cm u. GOF 10YR 5/4 gelblich braun (trocken); 10YR 3/6 dunkel gelblich braun (feucht); lehmiger Sand mit extrem hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; zur Zeit der Aufnahme; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ I.1.2
2R	40-... cm u. GOF	anstehendes Festgestein

Tab. 27: Physikalische Bodenparameter Standort TZ I.1

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grob- %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
TZ I.1.1	0-20									I S	60-85				
TZ I.1.2	20-40									I S	> 85				

Tab. 28: Chemische Bodenparameter Standort TZ I.1

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl2}	Basensättigung %
TZ I.1.1	0-20	A	0,53	0,9	0,0		0,01	6,3	80-100
TZ I.1.2	20-40	BC	0,56	1,0	0,0		0,03	6,6	80-100

Tab. 29: Vegetation Standort RZ I.1

Datum der Aufnahme:	11.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	17
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	< 5 %
Deckung der niederen Krautschicht:	< 5 %
Deckung der Cacteen:	sehr gering
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Fabiana densa</i> Remy, <i>Baccharis incarum</i> Wedd., <i>Opuntia</i> ssp. Mill., <i>Cardionema ramosissima</i> (Weinm.) A. Nelson & J.F. Macbr., <i>Adesmia</i> ssp. DC., <i>Mayeniopsis</i> , <i>Bidens</i> ssp. L., <i>Tetraglochin cristatum</i> (Britton) Rothm., <i>Iridaceae</i> , <i>Gomphrena meyeniana</i> Walp., <i>Cyperus andinus</i> L., <i>Bouteloua simplex</i> Lag., <i>Stipa</i> ssp. L., <i>Parastrephia lepidophylla</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Hoffmannseggia</i> ssp. Cav.

Tab. 30: Profilbeschreibung Standort RZ I.1

A	0-20 cm u. GOF 10YR 5/3 braun (trocken); 10YR 3/4 dunkel gelblich braun (feucht); lehmiger Sand mit sehr hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ I.1.1
BC	20-40 cm u. GOF 10YR 5/3 braun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); Sand mit extrem hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ I.1.2
2R	40-... cm u. GOF	anstehendes Festgestein

Tab. 31: Physikalische Bodenparameter Standort RZ I.1

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grob- %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
RZ I.1.1	0-20									I S	60-85				
RZ I.1.2	20-40									S	> 85				

Tab. 32: Chemische Bodenparameter Standort RZ I.1

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl2}	Basensättigung %
RZ I.1.1	0-20	A	0,42	0,7	0,0		0,01	6,3	80-100
RZ I.1.2	20-40	BC	0,62	1,1	0,0		0,03	6,4	80-100

Tab. 33: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ I.1

Tiefe cm	NH ₄ OAc-extr. Basen in mval/100g					lösliche Basen in mval/100g					austauschbare Basen in mval/100g				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-20	4,2	1,8	0,6	0,1	6,7										
20-40	6,0	2,1	0,7	0,3	9,0										

Tab. 34: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval/100g Boden Standort RZ I.1

Tiefe cm	Anteil an extr. Basen in %					Anteil an lösl. Basen in %					Anteil an aust. Ba. in %					Anteil lösl. an extr. Basen in %				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-20	62,6	26,6	8,8	2,0	100															
20-40	66,4	22,9	7,8	2,9	100															

Tab. 35: Lageparameter Standort I.2

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Huachacalla Hoja 5937 IV
UTM-Koordinaten:	19KEV762175
Topographische Lage:	1,2 km NNE von Esmeralda
Luftbild:	4320
Höhe ü. M.:	3820 m
Höhe ü. GW-Stand:	127 m (TZ) / 126 m (RZ)
Neigung:	10 °
Exposition:	SE (140 °)
Reliefformtyp:	vertikal und horizontal gestreckter Hang
Dünen:	keine
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	keine
Aktuelle Bodennutzung:	keine (Ödland); gelegentlich Lama- bzw. Alpakaweide
Anthropogene Veränderungen:	Lesesteinmauern
Bodenausgangsmaterial:	vulkanisches (Fest)gestein in situ verwittert
Oberfl. anstehendes Festgestein:	0,7 m u. GOF
Standorteinheit:	Gebirge
Vegetationshaupteinheit:	<i>Fabiana densa</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Fabiana densa</i> - <i>Baccharis incarum</i> - <i>Adesmia ssp.</i> - <i>Stipa ssp.</i> - <i>Parastrephia lepidophylla</i>
Bodeneinheit	Ustorthent (USDA); Braunerde (DBG)

Tab. 36: Vegetation Standort TZ I.2

Datum der Aufnahme:	01.10.1996
Gesamtzahl der Taxa:	14
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	5-25 %
Deckung der niederen Krautschicht:	sehr gering
Deckung der Cacteen:	< 5 %
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Fabiana densa</i> Remy, <i>Baccharis incarum</i> Wedd., <i>Opuntia</i> ssp. Mill., <i>Adesmia</i> ssp. DC., <i>Mayeniopsis</i> , <i>Cactaceae</i> (kugelförmig), <i>Tetraglochin cristatum</i> (Britton) Rothm., <i>Junellia seriphoides</i> (Gillies & Hook.) Moldenke, <i>Ephedra cf. rupestris</i> Benth., <i>Baccharis boliviensis</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Bouteloua simplex</i> Lag., <i>Stipa</i> ssp. L., <i>Parastrephia lepidophylla</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Parastrephia quadrangularis</i> (Meyen) Cabrera

Tab. 37: Profilbeschreibung Standort TZ I.2

A	0-20 cm u. GOF 10YR 5/3 braun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); Sand mit mittlerem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; mittel durchwurzelt; trocken; deutliche Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ I.2.1
2BC	20-45/60 cm u. GOF 7.5YR 5/4 braun (trocken); 7.5YR 4/6 kräftig braun (feucht); sandiger Lehm mit sehr hohem Grobbodenanteil; Kittgefüge; mittel verfestigt; mittlere Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; trocken; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ I.2.2
3BC	45/60-70 cm u. GOF 10YR 6/6 bräunlich gelb (trocken); 10YR 4/6 dunkel gelblich braun (feucht); Schlufflehm mit sehr hohem Grobbodenanteil; Kittgefüge; sehr stark verfestigt; sehr hohe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ I.2.3
4R	70-... cm u. GOF	anstehendes Festgestein

Tab. 38: Physikalische Bodenparameter Standort TZ I.2

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grob. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
TZ I.2.1	0-20									S	15-40				
TZ I.2.2	20-52,5									s L	60-85				
TZ I.2.3	52,5-70									U L	60-85				

Tab. 39: Chemische Bodenparameter Standort TZ I.2

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl₂}	Basensättigung %
TZ I.2.1	0-20	A	0,35	0,6	0,0		0,01	6,1	80-100
TZ I.2.2	20-52,5	2BC1	0,27	0,5	0,02		0,05	6,6	80-100
TZ I.2.3	52,5-70	3BC2	0,13	0,2	0,02		0,07	7,3	80-100

Tab. 40: Vegetation Standort RZ I.2

Datum der Aufnahme:	11.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	24
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	5-25 %
Deckung der niederen Krautschicht:	< 5 %
Deckung der Cacteen:	< 5 %
Deckung der Polsterpflanzen:	keine

Taxa: *Fabiana densa* Remy, *Baccharis incarum* Wedd., *Opuntia* ssp. Mill., *Cardionema ramosissima* (Weinm.) A. Nelson & J.F. Macbr., *Adesmia* ssp. DC., *Mayeniopsis*, *Cactaceae* (kugelförmig), *Bidens* ssp. L., *Tetraglochin cristatum* (Britton) Rothm., *Junellia seriphioides* (Gillies & Hook.) Moldenke, *Ephedra cf. rupestris* Benth., *Baccharis boliviensis* (Wedd.) Cabrera, *Cheilanthes pruinata* Kaulf., *Iridaceae*, *Asteraceae*, *Poaceae*, *Bouteloua simplex* Lag., *Tarasa* ssp. Phil., *Stipa* ssp. L., *Parastrephia lepidophylla* (Wedd.) Cabrera, *Parastrephia quadrangularis* (Meyen) Cabrera, *Boraginaceae*

Tab. 41: Profilbeschreibung Standort RZ I.2

A	0-20 cm u. GOF	Proben-Nr.: RZ I.2.1
	7.5YR 5/4 braun (trocken); 7.5YR 4/4 braun (feucht); Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Subpolyedergefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; mittel durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen	
2BC	20-50 cm u. GOF	Proben-Nr.: RZ I.2.2
	7.5YR 6/4 hellbraun (trocken); 7.5YR 4/3 braun (feucht); Lehm (mit sehr geringem Grobbodenanteil); Kittgefüge; stark verfestigt; mittlere Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; trocken; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate)	

Tab. 42: Physikalische Bodenparameter Standort RZ I.2

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %							Bodenart	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fs	ffS	S	U						
RZ I.2.1	0-20								L					
RZ I.2.2	20-50								L					

Tab. 43: Chemische Bodenparameter Standort RZ I.2

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org}			Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl2}	Basensättigung %
			%	%	%					
RZ I.2.1	0-20	A	0,45	0,8	0,02		0,04	7,1	80-100	
RZ I.2.2	20-50	2BC	0,13	0,2	0,4		0,06	7,6	100	

Tab. 44: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ I.2

Tiefe cm	NH ₄ OAc-extr. Basen in mval/100g					lösliche Basen in mval/100g					austauschbare Basen in mval/100g				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-20	26,7	9,3	2,0	0,7	38,8										
20-50	25,3	6,3	1,4	0,7	33,8										

Tab. 45: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval/100g Boden Standort RZ I.2

Tiefe cm	Anteil an extr. Basen in %					Anteil an lösl. Basen in %					Anteil an aust. Ba. in %					Anteil lösl. an extr. Basen in %					
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	
0-20	68,8	24,0	5,2	1,9	100																
20-50	75,0	18,7	4,2	2,0	100																

Tab. 46: Lageparameter Standort I.3

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Yunguyo Hoja 5937 III
UTM-Koordinaten:	19KEV769169
Topographische Lage:	700 m WNW von Estancia Caipana
Luftbild-Nr.:	4320
Höhe ü. M.:	3810 m
Höhe ü. GW-Stand:	117 m (TZ) / 116 m (RZ)
Neigung:	5 °
Exposition:	SW (230 °)
Reliefformtyp:	vertikal und horizontal schwach konvex gewölbter Hang
Dünen:	keine
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	keine
Aktuelle Bodennutzung:	keine (Ödland); gelegentlich Lama- bzw. Alpakaweide
Anthropogene Veränderungen:	Lesesteinmauern
Bodenausgangsmaterial:	vulkanisches (Fest)gestein in situ verwittert
Oberfl. anstehendes Festgestein:	0,7 m u. GOF
Standorteinheit:	Gebirge
Vegetationshaupteinheit:	<i>Fabiana densa</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Fabiana densa</i> - <i>Baccharis incarum</i> - <i>Adesmia</i> ssp. - <i>Stipa</i> ssp. - <i>Parastrephia lepidophylla</i>
Bodeneinheit	Ustorthent (USDA); Braunerde (DBG)

Tab. 47: Vegetation Standort TZ I.3

Datum der Aufnahme:	02.10.1996
Gesamtzahl der Taxa:	14
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	5-25 %
Deckung der niederen Krautschicht:	gering
Deckung der Cacteen:	gering
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Fabiana densa</i> Remy, <i>Baccharis incarum</i> Wedd., <i>Opuntia</i> ssp. Mill., <i>Adesmia</i> ssp. DC., <i>Mayeniopsis</i> , <i>Cactaceae</i> (kugelförmig), <i>Tetraglochin cristatum</i> (Britton) Rothm., <i>Junellia seriphoides</i> (Gillies & Hook.) Moldenke, <i>Ephedra</i> cf. <i>rupestris</i> Benth., <i>Bouteloua simplex</i> Lag., <i>Stipa</i> ssp. L., <i>Parastrephia lepidophylla</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Parastrephia quadrangularis</i> (Meyen) Cabrera

Tab. 48: Profilbeschreibung Standort TZ I.3

A	0-30 cm u. GOF	Proben-Nr.: TZ I.3.1
	10YR 5/3 braun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); lehmiger Sand mit hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	

BC	30-70 cm u. GOF 10YR 6/4 hell gelblich braun (trocken); 10YR 4/4 dunkel gelblich braun (feucht); Lehm mit sehr hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ I.3.2
2R	70-... cm u. GOF	anstehendes Festgestein

Tab. 49: Physikalische Bodenparameter Standort TZ I.3

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grob. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
TZ I.3.1	0-30									I S	40-60				
TZ I.3.2	30-70									L	60-85				

Tab. 50: Chemische Bodenparameter Standort TZ I.3

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl2}	Basensättigung %
TZ I.3.1	0-30	A	0,46	0,8	0,0		0,01	6,4	80-100
TZ I.3.2	30-70	BC	0,30	0,5	0,0		0,01	6,4	80-100

Tab. 51: Vegetation Standort RZ I.3

Datum der Aufnahme:	11.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	24
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	5-25 %
Deckung der niederen Krautschicht:	< 5%
Deckung der Cacteen:	gering
Deckung der Polsterpflanzen:	keine

Taxa: *Fabiana densa* Remy, *Baccharis incarum* Wedd., *Opuntia* ssp. Mill., *Cardionema ramosissima* (Weinm.) A. Nelson & J.F. Macbr., *Adesmia* ssp. DC., *Mayeniopsis*, *Cactaceae* (kugelförmig), *Bidens* ssp. L., *Tetraglochin cristatum* (Britton) Rothm., *Junellia seriphoides* (Gillies & Hook.) Moldenke, *Ephedra* cf. *rupestris* Benth., *Asteraceae*, *Nassella* ssp., *Bouteloua simplex* Lag., *Tarasa* ssp. Phil., *Guilleminea densa* (Willd.) Moq., *Stipa* ssp. L., *Parastrephia lepidophylla* (Wedd.) Cabrera, *Parastrephia quadrangularis* (Meyen) Cabrera, *Hoffmannseggia* ssp. Cav., *Plantago sericea* Ruiz & Pav.,

Tab. 52: Profilbeschreibung Standort RZ I.3

A	0-30 cm u. GOF 10YR 5/3 braun (trocken); 10YR 3/4 dunkel gelblich braun (feucht); Sand mit hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ I.3.1
BC	30-70 cm u. GOF 10YR 5/4 gelblich braun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); Lehm mit sehr hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ I.3.2
2R	70-... cm u. GOF	anstehendes Festgestein

Tab. 53: Physikalische Bodenparameter Standort RZ I.3

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grobbr. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
RZ I.3.1	0-30									S	40-60				
RZ I.3.2	30-70									L	60-85				

Tab. 54: Chemische Bodenparameter Standort RZ I.3

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC _s %	pH _{CaCl₂}	Basensättigung %
RZ I.3.1	0-30	A	0,52	0,9	0,0		0,02	6,5	80-100
RZ I.3.2	30-70	BC	0,60	1,0	0,0		0,02	6,7	80-100

Tab. 55: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ I.3

Tiefe cm	NH ₄ OAc-extr. Basen in mval/100g					lösliche Basen in mval/100g					austauschbare Basen in mval/100g				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-30	2,9	0,9	0,8	0,1	4,7										

Tab. 56: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval/100g Boden Standort RZ I.3

Tiefe cm	Anteil an extr. Basen in %					Anteil an lösl. Basen in %					Anteil an aust. Ba. in %					Anteil lösl. an extr. Basen in %				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-30	62,1	19,3	17,3	1,3	100															

Tab. 57: Lageparameter Standort I.4

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Yunguyo Hoja 5937 III
UTM-Koordinaten:	19KEV755168
Topographische Lage:	400 m N von Esmeralda
Luftbild-Nr.:	4320
Höhe ü. M.:	3760 m
Höhe ü. GW-Stand:	66 m (RZ)
Neigung:	5 °
Exposition:	SSE (160 °)
Reliefformtyp:	vertikal und horizontal gestreckter Hang
Dünen:	keine
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	keine
Aktuelle Bodennutzung:	keine (Ödland); gelegentlich Lama- bzw. Alpakaweide
Anthropogene Veränderungen:	Lesesteinmauern
Bodenausgangsmaterial:	vulkanisches (Fest)gestein in situ verwittert
Oberfl. anstehendes Festgestein:	0,2 m u. GOF
Standorteinheit:	Gebirge
Vegetationshaupteinheit:	<i>Fabiana densa</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Fabiana densa</i> - <i>Baccharis incarum</i> - <i>Adesmia ssp.</i> - <i>Stipa ssp.</i> - <i>Parastrephia lepidophylla</i>
Bodeneinheit	Lithic Ustorthent (USDA); Ranker (DBG)

Tab. 58: Vegetation Standort RZ I.4

Datum der Aufnahme:	10.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	20
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	< 5 %
Deckung der niederen Krautschicht:	< 5%
Deckung der Cacteen:	< 5%
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Fabiana densa</i> Remy, <i>Baccharis incarum</i> Wedd., <i>Opuntia</i> ssp. Mill., <i>Cardionema ramosissima</i> (Weinm.) A. Nelson & J.F. Macbr., <i>Adesmia</i> ssp. DC., <i>Mayeniopsis</i> , <i>Cactaceae</i> (kugelförmig), <i>Bidens</i> ssp. L., <i>Tetraglochin cristatum</i> (Britton) Rothm., <i>Ephedra</i> cf. <i>rupestris</i> Benth., <i>Asteraceae</i> , <i>Gamochaeta</i> ssp. Wedd., <i>Poaceae</i> , <i>Geranium</i> od. <i>Tarasa</i> , <i>Stipa</i> ssp. L., <i>Euphorbia</i> ssp. L., <i>Parastrephia lepidophylla</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Boraginaceae</i> , <i>Poaceae</i>

Tab. 59: Profilbeschreibung Standort RZ I.4

A1	0-0,2 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 3/2 sehr dunkel gräulich braun (feucht); Sand mit hohem Grob- bodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig sauer (CaCl ₂); hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ I.4.1
A2	0,2-10 cm u. GOF 10YR 5/3 braun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); lehmiger Sand mit hohem Grob- bodenanteil; Einzel- korngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; dif- fuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mä- ßig sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ I.4.2
AC	10-20 cm u. GOF 10YR 4/3 braun (trocken); 7.5YR 3/3 dunkelbraun (feucht); sandiger Lehm mit sehr hohem Grob- bodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; mittlere Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ I.4.3
2R	20-... cm u. GOF	anstehendes Festgestein

Tab. 60: Physikalische Bodenparameter Standort RZ I.4

Proben- Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Boden- art	Grob- %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	VV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
RZ I.4.1	0-0,2									S	40-60				
RZ I.4.2	0,2-10									I S	40-60				
RZ I.4.3	10-20									s L	60-85				

Tab. 61: Chemische Bodenparameter Standort RZ I.4

Proben- Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl₂}	Basensättigung %
RZ I.4.1	0-0,2	A1	0,71	1,2	0,0		0,03	5,8	50-80
RZ I.4.2	0,2-10	A2	0,53	0,9	0,0		0,01	6,0	80-100
RZ I.4.3	10-20	AC	0,93	1,6	0,0		0,02	6,4	80-100

Tab. 62: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ I.4

Tiefe cm	NH ₄ OAc-extr. Basen in mval/100g					lösliche Basen in mval/100g					austauschbare Basen in mval/100g				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-0,2	2,0	0,6	0,6	0,1	3,2										
0,2-10	3,0	1,1	0,5	0,1	4,7										
10-20	8,9	3,2	1,3	0,2	13,6										

Tab. 63: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval/100g Boden Standort RZ I.4

Tiefe cm	Anteil an extr. Basen in %					Anteil an lösl. Basen in %					Anteil an aust. Ba. in %					Anteil lösl. an extr. Basen in %					
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	
0-0,2	63,3	17,6	17,3	1,8	100																
0,2-10	64,3	22,9	11,5	1,2	100																
10-20	65,4	23,8	9,4	1,4	100																

Tab. 64: Lageparameter Standort I.5

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Yunguyo Hoja 5937 III
UTM-Koordinaten:	19KEV753162
Topographische Lage:	400 m SW von Esmeralda
Luftbild-Nr.:	4320
Höhe ü. M.:	3710 m
Höhe ü. GW-Stand:	17 m (TZ) / 16 m (RZ)
Neigung:	2 °
Exposition:	SE (130 °)
Reliefformtyp:	vertikal gestreckter und horizontal sehr schwach konvex gewölbter Hang
Dünen:	bis 0,3 m hoch
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	keine
Aktuelle Bodennutzung:	Lama-, Alpaka und/oder Schafweide
Anthropogene Veränderungen:	Viehkral aus Lesesteinen
Bodenausgangsmaterial:	bis 45 cm u. GOF äolisch abgelagertes Lockergestein; von 45 bis 75 cm fluvial abgelagertes Lockergestein mit hohem Grobbodenanteil; ab 75 cm u. GOF vulkanisches Festgestein
Oberfl. anstehendes Festgestein:	0,75 m u. GOF
Standorteinheit:	Hangfuß
Vegetationshaupteinheit:	Übergang zwischen <i>Fabiana densa</i> und <i>Lampaya castellani</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Baccharis incarum</i> - <i>Adesmia</i> ssp. - <i>Stipa</i> ssp. - <i>Parastrephia lepidophylla</i> - <i>Festuca orthophylla</i>
Bodeneinheit	Ustorthent (USDA); Lockersyrosem (DBG)

Tab. 65: Vegetation Standort TZ I.5

Datum der Aufnahme:	13.09.1996
Gesamtzahl der Taxa:	5
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	< 5
Deckung der niederen Krautschicht:	gering
Deckung der Cacteen:	sehr gering
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Baccharis incarum</i> Wedd., <i>Mayeniopsis</i> , <i>Bouteloua simplex</i> Lag., <i>Parastrephia lepidophylla</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Festuca orthophylla</i> Pilg.

Tab. 66: Profilbeschreibung Standort TZ I.5

A	0-4 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Sand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ I.5.1
C1	4-15 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); lehmiger Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ I.5.2
C2	15-45 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); lehmiger Sand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ I.5.3
2C	45-75 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); lehmiger Feinsand mit hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ I.5.4
3R	75-... cm u. GOF	anstehendes Festgestein

Tab. 67: Physikalische Bodenparameter Standort TZ I.5

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
TZ I.5.1	0-4									S	5				
TZ I.5.2	4-15									I S	1				
TZ I.5.3	15-45									I S	3				
TZ I.5.4	45-75									I fS	40-60				

Tab. 68: Chemische Bodenparameter Standort TZ I.5

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl₂}	Basensättigung %
TZ I.5.1	0-4	A	0,19	0,3	0,01		0,01	6,0	80-100
TZ I.5.2	4-15	C1	0,19	0,3	0,01		0,00	6,3	80-100
TZ I.5.3	15-45	C2	0,12	0,2	0,01		0,00	6,4	80-100
TZ I.5.4	45-75	2CR	0,21	0,4	0,01		0,01	6,7	80-100

Tab. 69: Vegetation Standort RZ I.5

Datum der Aufnahme:	10.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	12
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	< 5
Deckung der niederen Krautschicht:	< 5
Deckung der Cacteen:	sehr gering
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Baccharis incarum</i> Wedd., <i>Mayeniopsis</i> , <i>Bouteloua simplex</i> Lag., <i>Tarasa</i> ssp. Phil., <i>Guilleminea densa</i> (Willd.) Moq., <i>Euphorbia</i> ssp. L., <i>Parastrephia lepidophylla</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Hoffmannseggia</i> ssp. Cav., <i>Festuca orthophylla</i> Pilg., <i>Distichilis humilis</i>

Tab. 70: Profilbeschreibung Standort RZ I.5

A	0-4 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Sand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig sauer (CaCl ₂); hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ I.5.1
AC	4-15 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark sauer (CaCl ₂); hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ I.5.2
C	15-45 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); lehmiger Sand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ I.5.3
2C	45-75 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/3 braun (feucht); lehmiger Sand mit hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; mittlere Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate)	Proben-Nr.: RZ I.5.4
3R	75-... cm u. GOF	anstehendes Festgestein

Tab. 71: Physikalische Bodenparameter Standort RZ I.5

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
RZ I.5.1	0-4									S	5				
RZ I.5.2	4-15									S	1				
RZ I.5.3	15-45									I S	3				
RZ I.5.4	45-75									I S	40-60				

Tab. 72: Chemische Bodenparameter Standort RZ I.5

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org}			Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl₂}	Basensättigung %
			%	%	%					
RZ I.5.1	0-4	A	0,18	0,3	0,0		0,01	5,6	50-80	
RZ I.5.2	4-15	AC	0,15	0,3	0,0		0,01	5,5	50-80	
RZ I.5.3	15-45	C	0,16	0,3	0,0		0,01	6,4	80-100	
RZ I.5.4	45-75	2C	0,19	0,3	0,6		0,03	7,6	100	

Tab. 73: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ I.5

Tiefe cm	NH ₄ OAc-extr. Basen in mval/100g					lösliche Basen in mval/100g					austauschbare Basen in mval/100g				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-4	1,3	0,4	0,3	0,0	2,0										
4-15	1,3	0,4	0,3	0,0	2,0										
15-45	2,4	0,7	0,5	0,1	3,8										
45-75	12,3	1,0	0,7	0,1	14,1										

Tab. 74: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval/100g Boden Standort RZ I.5

Tiefe cm	Anteil an extr. Basen in %					Anteil an lösl. Basen in %					Anteil an aust. Ba. in %					Anteil lösl. an extr. Basen in %					
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	
0-4	66,1	18,5	13,8	1,7	100																
4-15	63,0	19,9	15,0	2,1	100																
15-45	65,3	19,1	13,9	1,7	100																
45-75	87,4	7,4	4,7	0,5	100																

Tab. 75: Lageparameter Standort I.6

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Yunguyo Hoja 5937 III
UTM-Koordinaten:	19KEV756159
Topographische Lage:	500 m S von Esmeralda
Luftbild-Nr.:	4320
Höhe ü. M.:	3702 m
Höhe ü. GW-Stand:	9 m (TZ) / 8 m (RZ)
Neigung:	0,5 °
Exposition:	N (360 °)
Reliefformtyp:	Tiefenbereich
Umgebung des Standortes:	100 m westl. verläuft eine tiefe Quebrada; 70 m südwestl. befinden sich höhere Dünen
Dünen:	flache Dünen um Vegetation
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	keine
Aktuelle Bodennutzung:	Lama-, Alpaka und/oder Schafweide
Anthropogene Veränderungen:	keine
Bodenausgangsmaterial:	fluviatil und äolisch abgelagertes Lockergestein mit < 15 % Grobbodenanteil
Oberfl. anstehendes Festgestein:	kein
Standorteinheit:	äolisch geprägte Alluvialebene
Vegetationshaupteinheit:	<i>Lampaya castellani</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Lampaya castellani</i> - <i>Parastrephia lepidophylla</i> - <i>Festuca orthophylla</i>
Bodeneinheit	Ustipsamment (USDA); Lockersyrosem (DBG)

Tab. 76: Vegetation Standort TZ I.6

Datum der Aufnahme:	10.09.1996
Gesamtzahl der Taxa:	10
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	< 5
Deckung der niederen Krautschicht:	gering
Deckung der Cacteen:	sehr gering
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Baccharis incarum</i> Wedd., <i>Adesmia</i> ssp. DC., <i>Mayeniopsis</i> , <i>Bouteloua simplex</i> Lag., <i>Parastrephia lepidophylla</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Festuca orthophylla</i> Pilg., <i>Lampaya castellani</i> Moldenke

Tab. 77: Profilbeschreibung Standort TZ I.6

A	0-3 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Sand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ I.6.1
C11	3-15 cm u. GOF 10YR 5/3 braun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); Sand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ I.6.2
C12	15-30 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Grobsand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ I.6.3
C13	30-50 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Grobsand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ I.6.4
C21	50-80 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Grobsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ I.6.5
C22	80-110 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Grobsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; humusfrei; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ I.6.6
C3	110-140 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Grobsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; humusfrei; carbonatfrei gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral; (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ I.6.7

Tab. 78: Physikalische Bodenparameter Standort TZ I.6

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
TZ I.6.1	0-3									S	7				
TZ I.6.2	3-15									S	7				
TZ I.6.3	15-30									gS	9				
TZ I.6.4	30-50									gS	8				
TZ I.6.5	50-80									gS	0				
TZ I.6.6	80-110									gS	0				
TZ I.6.7	110-140									gS	0				

Tab. 79: Chemische Bodenparameter Standort TZ I.6

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl₂}	Basensättigung %
TZ I.6.1	0-3	A	0,41	0,7	0,0		0,01	6,2	80-100
TZ I.6.2	3-15	C11	0,20	0,3	0,0		0,01	6,5	80-100
TZ I.6.3	15-30	C12	0,13	0,2	0,0		0,01	6,6	80-100
TZ I.6.4	30-50	C13	0,06	0,1	0,0		0,00	6,9	80-100
TZ I.6.5	50-80	C21	0,03	0,1	0,0		0,00	6,8	80-100
TZ I.6.6	80-110	C22	0,01	0,0	0,0		0,00	6,9	80-100
TZ I.6.7	110-140	C3	0,02	0,0	0,0		0,00	6,9	80-100

Tab. 80: Vegetation Standort RZ I.6

Datum der Aufnahme:	10.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	18
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	< 5
Deckung der niederen Krautschicht:	< 5
Deckung der Cacteen:	sehr gering
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Baccharis incarum</i> Wedd., <i>Cardionema ramosissima</i> (Weinm.) A. Nelson & J.F. Macbr., <i>A-desmia</i> ssp. DC., <i>Mayeniopsis</i> , <i>Bouteloua simplex</i> Lag., <i>Geranium</i> od. <i>Tarasa</i> , <i>Guilleminea densa</i> (Willd.) Moq., <i>Euphorbia</i> ssp. L., <i>Parastrephia lepidophylla</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Festuca orthophylla</i> Pilg., <i>Lampaya castellani</i> Moldenke, <i>Iridaceae</i>

Tab. 81: Profilbeschreibung Standort RZ I.6

A	0-3 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 3/2 sehr dunkel gräulich braun (feucht); Sand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mittel sauer (CaCl ₂); hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ I.6.1
C1	3-15 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); Sand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ I.6.2
C12	15-30 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Grobsand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ I.6.3
C13	30-50 cm u. GOF 10YR 5/3 braun (trocken); 10YR 4/3 braun (feucht); Grobsand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ I.6.4
C2	50-80 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Grobsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ I.6.5

Tab. 86: Lageparameter Standort I.7

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Yunguyo Hoja 5937 III
UTM-Koordinaten:	19KEV747144
Topographische Lage:	2,2 km SSW von Esmeralda
Luftbild-Nr.:	4722
Höhe ü. M.:	3695 m
Höhe ü. GW-Stand:	1,3 m (RZ)
Neigung:	0,5 °
Exposition:	SW (230 °)
Reliefformtyp:	Tiefenbereich
Dünen:	keine
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	geringe Salzausscheidungen an der Bodenoberfläche, Halophytenvegetation
Aktuelle Bodennutzung:	Lama-, Alpaka und/oder Schafweide
Anthropogene Veränderungen:	Straßendamm mit Durchlässen (Oberflächen- und Grundwasserstau)
Bodenausgangsmaterial:	fluviatil abgelagertes Lockergestein
Oberfl. anstehendes Festgestein:	kein
Standorteinheit:	grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene
Vegetationshaupteinheit:	<i>Distichilis humilis</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Distichilis humilis</i> - <i>Salicornia pulvinata</i> - <i>Anthobryum triandrum</i>
Bodeneinheit	Halaquept (USDA)

Tab. 87: Vegetation Standort RZ I.7

Datum der Aufnahme:	09.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	3
Gesamtdeckung der Vegetation:	50-75 %
Deckung der Strauchschicht:	keine
Deckung der hohen Krautschicht:	keine
Deckung der niederen Krautschicht:	< 5
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	50-75 %
Taxa:	<i>Distichilis humilis</i> Phil., <i>Salicornia pulvinata</i> R. E. Fr., <i>Anthobryum triandrum</i> (Remy) Surgis

Tab. 88: Profilbeschreibung Standort RZ I.7

Aznk1	0-10 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Krümmelgefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr stark durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; mittel humos; carbonatarm; gipsfrei; mäßig erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate); mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; gering versalzter Salzboden mit sehr hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ I.7.1
Aznk2	10-14 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 4/3 braun (feucht); feinstsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Krümmelgefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; stark humos; schwach carbonathaltig; gipsfrei; sehr stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; stark versalzter Salzkalkiboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ I.7.2

Aznk3	14-25 cm u. GOF 10YR 7/3 sehr fahl braun (trocken); 10YR 4/3 braun (feucht); feinstsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Krümmelgefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; mittel humos; mittel carbonathaltig; gipsfrei; sehr hoher Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; sehr stark versalzter Salzkalkiboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ I.7.3
Aznk4	25-40 cm u. GOF 10YR 7/2 hellgrau (trocken); 10YR 5/3 braun (feucht); feinstsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Krümmelgefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; mittel humos; stark carbonathaltig; gipsfrei; sehr stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; stark versalzter Salzkalkiboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ I.7.4
ACzkg1	40-55 cm u. GOF 10YR 7/2 hellgrau (trocken); 10YR 4/2 dunkel grünlich braun (feucht); feinsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkornggefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; zur Zeit der Aufnahme; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; mittel carbonathaltig; gipsfrei; sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate); nicht versalzter Normalboden mit hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ I.7.5
ACzkg2	55-63 cm u. GOF 10YR 7/2 hellgrau (trocken); 10YR 4/2 dunkel grünlich braun (feucht); feinsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkornggefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; mittel carbonathaltig; gipsfrei; sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate); nicht versalzter Normalboden mit hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ I.7.6
Ckg	63-80 cm u. GOF 10YR 7/2 hellgrau (trocken); 10YR 4/2 dunkel grünlich braun (feucht); Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkornggefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate); nicht versalzter Normalboden mit mittlerer Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ I.7
2Azkgb	80-100 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 3/2 sehr dunkel grünlich braun (feucht) mit Rost- und Manganflecken; Schlufflehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkornggefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; feucht; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate); nicht versalzter Normalboden mit mittlerer Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ I.7.8
2ACzkgb	100-120 cm u. GOF 10YR 7/2 hellgrau (trocken); 10YR 4/2 dunkel grünlich braun (feucht); sandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkornggefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; stark feucht; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; schwach carbonathaltig; gipsfrei; sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate); nicht versalzter Normalboden mit mittlerer Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ I.7.9
2CWzkgz	120-140 cm u. GOF 10YR 8/1 weiß (trocken); 10YR 5/2 grünlich braun (feucht); feinsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkornggefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; nass; extrem schwach humos; mittel carbonathaltig; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate); nicht versalzter Normalboden mit mittlerer Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ I.7.10
Grundwasser	130-... cm nicht versalztes Grundwasser mit mittlerer Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ I.7.GW

Tab. 89: Physikalische Bodenparameter Standort RZ I.7

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Boden- art	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fs	ffS	S	U	T						
RZ I.7.1	0-10	0,2	2,7	16,3	47,8	22,0	89,0	8,9	2,1	fs	2				
RZ I.7.2	10-14	0,3	1,8	4,3	25,4	35,9	67,7	27,1	5,2	ffs L	0,5				
RZ I.7.3	14-25	0,5	2,3	3,8	20,3	24,4	51,2	42,5	6,2	ffs L	0,1				
RZ I.7.4	25-40	1,1	3,6	3,9	18,6	23,9	51,1	41,7	7,1	ffs L	0,1	0,96	2,21	56,4	43,3
RZ I.7.5	40-55	1,0	7,9	10,2	35,3	17,7	72,2	21,8	6,0	fs L	0,1	0,97	2,23	56,3	32,0
RZ I.7.6	55-63	1,1	4,2	5,1	28,3	23,9	62,5	29,7	7,7	fs L	0,1	0,93	2,24	58,5	40,4
RZ I.7.7	63-80	1,0	3,8	9,2	51,3	23,6	88,9	9,3	1,8	fs	0,0	1,2	2,38	51,3	30,9
RZ I.7.8	80-100	0,4	1,1	1,5	11,1	26,1	40,2	54,3	5,5	U L	0,0	1,2	2,32	47,4	46,3
RZ I.7.9	100-120	0,9	2,9	4,8	17,2	20,8	46,5	46,7	6,8	s L	0,0	1,05	2,24	52,9	47,4
RZ I.7.10	120-140	0,9	3,9	9,0	21,1	20,7	55,6	41,5	2,9	fs L	0,0				

Tab. 90: Chemische Bodenparameter Standort RZ I.7

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl2}	Basensättigung %
RZ I.7.1	0-10	Aznk1	1,40	2,4	1,6	0	0,32	8,0	100
RZ I.7.2	10-14	Aznk2	2,56	4,4	2,8	0	1,13	8,4	100
RZ I.7.3	14-25	Aznk3	2,24	3,9	6,3	0	1,59	8,4	100
RZ I.7.4	25-40	Aznk4	1,78	3,1	7,8	0	1,10	8,4	100
RZ I.7.5	40-55	ACzkg1	0,37	0,6	4,8	0	0,08	8,2	100
RZ I.7.6	55-63	ACzkg2	0,54	0,9	6,6	0	0,06	8,1	100
RZ I.7.7	63-80	Ckg	0,12	0,2	1,4	0	0,04	8,1	100
RZ I.7.8	80-100	2Azkgb	0,51	0,9	1,0	0	0,05	7,9	100
RZ I.7.9	100-120	2ACzkgb	0,39	0,7	2,1	0	0,05	7,9	100
RZ I.7.10	120-140	2CWzkg	0,20	0,3	4,1	0	0,05	7,9	100

Tab. 91: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ I.7

Tiefe cm	NH ₄ OAc-extr. Basen in mval/100g					lösliche Basen in mval/100g					austauschbare Basen in mval/100g				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-10	24,7	3,7	1,0	1,9	31,2	1,12	0,62	0,16	1,31	3,21	23,5	3,0	0,8	0,6	28,0
10-14	52,0	8,2	2,5	15,4	78,1	1,27	1,40	0,69	11,94	15,30	50,7	6,8	1,8	3,5	62,8
14-25	85,1	8,3	2,9	23,0	119,2	2,37	1,10	0,87	18,11	22,45	82,7	7,2	2,0	4,9	96,8
25-40	90,6	7,3	2,8	17,7	118,4	1,43	0,38	0,63	12,47	14,90	89,1	6,9	2,2	5,3	103,5
40-55	45,3	3,7	1,1	0,8	51,0	0,15	0,07	0,04	0,27	0,54	45,1	3,7	1,1	0,6	50,4
55-63	44,6	3,8	0,9	0,7	50,0	0,11	0,05	0,02	0,16	0,33	44,4	3,8	0,9	0,6	49,7
63-80	29,1	1,7	0,5	0,3	31,7	0,07	0,04	0,02	0,09	0,22	29,1	1,7	0,5	0,2	31,5
80-100	26,5	3,3	1,2	0,7	31,7	0,08	0,04	0,02	0,10	0,25	26,4	3,3	1,2	0,6	31,5
100-120	35,6	4,1	0,9	0,7	41,4	0,10	0,05	0,02	0,10	0,27	35,5	4,1	0,9	0,6	41,2
120-140	40,6	3,8	0,6	0,6	45,7	0,14	0,06	0,02	0,10	0,32	40,4	3,8	0,6	0,5	45,3

Tab. 92: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval/100g Boden Standort RZ I.7

Tiefe cm	Anteil an extr. Basen in %					Anteil an lösl. Basen in %					Anteil an aust. Ba. in %					Anteil lösl. an extr. Basen in %				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-10	79,1	11,7	3,2	6,0	100	34,8	19,3	5,1	40,7	100	84,2	10,8	3,0	2,0	100	4,5	17,0	16,5	69,8	10
10-14	66,6	10,5	3,2	19,7	100	8,3	9,1	4,5	78,1	100	80,7	10,9	2,9	5,5	100	2,4	17,0	27,5	77,6	20
14-25	71,4	6,9	2,4	19,3	100	10,6	4,9	3,9	80,7	100	85,5	7,4	2,1	5,0	100	2,8	13,3	30,0	78,8	19
25-40	76,5	6,2	2,3	15,0	100	9,6	2,5	4,2	83,7	100	86,1	6,7	2,1	5,1	100	1,6	5,2	22,6	70,3	13
40-55	88,8	7,3	2,2	1,7	100	28,7	13,5	7,6	50,2	100	89,5	7,2	2,2	1,1	100	0,3	2,0	3,6	32,1	1
55-63	89,1	7,6	1,8	1,4	100	32,1	14,5	6,2	47,3	100	89,5	7,6	1,8	1,1	100	0,2	1,2	2,2	21,8	1
63-80	91,9	5,5	1,6	1,0	100	33,5	16,8	7,1	42,6	100	92,3	5,4	1,6	0,7	100	0,2	2,1	3,0	29,0	1
80-100	83,5	10,5	3,8	2,2	100	34,1	17,2	7,0	41,7	100	83,9	10,4	3,8	1,9	100	0,3	1,3	1,4	14,8	1
100-120	86,0	10,0	2,2	1,8	100	38,2	16,7	6,4	38,6	100	86,3	9,9	2,2	1,5	100	0,3	1,1	1,9	14,3	1
120-140	88,9	8,4	1,4	1,4	100	42,9	19,4	5,5	32,2	100	89,2	8,3	1,3	1,1	100	0,3	1,6	2,8	16,8	1

Tab. 93: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser Standort RZ I.7

Tiefe cm	lösliche Kationen im Sättigungsextrakt in mval/l						lösliche Anionen im Sättigungsextrakt in mval/l						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-10	27,8	15,4	4,1	32,5	0,05	79,9	0,00	4,6	18,3	53,2	0,06	0,1	76,2
10-14	24,7	27,2	13,4	232,1	1,07	298,4	0,00	13,5	202,5	77,7	0,33	0,0	294,1
14-25	47,3	22,0	17,3	360,9	0,54	448,0	0,00	5,8	345,0	89,0	0,35	0,0	440,1
25-40	27,9	7,4	12,3	244,5	0,18	292,3	0,00	3,2	237,5	47,3	0,20	0,0	288,2
40-55	4,2	2,0	1,1	7,3	0,05	14,7	0,00	3,6	8,4	2,2	0,04	0,1	14,4
55-63	2,9	1,3	0,6	4,3	0,05	9,2	0,00	3,2	3,2	2,3	0,02	0,3	9,1
63-80	2,2	1,1	0,5	2,8	0,04	6,7	0,00	2,8	2,1	1,5	0,02	0,0	6,4
80-100	2,4	1,2	0,5	2,9	0,00	6,9	0,00	2,6	2,3	1,7	0,02	0,0	6,6
100-120	2,8	1,2	0,5	2,8	0,00	7,4	0,00	2,3	2,7	1,8	0,02	0,0	6,8
120-140	3,8	1,7	0,5	2,9	0,00	8,9	0,00	3,4	2,5	1,4	0,02	0,0	7,3
GW 130-...	2,2	1,4	0,3	3,8	0,00	7,6	0,15	3,7	2,4	1,6	0,03	0,0	7,9

Tab. 94: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser bezogen auf mval/l Standort RZ I.7

Tiefe cm	Anteil an löslichen Kationen im Sättigungsextrakt in %						Anteil an löslichen Anionen im Sättigungsextrakt in %						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-10	34,8	19,3	5,1	40,7	0,07	100,0	0,00	6,1	23,9	69,7	0,07	0,17	100,0
10-14	8,3	9,1	4,5	77,8	0,36	100,0	0,00	4,6	68,9	26,4	0,11	0,02	100,0
14-25	10,6	4,9	3,9	80,6	0,12	100,0	0,00	1,3	78,4	20,2	0,08	0,00	100,0
25-40	9,6	2,5	4,2	83,6	0,06	100,0	0,00	1,1	82,4	16,4	0,07	0,00	100,0
40-55	28,6	13,5	7,6	50,1	0,36	100,0	0,00	25,2	58,2	15,4	0,25	0,89	100,0
55-63	31,9	14,4	6,1	47,0	0,59	100,0	0,00	35,8	35,3	25,0	0,28	3,56	100,0
63-80	33,3	16,7	7,1	42,4	0,54	100,0	0,00	43,0	32,7	23,9	0,28	0,00	100,0
80-100	34,1	17,2	7,0	41,7	0,00	100,0	0,00	39,4	35,1	25,2	0,30	0,00	100,0
100-120	38,2	16,7	6,4	38,6	0,00	100,0	0,00	33,4	39,9	26,5	0,24	0,00	100,0
120-140	42,9	19,4	5,5	32,2	0,00	100,0	0,00	46,4	34,3	19,0	0,26	0,00	100,0
GW 130-...	28,4	17,8	4,5	49,3	0,00	100,0	1,91	47,5	30,3	19,9	0,38	0,00	100,0

Tab. 95: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ I.7

Tiefe cm	Sätt. %	lösliche Kationen in mg/100g Boden						lösliche Anionen in mg/100g Boden						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-10	40,3	22,4	7,5	6,4	30,1	0,04	66,6	0,00	11,4	26,1	102,8	0,18	0,3	140,8
10-14	51,5	25,5	17,0	26,9	274,7	0,99	345,0	0,00	42,3	369,6	192,1	1,32	0,2	605,4
14-25	50,2	47,5	13,4	33,9	416,5	0,48	511,8	0,00	17,6	613,9	214,6	1,38	0,0	847,4
25-40	51,0	28,6	4,6	24,5	286,9	0,16	344,7	0,00	10,1	429,7	115,9	0,81	0,0	556,5
40-55	36,9	3,1	0,9	1,6	6,2	0,04	11,9	0,00	8,2	11,0	3,9	0,10	0,3	23,5
55-63	36,1	2,1	0,6	0,8	3,6	0,03	7,1	0,00	7,1	4,1	3,9	0,07	0,7	16,0
63-80	32,5	1,4	0,4	0,6	2,1	0,02	4,6	0,00	5,5	2,4	2,4	0,05	0,0	10,3
80-100	35,8	1,7	0,5	0,7	2,4	0,00	5,3	0,00	5,6	2,9	2,8	0,06	0,0	11,5
100-120	36,6	2,1	0,5	0,7	2,4	0,00	5,7	0,00	5,0	3,5	3,2	0,05	0,0	11,7
120-140	36,5	2,8	0,8	0,7	2,4	0,00	6,7	0,00	7,5	3,2	2,4	0,05	0,0	13,2

Tab. 96: EC_{e/w}, SAR, pH_{e/w}, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte und des Grundwassers Standort RZ I.7

Tiefe cm	EC _{e/w} mS/cm	SAR	pH _{e/w}	Bor - B	Bor - B	lösl. Kat.	lösl. An.	EC _{e/w} *10	lösl. Kat.	lösl. An.	B(OH) ₃ ⁰	Summe	Salze n. EC _{e/w}
				mg/l	mg/100g	mval/l	mval/l		mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g
0-10	6,8	7,0	7,9	5,00	0,20	79,9	76,2	67,9	66,6	140,8	1,0	208,3	174,9
10-14	28,4	45,6	8,1	23,47	1,21	298,4	294,1	283,6	345,0	605,4	5,9	956,4	934,1
14-25	43,3	61,3	7,8	34,31	1,72	448,0	440,1	433,2	511,8	847,4	8,8	1.368,0	1.391,2
25-40	29,1	58,1	7,8	19,70	1,00	292,3	288,2	291,2	344,7	556,5	5,1	906,3	950,9
40-55	1,7	4,2	8,1	2,57	0,09	14,7	14,4	17,3	11,9	23,5	0,5	35,9	40,9
55-63	1,0	3,0	8,0	2,08	0,08	9,2	9,1	9,6	7,1	16,0	0,4	23,4	22,2
63-80	0,7	2,2	8,0	1,50	0,05	6,7	6,4	7,0	4,6	10,3	0,2	15,2	14,6
80-100	0,7	2,2	8,1	1,42	0,05	6,9	6,6	7,4	5,3	11,5	0,2	17,0	17,0
100-120	0,8	2,0	8,0	1,37	0,05	7,4	6,8	7,9	5,7	11,7	0,2	17,7	18,5
120-140	0,8	1,7	8,1	1,36	0,05	8,9	7,3	7,7	6,7	13,2	0,2	20,1	18,0
GW 130-...	0,8	2,8	8,35	1,85		7,6	7,9	8,4					

Tab. 97: Lageparameter Standort I.8

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Yunguyo Hoja 5937 III
UTM-Koordinaten:	19KEV735129
Topographische Lage:	8,1 km SSW von Esmeralda
Luftbild-Nr.:	4722
Höhe ü. M.:	3692 m
Höhe ü. GW-Stand:	1,0 (TZ) / 0,8 m (RZ) später überflutet
Neigung:	0 °
Exposition:	keine
Reliefformtyp:	Tiefenbereich
Dünen:	keine
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	starke Salzausscheidungen an der Bodenoberfläche, vegetationsarm
Aktuelle Bodennutzung:	keine
Anthropogene Veränderungen:	Straßendamm mit Durchlässen (Oberflächen- und Grundwasserstau)
Bodenausgangsmaterial:	fluviatil abgelagertes Lockergestein
Oberfl. anstehendes Festgestein:	kein
Standorteinheit:	grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene
Vegetationshaupteinheit:	<i>Distichlis humilis</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Distichlis humilis</i> - <i>Salicornia pulvinata</i> - <i>Anthobryum triandrum</i>
Bodeneinheit	Halaquept (USDA)

Tab. 98: Vegetation Standort TZ I.8

Datum der Aufnahme:	05.09.1996
Gesamtzahl der Taxa:	3
Gesamtdeckung der Vegetation:	sehr gering
Deckung der Strauchschicht:	keine
Deckung der hohen Krautschicht:	keine
Deckung der niederen Krautschicht:	sehr gering
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	sehr gering
Taxa:	<i>Distichilis humilis</i> Phil., <i>Salicornia pulvinata</i> R. E. Fr., <i>Anthobryum triandrum</i> (Remy) Surgis

Tab. 99: Profilbeschreibung Standort TZ I.8

Aznkg1	0-0,2 cm u. GOF 10YR 8/1 weiß (trocken); 10YR 5/2 gräulich braun (feucht); Salz mit sehr geringem Grobbodenanteil; sehr schwach verfestigt; schwach feucht; scharfe Horizontuntergrenze; carbonatarm; gipsfrei; extrem erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; extrem versalzter Salzalkaliboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: TZ I.8.0
Aznkg2	0,2-20 cm u. GOF 10YR 7/2 hellgrau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); lehmiger Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatarm; gipsfrei; extrem erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; extrem versalzter; Salzalkaliboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: TZ I.8.1
2Czng	20-30 cm u. GOF 2.5Y 8/1 weiß (trocken); 2.5Y 5/2 gräulich braun (feucht); Schlufflehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge: sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; zur Zeit der Aufnahme; feucht; scharfe Horizontuntergrenze; humusfrei; sehr carbonatarm; gipsfrei; extrem erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; extrem versalzter Salzalkaliboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: TZ I.8.2
3Czkmg	30-31 cm u. GOF 2.5Y 8/1 weiß (trocken); 2.5Y 6/2 hell bräunlich grau (feucht); Kruste mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; sehr stark verfestigt; sehr hohe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; scharfe ; sehr carbonatreich; gipsfrei; sehr stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr stark versalzter Salzalkaliboden mit sehr hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: TZ I.8.3
3Czng	31-45 cm u. GOF 10YR 7/3 sehr fahl braun (trocken); 10YR 4/3 braun (feucht); Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge: sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; feucht; diffuse Horizontuntergrenze; humusfrei; sehr carbonatarm; gipsfrei; sehr stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr stark versalzter Salzalkaliboden mit sehr hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: TZ I.8.4
4Cznkg	45-50 cm u. GOF 2.5Y 8/1 weiß (trocken); 2.5Y 5/2 gräulich braun (feucht) mit Rostflecken; Schlufflehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; feucht; scharfe Horizontuntergrenze; humusfrei; schwach carbonathaltig; gipsfrei; sehr stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr stark versalzter Salzalkaliboden mit sehr hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: TZ I.8.5
5Aznkmg	50-52 cm u. GOF 10YR 8/1 weiß (trocken); 10YR 6/2 hell bräunlich grau (feucht); Kruste mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; sehr stark verfestigt; sehr hohe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; zur Zeit der Aufnahme; feucht; scharfe Horizontuntergrenze; sehr carbonatreich; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; stark versalzter Salzalkaliboden mit hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: TZ I.8.6
5Aznkgb	52-55 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); sandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; feucht; scharfe Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatarm; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ I.8.7

6Cznkmg	55-56 cm u. GOF 10YR 7/2 hellgrau (trocken); 10YR 5/2 gräulich braun (feucht); Kruste mit geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; sehr stark verfestigt; sehr hohe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; scharfe Horizontuntergrenze; extrem carbonatreich; gipsfrei; mäßig erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ I.8.8
6C'znkg	56-63 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); Feinsand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; stark feucht; scharfe Horizontuntergrenze; humusfrei; mittel carbonathaltig; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ I.8.9
7C'znkmg	63-64 cm u. GOF 10YR 7/2 hellgrau (trocken); 10YR 5/2 gräulich braun (feucht); Kruste mit geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; sehr stark verfestigt; sehr hohe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; scharfe Horizontuntergrenze; sehr carbonatreich; gipsfrei; mäßig erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ I.8.10
7C''znkg	64-77 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 3/2 sehr dunkel gräulich braun (feucht); Grobsand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; stark feucht; scharfe Horizontuntergrenze; humusfrei; mittel carbonathaltig; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ I.8.11
8C''znkmg	77-78cm u. GOF 10YR 7/1 hellgrau (trocken); 10YR 4/1 dunkelgrau (feucht); Kruste mit geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; sehr stark verfestigt; sehr hohe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; scharfe Horizontuntergrenze; sehr carbonatreich; gipsfrei; mäßig erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ I.8.12
8C'''znkg	78-82 cm u. GOF 2.5Y 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 2.5Y 3/2 sehr dunkel gräulich braun (feucht); Grobsand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; nass; scharfe Horizontuntergrenze; humusfrei; carbonatarm; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ I.8.13
9C'''znkmg1	82-83 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 3/2 sehr dunkel gräulich braun (feucht); Kruste mit geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; sehr stark verfestigt; sehr hohe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; scharfe Horizontuntergrenze; sehr carbonatreich; gipsfrei; mäßig erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ I.8.14
10C'''znkmg2	90-91 cm u. GOF 2.5Y 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 2.5Y 3/2 sehr dunkel gräulich braun (feucht); Kruste mit geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; sehr stark verfestigt; sehr hohe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; sehr carbonatreich; gipsfrei; mäßig erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ I.8.15
Grundwasser	100-... cm u. GOF stark versalztes Salzkalkgrundwasser mit sehr hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: TZ I.8.GW

Tab. 100: Physikalische Bodenparameter Standort TZ I.8

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Boden- art	Grob- %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	VV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
TZ I.8.0	0-0,2										0				
TZ I.8.1	0,2-20	0,4	1,8	7,9	34,5	30,3	75,0	20,5	4,5	l fS	0,1				
TZ I.8.2	20-30	0,0	0,0	0,0	10,0	15,4	25,5	70,4	4,1	U L	0				
TZ I.8.3	30-31									K	0				
TZ I.8.4	31-45	0,0	0,7	13,4	52,3	19,8	86,2	12,7	1,1	fS	0				
TZ I.8.5	45-50	0,0	0,1	0,3	4,2	20,9	25,5	72,1	2,4	U L	0,5				
TZ I.8.6	50-52									K	2				
TZ I.8.7	52-55	5,4	8,3	6,7	16,9	22,3	59,6	36,7	3,6	s L	2				
TZ I.8.8	55-56									K	3				
TZ I.8.9	56-63	0,4	2,0	9,0	51,7	24,3	87,4	10,9	1,7	fS	3				
TZ I.8.10	63-64									K	4				
TZ I.8.11	64-77	8,5	21,1	25,8	26,9	8,1	90,4	7,2	2,3	gS	4				
TZ I.8.12	77-78									K	10				
TZ I.8.13	78-82	9,1	22,9	33,9	29,6	1,7	97,2	1,4	1,4	gS	13				
TZ I.8.14	82-83									K	10				
TZ I.8.15	90-91									K	10				

Tab. 101: Chemische Bodenparameter Standort TZ I.8

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl2}	Basensättigung %
TZ I.8.0	0-0,2	Aznkg1			1,5	0	87,7	8,3	
TZ I.8.1	0,2-20	Aznkg2	0,09	0,2	0,9	0	3,26	8,5	100
TZ I.8.2	20-30	2Czng	0,00	0,0	0,04	0	3,42	8,4	100
TZ I.8.3	30-31	3Czkmg			37,8	0	1,45	8,7	100
TZ I.8.4	31-45	3Czng	0,02	0,0	0,04	0	0,82	8,4	100
TZ I.8.5	45-50	4Cznkg	0,00	0,0	3,7	0	1,13	8,6	100
TZ I.8.6	50-52	5Aznkmg			26,1	0	0,54	8,5	100
TZ I.8.7	52-55	5Aznkmg	0,22	0,4	0,6	0	0,78	8,6	100
TZ I.8.8	55-56	6Cznkmg			60,3	0	0,23	8,3	100
TZ I.8.9	56-63	6C'znkg	0,00	0,0	6,2	0	0,62	8,4	100
TZ I.8.10	63-64	7C'znkmg			45,5	0	0,27	8,3	100
TZ I.8.11	64-77	7C''znkg	0,01	0,0	6,0	0	0,43	8,4	100
TZ I.8.12	77-78	8C''znkmg			33,4	0	0,28	8,5	100
TZ I.8.13	78-82	8C'''znkg	0,00	0,0	1,2	0	0,50	8,3	100
TZ I.8.14	82-83	9C'''znkmg1			25,8	0	0,33	8,5	100
TZ I.8.15	90-91	10C'''znkmg2			29,8	0	0,33	8,5	100

Tab. 102: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser Standort TZ I.8

Tiefe cm	lösliche Kationen im Sättigungsextrakt in mval/l						lösliche Anionen im Sättigungsextrakt in mval/l						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
*0-0,2	*1.759,0	*85,4	*95,3	*5.478,3	*0,11	*7.418,0	*0,00	*1,4	*5.000,0	*469,7	*0,18	*0,0	*5471,3
0,2-20	25,7	9,7	33,0	1.482,6	0,07	1.551,0	0,00	1,3	1.462,5	67,8	0,08	0,3	1532,0
20-30	16,2	14,0	27,8	1.312,0	0,00	1.370,0	0,00	0,4	1.287,5	68,0	0,00	0,3	1356,2
30-31	552,6	4,7	16,6	28,3	0,11	602,3	0,00	2,6	585,0	28,0	0,04	0,1	615,7
31-45	3,1	3,3	10,8	305,4	0,04	322,7	0,00	1,3	310,0	17,9	0,04	0,0	329,3
45-50	7,5	2,7	13,7	363,0	0,05	386,9	0,00	1,6	360,0	17,4	0,05	0,1	379,1
50-52	3,1	1,6	8,2	199,6	0,05	212,6	0,00	2,1	200,0	10,4	0,04	0,0	212,6
:													
GW 100-...	7,6	6,4	6,6	269,9	0,00	290,5	0,38	6,2	272,5	17,2	0,10	0,0	296,3

* 1:1-Extrakt

Tab. 103: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser bezogen auf mval/l Standort TZ I.8

Tiefe cm	Anteil an löslichen Kationen im Sättigungsextrakt in %						Anteil an löslichen Anionen im Sättigungsextrakt in %						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
*0-0,2	*23,7	*1,2	*1,3	*73,9	*0,00	*100,0	*0,00	*0,0	*91,4	*8,6	*0,00	*0,00	*100,0
0,2-20	1,7	0,6	2,1	95,6	0,00	100,0	0,00	0,1	95,5	4,4	0,01	0,02	100,0
20-30	1,2	1,0	2,0	95,8	0,00	100,0	0,00	0,0	94,9	5,0	0,00	0,02	100,0
30-31	91,8	0,8	2,7	4,7	0,02	100,0	0,00	0,4	95,0	4,5	0,01	0,01	100,0
31-45	1,0	1,0	3,3	94,7	0,01	100,0	0,00	0,4	94,1	5,4	0,01	0,00	100,0
45-50	1,9	0,7	3,5	93,8	0,01	100,0	0,00	0,4	95,0	4,6	0,01	0,02	100,0
50-52	1,5	0,8	3,9	93,9	0,03	100,0	0,00	1,0	94,1	4,9	0,02	0,00	100,0
:													
GW 100-...	2,6	2,2	2,3	92,9	0,00	100,0	0,13	2,1	92,0	5,8	0,03	0,00	100,0

* 1:1-Extrakt

Tab. 104: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort TZ I.8

Tiefe cm	Sätt. %	lösliche Kationen in mg/100g Boden						lösliche Anionen in mg/100g Boden						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
*0-0,2	*100,0	*3.525,0	*103,8	*372,5	*12.600,0	*0,19	*16.601,4	*0,00	*8,5	*17.730,0	*2.256,0	*1,40	*0,0	*19.995,9
0,2-20	29,8	15,3	3,5	38,4	1.016,0	0,04	1.073,3	0,00	2,4	1.545,1	97,0	0,20	0,6	1.645,3
20-30	35,1	11,4	6,0	38,2	1.060,4	0,00	1.116,0	0,00	0,9	1.604,3	114,7	0,00	0,7	1.720,6
30-31	25,7	285,0	1,5	16,7	16,7	0,05	319,9	0,00	4,1	533,8	34,6	0,08	0,1	572,7
31-45	33,6	2,1	1,3	14,2	236,1	0,02	253,8	0,00	2,7	369,5	28,9	0,10	0,0	401,2
45-50	38,4	5,8	1,2	20,6	321,0	0,04	348,6	0,00	3,7	490,7	32,1	0,14	0,2	526,8
50-52	29,7	1,9	0,6	9,5	136,3	0,03	148,2	0,00	3,8	210,5	14,8	0,09	0,0	229,3

* 1:1-Extrakt

Tab. 105: EC_{e/w}, SAR, pH_{e/w}, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte und des Grundwassers Standort TZ I.8

Tiefe cm	EC _{e/w} mS/cm	SAR	pH _{e/w}	Bor - B mg/l	Bor - B mg/100g	lösl. Kat. mval/l	lösl. An. mval/l	EC _{e/w} *10	lösl. Kat. mg/100g	lösl. An. mg/100g	B(OH) ₃ ⁰ mg/100g	Summe mg/100g	Salze n. EC _{e/w} mg/100g
*0-0,2	*645,0	*180,4	*7,6	*23,99	*2,40	*7.418,0	*5.471,3	*6.450,0	*16.601,4	*19.995,9	*12,6	*36.610,0	*41.280,0
0,2-20	175,8	352,6	7,5	12,86	0,38	1.551,0	1.532,0	1.758,0	1.073,3	1.645,3	2,0	2.720,6	3.352,2
20-30	141,2	337,6	6,9	8,65	0,30	1.370,0	1.356,2	1.412,0	1.116,0	1.720,6	1,7	2.838,3	3.175,5
30-31	53,4	1,7	7,6	5,09	0,13	602,3	615,7	534,4	319,9	572,7	0,7	893,3	880,0
31-45	34,3	170,6	7,6	5,28	0,18	322,7	329,3	343,0	253,8	401,2	0,9	656,0	737,8
45-50	48,9	161,1	7,9	4,26	0,16	386,9	379,1	489,0	348,6	526,8	0,8	876,2	1.203,0
50-52	31,1	129,3	8,0	3,14	0,09	212,6	212,6	311,0	148,2	229,3	0,5	378,0	590,9
:													
GW 100-...	30,0	102,1	8,1	6,93		290,5	296,3	300,0					

* 1:1-Extrakt

Tab. 106: Vegetation Standort RZ I.8

Datum der Aufnahme:	08.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	3
Gesamtdeckung der Vegetation:	sehr gering
Deckung der Strauchschicht:	keine
Deckung der hohen Krautschicht:	keine
Deckung der niederen Krautschicht:	sehr gering
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	sehr gering
Taxa:	<i>Distichilis humilis</i> Phil., <i>Salicornia pulvinata</i> R. E. Fr., <i>Anthobryum triandrum</i> (Remy) Surgis

Tab. 107: Profilbeschreibung Standort RZ I.8

Azngk1	0-0,2 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 2.5Y 4/3 olivebraun (feucht); Salz mit sehr geringem Grobbodenanteil; sehr schwach verfestigt; stellenweise durchwurzelt; feucht; scharfe Horizontuntergrenze; carbonatarm; gipsfrei; extrem erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; extrem versalzter Salzalkaliboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ I.8.0
Azngk2	0,2-1 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 4/3 braun (feucht); feinstsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; extrem erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; extrem versalzter Salzalkaliboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ I.8.1
Azngk3	1-2,5 cm u. GOF 10YR 8/1 weiß (trocken); 10YR 5/2 gräulich braun (feucht); sandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; humusfrei; sehr carbonatarm; gipsfrei; extrem erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; extrem versalzter Salzalkaliboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ I.8.2
Azngk4	2,5-3 cm u. GOF 10YR 8/1 weiß (trocken); 10YR 5/2 gräulich braun (feucht); sandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; humusfrei; stark carbonathaltig; gipsfrei; extrem erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; extrem versalzter Salzalkaliboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ I.8.3
Azng	3-5 cm u. GOF 10YR 7/3 sehr fahl braun (trocken); 10YR 4/3 braun (feucht) mit Rostflecken; feinstsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; extrem erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; extrem versalzter Salzalkaliboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ I.8.4
Czngk	5-10 cm u. GOF 10YR 7/2 hellgrau (trocken); 10YR 4/3 braun (feucht); lehmiger Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; feucht; scharfe Horizontuntergrenze; humusfrei; carbonatarm; gipsfrei; extrem erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; extrem versalzter Salzalkaliboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ I.8.5
2Czngkmg	10-11 cm u. GOF 10YR 7/2 hellgrau (trocken); 10YR 5/2 gräulich braun (feucht); Kruste mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; sehr stark verfestigt; sehr hohe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; scharfe Horizontuntergrenze; carbonatreich; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr stark versalzter Salzalkaliboden mit sehr hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ I.8.6
2Czng	11-25 cm u. GOF 10YR 7/2 hellgrau (trocken); 10YR 4/3 braun (feucht) mit Rostflecken; lehmiger Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; sehr stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr stark versalzter Salzalkaliboden mit sehr hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ I.8.7
3C'zngk	25-31 cm u. GOF 10YR 8/1 weiß (trocken); 10YR 6/2 hell bräunlich grau (feucht); Schlufflehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; feucht; scharfe Horizontuntergrenze; humusfrei; sehr carbonatarm; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; stark versalzter Salzalkaliboden mit hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ I.8.8
4C'zngkmg1	31-34 cm u. GOF 10YR 8/1 weiß (trocken); 10YR 6/2 hell bräunlich grau (feucht); Kruste mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; sehr stark verfestigt; sehr hohe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; scharfe Horizontuntergrenze; carbonatreich; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; stark versalzter Salzalkaliboden mit hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ I.8.9

5C'znkmg2	34-35 cm u. GOF 10YR 8/1 weiß (trocken); 10YR 6/2 hell bräunlich grau (feucht); Kruste mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; sehr stark verfestigt; sehr hohe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; scharfe Horizontuntergrenze; carbonatreich; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ I.8.10
6C'znkmg3	35-37 cm u. GOF 10YR 8/1 weiß (trocken); 10YR 6/2 hell bräunlich grau (feucht); Kruste mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; sehr stark verfestigt; sehr hohe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; scharfe Horizontuntergrenze; sehr carbonatreich; gipsfrei; mäßig erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ I.8.11
6C'zng	37-47 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); lehmiger Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; humusfrei; sehr carbonatarm; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ I.8.12
7C''znkg	47-54/50 cm u. GOF 10YR 8/1 weiß (trocken); 10YR 5/2 gräulich braun (feucht) mit Rostflecken; Schlufflehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; feucht; scharfe Horizontuntergrenze; humusfrei; carbonatreich; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂) vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ I.8.13
8C''znkmg	54/50-55/52 cm u. GOF 10YR 8/1 weiß (trocken); 10YR 6/2 hell bräunlich grau (feucht); Kruste mit geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; sehr stark verfestigt; sehr hohe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; scharfe Horizontuntergrenze; sehr carbonatreich; gipsfrei; mäßig erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ I.8.14
8C'''znkg1	55/52-75/70 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); lehmiger Feinsand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; zur Zeit der Aufnahme; stark feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatarm; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ I.8.15
8C'''znkg2	75/70-80 cm u. GOF 10YR 5/2 gräulich braun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); Sand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; zur Zeit der Aufnahme; stark nass; scharfe Horizontuntergrenze; humusfrei; carbonatarm; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ I.8.16
9W'''znkmg	80-... cm u. GOF 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (trocken); 10YR 2/2 sehr dunkel braun (feucht); Kruste mit geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; sehr stark verfestigt; sehr hohe Lagerungsdichte; stellenweise durchwurzelt; carbonatreich; gipsfrei; mäßig erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ I.8.17
Grundwasser	80-... cm u. GOF stark versalztes Salzkalkgrundwasser mit sehr hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ I.8.GW

Tab. 108: Physikalische Bodenparameter Standort RZ I.8

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Boden-art	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	VV %
		ggS	gS	mS	fs	ffS	S	U	T						
RZ I.8.0	0-0,2										0				
RZ I.8.1	0,2-1	0,0	0,3	3,3	27,7	30,4	61,6	30,7	7,7	ffs L	0				
RZ I.8.2	1-2,5	0,0	2,1	18,1	24,1	6,0	50,3	45,6	4,1	s L	0,5				
RZ I.8.3	2,5-3	4,8	12,7	16,8	15,5	6,9	56,8	41,5	1,7	s L	0,1				
RZ I.8.4	3-5	0,0	2,2	8,4	23,4	24,8	58,9	36,4	4,7	ffs L	0				
RZ I.8.5	5-10	0,4	12,1	37,4	23,4	10,5	83,8	14,5	1,7	l S	0				
RZ I.8.6	10-11									K	0				
RZ I.8.7	11-25	0,0	0,3	4,6	33,7	38,8	77,5	22,0	0,5	l fS	0	1,2	2,43	52,4	29,4
RZ I.8.8	25-31	0,0	0,0	0,0	12,4	19,9	32,3	64,2	3,5	U L	0				
RZ I.8.9	31-34									K	0				
RZ I.8.10	34-35									K	0				
RZ I.8.11	35-37									K	0				
RZ I.8.12	37-47	0,0	0,5	13,8	43,8	22,1	80,2	18,4	1,4	l fS	0	1,1	2,41	52,5	
RZ I.8.13	47-52	0,3	0,7	1,5	9,4	18,6	30,7	66,9	2,4	U L	0				
RZ I.8.14	52-53,5									K	4				
RZ I.8.15	53,5-72,5	2,5	7,1	13,2	39,3	21,0	83,0	14,4	2,6	l fS	4				
RZ I.8.16	72,5-80	1,3	12,6	52,4	28,5	1,5	96,2	1,9	1,8	S	8				
RZ I.8.17	80-...									K	10				

Tab. 109: Chemische Bodenparameter Standort RZ I.8

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl2}	Basensättigung %
RZ I.8.0	0-0,2	Aznkg1			1,8	0	26,1	8,4	100
RZ I.8.1	0,2-1	Aznkg2	0,26	0,4	0,4	0	5,15	8,7	100
RZ I.8.2	1-2,5	Aznkg3	0,02	0,0	0,3	0	4,02	8,7	100
RZ I.8.3	2,5-3	Aznkg4	0,00	0,0	9,4	0	3,65	8,9	100
RZ I.8.4	3-5	Azng	0,14	0,2	0,02	0	4,58	8,5	100
RZ I.8.5	5-10	Cznkg	0,01	0,0	0,9	0	2,21	8,6	100
RZ I.8.6	10-11	2Cznkmg			21,8	0	0,78	8,5	100
RZ I.8.7	11-25	2Czng	0,03	0,1	0,04	0	1,12	8,4	100
RZ I.8.8	25-31	3C'znkg	0,00	0,0	0,3	0	0,62	8,7	100
RZ I.8.9	31-34	4C'znkmg1			22,5	0	0,45	8,3	100
RZ I.8.10	34-35	5C'znkmg2			22,2	0	0,42	8,3	100
RZ I.8.11	35-37	6C'znkmg3			41,2	0	0,24	8,3	100
RZ I.8.12	37-47	6C'zng	0,00	0,0	0,06	0	0,46	8,4	100
RZ I.8.13	47-52	7C''znkg	0,00	0,0	10,0	0	0,59	8,6	100
RZ I.8.14	52-53,5	8C''znkmg			37,7	0	0,32	8,3	100
RZ I.8.15	53,5-72,5	8C'''znkg1	0,04	0,1	0,9	0	0,52	8,5	100
RZ I.8.16	72,5-80	8C'''znkg2	0,00	0,0	1,1	0	0,69	8,4	100
RZ I.8.17	80-...	9W'''znkmg		-	16,2	0	0,33	8,3	100

Tab. 110: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser Standort RZ I.8

Tiefe cm	lösliche Kationen im Sättigungsextrakt in mval/l						lösliche Anionen im Sättigungsextrakt in mval/l						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
*0-0,2	*7.210,6	*17,9	*56,8	*2.616,3	*0,04	*9.901,6	*0,00	*3,8	*2.550,0	*141,4	*0,00	*0,0	*2695,3
0,2-1	36,9	41,2	116,8	2.519,6	0,11	2.714,5	0,00	1,4	2.487,5	152,9	0,47	0,0	2642,3
1-2,5	29,7	30,7	80,6	2.092,4	0,05	2.233,4	0,00	1,0	1.962,5	124,3	0,24	0,0	2088,0
2,5-3	32,6	9,7	58,8	1.538,0	0,04	1.639,1	0,00	0,7	1.487,5	78,3	0,12	0,0	1566,6
3-5	12,4	32,7	74,9	1.680,4	0,05	1.800,4	0,00	0,4	1.637,5	101,9	0,00	0,0	1739,8
5-10	16,2	10,1	41,0	958,7	0,11	1.026,1	0,00	1,3	962,5	60,6	0,05	0,0	1024,5
10-11	5,1	4,1	14,6	288,7	0,11	312,6	0,20	2,5	297,5	16,5	0,05	0,0	316,8
11-25	7,7	8,8	13,0	367,4	0,11	397,1	0,00	1,0	370,0	22,9	0,03	0,0	393,9
25-31	6,1	3,1	6,8	203,5	0,04	219,6	0,00	1,8	205,0	12,4	0,04	0,0	219,2
31-34	5,2	2,9	6,1	152,6	0,11	166,9	0,00	2,8	151,3	10,8	0,03	0,0	164,9
:													
GW 80-...	4,7	6,8	6,8	234,8	0,00	253,1	0,47	4,5	235,0	14,4	0,10	0,0	254,5

* 1:1-Extrakt; Analysefehler bei löslichen Kationen

Tab. 111: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser bezogen auf mval/l Standort RZ I.8

Tiefe cm	Anteil an löslichen Kationen im Sättigungsextrakt in %						Anteil an löslichen Anionen im Sättigungsextrakt in %						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
*0-0,2	*72,8	*0,2	*0,6	*26,4	*0,00	*100,0	*0,00	*0,1	*94,6	*5,2	*0,00	*0,00	*100,0
0,2-1	1,4	1,5	4,3	92,8	0,00	100,0	0,00	0,1	94,1	5,8	0,02	0,00	100,0
1-2,5	1,3	1,4	3,6	93,7	0,00	100,0	0,00	0,0	94,0	6,0	0,01	0,00	100,0
2,5-3	2,0	0,6	3,6	93,8	0,00	100,0	0,00	0,0	95,0	5,0	0,01	0,00	100,0
3-5	0,7	1,8	4,2	93,3	0,00	100,0	0,00	0,0	94,1	5,9	0,00	0,00	100,0
5-10	1,6	1,0	4,0	93,4	0,01	100,0	0,00	0,1	94,0	5,9	0,00	0,00	100,0
10-11	1,6	1,3	4,7	92,3	0,03	100,0	0,06	0,8	93,9	5,2	0,02	0,00	100,0
11-25	1,9	2,2	3,3	92,5	0,03	100,0	0,00	0,2	93,9	5,8	0,01	0,00	100,0
25-31	2,8	1,4	3,1	92,7	0,02	100,0	0,00	0,8	93,5	5,7	0,02	0,00	100,0
31-34	3,1	1,7	3,6	91,4	0,06	100,0	0,00	1,7	91,7	6,6	0,02	0,00	100,0
:													
GW 80-...	1,9	2,7	2,7	92,8	0,00	100,0	0,18	1,8	92,4	5,6	0,04	0,00	100,0

* 1:1-Extrakt; Analysefehler bei löslichen Kationen

Tab. 112: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ I.8

Tiefe cm	Sätt. %	lösliche Kationen in mg/100g Boden						lösliche Anionen in mg/100g Boden						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
*0-0,2	*100,0	*14.450,0	*21,8	*222,0	*6.017,5	*0,06	*20.711,3	*0,00	*23,4	*9.042,3	*679,2	*0,00	*0,0	*9.744,9
0,2-1	27,8	20,6	13,9	127,1	1.612,9	0,05	1.774,6	0,00	2,4	2.455,1	204,4	1,03	0,0	2.662,9
1-2,5	26,5	15,8	9,9	83,5	1.275,4	0,03	1.384,6	0,00	1,7	1.844,3	158,2	0,50	0,0	2.004,7
2,5-3	31,0	20,2	3,6	71,2	1.096,4	0,02	1.191,5	0,00	1,3	1.634,8	116,5	0,30	0,0	1.753,0
3-5	41,4	10,3	16,5	121,3	1.601,9	0,04	1.750,1	0,00	1,0	2.406,7	202,9	0,00	0,0	2.610,6
5-10	30,4	9,9	3,7	48,8	671,1	0,06	733,6	0,00	2,4	1.038,8	88,6	0,12	0,0	1.130,0
10-11	30,4	3,1	1,5	17,3	202,0	0,06	224,0	0,18	4,7	320,9	24,1	0,12	0,0	350,0
11-25	37,6	5,8	4,0	19,2	317,5	0,07	346,6	0,00	2,2	493,0	41,3	0,10	0,0	536,6
25-31	36,0	4,4	1,4	9,6	168,6	0,02	184,1	0,00	3,9	261,9	21,5	0,12	0,0	287,5
31-34	31,9	3,4	1,1	7,6	112,0	0,06	124,1	0,00	5,5	171,1	16,6	0,07	0,0	193,3

* 1:1-Extrakt; Analysefehler bei löslichen Kationen

Tab. 113: EC_{e/w}, SAR, pH_{e/w}, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte und des Grundwassers Standort RZ I.8

Tiefe cm	EC _{e/w} mS/cm	SAR	pH _{e/w}	Bor - B mg/l	Bor - B mg/100g	lösl. Kat. mval/l	lösl. An. mval/l	EC _{e/w} *10	lösl. Kat. mg/100g	lösl. An. mg/100g	B(OH) ₃ ⁰ mg/100g	Summe mg/100g	Salze n. EC _{e/w} mg/100g
*0-0,2	*321,0	*43,5	*7,8	*43,23	*4,32	*9.901,6	*2.695,3	*3.210,0	*20.711,3	*9.744,9	*24,7	*30.481,0	*20.544,0
0,2-1	297,2	403,3	7,7	53,33	1,48	2.714,5	2.642,3	2.972,0	1.774,6	2.662,9	7,7	4.445,2	5.294,1
1-2,5	227,9	380,9	7,6	32,54	0,86	2.233,4	2.088,0	2.278,5	1.384,6	2.004,7	4,5	3.393,8	3.864,7
2,5-3	168,2	334,7	7,65	14,92	0,46	1.639,1	1.566,6	1.682,0	1.191,5	1.753,0	2,4	2.946,9	3.336,4
3-5	189,7	354,0	6,9	25,31	1,05	1.800,4	1.739,8	1.897,0	1.750,1	2.610,6	6,0	4.366,7	5.032,0
5-10	109,8	264,4	7,4	8,82	0,27	1.026,1	1.024,5	1.098,0	733,6	1.130,0	1,4	1.865,0	2.138,9
10-11	33,1	134,4	7,9	4,58	0,14	312,6	316,8	331,2	224,0	350,0	0,7	574,7	644,7
11-25	39,3	127,6	7,5	5,17	0,19	397,1	393,9	392,6	346,6	536,6	1,0	884,2	944,1
25-31	29,2	94,9	7,9	3,92	0,14	219,6	219,2	291,8	184,1	287,5	0,7	472,2	672,9
31-34	17,1	75,7	7,8	2,65	0,08	166,9	164,9	171,0	124,1	193,3	0,4	317,8	349,2
:													
GW 80-...	26,6	97,8	8,1	7,24		253,1	254,5	266,4					

* 1:1-Extrakt; Analysefehler bei löslichen Kationen

Tab. 114: Lageparameter Standort II.1

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Huachacalla Hoja 5937 IV
UTM-Koordinaten:	19KEV765278
Topographische Lage:	5,7 km NNW von Huachacalla
Luftbild-Nr.:	4276
Höhe ü. M.:	3845 m
Höhe ü. GW-Stand:	116 m (RZ)
Neigung:	16 °
Exposition:	ESE (104 °)
Reliefformtyp:	vertikal und horizontal gestreckter Oberhang
Dünen:	keine
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	keine
Aktuelle Bodennutzung:	keine (Ödland); gelegentlich Lama- bzw. Alpakaweide
Anthropogene Veränderungen:	keine
Bodenausgangsmaterial:	vulkanisches (Fest)gestein in situ verwittert
Oberfl. anstehendes Festgestein:	0,4 m u. GOF
Standorteinheit:	Gebirge
Vegetationshaupteinheit:	<i>Fabiana densa</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Fabiana densa</i> - <i>Baccharis boliviensis</i> - <i>Opuntia</i> ssp. - <i>Adesmia</i> ssp. - <i>Stipa</i> ssp.
Bodeneinheit	Lithic Ustorthent (USDA); Braunerde (DBG)

Tab. 115: Vegetation Standort RZ II.1

Datum der Aufnahme:	27.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	18
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	5-25 %
Deckung der niederen Krautschicht:	< 5 %
Deckung der Cacteen:	< 5 %
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Fabiana densa</i> Remy, <i>Baccharis incarum</i> Wedd., <i>Opuntia</i> ssp. Mill., <i>Cardionema ramosissima</i> (Weinm.) A. Nelson & J.F. Macbr., <i>Adesmia</i> ssp. DC., <i>Cactaceae</i> (kugelförmig), <i>Bidens</i> ssp. L., <i>Tetraglochin cristatum</i> (Britton) Rothm., <i>Junellia seriphoides</i> (Gillies & Hook.) Moldenke, <i>Ephedra</i> cf. <i>rupestris</i> Benth., <i>Baccharis boliviensis</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Stevia</i> ssp. Cav., <i>Portulaca</i> ssp. L., <i>Cheilanthes pruinata</i> Kaulf., <i>Nassella</i> ssp. Desv., <i>Gamochoaeta</i> ssp. Wedd., <i>Stipa</i> ssp. L., <i>Euphorbia</i> ssp. L.

Tab. 116: Profilbeschreibung Standort RZ II.1

A1	0-1 cm u. GOF 10YR 5/4 gelblich braun (trocken); 10YR 3/4 dunkel gelblich braun (feucht); lehmiger Sand mit hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark sauer (CaCl ₂); hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen; nicht versalzter Normalboden mit hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ II.1.1
A2	1-20 cm u. GOF 10YR 5/3 braun (trocken); 10YR 3/2 sehr dunkel gräulich braun (feucht) ; lehmiger Sand mit hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht bis feucht; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; geringe Summe der austauschbaren Basen; nicht versalzter Normalboden; Bor wurde nicht untersucht	Proben-Nr.: RZ II.1.2
BC	20-40 cm u. GOF 7.5YR 5/3 braun (trocken); 7.5YR 4/2 braun (feucht); sandiger Tonlehm mit extrem hohem Grobbodenanteil; Subpolyedergefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht bis feucht; diffuse Horizontuntergrenze; schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen; nicht versalzter Normalboden mit mittlerer Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ II.1.3
R	40-... cm u. GOF	anstehendes Festgestein

Tab. 117: Physikalische Bodenparameter Standort RZ II.1

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grob. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
RZ II.1.1	0-1	6,6	11,3	12,0	26,4	22,6	79,0	17,1	3,9	I S	40-60				
RZ II.1.2	1-20	6,7	15,3	19,4	29,3	15,6	86,4	10,1	3,5	I S	40-60	1,09	2,34	53,5	15,3
RZ II.1.3	20-40	9,0	8,3	7,1	14,7	8,9	47,9	20,4	31,7	s T L	> 85				

Tab. 118: Chemische Bodenparameter Standort RZ II.1

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl2}	Basensättigung %
RZ II.1.1	0-1	A1	0,60	1,0	0,0		0,03	5,2	50-80
RZ II.1.2	1-20	A2	0,39	0,7	0,0		0,01	6,6	80-100
RZ II.1.3	20-40	BC	0,72	1,2	0,0		0,03	6,7	80-100

Tab. 119: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ II.1

Tiefe cm	NH ₄ OAc-extr. Basen in mval/100g					lösliche Basen in mval/100g					austauschbare Basen in mval/100g				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-1	3,1	0,9	0,7	0,1	4,7	0,10	0,05	0,03	0,03	0,22	3,0	0,8	0,7	0,0	4,5
1-20	3,8	1,1	0,5	0,1	5,5	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	3,8	1,1	0,5	0,1	5,5
20-40	20,9	7,4	0,5	0,4	29,1	0,11	0,05	0,01	0,08	0,24	20,8	7,3	0,5	0,3	28,9

Tab. 120: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval/100g Boden Standort RZ II.1

Tiefe cm	Anteil an extr. Basen in %					Anteil an lösl. Basen in %					Anteil an aust. Ba. in %					Anteil lösl. an extr. Basen in %				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-1	65,2	18,8	14,6	1,4	100	47,8	23,7	14,4	14,0	100	66,0	18,6	14,6	0,8	100	3,4	5,8	4,5	47,0	5
1-20	69,4	20,3	8,9	1,4	100	26,2	16,2	21,8	35,7	100	69,7	20,4	8,8	1,2	100	0,2	0,5	1,5	16,2	1
20-40	71,7	25,3	1,7	1,3	100	45,4	19,5	2,6	32,5	100	71,9	25,4	1,7	1,1	100	0,5	0,6	1,2	20,3	1

Tab. 121: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten Standort RZ II.1

Tiefe cm	lösliche Kationen im Sättigungsextrakt in mval/l						lösliche Anionen im Sättigungsextrakt in mval/l						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-1	4,9	2,4	1,5	1,4	0,00	10,2					0,00	0,6	
1-20	0,4	0,2	0,3	0,5	0,00	1,5						0,0	
20-40	1,8	0,8	0,1	1,3	0,04	4,0				2,4	0,01	0,0	

Tab. 122: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten bezogen auf mval/l Standort RZ II.1

Tiefe cm	Anteil an löslichen Kationen im Sättigungsextrakt in %						Anteil an löslichen Anionen im Sättigungsextrakt in %						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-1	47,8	23,7	14,4	14,0	0,00	100,0							
1-20	26,2	16,2	21,8	35,7	0,00	100,0							
20-40	45,0	19,3	2,5	32,2	0,88	100,0							

Tab. 123: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ II.1

Tiefe cm	Sätt. %	lösliche Kationen in mg/100g Boden						lösliche Anionen in mg/100g Boden						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-1	21,2	2,1	0,6	1,2	0,7	0,00	4,6							
1-20	22,5	0,2	0,1	0,3	0,3	0,00	0,8							
20-40	59,7	2,2	0,6	0,2	1,8	0,04	4,8							

Tab. 124: EC_e, SAR, pH_e, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte Standort RZ II.1

Tiefe cm	EC _e mS/cm	SAR	pH _e	Bor - B mg/l	Bor - B mg/100g	lösliche Kationen			lösliche Anionen			Summe mg/100g	Salze n. EC _e mg/100g
						lös. Kat. mval/l	lös. An. mval/l	EC _e *10	lös. Kat. mg/100g	lös. An. mg/100g	B(OH) ₃ ⁰ mg/100g		
0-1	1,35	0,8	5,0	2,42	0,05	10,2	0,6	13,5	4,6	0,8	0,3	5,8	18,3
1-20	0,27	1,0	6,7			1,5	0,0	2,7	0,8	0,0		0,8	3,9
20-40	0,4	1,1	7,4	1,49	0,09	4,0	2,4	4,2	4,8	6,9	0,5	12,2	16,0

Tab. 125: Lageparameter Standort II.2

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Huachacalla Hoja 5937 IV
UTM-Koordinaten:	19KEV768278
Topographische Lage:	5,6 km NNW von Huachacalla
Luftbild-Nr.:	4276
Höhe ü. M.:	3755 m
Höhe ü. GW-Stand:	26 m (RZ)
Neigung:	10 °
Exposition:	ESE (120 °)
Reliefformtyp:	Unterhang
Dünen:	keine
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	keine
Aktuelle Bodennutzung:	keine (Ödland); gelegentlich Lama- bzw. Alpakaweide
Anthropogene Veränderungen:	keine
Bodenausgangsmaterial:	vulkanisches (Fest)gestein z.T. in situ verwittert, z.T. vom Ober- und Mittelhang verfrachtet
Oberfl. anstehendes Festgestein:	0,6 m u. GOF
Standorteinheit:	Gebirge
Vegetationshaupteinheit:	<i>Fabiana densa</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Fabiana densa</i> - <i>Baccharis incarum</i> - <i>Adesmia ssp.</i> - <i>Stipa ssp.</i> - <i>Parastrephia lepidophylla</i>
Bodeneinheit	Ustorthent (USDA); Braunerde (DBG)

Tab. 126: Vegetation Standort RZ II.2

Datum der Aufnahme:	27.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	17
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	5-25 %
Deckung der niederen Krautschicht:	5-25 %
Deckung der Cacteen:	gering
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Fabiana densa</i> Remy, <i>Baccharis incarum</i> Wedd., <i>Opuntia</i> ssp. Mill., <i>Cardionema ramosissima</i> (Weinm.) A. Nelson & J.F. Macbr., <i>Adesmia</i> ssp. DC., <i>Mayeniopsis</i> , <i>Cactaceae</i> (kugelförmig), <i>Tetraglochin cristatum</i> (Britton) Rothm., <i>Junellia seriphioides</i> (Gillies & Hook.) Moldenke, <i>Ephedra cf. rupestris</i> Benth., <i>Baccharis boliviensis</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Stevia</i> ssp. Cav., <i>Portulacaceae</i> , <i>Aristida</i> ssp. L., <i>Guilleminea densa</i> (Willd.) Moq., <i>Stipa</i> ssp. L., <i>Parastrephia lepidophylla</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Parastrephia quadrangularis</i> (Meyen) Cabrera

Tab. 127: Profilbeschreibung Standort RZ II.2

A1	0-1 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel grünlich braun (feucht); lehmiger Sand mit hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; sehr stark sauer (CaCl ₂); hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen; nicht versalzter Normalboden mit mittlerer Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ II.2.1
A2	1-20 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel grünlich braun (feucht); Sand mit hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen; nicht versalzter Normalboden mit geringer Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ II.2.2
BC1	20-40 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 4/3 braun (feucht); sandiger Lehm mit sehr hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; geringe Summe der austauschbaren Basen; nicht versalzter Normalboden mit sehr geringer Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ II.2.3
BC2	40-60 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 4/3 braun (feucht); sandiger Lehm mit sehr hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; geringe Summe der austauschbaren Basen; nicht versalzter Normalboden; mit geringer Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ II.2.4
2R	60-... cm u. GOF	anstehendes Festgestein

Tab. 128: Physikalische Bodenparameter Standort RZ II.2

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
RZ II.2.1	0-1	5,0	14,3	16,4	31,9	18,0	85,6	11,5	2,9	l S	40-60				
RZ II.2.2	1-20	5,4	14,1	18,9	32,8	15,8	87,1	10,1	2,8	S	40-60	1,28	2,41	47,1	12,8
RZ II.2.3	20-40	12,3	10,4	10,6	25,6	16,1	75,1	17,8	7,0	s L	60-85				
RZ II.2.4	40-60	6,9	11,9	11,6	23,4	13,6	67,4	23,6	9,0	s L	60-85				

Tab. 129: Chemische Bodenparameter Standort RZ II.2

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl2}	Basensättigung %
RZ II.2.1	0-1	A1	0,75	1,3	0,0		0,04	5,0	50-80
RZ II.2.2	1-20	A2	0,34	0,6	0,0		0,01	6,1	80-100
RZ II.2.3	20-40	BC1	0,32	0,6	0,0		0,01	6,3	80-100
RZ II.2.4	40-60	BC2	0,31	0,5	0,0		0,01	6,4	80-100

Tab. 130: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ II.2

Tiefe cm	NH ₄ OAc-extr. Basen in mval/100g					lösliche Basen in mval/100g					austauschbare Basen in mval/100g				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-1	2,4	0,8	0,4	0,0	3,7	0,11	0,05	0,03	0,02	0,21	2,3	0,7	0,4	0,0	3,5
1-20	2,3	0,9	0,4	0,0	3,6	0,01	0,01	0,01	0,02	0,06	2,3	0,8	0,4	0,0	3,6
20-40	4,5	1,6	0,7	0,1	6,9	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	4,5	1,6	0,7	0,1	6,9
40-60	5,7	2,1	0,9	0,1	8,7	0,02	0,01	0,01	0,02	0,06	5,6	2,0	0,9	0,1	8,6

Tab. 131: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval/100g Boden Standort RZ II.2

Tiefe cm	Anteil an extr. Basen in %					Anteil an lösl. Basen in %					Anteil an aust. Ba. in %					Anteil lösl. an extr. Basen in %				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-1	66,0	20,8	12,2	1,0	100	51,3	25,5	14,4	8,9	100	66,9	20,5	12,1	0,5	100	4,4	7,0	6,7	51,8	6
1-20	64,6	23,7	10,8	1,0	100	25,3	25,0	18,8	30,9	100	65,2	23,7	10,6	0,5	100	0,6	1,7	2,8	49,1	2
20-40	65,6	23,2	10,2	0,9	100	31,5	15,6	22,6	30,2	100	65,8	23,3	10,2	0,7	100	0,3	0,4	1,3	19,7	1
40-60	65,2	23,7	10,2	0,8	100	33,5	16,8	21,7	28,0	100	65,4	23,7	10,2	0,7	100	0,3	0,5	1,4	21,4	1

Tab. 132: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten Standort RZ II.2

Tiefe cm	lösliche Kationen im Sättigungsextrakt in mval/l						lösliche Anionen im Sättigungsextrakt in mval/l						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-1	3,1	1,6	0,9	0,5	0,36	6,5	0,00	1,0	0,3	0,6	0,00	4,8	6,8
1-20	0,5	0,5	0,4	0,6	0,00	2,0	0,00	0,2	0,2	0,0	0,00	0,0	0,4
20-40	0,5	0,2	0,4	0,5	0,00	1,6	0,00	0,7	0,4	0,4	0,00	0,0	1,5
40-60	0,6	0,3	0,4	0,5	0,00	1,7	0,00	0,7	0,4	0,4	0,00	0,0	1,5

Tab. 133: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten bezogen auf mval/l Standort RZ II.2

Tiefe cm	Anteil an löslichen Kationen im Sättigungsextrakt in %						Anteil an löslichen Anionen im Sättigungsextrakt in %						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-1	48,4	24,1	13,6	8,4	5,50	100,0	0,00	14,8	4,4	9,2	0,00	71,54	100,0
1-20	25,3	25,0	18,8	30,9	0,00	100,0	0,00	50,0	50,0	0,0	0,00	0,00	100,0
20-40	31,5	15,6	22,6	30,2	0,00	100,0	0,00	44,3	28,7	26,9	0,03	0,00	100,0
40-60	33,5	16,8	21,7	28,0	0,00	100,0	0,00	49,0	23,5	27,3	0,12	0,00	100,0

Tab. 134: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ II.2

Tiefe cm	Sätt. %	lösliche Kationen in mg/100g Boden						lösliche Anionen in mg/100g Boden						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-1	34,2	2,2	0,7	1,2	0,4	0,22	4,6	0,00	2,1	0,4	1,0	0,00	10,3	13,8
1-20	29,6	0,3	0,2	0,4	0,4	0,00	1,3	0,00	0,4	0,2	0,0	0,00	0,0	0,6
20-40	26,1	0,3	0,1	0,4	0,3	0,00	1,0	0,00	1,1	0,4	0,5	0,00	0,0	2,0
40-60	32,7	0,4	0,1	0,5	0,4	0,00	1,3	0,00	1,5	0,4	0,6	0,00	0,0	2,5

Tab. 135: EC_e, SAR, pH_e, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte Standort RZ II.2

Tiefe cm	EC _e mS/cm	SAR	pH _e	Bor - B	Bor - B	lösl. Kat.	lösl. An.	EC _e *10	lösl. Kat.	lösl. An.	B(OH) ₃ ⁰	Summe	Salze n. EC _e
				mg/l	mg/100g	mval/l	mval/l		mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g
0-1	0,8	0,4	5,0	1,16	0,04	6,5	6,8	7,6	4,6	13,8	0,2	18,6	16,7
1-20	0,1	0,9	6,2	0,45	0,01	2,0	0,4	1,2	1,3	0,6	0,1	2,0	2,3
20-40	0,2	0,8	7,1	0,27	0,01	1,6	1,5	1,5	1,0	2,0	0,0	3,0	2,5
40-60	0,2	0,7	7,3	0,48	0,02	1,7	1,5	1,6	1,3	2,5	0,1	3,9	3,4

Tab. 136: Lageparameter Standort II.3

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Huachacalla Hoja 5937 IV
UTM-Koordinaten:	19KEV770274
Topographische Lage:	5,3 km NNW von Huachacalla
Luftbild-Nr.:	4276
Höhe ü. M.:	3731m
Höhe ü. GW-Stand:	2 m (RZ)
Neigung:	0,5 °
Exposition:	ESE (120 °)
Reliefformtyp:	Tiefenbereich
Umgebung des Standortes:	zwischen zwei unbefestigten Straßen, die sich 100 m nördl. des Standortes im spitzen Winkel kreuzen; wenige hundert Meter südöstl. der Cerro Saya Vinto
Dünen:	bis 0,5 m hoch
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	vereinzelt Halophyten in der Nähe des Standortes
Aktuelle Bodennutzung:	Lama-, Alpaka und/oder Schafweide
Anthropogene Veränderungen:	unbefestigte Straßen
Bodenausgangsmaterial:	fluviatil und äolisch abgelagertes Lockergestein
Oberfl. anstehendes Festgestein:	kein
Standorteinheit:	äolisch geprägte Alluvialebene
Vegetationshaupteinheit:	<i>Lampaya castellani</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Lampaya castellani</i> - <i>Parastrephia lepidophylla</i> - <i>Festuca orthophylla</i>
Bodeneinheit	Haplustept (USDA); Lockersyrosem (DBG)

Tab. 137: Vegetation Standort RZ II.3

Datum der Aufnahme:	29.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	9
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	gering
Deckung der hohen Krautschicht:	5-25 %
Deckung der niederen Krautschicht:	gering
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	keine

Taxa: *Cardionema ramosissima* (Weinm.) A. Nelson & J.F. Macbr., *Tarasa* ssp. Phil., *Guilleminea densa* (Willd.) Moq., *Parastrephia lepidophylla* (Wedd.) Cabrera, *Hoffmannseggia* ssp. Cav., *Festuca orthophylla* Pilg., *Lampaya castellani* Moldenke, *Parastrephia phyllicaeformis* (Walp.) Cabrera, *Gramineae*

Tab. 138: Profilbeschreibung Standort RZ II.3

A1	0-1 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 3/2 sehr dunkel gräulich braun (feucht); Grobsand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen; nicht versalzter Normalboden mit geringer Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ II.3.1
A2	1-15 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); lehmiger Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; mittel durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; geringe Summe der austauschbaren Basen; nicht versalzter Normalboden mit geringer Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ II.3.2
Ck	15-31/35 cm u. GOF 10YR 7/2 hellgrau (trocken); 10YR 5/2 gräulich braun (feucht); lehmiger Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; scharfe Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate); nicht versalzter Normalboden mit mittlerer Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ II.3.3
2Aznb	31/35-38/40 cm u. GOF 10YR 7/2 hellgrau (trocken); 10YR 5/3 braun (feucht); feinsandiger Lehm mit geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; stark verfestigt; mittlere Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; trocken; scharfe Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatreich; sehr gipsarm; sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; nicht versalzter Normalboden mit hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ II.3.4
2Cznk	38/40-51/52 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); lehmiger Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; stark verfestigt; mittlere Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; trocken; scharfe Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatarm; gipsfrei; sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; nicht versalzter Normalboden mit hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ II.3.5
3A'znkb	51/52-65 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/1 dunkelgrau (feucht); feinsandiger Lehm mit geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; mittel verfestigt; mittlere Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; trocken; deutliche Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatreich; gipsfrei; sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; nicht versalzter Normalboden mit hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ II.3.6
3ACznkb	65-70 cm u. GOF 10YR 5/2 gräulich braun (trocken); 10YR 3/2 sehr dunkel gräulich braun (feucht); lehmiger Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; sehr stark verfestigt; mittlere Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; trocken; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; mittel carbonathaltig; gipsfrei; sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; nicht versalzter Normalboden mit sehr geringer Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ II.3.7

4C'zmk	70-79 cm u. GOF 10YR 7/2 hellgrau (trocken); 10YR 5/3 braun (feucht); feinsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; stark verfestigt; mittlere Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; trocken; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatreich; gipsfrei; sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; nicht versalzter Normalboden mit hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ II.3.8
4Cn1	79-100 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 4/4 dunkel gelblich braun (feucht); feinsandiger Lehm mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; humusfrei; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; hohe Summe der austauschbaren Basen mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; nicht versalzter Normalboden mit hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ II.3.9
4Cn2	100-120 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); feinsandiger Lehm mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; humusfrei; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; mittlere Summe der austauschbaren Basen mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; nicht versalzter Normalboden mit hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ II.3.10
4Cn3	120-140 cm u. GOF 10YR 7/4 sehr fahl braun (trocken); 10YR 5/4 gelblich braun (feucht); lehmiger Sand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; feucht; humusfrei; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; geringe Summe der austauschbaren Basen mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; nicht versalzter Normalboden mit hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ II.3.11

Tab. 139: Physikalische Bodenparameter Standort RZ II.3

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Boden-art	Grob- %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
RZ II.3.1	0-1	17,6	42,4	17,9	12,5	5,4	95,9	2,9	1,2	gS	6				
RZ II.3.2	1-15	4,9	17,6	20,2	28,4	15,2	86,4	10,9	2,8	I S	1	1,12	2,27	50,6	18,4
RZ II.3.3	15-33	2,6	10,5	15,8	33,7	20,1	82,6	13,9	3,5	I S	1	1,22	2,32	47,2	24,5
RZ II.3.4	33-39	4,7	10,6	9,7	24,8	12,8	62,5	27,5	10,0	fs L	3				
RZ II.3.5	39-51,5	6,4	11,2	9,1	35,3	14,9	77,0	16,5	6,5	I S	2				
RZ II.3.6	51,5-65	5,2	15,2	13,2	32,9	10,1	76,6	13,9	9,5	fs L	3				
RZ II.3.7	65-70	3,7	15,6	16,3	36,8	9,7	82,1	10,7	7,2	I S	2				
RZ II.3.8	70-79	2,5	8,2	9,4	41,2	13,9	75,2	12,5	12,3	fs L	1				
RZ II.3.9	79-100	4,1	6,7	6,6	34,1	16,3	67,7	22,5	9,9	fs L	3	1,27	2,43		
RZ II.3.10	100-120	3,0	5,3	5,6	39,3	22,4	75,6	18,6	5,8	fs L	3				
RZ II.3.11	120-140	9,4	16,7	15,8	28,8	10,8	81,4	12,6	6,0	I S	5				

Tab. 140: Chemische Bodenparameter Standort RZ II.3

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl₂}	Basensättigung %
RZ II.3.1	0-1	A1	0,03	0,1	0,0	0	0,02	7,6	100
RZ II.3.2	1-15	A2	0,15	0,3	0,0	0	0,01	7,7	100
RZ II.3.3	15-33	Ck	0,09	0,2	1,3	0	0,03	8,1	100
RZ II.3.4	33-39	2Aznb	0,22	0,4	11,9	<< 1	0,06	8,3	100
RZ II.3.5	39-51,5	2Cznb	0,07	0,1	0,7	0	0,05	8,3	100
RZ II.3.6	51,5-65	3A'znb	0,35	0,6	14,1	0	0,07	8,2	100
RZ II.3.7	65-70	3ACznb	0,15	0,3	4,9	0	0,07	8,2	100
RZ II.3.8	70-79	4C'znb	0,06	0,1	10,3	0	0,06	8,2	100
RZ II.3.9	79-100	4Cn1	0,00	0,0	0,0	0	0,03	7,9	100
RZ II.3.10	100-120	4Cn2	0,00	0,0	0,0	0	0,02	7,8	100
RZ II.3.11	120-140	4Cn3	0,00	0,0	0,0	0	0,03	7,7	100

Tab. 141: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ II.3

Tiefe cm	NH ₄ OAc-extr. Basen in mval/100g					lösliche Basen in mval/100g					austauschbare Basen in mval/100g				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-1	2,3	0,5	0,2	0,0	3,0	0,11	0,05	0,01	0,01	0,18	2,2	0,4	0,2	0,0	2,8
1-15	3,5	1,2	0,5	0,1	5,4	0,06	0,03	0,02	0,04	0,15	3,5	1,2	0,5	0,1	5,3
15-33	19,0	2,1	0,6	0,3	22,0	0,05	0,02	0,01	0,09	0,18	18,9	2,1	0,6	0,3	21,9
33-39	48,9	5,3	1,5	1,4	57,2	0,03	0,02	0,01	0,19	0,26	48,9	5,3	1,5	1,2	56,9
39-51,5	16,4	3,5	1,4	1,3	22,6	0,03	0,02	0,01	0,15	0,20	16,3	3,5	1,4	1,2	22,4
51,5-65	49,0	5,3	1,5	1,9	57,8	0,04	0,03	0,01	0,23	0,31	49,0	5,3	1,5	1,7	57,5
65-70	44,7	4,9	1,5	1,9	53,0										
70-79	46,1	3,3	1,5	1,7	52,5	0,04	0,02	0,01	0,18	0,25	46,0	3,3	1,5	1,5	52,3
79-100	8,0	5,0	2,4	2,4	17,7	0,02	0,03	0,01	0,19	0,25	7,9	4,9	2,3	2,2	17,5
100-120	5,2	3,0	1,5	1,5	11,2	0,02	0,02	0,01	0,17	0,23	5,2	3,0	1,5	1,3	11,0
120-140	4,2	2,5	1,2	1,3	9,2	0,03	0,02	0,01	0,18	0,24	4,2	2,5	1,2	1,1	9,0

Tab. 142: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval/100g Boden Standort RZ II.3

Tiefe cm	Anteil an extr. Basen in %					Anteil an lösl. Basen in %					Anteil an aust. Ba. in %					Anteil lösl. an extr. Basen in %					
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	
0-1	77,1	15,6	6,0	1,4	100	62,6	25,4	3,9	8,1	100	78,1	14,9	6,1	0,9	100	4,9	9,9	4,0	36,5	6	
1-15	65,0	23,1	9,5	2,5	100	40,6	22,3	10,6	26,4	100	65,7	23,1	9,4	1,8	100	1,8	2,7	3,1	30,2	3	
15-33	86,2	9,5	2,7	1,5	100	30,9	12,9	7,6	48,6	100	86,7	9,5	2,7	1,2	100	0,3	1,1	2,2	24,9	1	
33-39	85,6	9,3	2,6	2,5	100	12,1	8,9	5,2	73,8	100	85,9	9,3	2,6	2,2	100	0,1	0,4	0,9	13,5	0	
39-51,5	72,3	15,6	6,2	5,9	100	12,8	8,9	5,2	73,1	100	72,8	15,6	6,2	5,3	100	0,2	0,5	0,8	11,2	1	
51,5-65	84,9	9,2	2,6	3,3	100	11,8	8,2	4,3	75,7	100	85,2	9,2	2,6	2,9	100	0,1	0,5	0,9	12,0	1	
65-70	84,3	9,3	2,8	3,6	100																
70-79	87,7	6,3	2,8	3,2	100	16,3	8,7	4,5	70,5	100	88,0	6,3	2,8	2,9	100	0,1	0,7	0,8	10,7	0	
79-100	44,9	28,1	13,3	13,7	100	9,1	10,7	5,8	74,5	100	45,4	28,3	13,4	12,8	100	0,3	0,5	0,6	7,8	1	
100-120	46,1	27,0	13,4	13,4	100	9,8	8,9	5,2	76,1	100	46,9	27,4	13,6	12,1	100	0,4	0,7	0,8	11,5	2	
120-140	45,9	27,7	12,7	13,8	100	11,2	9,4	4,7	74,7	100	46,8	28,2	12,9	12,1	100	0,6	0,9	1,0	14,0	3	

Tab. 143: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten Standort RZ II.3

Tiefe cm	lösliche Kationen im Sättigungsextrakt in mval/l						lösliche Anionen im Sättigungsextrakt in mval/l						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-1	2,8	1,2	0,2	0,4	0,00	4,5	0,00	2,6	0,2	0,2	0,01	0,6	3,6
1-15	1,9	1,0	0,5	1,2	0,00	4,6	0,00	3,8	0,2	0,1	0,01	0,0	4,1
15-33	1,8	0,7	0,4	2,8	0,00	5,7	0,20	4,5	0,2	0,3	0,02	0,0	5,2
33-39	0,9	0,7	0,4	5,8	0,00	7,8	0,20	6,2	0,6	0,8	0,07	0,0	7,8
39-51,5	1,0	0,7	0,4	5,7	0,00	7,8	0,10	6,2	0,5	0,6	0,05	0,0	7,5
51,5-65	0,9	0,7	0,3	6,1	0,00	8,0	0,14	5,9	1,2	0,7	0,05	0,0	8,0
65-70													
70-79	1,5	0,8	0,4	6,4	0,00	9,0	0,30	4,5	2,5	1,1	0,04	0,0	8,4
79-100	0,7	0,8	0,4	5,7	0,00	7,7	0,08	<u>2,0</u>	<u>3,8</u>	1,5	0,04	0,0	7,4
100-120	0,8	0,7	0,4	6,0	0,00	7,9	0,04	1,9	3,4	2,2	0,04	0,0	7,6
120-140	1,0	0,9	0,4	6,8	0,00	9,2	0,00	1,3	5,8	2,6	0,03	0,0	9,8

Tab. 144: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten bezogen auf mval/l Standort RZ II.3

Tiefe cm	Anteil an löslichen Kationen im Sättigungsextrakt in %						Anteil an löslichen Anionen im Sättigungsextrakt in %						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-1	62,6	25,4	3,9	8,1	0,00	100,0	0,00	72,6	4,9	6,5	0,29	15,76	100,0
1-15	40,6	22,3	10,6	26,4	0,00	100,0	0,00	93,3	3,7	2,9	0,17	0,00	100,0
15-33	30,9	12,9	7,6	48,6	0,00	100,0	3,86	86,8	3,4	5,6	0,44	0,00	100,0
33-39	12,1	8,9	5,2	73,8	0,00	100,0	2,55	79,2	7,7	9,7	0,89	0,00	100,0
39-51,5	12,8	8,9	5,2	73,1	0,00	100,0	1,34	83,1	6,7	8,1	0,73	0,00	100,0
51,5-65	11,8	8,2	4,3	75,7	0,00	100,0	1,74	73,3	15,2	9,0	0,68	0,00	100,0
65-70													
70-79	16,3	8,7	4,5	70,5	0,00	100,0	3,55	53,3	29,6	13,1	0,46	0,00	100,0
79-100	9,1	10,7	5,8	74,5	0,00	100,0	1,01	27,1	50,7	20,6	0,55	0,00	100,0
100-120	9,8	8,9	5,2	76,1	0,00	100,0	0,49	24,7	45,3	29,0	0,52	0,00	100,0
120-140	11,2	9,4	4,7	74,7	0,00	100,0	0,00	13,3	59,7	26,8	0,26	0,00	100,0

Tab. 145: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ II.3

Tiefe cm	Sätt. %	lösliche Kationen in mg/100g Boden						lösliche Anionen in mg/100g Boden						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-1	39,6	2,3	0,6	0,3	0,3	0,00	3,4	0,00	6,3	0,2	0,4	0,03	1,4	8,4
1-15	33,0	1,2	0,4	0,6	0,9	0,00	3,2	0,00	7,7	0,2	0,2	0,02	0,0	8,0
15-33	30,6	1,1	0,3	0,5	2,0	0,00	3,8	0,18	8,4	0,2	0,4	0,05	0,0	9,2
33-39	32,9	0,6	0,3	0,5	4,4	0,00	5,8	0,20	12,5	0,7	1,2	0,18	0,0	14,7
39-51,5	26,1	0,5	0,2	0,4	3,4	0,00	4,6	0,08	9,9	0,5	0,8	0,11	0,0	11,3
51,5-65	38,0	0,7	0,3	0,5	5,3	0,00	6,9	0,16	13,7	1,7	1,3	0,16	0,0	17,0
65-70														
70-79	28,2	0,8	0,3	0,5	4,1	0,00	5,7	0,25	7,7	2,5	1,5	0,09	0,0	12,1
79-100	32,9	0,5	0,3	0,6	4,3	0,00	5,7	0,07	4,0	4,4	2,4	0,11	0,0	11,0
100-120	28,9	0,4	0,2	0,5	4,0	0,00	5,1	0,03	3,3	3,5	3,1	0,09	0,0	10,0
120-140	25,8	0,5	0,3	0,4	4,1	0,00	5,3	0,00	2,0	5,3	3,2	0,05	0,0	10,7

Tab. 146: EC_e, SAR, pH_e, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte Standort RZ II.3

Tiefe cm	EC _e mS/cm	SAR	pH _e	Bor - B	Bor - B	lösl. Kat.	lösl. An.	EC _e *10	lösl. Kat.	lösl. An.	B(OH) ₃ ⁰	Summe	Salze n. EC _e
				mg/l	mg/100g	mval/l	mval/l		mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g
0-1	0,4	0,3	8,1	0,76	0,03	4,5	3,6	3,8	3,4	8,4	0,1	12,0	9,6
1-15	0,4	1,0	8,1	0,50	0,02	4,6	4,1	3,9	3,2	8,0	0,1	11,3	8,2
15-33	0,5	2,5	8,4	1,36	0,04	5,7	5,2	5,0	3,8	9,2	0,2	13,3	9,8
33-39	0,7	6,4	8,5	3,96	0,13	7,8	7,8	7,3	5,8	14,7	0,6	21,2	15,4
39-51,5	0,7	6,2	8,5	3,09	0,08	7,8	7,5	7,2	4,6	11,3	0,4	16,2	12,0
51,5-65	0,8	6,8	8,6	2,96	0,11	8,0	8,0	7,8	6,9	17,0	0,5	24,3	19,0
65-70													
70-79	0,9	6,0	8,5	2,19	0,06	9,0	8,4	9,0	5,7	12,1	0,3	18,0	16,2
79-100	0,9	6,6	8,15	2,84	0,09	7,7	7,4	8,8	5,7	11,0	0,5	17,1	18,5
100-120	0,9	7,0	8,3	2,49	0,07	7,9	7,6	9,0	5,1	10,0	0,3	15,5	16,7
120-140	1,1	7,0	8,0	2,09	0,05	9,2	9,8	10,6	5,3	10,7	0,3	16,3	17,5

Tab. 147: Lageparameter Standort II.4

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Huachacalla Hoja 5937 IV
UTM-Koordinaten:	19KEV773273
Topographische Lage:	5,1 km NNW von Huachacalla
Luftbild-Nr.:	4276
Höhe ü. M.:	3730 m
Höhe ü. GW-Stand:	1,5 m (RZ)
Neigung:	0 °
Exposition:	keine
Reliefformtyp:	Tiefenbereich
Umgebung des Standortes:	etwa 500 m südöstl. der Cerro Saya Vinto
Dünen:	keine
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	Halophytenvegetation
Aktuelle Bodennutzung:	Lama-, Alpaka und/oder Schafweide
Anthropogene Veränderungen:	unbefestigte Straße
Bodenausgangsmaterial:	fluviatil abgelagertes Lockergestein
Oberfl. anstehendes Festgestein:	kein
Standorteinheit:	grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene
Vegetationshaupteinheit:	<i>Distichilis humilis</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Distichilis humilis</i> - <i>Salicornia pulvinata</i> - <i>Anthobryum triandrum</i> - <i>Festuca orthophylla</i> - <i>Parastrephia phyllicaeformis</i>
Bodeneinheit	Halaquept (USDA)

Tab. 148: Vegetation Standort RZ II.4

Datum der Aufnahme:	29.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	5
Gesamtdeckung der Vegetation:	25-50 %
Deckung der Strauchschicht:	sehr gering
Deckung der hohen Krautschicht:	gering
Deckung der niederen Krautschicht:	< 5%
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	25-50 %
Taxa:	<i>Festuca orthophylla</i> Pilg., <i>Parastrephia phyllicaeformis</i> (Walp.) Cabrera, <i>Distichilis humilis</i> Phil., <i>Salicornia pulvinata</i> R. E. Fr., <i>Anthobryum triandrum</i> (Remy) Surgis

Tab. 149: Profilbeschreibung Standort RZ II.4

Azk	0-1 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); lehmiger Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; mittel durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; schwach humos; carbonatarm; gipsfrei; gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate); nicht versalzter Normalboden mit sehr hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ II.4.1
Aznk	1-11 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 5/2 gräulich braun (feucht); feinsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; mittel durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; schwach humos; stark carbonathaltig; gipsfrei; mäßig erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; sehr stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; sehr gering versalzter Alkaliboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ II.4.2

ACznk1	11-20 cm u. GOF 10YR 7/3 sehr fahl braun (trocken); 10YR 5/3 braun (feucht); sandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkornggefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; mittel carbonathaltig; gipsfrei; mäßig erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; sehr stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) sehr hohem Natriumanteil; sehr gering versalzter Alkaliboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ II.4.3
ACznk2	20-27 cm u. GOF 10YR 7/3 sehr fahl braun (trocken); 10YR 5/3 braun (feucht); sandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkornggefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; mittel carbonathaltig; gipsfrei; mäßig erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; sehr stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; sehr gering versalzter Alkaliboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ II.4.4
ACznk	27-43/50 cm u. GOF 10YR 7/2 hellgrau (trocken); 10YR 5/3 braun (feucht); lehmiger Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkornggefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; mittel carbonathaltig; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; sehr stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) sehr hohem Natriumanteil; mäßig versalzter Salzkalkaliboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ II.4.5
Czngk	43/50-67/66 cm u. GOF 2.5Y 8/2 fahlgelb (trocken); 2.5Y 7/3 fahlgelb (feucht); Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkornggefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; scharfe Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatreich; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; stark versalzter Salzkalkaliboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ II.4.6
2Aznmgb	67/66-70/67 cm u. GOF 2.5Y 8/2 fahlgelb (trocken); 2.5Y 6/3 hell gelblich braun (feucht); Kruste mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; sehr stark verfestigt; sehr hohe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; scharfe Horizontuntergrenze; sehr carbonatreich; gipsfrei; mäßig erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; mäßig versalzter Salzkalkaliboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ II.4.7
2Azngb	70/67-83 cm u. GOF 2.5Y 8/2 fahlgelb (trocken); 2.5Y 5/3 hell olivebraun (feucht); Schlufflehm mit mittlerem Grobbodenanteil; Subpolyedergefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; feucht; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatreich; gipsfrei; mäßig erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; gering versalzter Salzkalkaliboden mit sehr hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ II.4.8
3Czngk	83-88,5 cm u. GOF 2.5Y 7/2 hellgrau (trocken); 2.5Y 5/2 gräulich braun (feucht); Grobsand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkornggefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; feucht; scharfe Horizontuntergrenze; humusfrei; carbonatarm; gipsfrei; sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; mittlere Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; nicht versalzter Alkaliboden mit hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ II.4.9
4Cznmkg	88,5-89 cm u. GOF 2.5Y 7/2 hellgrau (trocken); 2.5Y 5/2 gräulich braun (feucht); Kruste mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; sehr stark verfestigt; sehr hohe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; scharfe Horizontuntergrenze; sehr carbonatreich; sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil	Proben-Nr.: RZ II.4.10
4C'zngk1	89-110 cm u. GOF 2.5Y 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 2.5Y 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkornggefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; stark feucht; diffuse Horizontuntergrenze; humusfrei; carbonatarm; gipsfrei; sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; nicht versalzter Normalboden mit mittlerer Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ II.4.11

4C'zngk2	110-130 cm u. GOF	Proben-Nr.: RZ II.4.12
	10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; nass; diffuse Horizontuntergrenze; humusfrei; carbonatarm; gipsfrei; sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; mittlere Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; nicht versalzter Normalboden mit mittlerer Borkonzentration	
4Cng	130-150 cm u. GOF	Proben-Nr.: RZ II.4.13
	10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 5/2 gräulich braun (feucht); Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; stark nass; humusfrei; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; nicht versalzter Normalboden mit mittlerer Borkonzentration	
Grundwasser	150-... cm u. GOF	Proben-Nr.: RZ II.4.GW

Tab. 150: Physikalische Bodenparameter Standort RZ II.4

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	VV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
RZ II.4.1	0-1	1,0	6,7	16,0	40,5	20,9	85,0	11,6	3,3	l fS	0,5				
RZ II.4.2	1-11	0,9	5,6	11,1	29,3	19,9	66,8	20,6	12,6	fs L	0,5				
RZ II.4.3	11-20	5,2	13,6	21,3	27,7	8,1	75,8	17,0	7,2	s L	1	1,02	2,22	53,9	27,2
RZ II.4.4	20-27	5,7	15,3	21,1	25,9	6,7	74,7	16,8	8,5	s L	1				
RZ II.4.5	27-46,5	4,7	13,5	24,2	30,3	6,9	79,6	14,0	6,4	l S	2	0,91	2,27	60,0	26,6
RZ II.4.6	46,5-66,5	2,5	14,2	38,1	33,9	4,6	93,3	5,6	1,0	S	2	1,19	2,47	52,0	15,6
RZ II.4.7	66,5-68,5									K	25				
RZ II.4.8	68,5-83	0,6	1,7	3,5	4,5	2,9	13,2	67,2	19,6	U L	24	1,26	2,42	47,9	40,5
RZ II.4.9	83-88,5	4,7	21,8	44,1	24,5	2,4	97,5	2,0	0,5	gS	6				
RZ II.4.10	88,5-89									K	1				
RZ II.4.11	89-110	0,9	3,9	23,3	58,8	7,1	94,0	5,0	1,0	fS	0,5	1,20	2,39	49,8	15,5
RZ II.4.12	110-130	0,3	1,5	14,1	66,9	14,2	97,1	2,4	0,5	fS	0,1				
RZ II.4.13	130-150	0,2	2,3	21,6	64,9	9,7	98,7	0,9	0,4	fS	0,1				

Tab. 151: Chemische Bodenparameter Standort RZ II.4

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl₂}	Basensättigung %
RZ II.4.1	0-1	Azk	0,65	1,1	1,8	0	0,06	8,0	100
RZ II.4.2	1-11	Aznk	0,89	1,5	7,6	0	0,25	9,1	100
RZ II.4.3	11-20	ACznk1	0,45	0,8	3,5	0	0,27	9,5	100
RZ II.4.4	20-27	ACznk2	0,37	0,6	4,5	0	0,28	9,55	100
RZ II.4.5	27-46,5	ACznk3	0,29	0,5	5,7	0	0,59	9,7	100
RZ II.4.6	46,5-66,5	Cznkg	0,05	0,1	11,2	0	0,44	8,9	100
RZ II.4.7	66,5-68,5	2Aznkmg			31,0	0	0,28	8,3	100
RZ II.4.8	68,5-83	2Aznkgb	0,40	0,7	15,9	0	0,34	8,5	100
RZ II.4.9	83-88,5	3Cznkg	0,00	0,0	0,7	0	0,07	8,2	100
RZ II.4.10	88,5-89	4Cznkmg			46,1		0,08	8,3	100
RZ II.4.11	89-110	4C'zngk1	0,00	0,0	0,8	0	0,05	8,2	100
RZ II.4.12	110-130	4C'zngk2	0,00	0,0	0,5	0	0,06	8,2	100
RZ II.4.13	130-150	4Cng	0,00	0,0	0,08	0	0,00	8,2	100

Tab. 152: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ II.4

Tiefe cm	NH ₄ OAc-extr. Basen in mval/100g					lösliche Basen in mval/100g					austauschbare Basen in mval/100g				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-1	26,1	3,0	0,8	0,8	30,7	0,09	0,05	0,06	0,27	0,46	26,0	2,9	0,7	0,5	30,2
1-11	45,8	6,0	2,9	7,9	62,6	0,02	0,01	0,07	0,82	0,93	45,7	6,0	2,9	7,1	61,7
11-20	36,8	2,7	3,5	9,3	52,4	0,04	0,01	0,08	1,23	1,36	36,7	2,7	3,4	8,1	51,0
20-27	38,3	2,8	3,2	9,1	53,3	0,06	0,01	0,09	1,48	1,64	38,2	2,8	3,1	7,6	51,7
27-46,5	36,9	3,1	2,8	13,6	56,4	0,03	0,01	0,27	5,56	5,87	36,9	3,1	2,5	8,0	50,5
46,5-66,5	74,8	3,7	1,1	7,0	86,5	0,09	0,03	0,20	4,56	4,88	74,7	3,6	0,9	2,4	81,6
66,5-68,5	81,4	4,4	0,7	4,2	90,7	0,05	0,03	0,10	2,28	2,46	81,3	4,4	0,6	1,9	88,2
68,5-83	89,6	12,0	3,9	12,2	117,7	0,12	0,13	0,15	3,11	3,51	89,5	11,9	3,8	9,1	114,2
83-88,5	8,5	1,3	0,6	0,9	11,3	0,02	0,01	0,02	0,29	0,34	8,5	1,3	0,6	0,6	11,0
88,5-89															
89-110	14,3	1,9	0,5	0,5	17,3	0,04	0,04	0,02	0,21	0,30	14,3	1,9	0,5	0,3	17,0
110-130	10,2	1,4	0,5	0,6	12,7	0,08	0,06	0,03	0,31	0,47	10,1	1,3	0,5	0,3	12,2
130-150	2,9	0,7	0,3	0,6	4,6	0,08	0,05	0,02	0,29	0,44	2,8	0,7	0,3	0,3	4,1

Tab. 153: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval/100g Boden Standort RZ II.4

Tiefe cm	Anteil an extr. Basen in %					Anteil an lösl. Basen in %					Anteil an aust. Ba. in %					Anteil lösl. an extr. Basen in %					
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	
0-1	85,2	9,7	2,5	2,6	100	19,2	10,6	12,1	58,2	100	86,2	9,6	2,4	1,8	100	0,3	1,7	7,3	33,2	2	
1-11	73,1	9,6	4,7	12,6	100	2,4	0,8	7,9	89,0	100	74,2	9,7	4,6	11,5	100	0,0	0,1	2,5	10,4	1	
11-20	70,2	5,2	6,7	17,8	100	3,1	0,5	6,2	90,2	100	72,0	5,4	6,8	15,8	100	0,1	0,3	2,4	13,2	3	
20-27	71,7	5,3	6,0	17,0	100	3,8	0,4	5,7	90,1	100	73,9	5,5	6,0	14,7	100	0,2	0,3	2,9	16,3	3	
27-46,5	65,5	5,5	5,0	24,1	100	0,5	0,1	4,6	94,8	100	73,0	6,1	5,0	15,9	100	0,1	0,3	9,6	41,0	10	
46,5-66,5	86,4	4,2	1,3	8,0	100	1,8	0,6	4,0	93,6	100	91,5	4,4	1,2	2,9	100	0,1	0,8	17,3	65,6	6	
66,5-68,5	89,7	4,9	0,8	4,6	100	2,1	1,4	3,9	92,6	100	92,2	5,0	0,7	2,2	100	0,1	0,8	13,2	54,6	3	
68,5-83	76,1	10,2	3,3	10,4	100	3,3	3,8	4,4	88,6	100	78,3	10,4	3,3	8,0	100	0,1	1,1	3,9	25,5	3	
83-88,5	75,2	11,4	5,3	8,1	100	4,6	4,4	5,8	85,2	100	77,4	11,6	5,3	5,8	100	0,2	1,1	3,3	31,2	3	
88,5-89																					
89-110	82,7	11,1	3,0	3,1	100	12,0	12,6	7,7	67,6	100	84,0	11,1	3,0	2,0	100	0,3	2,0	4,4	37,9	2	
110-130	80,4	10,7	3,8	5,1	100	17,0	12,5	5,9	64,6	100	82,9	10,7	3,7	2,7	100	0,8	4,4	5,8	47,9	4	
130-150	63,9	15,9	7,6	12,5	100	17,1	11,1	5,1	66,6	100	68,9	16,5	7,9	6,8	100	2,6	6,7	6,5	51,2	10	

Tab. 154: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser Standort RZ II.4

Tiefe cm	lösliche Kationen im Sättigungsextrakt in mval/l						lösliche Anionen im Sättigungsextrakt in mval/l						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-1	2,5	1,4	1,6	7,7	0,05	13,2	0,68	7,5	1,7	0,6	0,09	1,3	11,8
1-11	0,6	0,2	2,0	23,2	0,05	26,1	1,40	19,6	1,2	1,5	0,29	0,3	24,3
11-20	1,2	0,2	2,5	36,4	0,04	40,4	3,40	29,8	0,1	0,4	1,54	0,0	35,2
20-27	1,7	0,2	2,6	41,5	0,00	46,1	3,00	33,2	2,5	2,6	2,44	0,0	43,7
27-46,5	0,7	0,2	7,0	145,9	0,00	153,9	9,60	16,0	83,3	43,5	2,28	0,0	154,7
46,5-66,5	3,2	1,0	7,3	168,6	0,00	180,1	0,70	5,2	125,0	44,7	0,51	0,0	176,1
66,5-68,5	2,1	1,4	4,0	95,2	0,05	102,9	0,90	6,5	68,8	28,0	0,60	1,3	106,0
68,5-83	1,6	1,9	2,2	43,7	0,00	49,3	0,16	4,6	33,0	10,5	0,10	0,0	48,3
83-88,5	0,6	0,6	0,8	12,0	0,00	14,1	1,20	1,7	8,5	2,1	0,03	0,0	13,6
88,5-89													
89-110	1,2	1,2	0,8	6,6	0,00	9,8	0,08	2,5	5,1	1,7	0,02	0,0	9,4
110-130	2,2	1,6	0,8	8,5	0,00	13,2	0,06	1,1	8,0	3,1	0,02	0,0	12,3
130-150	2,2	1,4	0,7	8,6	0,00	13,0	0,06	1,5	8,1	3,3	0,02	0,0	13,0
GW 150-...	2,5	19,8	3,8	93,5	0,00	119,5					0,00	0,0	

Tab. 155: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser bezogen auf mval/l Standort RZ II.4

Tiefe cm	Anteil an löslichen Kationen im Sättigungsextrakt in %						Anteil an löslichen Anionen im Sättigungsextrakt in %						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-1	19,1	10,6	12,0	57,9	0,41	100,0	5,76	63,7	14,0	4,9	0,73	10,94	100,0
1-11	2,4	0,8	7,8	88,8	0,21	100,0	5,77	80,7	4,9	6,1	1,19	1,33	100,0
11-20	3,1	0,5	6,2	90,1	0,09	100,0	9,66	84,7	0,3	1,0	4,37	0,00	100,0
20-27	3,8	0,4	5,7	90,1	0,00	100,0	6,86	76,0	5,7	5,9	5,57	0,00	100,0
27-46,5	0,5	0,1	4,6	94,8	0,00	100,0	6,21	10,3	53,9	28,1	1,47	0,00	100,0
46,5-66,5	1,8	0,6	4,0	93,6	0,00	100,0	0,40	3,0	71,0	25,4	0,29	0,00	100,0
66,5-68,5	2,1	1,4	3,9	92,6	0,05	100,0	0,85	6,1	64,8	26,4	0,56	1,22	100,0
68,5-83	3,3	3,8	4,4	88,6	0,00	100,0	0,33	9,4	68,3	21,7	0,21	0,00	100,0
83-88,5	4,6	4,4	5,8	85,2	0,00	100,0	8,83	12,7	62,5	15,7	0,25	0,00	100,0
88,5-89													
89-110	12,0	12,6	7,7	67,6	0,00	100,0	0,85	26,7	54,1	18,1	0,21	0,00	100,0
110-130	17,0	12,5	5,9	64,6	0,00	100,0	0,49	8,7	65,3	25,4	0,13	0,00	100,0
130-150	17,1	11,1	5,1	66,6	0,00	100,0	0,46	11,6	62,4	25,5	0,12	0,00	100,0
GW 150-...	2,1	16,5	3,2	78,2	0,00	100,0							

Tab. 156: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ II.4

Tiefe cm	Sätt. %	lösliche Kationen in mg/100g Boden						lösliche Anionen in mg/100g Boden						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-1	35,3	1,8	0,6	2,2	6,2	0,03	10,8	0,72	16,2	2,1	1,0	0,24	2,8	23,0
1-11	35,6	0,4	0,1	2,8	19,0	0,03	22,4	1,50	42,6	1,5	2,5	0,81	0,7	49,6
11-20	33,7	0,8	0,1	3,3	28,2	0,02	32,5	3,44	61,3	0,1	0,6	4,09	0,0	69,5
20-27	35,5	1,2	0,1	3,6	33,9	0,00	38,9	3,20	72,0	3,2	4,4	6,82	0,0	89,6
27-46,5	38,1	0,6	0,1	10,5	127,9	0,00	139,1	10,98	37,2	112,7	79,6	6,85	0,0	247,4
46,5-66,5	27,1	1,8	0,3	7,7	105,0	0,00	114,8	0,57	8,6	120,0	58,2	1,09	0,0	188,4
66,5-68,5	23,9	1,0	0,4	3,8	52,4	0,02	57,6	0,65	9,5	58,4	32,2	1,13	1,9	103,7
68,5-83	71,2	2,3	1,6	6,0	71,5	0,00	81,5	0,34	19,8	83,3	35,9	0,58	0,0	139,9
83-88,5	23,8	0,3	0,2	0,8	6,6	0,00	7,8	0,86	2,5	7,2	2,4	0,06	0,0	13,1
88,5-89														
89-110	31,1	0,7	0,5	0,9	4,7	0,00	6,8	0,07	4,8	5,6	2,5	0,05	0,0	13,1
110-130	36,0	1,6	0,7	1,1	7,1	0,00	10,5	0,06	2,3	10,2	5,4	0,05	0,0	18,0
130-150	33,8	1,5	0,6	0,9	6,7	0,00	9,7	0,06	3,1	9,7	5,4	0,04	0,0	18,3

Tab. 157: EC_{e/w}, SAR, pH_{e/w}, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte und des Grundwassers Standort RZ II.4

Tiefe cm	EC _{e/w} mS/cm	SAR	pH _{e/w}	Bor - B	Bor - B	lösl. Kat. mval/l	lösl. An. mval/l	EC _{e/w} *10	lösl. Kat. mg/100g	lösl. An. mg/100g	B(OH) ₃ ⁰ mg/100g	Summe mg/100g	Salze n. EC _{e/w} mg/100g
				mg/l	mg/100g								
0-1	1,3	5,5	8,3	5,48	0,19	13,2	11,8	12,9	10,8	23,0	0,9	34,7	29,1
1-11	2,5	35,9	9,1	15,63	0,56	26,1	24,3	24,8	22,4	49,6	2,5	74,6	56,5
11-20	3,4	42,7	9,7	83,12	2,80	40,4	35,2	34,1	32,5	69,5	12,8	114,8	73,6
20-27	3,9	42,0	9,7	131,66	4,68	46,1	43,7	38,8	38,9	89,6	21,4	149,9	88,3
27-46,5	15,0	211,2	9,4	123,28	4,70	153,9	154,7	149,7	139,1	247,4	21,5	408,0	365,3
46,5-66,5	18,2	115,3	8,3	32,40	0,88	180,1	176,1	182,0	114,8	188,4	4,2	307,4	315,4
66,5-68,5	10,6	71,4	8,4	35,91	0,86	102,9	106,0	105,7	57,6	103,7	4,0	165,4	161,9
68,5-83	5,6	33,2	8,2	6,98	0,50	49,3	48,3	55,5	81,5	139,9	2,4	223,7	252,8
83-88,5	1,6	15,1	8,3	2,18	0,05	14,1	13,6	15,6	7,8	13,1	0,2	21,1	23,8
88,5-89													
89-110	1,1	6,0	8,3	1,29	0,04	9,8	9,4	10,6	6,8	13,1	0,2	20,1	21,1
110-130	1,5	6,1	8,0	1,37	0,05	13,2	12,3	14,8	10,5	18,0	0,2	28,8	34,1
130-150	1,5	6,4	8,0	1,28	0,04	13,0	13,0	14,7	9,7	18,3	0,2	28,2	31,8
150-...		28,0					119,5						

Tab. 158: Lageparameter Standort III.1

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Huachacalla Hoja 5937 IV
UTM-Koordinaten:	19KEV771234
Topographische Lage:	1,4 km NW von Huachacalla
Luftbild-Nr.:	4322 bzw. 4276
Höhe ü. M.:	3820 m
Höhe ü. GW-Stand:	91 m (RZ)
Neigung:	20 °
Exposition:	E (90 °)
Reliefformtyp:	vertikal und horizontal gestreckter Mittelhang
Dünen:	keine
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	keine
Aktuelle Bodennutzung:	keine (Ödland); gelegentlich Lama- bzw. Alpakaweide
Anthropogene Veränderungen:	keine
Bodenausgangsmaterial:	vulkanisches (Fest)gestein in situ verwittert
Oberfl. anstehendes Festgestein:	0,2 m u. GOF
Standorteinheit:	Gebirge
Vegetationshaupteinheit:	<i>Fabiana densa</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Fabiana densa</i> - <i>Baccharis boliviensis</i> - <i>Opuntia</i> ssp. - <i>Adesmia</i> ssp. - <i>Stipa</i> ssp.
Bodeneinheit	Lithic Ustorthent (USDA); Ranker (DBG)

Tab. 159: Vegetation Standort RZ III.1

Datum der Aufnahme:	19.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	23
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	5-25 %
Deckung der niederen Krautschicht:	5-25 %
Deckung der Cacteen:	<5 %
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Fabiana densa</i> Remy, <i>Baccharis incarum</i> Wedd., <i>Opuntia</i> ssp. Mill., <i>Cardionema ramosissima</i> (Weinm.) A. Nelson & J.F. Macbr., <i>Adesmia</i> ssp. DC., <i>Mayeniopsis</i> , <i>Cactaceae</i> (kugelförmig), <i>Bidens</i> ssp. L., <i>Junellia seriphoides</i> (Gillies & Hook.) Moldenke, <i>Ephedra</i> cf. <i>rupestris</i> Benth., <i>Baccharis boliviensis</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Stevia</i> ssp. Cav., <i>Portulaca</i> ssp. L., <i>Portulacaceae</i> ?, <i>Cheilanthes pruinata</i> Kaulf., <i>Iridaceae</i> (1), <i>Nassella</i> ssp. Desv., <i>Stipa</i> ssp. L., <i>Euphorbia</i> ssp. L., <i>Notholaena nivea</i> (Poir.) Desv., <i>Calandrinia</i> ssp. Kunth, <i>Poaceae</i>

Tab. 160: Profilbeschreibung Standort RZ III.1

A1	0-1 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); lehmiger Sand mit hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; mittel durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark sauer (CaCl ₂); hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ III.1.1
A2	1-10 cm u. GOF 10YR 5/3 braun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); sandiger Lehm mit hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; mittel durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig sauer (CaCl ₂); hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ III.1.2
AC	10-20 cm u. GOF 10YR 5/3 braun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); sandiger Lehm mit extrem hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; mittel durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig sauer (CaCl ₂); hohe Basensättigung; geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ III.1.3

Tab. 165: Lageparameter Standort III.2

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Huachacalla Hoja 5937 IV
UTM-Koordinaten:	19KEV774238
Topographische Lage:	1,6 km NNW von Huachacalla
Luftbild-Nr.:	4322 bzw. 4276
Höhe ü. M.:	3780 m
Höhe ü. GW-Stand:	51 m (RZ)
Neigung:	15 °
Exposition:	ESE (110 °)
Reliefformtyp:	vertikal und horizontal gestreckter Unterhang
Dünen:	keine
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	keine
Aktuelle Bodennutzung:	keine (Ödland); gelegentlich Lama- bzw. Alpakaweide
Anthropogene Veränderungen:	Lesesteinmauern
Bodenausgangsmaterial:	vulkanisches (Fest)gestein in situ verwittert, z.T. transportiert
Oberfl. anstehendes Festgestein:	0,3 m u. GOF
Standorteinheit:	Gebirge
Vegetationshaupteinheit:	<i>Fabiana densa</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Fabiana densa</i> - <i>Baccharis boliviensis</i> - <i>Opuntia</i> ssp. - <i>Adesmia</i> ssp. - <i>Stipa</i> ssp.
Bodeneinheit	Lithic Ustorthent (USDA); Ranker (DBG)

Tab. 166: Vegetation Standort RZ III.2

Datum der Aufnahme:	20.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	16
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	keine
Deckung der niederen Krautschicht:	< 5 %
Deckung der Cacteen:	< 5 %
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Fabiana densa</i> Remy, <i>Baccharis incarum</i> Wedd., <i>Opuntia</i> ssp. Mill., <i>Cardionema ramosissima</i> (Weinm.) A. Nelson & J.F. Macbr., <i>Adesmia</i> ssp. DC., <i>Mayeniopsis</i> , <i>Cactaceae</i> (kugelförmig), <i>Bidens</i> ssp. L., <i>Baccharis boliviensis</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Stevia</i> ssp. Cav., <i>Portulaca</i> ssp. L., <i>Portulacaceae</i> ?, <i>Iridaceae</i> , <i>Gamochoaeta</i> ssp. Wedd., <i>Tarasa</i> ssp. Phil., <i>Euphorbia</i> ssp. L., <i>Nicotiana</i> ssp. L.

Tab. 167: Profilbeschreibung Standort RZ III.2

A1	0-1 cm u. GOF 10YR 5/3 braun (trocken); 10YR 3/2 sehr dunkel gräulich braun (feucht); Feinsand mit hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; mittel durchwurzelt; trocken; deutliche Horizontuntergrenze; schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark sauer (CaCl ₂); hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ III.2.1
A2	1-10 cm u. GOF 10YR 5/3 braun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); lehmiger Feinsand mit hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; mittel durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ III.2.2
AC1	10-20 cm u. GOF 10YR 5/3 braun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); lehmiger Feinsand mit hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; mittel durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ III.2.3

Tab. 172: Lageparameter Standort III.3

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Huachacalla 5937 IV
UTM-Koordinaten:	19KEV776240
Topographische Lage:	1,8 km N von Huachacalla
Luftbild-Nr.:	4322 bzw. 4276
Höhe ü. M.:	3740 m
Höhe ü. GW-Stand:	11 m (RZ)
Neigung:	10 °
Exposition:	SE (140 °)
Reliefformtyp:	vertikal und horizontal gestreckter Hang
Dünen:	keine
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	keine
Aktuelle Bodennutzung:	Lama-, Alpaka und/oder Schafweide
Anthropogene Veränderungen:	Lesesteinmauern
Bodenausgangsmaterial:	fluviatil und äolisch abgelagertes Lockergestein; schichtenweise skelettreich (runde Steine)
Oberfl. anstehendes Festgestein:	kein
Standorteinheit:	Hangfuß
Vegetationshaupteinheit:	Übergang zwischen <i>Fabiana densa</i> und <i>Lampaya castellani</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Baccharis incarum</i> - <i>Adesmia</i> ssp. - <i>Stipa</i> ssp. - <i>Parastrephia lepidophylla</i> - <i>Festuca orthophylla</i>
Bodeneinheit	Ustorthent (USDA); Lockersyrosem (DBG)

Tab. 173: Vegetation Standort RZ III.3

Datum der Aufnahme:	21.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	19
Gesamtdeckung der Vegetation:	< 5 %
Deckung der Strauchschicht:	< 5 %
Deckung der hohen Krautschicht:	< 5 %
Deckung der niederen Krautschicht:	< 5 %
Deckung der Cacteen:	sehr gering
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Baccharis incarum</i> Wedd., <i>Adesmia</i> ssp. DC., <i>Mayeniopsis</i> , <i>Bidens</i> ssp. L., <i>Tetraglochin cristatum</i> (Britton) Rothm., <i>Iridaceae</i> , <i>Stipa</i> ssp. L., <i>Parastrephia lepidophylla</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Hoffmannseggia</i> ssp. Cav., <i>Festuca orthophylla</i> Pilg.

Tab. 174: Profilbeschreibung Standort RZ III.3

Ak	0-1 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Grobsand mit mittlerem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; mittel durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung mittlere Summe der austauschbaren Basen (etwas erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate)	Proben-Nr.: RZ III.3.1
A	1-20 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Sand mit mittlerem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; mittel durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ III.3.2
2Ab	20-40 cm u. GOF 10YR 5/3 braun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); Sand mit hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach alkalisch (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ III.3.3

C1	40-55 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Grobsand mit hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ III.3.4
C2	55-74 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); Grobsand mit hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; scharfe Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ III.3.5
2C'1	74-95 cm u. GOF 10YR 8/2 sehr fahl braun (trocken); 10YR 6/3 fahlbraun (feucht); Schlufflehm mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; humusfrei; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ III.3.6
2C'2	95-115 cm u. GOF 10YR 8/2 sehr fahl braun (trocken); 10YR 6/3 fahlbraun (feucht); Schlufflehm mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; humusfrei; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach alkalisch (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ III.3.7
2C'3	115-140 cm u. GOF 10YR 8/1 weiß (trocken); 10YR 6/3 fahlbraun (feucht); Schlufflehm mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; trocken, humusfrei; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach alkalisch (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ III.3.8

Tab. 175: Physikalische Bodenparameter Standort RZ III.3

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
RZ III.3.1	0-1									gS	15-40				
RZ III.3.2	1-20									S	15-40	1,26	2,41	47,5	16,1
RZ III.3.3	20-40									S	40-60				
RZ III.3.4	40-55									gS	40-60				
RZ III.3.5	55-74									gS	40-60				
RZ III.3.6	74-95									U L	3	1,06	2,29	53,9	31,7
RZ III.3.7	95-115									U L	3				
RZ III.3.8	115-140									U L	3				

Tab. 176: Chemische Bodenparameter Standort RZ III.3

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl₂}	Basensättigung %
RZ III.3.1	0-1	Ak	0,31	0,5	0,4		0,04	8,0	100
RZ III.3.2	1-20	A	0,29	0,5	0,0		0,01	7,7	100
RZ III.3.3	20-40	2Ab	0,41	0,7	0,0		0,01	7,4	80-100
RZ III.3.4	40-55	C1	0,09	0,2	0,0		0,01	7,1	80-100
RZ III.3.5	55-74	C2	0,08	0,1	0,0		0,01	7,0	80-100
RZ III.3.6	74-95	2C'1	0,00	0,0	0,0		0,01	7,3	80-100
RZ III.3.7	95-115	2C'2	0,00	0,0	0,0		0,01	7,4	80-100
RZ III.3.8	115-140	2C'3	0,00	0,0	0,0		0,01	7,4	80-100

Tab. 177: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ III.3

Tiefe cm	NH ₄ OAc-extr. Basen in mval/100g					lösliche Basen in mval/100g					austauschbare Basen in mval/100g				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-1	9,7	0,7	0,4	0,1	10,9										
1-20	3,1	0,4	0,3	0,2	4,0										
20-40	3,9	0,6	0,4	0,2	5,1										
40-55	1,9	0,5	0,3	0,1	2,8										
55-74	2,1	0,6	0,4	0,1	3,1										
74-95	2,1	0,4	0,6	0,1	3,1										
95-115	1,8	0,3	0,5	0,1	2,7										
115-140	1,5	0,3	0,4	0,1	2,2										

Tab. 178: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval/100g Boden Standort RZ III.3

Tiefe cm	Anteil an extr. Basen in %					Anteil an lösl. Basen in %					Anteil an aust. Ba. in %					Anteil lösl. an extr. Basen in %					
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	
0-1	88,7	6,7	3,5	1,1	100																
1-20	76,6	10,9	8,6	3,9	100																
20-40	75,9	12,2	8,5	3,4	100																
40-55	67,1	18,8	11,4	2,7	100																
55-74	67,0	18,7	12,4	1,9	100																
74-95	66,5	11,8	18,7	2,9	100																
95-115	67,5	11,2	17,7	3,6	100																
115-140	67,6	11,5	17,0	3,9	100																

Tab. 179: Lageparameter Standort III.4

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Huachacalla Hoja 5937 IV
UTM-Koordinaten:	19KEV778240
Topographische Lage:	1,7 km N von Huachacalla
Luftbild-Nr.:	4322 bzw. 4276
Höhe ü. M.:	3730 m
Höhe ü. GW-Stand:	0,8 m (RZ)
Neigung:	2 °
Exposition:	SE (140 °)
Reliefformtyp:	schwach geneigter Tiefenbereich
Umgebung des Standortes:	25 m östlich von Hangfußbereich
Dünen:	keine
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	Halophytenvegetation
Aktuelle Bodennutzung:	Lama-, Alpaka und/oder Schafweide
Anthropogene Veränderungen:	Wasserwerk oberhalb des Standortes; Müllhalde
Bodenausgangsmaterial:	fluviatil abgelagertes Lockergestein
Oberfl. anstehendes Festgestein:	kein; (auf der Bodenoberflächen liegt Geröll)
Standorteinheit:	grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene
Vegetationshaupteinheit:	<i>Distichlis humilis</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Distichlis humilis</i> - <i>Salicornia pulvinata</i> - <i>Anthobryum triandrum</i>
Bodeneinheit	Halaquept (USDA)

Tab. 180: Vegetation Standort RZ III.4

Datum der Aufnahme:	22.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	8
Gesamtdeckung der Vegetation:	75-100 %
Deckung der Strauchschicht:	keine
Deckung der hohen Krautschicht:	keine
Deckung der niederen Krautschicht:	75-100 %
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	5-25
Taxa:	<i>Distichilis humilis</i> Phil., <i>Salicornia pulvinata</i> R. E. Fr., <i>Anthobryum triandrum</i> (Remy) Surgis

Tab. 181: Profilbeschreibung Standort RZ III.4

Azmk1	0-3 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel grünlich braun (feucht); lehmiger Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Krümelgefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr stark durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; stark humos; mittel carbonathaltig; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; mäßig versalzter Salzkalkiboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ III.4.1
Azmk2	3-11 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 5/3 braun (feucht); feinsandiger Lehm mit geringem Grobbodenanteil; Krümelgefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; stark durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; sehr stark humos; carbonatreich; gipsfrei; sehr stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; stark versalzter Salzkalkiboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ III.4.2
Azn	11-19 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel grünlich braun (feucht); Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Krümelgefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; mittel durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; sehr stark humos; carbonatfrei; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; hohe Summe der austauschbaren Basen mit relativ (zum Ausgangsmaterial) sehr hohem Natriumanteil; mäßig versalzter Salzkalkiboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ III.4.3
Azng	19-35 cm u. GOF 10YR 8/1 weiß (trocken); 10YR 4/2 dunkel grünlich braun (feucht); Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Krümelgefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; mittel humos; carbonatfrei; gipsfrei; mäßig erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; geringe Summe der austauschbaren Basen mit relativ (zum Ausgangsmaterial) sehr hohem Natriumanteil; sehr gering versalzter Alkaliboden mit hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ III.4.4
ACzng1	35-50 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht) mit Rostflecken; Grobsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; feucht; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig sauer (CaCl ₂); hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen mit relativ (zum Ausgangsmaterial) sehr hohem Natriumanteil; nicht versalzter Normalboden mit geringer Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ III.4.5
ACzng2	50-70 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 3/2 sehr dunkel grünlich braun (feucht); Grobsand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; stark feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig sauer (CaCl ₂); hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen mit relativ (zum Ausgangsmaterial) sehr hohem Natriumanteil; nicht versalzter Normalboden mit mittlerer Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ III.4.6
ACzng3	70-80 cm u. GOF 10YR 6/1 grau (trocken); 10YR 4/1 dunkelgrau (feucht); lehmiger Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; nass; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatfrei; gipsarm; mäßig erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; extrem sauer (CaCl ₂); geringe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ III.4.7

Tab. 185: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval/100g Boden Standort RZ III.4

Tiefe cm	Anteil an extr. Basen in %					Anteil an lösl. Basen in %					Anteil an aust. Ba. in %					Anteil lösl. an extr. Basen in %				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-3	68,4	8,4	3,9	19,3	100	12,9	6,0	5,7	75,5	100	79,9	9,0	3,5	7,7	100	3,2	12,1	25,0	67,0	17
3-11	74,7	7,8	2,1	15,3	100	12,0	4,4	6,1	77,5	100	84,2	8,3	1,5	5,9	100	2,1	7,4	37,4	66,3	13
11-19	41,5	9,0	6,0	43,5	100	11,0	5,4	3,6	80,0	100	58,3	10,9	7,2	23,6	100	9,3	21,3	21,6	65,0	35
19-35	42,3	13,0	7,3	37,5	100	7,3	5,7	4,1	82,9	100	55,3	15,8	8,4	20,5	100	4,7	11,8	15,4	60,1	27
35-50	49,6	19,1	10,0	21,3	100	4,9	6,4	6,5	82,2	100	54,1	20,4	10,3	15,2	100	0,9	3,1	6,0	35,4	9
50-70	44,0	20,0	13,4	22,7	100	7,6	10,7	8,3	73,4	100	49,4	21,3	14,2	15,1	100	2,2	6,9	8,0	41,9	13
70-80	47,9	22,7	7,7	21,7	100															
80-100	51,4	24,0	6,5	18,1	100															

Tab. 186: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser Standort RZ III.4

Tiefe cm	lösliche Kationen im Sättigungsextrakt in mval/l						lösliche Anionen im Sättigungsextrakt in mval/l						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-3	16,5	7,6	7,2	96,3	0,04	127,6	0,80	14,8	77,5	18,1	0,27	0,0	111,4
3-11	20,8	7,6	10,6	134,8	0,00	173,8	0,00	25,0	112,5	49,6	0,28	0,0	187,3
11-19	12,1	6,0	4,0	88,4	0,00	110,5	0,00	19,7	72,5	23,7	0,11	0,0	116,0
19-35	2,4	1,9	1,3	27,1	0,00	32,6	0,00	0,8	26,5	4,0	0,00	1,5	32,8
35-50	0,6	0,8	0,8	10,5	0,00	12,8	0,00	0,1	10,8	2,3	0,00	0,0	13,2
50-70	0,9	1,2	1,0	8,5	0,00	11,5	0,00	0,0	6,5	5,6	0,00	0,0	12,1
:													
GW 80-...	1,0	0,7	0,5	10,2	0,00	12,4	0,03	2,6	8,0	1,5	0,02	0,0	12,2

Tab. 187: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser bezogen auf mval/l Standort RZ III.4

Tiefe cm	Anteil an löslichen Kationen im Sättigungsextrakt in %						Anteil an löslichen Anionen im Sättigungsextrakt in %						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-3	12,9	6,0	5,7	75,4	0,03	100,0	0,72	13,3	69,5	16,2	0,24	0,00	100,0
3-11	12,0	4,4	6,1	77,5	0,00	100,0	0,00	13,3	60,1	26,5	0,15	0,00	100,0
11-19	11,0	5,4	3,6	80,0	0,00	100,0	0,00	17,0	62,5	20,5	0,09	0,00	100,0
19-35	7,3	5,7	4,1	82,9	0,00	100,0	0,00	2,4	80,8	12,1	0,00	4,67	100,0
35-50	4,9	6,4	6,5	82,2	0,00	100,0	0,00	0,9	81,3	17,8	0,00	0,00	100,0
50-70	7,6	10,7	8,3	73,4	0,00	100,0	0,00	0,0	53,6	46,4	0,00	0,00	100,0
:													
GW 80-...	7,9	6,0	3,9	82,3	0,00	100,0	0,25	21,6	65,7	12,3	0,20	0,00	100,0

Tab. 188: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ III.4

Tiefe cm	Sätt. %	lösliche Kationen in mg/100g Boden						lösliche Anionen in mg/100g Boden						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-3	64,2	21,2	5,9	18,1	142,2	0,04	187,5	1,54	58,0	176,4	55,7	1,38	0,0	293,0
3-11	106,0	44,2	9,8	44,0	328,5	0,00	426,5	0,00	161,6	422,7	252,2	2,38	0,0	838,8
11-19	85,9	20,8	6,2	13,5	174,6	0,00	215,1	0,00	103,2	220,8	97,9	0,74	0,0	422,7
19-35	106,6	5,1	2,4	5,6	66,3	0,00	79,4	0,00	5,1	100,1	20,4	0,00	10,1	135,7
35-50	36,1	0,5	0,4	1,2	8,8	0,00	10,8	0,00	0,3	13,8	4,1	0,00	0,0	18,1
50-70	37,1	0,7	0,6	1,4	7,2	0,00	9,8	0,00	0,0	8,6	10,0	0,00	0,0	18,6

Tab. 189: EC_{e/w}, SAR, pH_{e/w}, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte und des Grundwassers Standort RZ III.4

Tiefe cm	EC _{e/w} mS/cm	SAR	pH _{e/w}	Bor - B mg/l	Bor - B mg/100g	lösl. Kat. mval/l	lösl. An. mval/l	EC _{e/w} *10	lösl. Kat. mg/100g	lösl. An. mg/100g	B(OH) ₃ ⁰ mg/100g	Summe mg/100g	Salze n. EC _{e/w} mg/100g
0-3	12,3	27,8	8,25	17,87	1,15	127,6	111,4	122,8	187,5	293,0	5,5	486,0	504,5
3-11	16,8	35,7	8,0	23,65	2,51	173,8	187,3	167,8	426,5	838,8	12,5	1.277,7	1.137,8
11-19	11,0	29,4	7,7	12,43	1,07	110,5	116,0	110,1	215,1	422,7	5,5	643,3	605,2
19-35	3,8	18,6	5,7	2,00	0,21	32,6	32,8	38,4	79,4	135,7	1,2	216,3	261,9
35-50	1,6	12,4	4,8	0,98	0,04	12,8	13,2	16,3	10,8	18,1	0,2	29,1	37,7
50-70	1,5	8,3	4,2	1,13	0,04	11,5	12,1	14,9	9,8	18,6	0,2	28,7	35,4
:													
GW 80-...	1,4	11,0	8,2	1,68		12,4	12,2	14,3					

Tab. 190: Lageparameter Standort III.5

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Huachacalla Hoja 5937 IV
UTM-Koordinaten:	19KEV782242
Topographische Lage:	1,9 km N von Huachacalla
Luftbild-Nr.:	4322 bzw. 4276
Höhe ü. M.:	3720 m
Höhe ü. GW-Stand:	1,3 m (TZ) / 0,4 m (RZ)
Neigung:	0 °
Exposition:	keine
Reliefformtyp:	Tiefenbereich
Umgebung des Standortes:	„Insel“ mit 15 m Durchmesser umgeben von flachen Abflussbahnen
Dünen:	keine
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	Salzausscheidungen an der Bodenoberfläche in der Trockenzeit; Halophytenvegetation
Aktuelle Bodennutzung:	Lama-, Alpaka und/oder Schafweide
Anthropogene Veränderungen:	Wasserwerk oberhalb des Standortes; Müllhalde
Bodenausgangsmaterial:	fluviatil abgelagertes Lockergestein
Oberfl. anstehendes Festgestein:	kein
Standorteinheit:	grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene
Vegetationshaupteinheit:	<i>Distichlis humilis</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Distichlis humilis</i> - <i>Salicornia pulvinata</i> - <i>Anthobryum triandrum</i>
Bodeneinheit	Halaquept (USDA)

Tab. 191: Vegetation Standort TZ III.5

Datum der Aufnahme:	10.10.1996
Gesamtzahl der Taxa:	1
Gesamtdeckung der Vegetation:	25-50 %
Deckung der Strauchschicht:	keine
Deckung der hohen Krautschicht:	keine
Deckung der niederen Krautschicht:	25-50 %
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Distichlis humilis</i> Phil.

Tab. 192: Profilbeschreibung Standort TZ III.5

Aznk1	0-9 cm u. GOF 2.5Y 6/3 hell gelblich braun (trocken); 2.5Y 4/3 olivebraun (feucht); Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Krümelgefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr stark durchwurzelt; trocken; scharfe Horizontuntergrenze; stark humos; sehr carbonatreich; gipsfrei; extrem erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; extrem versalzter Salzkalkiboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: TZ III.5.1
Aznk2	9-18 cm u. GOF 2.5Y 7/2 hellgrau (trocken); 2.5Y 5/3 hell olivebraun (feucht); Schlufflehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Krümelgefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; mittel durchwurzelt; schwach feucht; scharfe Horizontuntergrenze; stark humos; carbonatreich; gipsfrei; sehr stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; stark versalzter Salzkalkiboden mit sehr hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: TZ III.5.2
Aznkg	18-40 cm u. GOF 2.5Y 8/1 weiß (trocken); 2.5Y 6/3 hell gelblich braun (feucht) mit Rostflecken; Tonlehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Subpolyedergefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; mittel durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; schwach humos; carbonatreich; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil mittel versalzter Salzkalkiboden mit hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: TZ III.5.3
Cznkg1	40-68/70 cm u. GOF 2.5Y 8/1 weiß (trocken); 2.5Y 6/2 hell bräunlich grau (feucht) mit Rostflecken an Wurzelbahnen; Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; schwach humos mittel carbonathaltig; gipsfrei; mäßig erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; gering versalzter Salzkalkiboden mit hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: TZ III.5.4
Cznkg2	68/70-78/80 cm u. GOF 2.5Y 8/1 weiß (trocken); 2.5Y 6/2 hell bräunlich grau (feucht) mit Rostflecken; Schlufflehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; stark carbonathaltig; gipsfrei; gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr gering versalzter Normalboden mit mittlerer Borkonzentration	Proben-Nr.: TZ III.5.5
Cznkg3	78/80-104 cm u. GOF 2.5Y 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 2.5Y 4/2 dunkel gräulich braun (feucht) mit Rostflecken; feinstsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; stark feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ III.5.6
Cznkmg	85-86 cm u. GOF(partiell) 2.5Y 7/2 hellgrau (trocken); 2.5Y 5/3 hell olivebraun (feucht); Kruste mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; sehr stark verfestigt; sehr hohe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt, deutliche Horizontuntergrenze; sehr carbonatreich; gipsfrei; sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ III.5.7
C'znkg	104-106 cm u. GOF 2.5Y 7/2 hellgrau (trocken); 2.5Y 5/2 gräulich braun (feucht) mit Rostflecken an Wurzelbahnen; sandiger Lehm mit mittlerem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; stark feucht; scharfe Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; stark carbonathaltig; gipsfrei; gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ III.5.8
2Cznkmg	106-107 cm u. GOF 2.5Y 8/1 weiß (trocken); 2.5Y 5/2 gräulich braun (feucht) mit Rostflecken unterhalb der Kruste; Kruste mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; sehr stark verfestigt; sehr hohe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; scharfe Horizontuntergrenze; carbonatreich; gipsfrei; gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ III.5.9
2C''znkg	107-109 cm u. GOF 2.5Y 8/1 weiß (trocken); 2.5Y 6/2 hell bräunlich grau (feucht); Schlufflehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; stark feucht; scharfe Horizontuntergrenze; humusfrei; schwach carbonathaltig; gipsfrei; gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ III.5.10

3Aznmgb	109-110 cm u. GOF 2.5Y 8/1 weiß (trocken); 2.5Y 6/3 hell gelblich braun (feucht); Kruste mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; sehr stark verfestigt; sehr hohe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt, scharfe Horizontuntergrenze; sehr carbonatreich; gipsfrei; gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ III.5.11
3Aznmgb	110-135 cm u. GOF 10YR 7/2 hellgrau (trocken); 2.5Y 5/2 gräulich braun (feucht); Schluff mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; nass; extrem schwach humos; carbonatarm; gipsfrei; gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ III.5.12
Grundwasser	130-... cm u. GOF gering versalztes Salzgrundwasser mit hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: TZ III.5.GW

Tab. 193: Physikalische Bodenparameter Standort TZ III.5

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Boden- art	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
TZ III.5.1	0-9	1,9	6,1	6,6	13,6	11,2	39,4	49,0	11,6	L	0,1				
TZ III.5.2	9-18	2,5	4,4	4,6	9,5	8,1	29,1	53,3	17,6	U L	1				
TZ III.5.3	18-40	1,2	3,0	2,9	8,0	6,6	21,6	46,1	32,3	T L	0,1				
TZ III.5.4	40-69	1,5	6,7	6,9	12,1	8,3	35,5	49,1	15,4	L	0,5				
TZ III.5.5	69-79	0,6	1,5	4,4	19,1	16,0	41,6	53,6	4,9	U L	1				
TZ III.5.6	79-104	0,6	3,0	6,0	18,0	36,3	63,9	34,2	1,9	ffs L	0,5				
TZ III.5.7	(85-86)									K	15				
TZ III.5.8	104-106	1,0	8,6	11,7	20,3	11,7	53,3	42,0	4,7	s L	17				
TZ III.5.9	106-107									K	2				
TZ III.5.10	107-109	0,6	1,4	2,5	16,2	19,2	39,9	57,5	2,6	U L	2				
TZ III.5.11	109-110									K	1				
TZ III.5.12	110-135	0,1	0,3	0,1	0,7	5,7	6,9	88,2	5,0	U	0,5				

Tab. 194: Chemische Bodenparameter Standort TZ III.5

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl₂}	Basensättigung %
TZ III.5.1	0-9	Aznk1	4,63	8,0	25,6	0	5,13	8,4	100
TZ III.5.2	9-18	Aznk2	3,18	5,5	24,2	0	1,09	8,3	100
TZ III.5.3	18-40	Aznkg	0,98	1,7	17,1	0	0,59	8,3	100
TZ III.5.4	40-69	Cznkg1	0,59	1,0	6,6	0	0,27	8,1	100
TZ III.5.5	69-79	Cznkg2	0,19	0,3	8,6	0	0,14	8,0	100
TZ III.5.6	79-104	Cznkg3	0,04	0,1	0,25	0	0,12	7,9	100
TZ III.5.7	(85-86)	Cznkmg			43,3	0	0,09	8,1	100
TZ III.5.8	104-106	C'znkg	0,03	0,1	9,0	0	0,12	8,0	100
TZ III.5.9	106-107	2Cznkmg			23,8	0	0,11	8,0	100
TZ III.5.10	107-109	2C'znkg	0,02	0,0	2,2	0	0,11	8,0	100
TZ III.5.11	109-110	3Aznmgb			31,0	0	0,11	8,1	100
TZ III.5.12	110-135	3Aznmgb	0,15	0,3	1,6	0	0,14	8,0	100

Tab. 195: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort TZ III.5

Tiefe cm	NH ₄ OAc-extr. Basen in mval/100g					lösliche Basen in mval/100g					austauschbare Basen in mval/100g				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-9	92,1	36,0	8,2	85,9	222,2	1,20	1,82	4,06	76,37	83,45	90,9	34,2	4,2	9,5	138,8
9-18	105,4	25,3	4,8	22,4	157,9	1,05	0,51	0,81	12,61	14,98	104,3	24,8	4,0	9,8	143,0
18-40	85,3	5,0	3,0	11,0	104,4	0,50	0,29	0,43	6,15	7,38	84,8	4,7	2,6	4,9	97,0

Tab. 196: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval/100g Boden Standort TZ III.5

Tiefe cm	Anteil an extr. Basen in %					Anteil an lösl. Basen in %					Anteil an aust. Ba. in %					Anteil lösl. an extr. Basen in %				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-9	41,4	16,2	3,7	38,7	100	1,4	2,2	4,9	91,5	100	65,5	24,6	3,0	6,9	100	1,3	5,1	49,3	88,9	38
9-18	66,7	16,0	3,1	14,2	100	7,0	3,4	5,4	84,2	100	73,0	17,3	2,8	6,9	100	1,0	2,0	16,7	56,3	9
18-40	81,7	4,8	2,9	10,5	100	6,8	4,0	5,9	83,3	100	87,4	4,9	2,7	5,0	100	0,6	5,8	14,4	55,8	7

Tab. 197: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser Standort TZ III.5

Tiefe cm	lösliche Kationen im Sättigungsextrakt in mval/l						lösliche Anionen im Sättigungsextrakt in mval/l						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-9	17,8	27,2	60,5	1.139,1	1,79	1.246,5	0,00	6,5	1.056,3	150,7	0,24	0,0	1213,7
9-18	14,7	7,2	11,4	177,3	0,54	211,1	0,00	11,5	180,0	20,0	0,11	0,0	211,6
18-40	5,6	3,3	4,9	68,8	0,07	82,6	0,00	3,2	70,0	9,5	0,03	0,9	83,6
40-69	7,0	4,9	3,3	37,2	0,18	52,5	0,00	2,4	41,3	8,7	0,02	0,8	53,1
69-79	5,1	3,9	2,0	20,8	0,05	31,8	0,00	2,9	24,3	5,2	0,02	0,7	33,0
:													
GW 130-...	7,7	7,0	1,3	28,0	0,00	44,1	0,22	5,8	32,5	5,1	0,05	0,0	43,7

Tab. 198: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser bezogen auf mval/l Standort TZ III.5

Tiefe cm	Anteil an löslichen Kationen im Sättigungsextrakt in %						Anteil an löslichen Anionen im Sättigungsextrakt in %						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-9	1,4	2,2	4,9	91,4	0,14	100,0	0,00	0,5	87,0	12,4	0,02	0,00	100,0
9-18	7,0	3,4	5,4	84,0	0,25	100,0	0,00	5,4	85,1	9,4	0,05	0,00	100,0
18-40	6,8	4,0	5,9	83,3	0,09	100,0	0,00	3,9	83,7	11,3	0,04	1,08	100,0
40-69	13,3	9,4	6,2	70,8	0,34	100,0	0,00	4,5	77,7	16,3	0,04	1,46	100,0
69-79	16,1	12,3	6,2	65,2	0,17	100,0	0,00	8,8	73,4	15,7	0,05	2,05	100,0
:													
GW 130-...	17,5	15,9	3,0	63,6	0,00	100,0	0,50	13,4	74,4	11,7	0,11	0,00	100,0

Tab. 199: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort TZ III.5

Tiefe cm	Sätt. %	lösliche Kationen in mg/100g Boden						lösliche Anionen in mg/100g Boden						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-9	67,0	24,0	22,1	158,7	1.756,5	2,15	1.963,5	0,00	26,6	2.511,0	485,4	1,27	0,0	3.024,3
9-18	71,1	21,0	6,2	31,6	290,0	0,69	349,5	0,00	49,8	453,9	68,3	0,59	0,0	572,6
18-40	89,3	10,0	3,6	17,0	141,4	0,11	172,1	0,00	17,7	221,7	40,6	0,22	5,0	285,1
40-69	70,6	9,9	4,2	9,0	60,3	0,23	83,7	0,00	10,2	103,2	29,4	0,13	3,4	146,4
69-79	40,6	4,2	1,9	3,1	19,4	0,04	28,7	0,00	7,2	34,9	10,1	0,05	1,7	54,1

Tab. 200: EC_{e/w}, SAR, pH_{e/w}, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte und des Grundwassers Standort TZ III.5

Tiefe cm	EC _{e/w} mS/cm	SAR	pH _{e/w}	Bor - B	Bor - B	lösl. Kat. mval/l	lösl. An. mval/l	EC _{e/w} *10	lösl. Kat. mg/100g	lösl. An. mg/100g	B(OH) ₃ ⁰ mg/100g	Summe mg/100g	Salze n. EC _{e/w} mg/100g
				mg/l	mg/100g								
0-9	125,6	240,2	7,8	23,57	1,58	1.246,5	1.213,7	1.256,0	1.963,5	3.024,3	8,0	4.995,7	5.389,1
9-18	22,6	53,5	8,1	7,59	0,54	211,1	211,6	226,0	349,5	572,6	2,6	924,7	1.028,6
18-40	9,1	32,6	8,0	2,56	0,23	82,6	83,6	90,7	172,1	285,1	1,1	458,4	518,5
40-69	5,8	15,2	7,8	2,27	0,16	52,5	53,1	58,0	83,7	146,4	0,8	230,8	261,9
69-79	3,6	9,8	7,9	1,46	0,06	31,8	33,0	36,0	28,7	54,1	0,3	83,0	93,6
:													
GW 130-...	4,7	10,3	8,3	2,97		44,1	43,7	46,8					

Tab. 201: Vegetation Standort RZ III.5

Datum der Aufnahme:	23.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	1
Gesamtdeckung der Vegetation:	25-50 %
Deckung der Strauchschicht :	keine
Deckung der hohen Krautschicht:	keine
Deckung der niederen Krautschicht:	25-50 %
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Distichilis humilis</i> Phil.

Tab. 202: Profilbeschreibung Standort RZ III.5

Aznk1	0-10 cm u. GOF 10YR 7/3 sehr fahl braun (trocken); 10YR 5/3 braun (feucht); Schlufflehm mit geringem Grobbodenanteil; Krümelgefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr stark durchwurzelt; feucht; diffuse Horizontuntergrenze; sehr stark humos; sehr carbonatreich; gipsfrei; extrem erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; sehr stark versalzter Salzkalkiboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ III.5.1
Aznk2	10-20 cm u. GOF 10YR 7/2 hellgrau (trocken); 10YR 5/3 braun (feucht); Schlufflehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Krümelgefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; mittel durchwurzelt; stark feucht; diffuse Horizontuntergrenze; stark humos; carbonatreich; gipsfrei; extrem erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; sehr stark versalzter Salzkalkiboden mit sehr hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ III.5.2
Aznkg	20-40 cm u. GOF 2.5Y 7/2 hellgrau (trocken); 2.5Y 6/3 hell gelblich braun (feucht) mit Rostflecken; Tonlehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Subpolyedergefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; mittel durchwurzelt; nass; mittel humos; carbonatreich; gipsfrei; sehr stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; stark versalzter Salzkalkiboden mit hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ III.5.3
Grundwasser	40-... cm u. GOF stark versalztes Salzkalkigrundwasser	Proben-Nr.: RZ III.5.GW

Tab. 203: Physikalische Bodenparameter Standort RZ III.5

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Boden- art	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
RZ III.5.1	0-10	3,3	5,2	5,7	12,8	10,8	37,8	50,4	11,7	U L	4	0,67	2,23	70,1	63,3
RZ III.5.2	10-20	2,0	3,1	3,5	7,4	6,5	22,5	57,4	20,2	U L	2	0,85	2,37	64,3	63,0
RZ III.5.3	20-40	1,3	2,6	2,3	7,6	8,2	22,1	41,8	36,2	T L	0,1	0,67	2,25	70,1	67,7

Tab. 204: Chemische Bodenparameter Standort RZ III.5

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org}	Org. Subst.	Carbonat	Gips	Salz n. EC ₅	pH _{CaCl₂}	Basensättigung
			%	%	%	%	%	%	
RZ III.5.1	0-10	Aznk1	4,88	8,4	25,8	0	1,67	8,5	100
RZ III.5.2	10-20	Aznk2	2,79	4,8	19,1	0	1,98	8,2	100
RZ III.5.3	20-40	Aznkg	1,24	2,1	11,3	0	1,06	8,1	100

Tab. 205: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ III.5

Tiefe cm	NH ₄ OAc-extr. Basen in mval/100g					lösliche Basen in mval/100g					austauschbare Basen in mval/100g				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-10	101,3	30,9	4,9	32,7	169,9	1,44	1,05	1,27	22,16	25,93	99,9	29,9	3,7	10,5	143,9
10-20	100,6	17,6	4,9	35,5	158,7	5,66	2,55	1,26	27,09	36,55	95,0	15,1	3,7	8,4	122,1
20-40	89,4	6,8	2,4	15,2	113,8	5,03	2,39	0,61	12,13	20,16	84,4	4,4	1,8	3,0	93,6

Tab. 206: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval/100g Boden Standort RZ III.5

Tiefe cm	Anteil an extr. Basen in %					Anteil an lösl. Basen in %					Anteil an aust. Ba. in %					Anteil lösl. an extr. Basen in %				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-10	59,7	18,2	2,9	19,2	100	5,6	4,1	4,9	85,5	100	69,4	20,7	2,5	7,3	100	1,4	3,4	25,8	67,8	15
10-20	63,4	11,1	3,1	22,4	100	15,5	7,0	3,4	74,1	100	77,8	12,3	3,0	6,9	100	5,6	14,5	25,5	76,3	23
20-40	78,6	6,0	2,1	13,3	100	25,0	11,9	3,0	60,2	100	90,1	4,7	1,9	3,2	100	5,6	35,3	25,1	80,0	18

Tab. 207: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser Standort RZ III.5

Tiefe cm	lösliche Kationen im Sättigungsextrakt in mval/l						lösliche Anionen im Sättigungsextrakt in mval/l							
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.	
0-10	18,3	13,4	16,2	281,5	1,43	330,8	0,00	11,2	250,0	71,2	0,17	0,0	332,6	
10-20	80,3	36,2	17,9	384,8	1,43	520,7	0,00	5,7	457,5	52,1	0,04	0,9	516,3	
20-40	57,6	27,4	7,0	138,9	0,18	231,1	0,00	4,2	197,5	26,0	0,03	1,2	229,0	
GW 40-...	36,2	31,5	7,5	164,5	0,00	239,7	0,30	5,1	208,3	25,9	0,04	0,0	239,7	

Tab. 208: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser bezogen auf mval/l Standort RZ III.5

Tiefe cm	Anteil an löslichen Kationen im Sättigungsextrakt in %						Anteil an löslichen Anionen im Sättigungsextrakt in %							
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.	
0-10	5,5	4,0	4,9	85,1	0,43	100,0	0,00	3,4	75,2	21,4	0,05	0,00	100,0	
10-20	15,4	7,0	3,4	73,9	0,27	100,0	0,00	1,1	88,6	10,1	0,01	0,18	100,0	
20-40	24,9	11,8	3,0	60,1	0,08	100,0	0,00	1,9	86,3	11,3	0,01	0,53	100,0	
GW 40-...	15,1	13,1	3,1	68,6	0,00	100,0	0,13	2,1	86,9	10,8	0,02	0,00	100,0	

Tab. 209: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ III.5

Tiefe cm	Sätt. %	lösliche Kationen in mg/100g Boden						lösliche Anionen in mg/100g Boden							
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.	
0-10	78,7	28,9	12,8	49,8	509,8	2,02	603,3	0,00	54,0	697,9	269,3	1,06	0,0	1.022,3	
10-20	70,4	113,3	31,0	49,3	623,0	1,81	818,4	0,00	24,4	1.142,0	176,3	0,25	4,1	1.347,1	
20-40	87,3	100,8	29,0	23,8	279,0	0,28	432,9	0,00	22,6	611,5	109,0	0,23	6,5	749,8	

Tab. 210: EC_{e/w}, SAR, pH_{e/w}, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte und des Grundwassers Standort RZ III.5

Tiefe cm	EC _{e/w} mS/cm	SAR	pH _{e/w}	Bor - B	Bor - B	lösl. Kat.	lösl. An.	EC _{e/w} *10	lösl. Kat.	lösl. An.	B(OH) ₃ ⁰	Summe	Salze n. EC _{e/w}
				mg/l	mg/100g	mval/l	mval/l	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	
0-10	35,6	70,7	8,1	12,35	0,97	330,8	332,6	356,0	603,3	1.022,3	4,7	1.630,3	1.793,8
10-20	54,4	50,4	7,8	4,42	0,31	520,7	516,3	543,9	818,4	1.347,1	1,6	2.167,1	2.450,5
20-40	24,3	21,3	7,8	3,31	0,29	231,1	229,0	242,8	432,9	749,8	1,5	1.184,2	1.356,7
GW 40-...	24,9	28,3	7,7	4,46		239,7	239,7	248,8					

Tab. 211: Lageparameter Standort III.6

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Río Lauca Hoja 5937 I
UTM-Koordinaten:	19KEV793241
Topographische Lage:	2,3 km NE von Huachacalla
Luftbild-Nr.:	4322 bzw. 4276
Höhe ü. M.:	3708 m
Höhe ü. GW-Stand:	1,2 m (RZ)
Neigung:	0 °
Exposition:	keine
Reliefformtyp:	Tiefenbereich
Dünen:	keine
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	Halophytenvegetation
Aktuelle Bodennutzung:	Lama-, Alpaka und/oder Schafweide
Anthropogene Veränderungen:	keine
Bodenausgangsmaterial:	fluviatil abgelagertes Lockergestein
Oberfl. anstehendes Festgestein:	kein
Standorteinheit:	grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene
Vegetationshaupteinheit:	<i>Distichilis humilis</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Distichilis humilis</i> - <i>Salicornia pulvinata</i> - <i>Anthobryum triandrum</i>
Bodeneinheit	Halaquept (USDA)

Tab. 212: Vegetation Standort RZ III.6

Datum der Aufnahme:	24.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	3
Gesamtdeckung der Vegetation:	25-50 %
Deckung der Strauchschicht:	keine
Deckung der hohen Krautschicht:	keine
Deckung der niederen Krautschicht:	5-25 %
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	5-25 %
Taxa:	<i>Distichilis humilis</i> Phil., <i>Salicornia pulvinata</i> R. E. Fr., <i>Anthobryum triandrum</i> (Remy) Surgis

Tab. 213: Profilbeschreibung Standort RZ III.6

Aznk	0-6 cm u. GOF 10YR 7/3 sehr fahl braun (trocken); 10YR 5/3 braun (feucht); Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Krümelgefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; mittel durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; stark humos; carbonatreich; gipsfrei; sehr stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr stark versalzter Salzalkaliboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ III.6.1
Azn	6-18/25 cm u. GOF 10YR 7/2 hellgrau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); sandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkornggefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; mittel durchwurzelt; feucht; deutliche wellige Horizontuntergrenze; schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; extrem erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; extrem versalzter Salzalkaliboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ III.6.2
ACzn	18/25-28 cm u. GOF 10YR 7/2 hellgrau (trocken); 2.5Y 5/2 gräulich braun (feucht); sandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkornggefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; extrem erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; extrem versalzter Salzalkaliboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ III.6.3

2Azngb	28-40 cm u. GOF 2.5Y 8/2 fahlgelb (trocken); 2.5Y 6/3 hell gelblich braun (feucht); Schlufflehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Subpolyedergefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; feucht; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatreich; gipsfrei; extrem erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; extrem versalzter Salzkalkiboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ III.6.4
2ACznkgb1	40-55 cm u. GOF 2.5Y 8/2 fahlgelb (trocken); 2.5Y 6/3 hell gelblich braun (feucht); Schlufflehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Subpolyedergefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatreich; gipsfrei; extrem erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; extrem versalzter Salzkalkiboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ III.6.5
2ACznkgb2	55-67/73 cm u. GOF 2.5Y 8/2 fahlgelb (trocken); 2.5Y 6/3 hell gelblich braun (feucht); Schlufflehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Subpolyedergefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatreich; gipsfrei; extrem erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr stark versalzter Salzkalkiboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ III.6.6
3Czng	67/73-74,5 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; feucht; scharfe Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; extrem erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; extrem versalzter Salzkalkiboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ III.6.7
4Cznkmg	74,5-75 cm u. GOF Kruste; Kittgefüge; sehr stark verfestigt; sehr hohe Lagerungsdichte; scharfe Horizontuntergrenze	Proben-Nr.: RZ III.6.8
4Cznkg	75-81 cm u. GOF 10YR 7/1 hellgrau (trocken); 10YR 5/2 gräulich braun (feucht); feinstsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; sehr stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ III.6.9
4C'zng1	81-88 cm u. GOF 10YR 7/2 hellgrau (trocken); 10YR 5/2 gräulich braun (feucht); Schlufflehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; sehr stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ III.6.10
4C'zng2	88-93 cm u. GOF 10YR 7/1 hellgrau (trocken); 10YR 5/2 gräulich braun (feucht); Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; humusfrei; carbonatfrei; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ III.6.11
4C'zng3	93-102 cm u. GOF 2.5Y 8/1 weiß (trocken); 2.5Y 5/2 gräulich braun (feucht); Schlufflehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; humusfrei; carbonatfrei; gipsfrei; mäßig erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ III.6.12
4C'znkb	102-120 cm u. GOF 10YR 7/2 hellgrau (trocken); 10YR 6/3 fahlbraun (feucht); Schluff mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; nass; extrem schwach humos; carbonatarm; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ III.6.13
Grundwasser	120-... cm u. GOF mittel versalztes Salzkalkigrundwasser mit sehr hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ III.6.GW

Tab. 214: Physikalische Bodenparameter Standort RZ III.6

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Boden-art	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
RZ III.6.1	0-6	0,4	3,0	6,8	20,6	18,3	49,0	35,9	15,1	L	0,5				
RZ III.6.2	6-21,5	1,6	16,9	17,7	25,5	13,7	75,5	18,2	6,3	s L	0,5	1,00	2,19	54,4	33,3
RZ III.6.3	21,5-28	2,7	12,6	17,1	35,4	17,1	84,9	11,3	3,8	s L	0,1	1,06	2,14	50,5	37,6
RZ III.6.4	28-40	0,3	1,4	4,7	11,2	11,4	29,0	50,9	20,1	U L	0,1	0,93	2,37	60,7	50,9
RZ III.6.5	40-55	0,2	1,3	3,4	10,4	13,0	28,4	51,1	20,6	U L	0,1	0,97	2,39	59,3	50,8
RZ III.6.6	55-70	0,2	1,6	5,2	12,3	14,0	33,2	50,7	16,2	U L	0,5	1,04	2,48	58,0	49,8
RZ III.6.7	70-74,5	0,0	0,1	0,9	42,1	44,3	87,4	11,8	0,8	fS	0				
RZ III.6.8	74,5-75									K					
RZ III.6.9	75-81	0,0	0,3	1,2	39,7	33,4	74,7	24,5	0,8	ffs L	0				
RZ III.6.10	81-88	0,0	0,1	0,1	1,8	16,2	18,1	79,9	2,1	U L	0	1,23	2,40	48,8	45,6
RZ III.6.11	88-93	0,0	0,2	2,0	51,7	32,6	86,4	12,7	0,9	fS	0				
RZ III.6.12	93-102	0,0	0,3	1,0	13,0	22,7	37,0	60,0	3,0	U L	0	1,25	2,41	48,2	42,4
RZ III.6.13	102-120	0,0	0,2	0,4	1,6	3,6	5,8	90,8	3,4	U	0				

Tab. 215: Chemische Bodenparameter Standort RZ III.6

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl2}	Basensättigung %
RZ III.6.1	0-6	Aznk	2,54	4,4	12,5	0	1,57	8,7	100
RZ III.6.2	6-21,5	Azn	0,91	1,6	0,0	0	2,83	8,2	100
RZ III.6.3	21,5-28	ACzn	0,24	0,4	0,1	0	3,39	8,3	100
RZ III.6.4	28-40	2Aznkgb	0,54	0,9	19,1	0	2,97	8,5	100
RZ III.6.5	40-55	2ACznkgb1	0,36	0,6	19,5	0	2,68	8,6	100
RZ III.6.6	55-70	2ACznkgb2	0,23	0,4	13,6	0	2,03	8,6	100
RZ III.6.7	70-74,5	3Czng	0,06	0,1	0,04	0	1,81	8,5	100
RZ III.6.8	74,5-75	4Cznkmg							
RZ III.6.9	75-81	4Cznkg	0,05	0,1	0,2	0	1,10	8,5	100
RZ III.6.10	81-88	4C'zng1	0,08	0,1	0,06	0	0,86	8,4	100
RZ III.6.11	88-93	4C'zng2	0,01	0,0	0,0	0	0,49	8,3	100
RZ III.6.12	93-102	4C'zng3	0,01	0,0	0,0	0	0,28	8,2	100
RZ III.6.13	102-120	4C'znkb	0,09	0,2	0,5	0	0,47	8,25	100

Tab. 216: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser Standort RZ III.6

Tiefe cm	lösliche Kationen im Sättigungsextrakt in mval/l						lösliche Anionen im Sättigungsextrakt in mval/l						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-6	11,5	6,2	11,2	451,1	0,54	480,5	0,00	5,6	400,0	60,5	0,52	0,1	466,7
6-21,5	24,0	25,1	25,6	1.009,8	0,54	1.084,9	0,00	8,5	953,1	91,3	0,16	0,0	1053,1
21,5-28	57,3	36,6	32,7	1.303,3	0,07	1.430,0	0,00	2,7	1.262,5	94,8	0,12	0,0	1360,1
28-40	39,5	15,8	17,8	728,3	0,11	801,6	0,00	2,3	715,6	57,3	0,11	0,0	775,3
40-55	33,1	13,0	15,7	637,0	0,07	698,8	0,00	1,8	612,5	57,3	0,10	0,0	671,7
55-70	26,2	11,5	13,4	543,5	0,05	594,6	0,00	2,2	515,6	54,1	0,12	0,0	572,1
70-74,5	18,3	12,8	14,4	578,3	0,04	623,8	0,00	2,7	553,1	53,7	0,15	0,0	609,6
:													
GW 120-...	6,2	4,1	2,6	108,5	0,00	121,5	1,25	8,9	100,0	10,4	0,08	0,0	120,6

Tab. 217: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser bezogen auf mval/l Standort RZ III.6

Tiefe cm	Anteil an löslichen Kationen im Sättigungsextrakt in %						Anteil an löslichen Anionen im Sättigungsextrakt in %						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-6	2,4	1,3	2,3	93,9	0,11	100,0	0,00	1,2	85,7	13,0	0,11	0,03	100,0
6-21,5	2,2	2,3	2,4	93,1	0,05	100,0	0,00	0,8	90,5	8,7	0,02	0,00	100,0
21,5-28	4,0	2,6	2,3	91,1	0,00	100,0	0,00	0,2	92,8	7,0	0,01	0,00	100,0
28-40	4,9	2,0	2,2	90,9	0,01	100,0	0,00	0,3	92,3	7,4	0,01	0,00	100,0
40-55	4,7	1,9	2,3	91,2	0,01	100,0	0,00	0,3	91,2	8,5	0,02	0,00	100,0
55-70	4,4	1,9	2,2	91,4	0,01	100,0	0,00	0,4	90,1	9,5	0,02	0,00	100,0
70-74,5	2,9	2,0	2,3	92,7	0,01	100,0	0,00	0,4	90,7	8,8	0,02	0,00	100,0
:													
GW 120-...	5,1	3,4	2,2	89,3	0,00	100,0	1,04	7,4	82,9	8,6	0,07	0,00	100,0

Tab. 218: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ III.6

Tiefe cm	Sätt. %	lösliche Kationen in mg/100g Boden						lösliche Anionen in mg/100g Boden						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-6	46,6	10,7	3,5	20,4	483,9	0,45	519,0	0,00	15,9	661,6	135,4	1,93	0,4	815,3
6-21,5	39,7	19,1	12,1	39,7	922,2	0,38	993,4	0,00	20,6	1.342,0	174,1	0,51	0,0	1.537,2
21,5-28	37,1	42,6	16,5	47,5	1.112,2	0,05	1.218,9	0,00	6,1	1.661,1	168,9	0,34	0,0	1.836,5
28-40	44,2	35,1	8,5	30,9	741,0	0,09	815,5	0,00	6,2	1.122,6	121,7	0,37	0,0	1.250,9
40-55	77,4	51,3	12,2	47,6	1.133,8	0,10	1.245,0	0,00	8,5	1.681,0	213,0	0,63	0,0	1.903,1
55-70	54,3	28,5	7,6	28,4	678,9	0,05	743,4	0,00	7,4	993,0	141,2	0,52	0,0	1.142,1
70-74,5	41,9	15,4	6,5	23,6	556,9	0,03	602,3	0,00	6,8	821,2	108,0	0,48	0,0	936,5

Tab. 219: EC_{e/w}, SAR, pH_{e/w}, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte und des Grundwassers Standort RZ III.6

Tiefe cm	EC _{e/w} mS/cm	SAR	pH _{e/w}	Bor - B	Bor - B	lösl. Kat.	lösl. An.	EC _{e/w} *10	lösl. Kat.	lösl. An.	B(OH) ₃ ⁰	Summe	Salze n. EC _{e/w}
				mg/l	mg/100g	mval/l	mval/l		mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g
0-6	53,6	151,8	8,1	37,81	1,76	480,5	466,7	536,4	519,0	815,3	8,6	1.342,8	1.601,2
6-21,5	108,2	203,9	7,7	18,45	0,73	1.084,9	1.053,1	1.081,8	993,4	1.537,2	3,8	2.534,4	2.749,1
21,5-28	145,0	190,2	7,6	15,78	0,59	1.430,0	1.360,1	1.450,0	1.218,9	1.836,5	3,1	3.058,4	3.443,3
28-40	81,1	138,4	7,6	14,43	0,64	801,6	775,3	811,2	815,5	1.250,9	3,4	2.069,8	2.296,8
40-55	72,7	132,8	7,6	13,93	1,08	698,8	671,7	727,2	1.245,0	1.903,1	5,7	3.153,8	3.602,1
55-70	59,4	125,1	7,7	13,69	0,74	594,6	572,1	594,0	743,4	1.142,1	3,8	1.889,4	2.064,7
70-74,5	64,7	146,7	7,8	14,26	0,60	623,8	609,6	647,2	602,3	936,5	3,0	1.541,9	1.734,2
:													
GW 120-...	12,2	47,7	8,5	4,47		121,5	120,6	122,0					

Tab. 220: Lageparameter Standort IV.1

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Río Lauca Hoja 5937 I
UTM-Koordinaten:	19KEV803206
Topographische Lage:	2,9 km SE von Huachacalla
Luftbild-Nr.:	4276
Höhe ü. M.:	3780 m
Höhe ü. GW-Stand:	75 m (TZ) / 74 m (RZ)
Neigung:	15 °
Exposition:	ENE (70 °)
Reliefformtyp:	vertikal konkav gewölbter und horizontal gestreckter Mittelhang
Dünen:	keine
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	keine
Aktuelle Bodennutzung:	keine (Ödland); gelegentlich Lama- bzw. Alpakaweide
Anthropogene Veränderungen:	Lesesteinmauern
Bodenausgangsmaterial:	vulkanisches (Fest)gestein in situ verwittert; z.T. transportiert
Oberfl. anstehendes Festgestein:	0,8 m u. GOF
Standorteinheit:	Gebirge
Vegetationshaupteinheit:	<i>Fabiana densa</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Fabiana densa</i> - <i>Baccharis boliviensis</i> - <i>Opuntia</i> ssp. - <i>Adesmia</i> ssp. - <i>Stipa</i> ssp.
Bodeneinheit	Ustorthent (USDA); Braunerde (DBG)

Tab. 221: Vegetation Standort TZ IV.1

Datum der Aufnahme:	08.10.1996
Gesamtzahl der Taxa:	13
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	5-25 %
Deckung der niederen Krautschicht:	gering
Deckung der Cacteen:	< 5 %
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Fabiana densa</i> Remy, <i>Baccharis incarum</i> Wedd., <i>Opuntia</i> ssp. Mill., <i>Adesmia</i> ssp. DC., <i>Mayeniopsis</i> , <i>Cactaceae</i> (kugelförmig), <i>Tetraglochin cristatum</i> (Britton) Rothm., <i>Junellia seriphoides</i> (Gillies & Hook.) Moldenke, <i>Ephedra rupestris</i> , <i>Baccharis boliviensis</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Bouteloua simplex</i> Lag., <i>Stipa</i> ssp. L.

Tab. 222: Profilbeschreibung Standort TZ IV.1

A	0-5 cm u. GOF 10YR 5/3 braun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); lehmiger Sand mit mittlerem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig sauer (CaCl ₂); hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ IV.1.1
BC1	5-40 cm u. GOF 10YR 5/3 braun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); sandiger Lehm mit sehr hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ IV.1.2
BC2	40-80 cm u. GOF 10YR 5/3 braun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); sandiger Lehm mit sehr hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ IV.1.3
2R	80-... cm u. GOF	anstehendes Festgestein

Tab. 223: Physikalische Bodenparameter Standort TZ IV.1

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grob. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
TZ IV.1.1	0-5									I S	15-40				
TZ IV.1.2	5-40									s L	60-85				
TZ IV.1.3	40-80									s L	60-85				

Tab. 224: Chemische Bodenparameter Standort TZ IV.1

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl₂}	Basensättigung %
TZ IV.1.1	0-5	A	0,57	1,0	0,0		0,01	5,7	50-80
TZ IV.1.2	5-40	BC1	0,39	0,7	0,0		0,01	6,6	80-100
TZ IV.1.3	40-80	BC2	0,19	0,3	0,0		0,01	6,6	80-100

Tab. 225: Vegetation Standort RZ IV.1

Datum der Aufnahme:	12.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	25
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	5-25 %
Deckung der niederen Krautschicht:	<5 %
Deckung der Cacteen:	<5 %
Deckung der Polsterpflanzen:	keine

Taxa: *Fabiana densa* Remy, *Baccharis incarum* Wedd., *Opuntia* ssp. Mill., *Cardionema ramosissima* (Weinm.) A. Nelson & J.F. Macbr., *Adesmia* ssp. DC., *Mayeniopsis*, *Cactaceae* (kugelförmig), *Bidens* ssp. L., *Tetraglochin cristatum* (Britton) Rothm., *Junellia seriphoides* (Gillies & Hook.) Moldenke, *Ephedra rupestris*, *Baccharis boliviensis*, *Stevia* ssp. Cav., *Portulaca* ssp. L., *Portulacaceae?*, *Cheilanthes pruinata* Kaulf., *Asteraceae ?*, *Poaceae* (1), *Aristida* ssp. L., *Bouteloua simplex* Lag., *Tarasa* ssp. Phil., *Guilleminea densa* (Willd.) Moq., *Stipa* ssp. L., *Euphorbia* ssp. L., *Boraginaceae*

Tab. 226: Profilbeschreibung Standort RZ IV.1

A	0-5 cm u. GOF 10YR 5/3 braun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); lehmiger Sand mit mittlerem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ IV.1.1
BC	5-40 cm u. GOF 10YR 5/3 braun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); sandiger Lehm mit sehr hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ IV.1.2

Tab. 227: Physikalische Bodenparameter Standort RZ IV.1

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grob. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
RZ IV.1.1	0-5									I S	15-40				
RZ IV.1.2	5-40									s L	60-85				

Tab. 228: Chemische Bodenparameter Standort RZ IV.1

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl2}	Basensättigung %
RZ IV.1.1	0-5	A	0,42	0,7	0,0		0,01	6,1	80-100
RZ IV.1.2	5-40	BC	0,30	0,5	0,02		0,01	6,4	80-100

Tab. 229: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ IV.1

Tiefe cm	NH ₄ OAc-extr. Basen in mval/100g					lösliche Basen in mval/100g					austauschbare Basen in mval/100g				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-5	3,7	1,3	0,5	0,1	5,6										
5-40	5,3	1,9	0,7	0,1	7,9										

Tab. 230: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval/100g Boden Standort RZ IV.1

Tiefe cm	Anteil an extr. Basen in %					Anteil an lösl. Basen in %					Anteil an aust. Ba. in %					Anteil lösl. an extr. Basen in %				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-5	66,5	23,4	9,1	0,9	100															
5-40	66,9	23,7	8,5	0,8	100															

Tab. 231: Lageparameter Standort IV.2

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Río Lauca Hoja 5937 I
UTM-Koordinaten:	19KEV804210
Topographische Lage:	2,8 km ESE von Huachacalla
Luftbild-Nr.:	4276
Höhe ü. M.:	3750 m
Höhe ü. GW-Stand:	45 m (TZ) / 44 m (RZ)
Neigung:	3 °
Exposition:	ENE (70 °)
Reliefformtyp:	vertikal und horizontal gestreckter Unterhang
Dünen:	bis 0,1 m hoch
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	keine
Aktuelle Bodennutzung:	Lama-, Alpaka und/oder Schafweide
Anthropogene Veränderungen:	Lesesteinmauern
Bodenausgangsmaterial:	kolluviales Material über fluviatil abgelagertem, schichtenweise skelettreichem (runde Steine) Lockergestein
Oberfl. anstehendes Festgestein:	kein
Standorteinheit:	Hangfuß
Vegetationshaupteinheit:	Übergang zwischen <i>Fabiana densa</i> und <i>Lampaya castellani</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Baccharis incarum</i> - <i>Adesmia ssp.</i> - <i>Stipa ssp.</i> - <i>Parastrephia lepidophylla</i> - <i>Festuca orthophylla</i>
Bodeneinheit	Ustorthent (USDA); Braunerde (DBG)

Tab. 232: Vegetation Standort TZ IV.2

Datum der Aufnahme:	04.10.1996
Gesamtzahl der Taxa:	12
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	5-25 %
Deckung der niederen Krautschicht:	gering
Deckung der Cacteen:	sehr gering
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Fabiana densa</i> Remy, <i>Baccharis incarum</i> Wedd., <i>Opuntia</i> ssp. Mill., <i>Adesmia</i> ssp. DC., <i>Mayeniopsis</i> , <i>Tetraglochin cristatum</i> (Britton) Rothm., <i>Junellia seriphioides</i> (Gillies & Hook.) Moldenke, <i>Bouteloua simplex</i> Lag., <i>Stipa</i> ssp. L., <i>Parastrephia lepidophylla</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Festuca orthophylla</i> Pilg.

Tab. 233: Profilbeschreibung Standort TZ IV.2

A	0-5 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); Sand mit mittlerem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; mittel durchwurzelt; trocken; deutliche Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark sauer (CaCl ₂); hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ IV.2.1
2BC	5-36/34 cm u. GOF 10YR 5/3 braun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); lehmiger Sand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ IV.2.2
3C1	36/34-65 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); Sand mit extrem hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ IV.2.3
4C2	65-100 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht) mit Rostflecken durch Pseudovergleyung; lehmiger Sand mit mittlerem Grobbodenanteil; Kittgefüge mittel verfestigt mittlere Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ IV.2.4

Tab. 234: Physikalische Bodenparameter Standort TZ IV.2

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
TZ IV.2.1	0-5									S	15-40				
TZ IV.2.2	5-35									I S	3-15				
TZ IV.2.3	35-65									S	> 85				
TZ IV.2.4	65-100									I S	15-40				

Tab. 235: Chemische Bodenparameter Standort TZ IV.2

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl2}	Basensättigung %
TZ IV.2.2	5-35	2BC	0,30	0,5	0,0		0,01	6,2	80-100
TZ IV.2.3	35-65	3C1	0,11	0,2	0,0		0,01	6,6	80-100
TZ IV.2.4	65-100	4C2	0,09	0,2	0,0		0,01	6,8	80-100

Tab. 236: Vegetation Standort RZ IV.2

Datum der Aufnahme:	12.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	19
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	5-25 %
Deckung der niederen Krautschicht:	gering
Deckung der Cacteen:	sehr gering
Deckung der Polsterpflanzen:	keine

Taxa: *Fabiana densa* Remy, *Baccharis incarum* Wedd., *Opuntia* ssp. Mill., *Cardionema ramosissima*, *Adesmia* ssp. DC., *Mayeniopsis*, *Tetraglochin cristatum* (Britton) Rothm., *Junellia seriphoides* (Gillies & Hook.) Moldenke, *Gomphrena meyeniana* Walp., *Cyperus andinus* L., *Bouteloua simplex* Lag., *Geranium* oder *Tarasa*, *Guilleminea densa* (Willd.) Moq., *Stipa* ssp., *Parastrephia lepidophylla* (Wedd.) Cabrera, *Festuca orthophylla* Pilg.

Tab. 237: Profilbeschreibung Standort RZ IV.2

A	0-5 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); lehmiger Sand mit mittlerem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; mittel durchwurzelt; trocken; deutliche Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark sauer (CaCl ₂); hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ IV.2.1
2BC	5-35 cm u. GOF 10YR 5/3 braun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); lehmiger Sand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ IV.2.2
3C1	35-45 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); lehmiger Sand mit extrem hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ IV.2.3

Tab. 238: Physikalische Bodenparameter Standort RZ IV.2

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
RZ IV.2.1	0-5									I S	15-40				
RZ IV.2.2	5-35									I S	3-15				
RZ IV.2.3	35-45									I S	> 85				

Tab. 239: Chemische Bodenparameter Standort RZ IV.2

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl2}	Basensättigung %
RZ IV.2.1	0-5	A	0,55	0,9	0,0		0,01	5,4	50-80
RZ IV.2.2	5-35	2BC	0,26	0,4	0,02		0,01	6,3	80-100
RZ IV.2.3	35-45	3C1	0,20	0,3	0,04		0,01	6,6	80-100

Tab. 240: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ IV.2

Tiefe cm	NH ₄ OAc-extr. Basen in mval/100g					lösliche Basen in mval/100g					austauschbare Basen in mval/100g				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-5	2,0	0,5	0,4	0,0	2,9										
5-35	3,1	1,3	0,9	0,1	5,4										
35-45															

Tab. 241: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval/100g Boden Standort RZ IV.2

Tiefe cm	Anteil an extr. Basen in %					Anteil an lösl. Basen in %					Anteil an aust. Ba. in %					Anteil lösl. an extr. Basen in %					
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	
0-5	68,1	17,5	13,0	1,4	100																
5-35	58,4	23,2	17,0	1,5	100																
35-45																					

Tab. 242: Lageparameter Standort IV.3

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Río Lauca Hoja 5937 I
UTM-Koordinaten:	19KEV808214
Topographische Lage:	2,9 km ESE von Huachacalla
Luftbild-Nr.:	4320
Höhe ü. M.:	3725 m
Höhe ü. GW-Stand:	20 m (TZ) / 19 m (RZ)
Neigung:	2 °
Exposition:	NNO (30 °)
Reliefformtyp:	schwach geneigter Tiefenbereich (Randlage)
Umgebung des Standortes:	200 m nördlich der Straße; 300 m westl. und 200 östl. des Standortes verlaufen tiefe Quebradas
Dünen:	bis 0,2 m hoch
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	keine
Aktuelle Bodennutzung:	Lama-, Alpaka und/oder Schafweide
Anthropogene Veränderungen:	Schotterweg 200 m nördlich des Standorts
Bodenausgangsmaterial:	fluviatil abgelagertes, schichtenweise skelettreiches (runde Steine) Lockergestein; z.T. äolisch abgelagertes Lockergestein
Oberfl. anstehendes Festgestein:	kein
Standorteinheit:	äolisch geprägte Alluvialebene
Vegetationshaupteinheit:	<i>Lampaya castellani</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Lampaya castellani</i> - <i>Parastrephia lepidophylla</i> - <i>Festuca orthophylla</i>
Bodeneinheit	Ustifluent (USDA); Lockersyrosem (DBG)

Tab. 243: Vegetation Standort TZ IV.3

Datum der Aufnahme:	07.10.1996
Gesamtzahl der Taxa:	4
Gesamtdeckung der Vegetation:	25-50%
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	5-25 %
Deckung der niederen Krautschicht:	gering
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	keine

Taxa: *Bouteloua simplex* Lag., *Parastrephia lepidophylla* (Wedd.) Cabrera, *Festuca orthophylla* Pilg., *Lampaya castellani* Moldenke

Tab. 244: Profilbeschreibung Standort TZ IV.3

A	0-4 cm u. GOF 10YR 5/3 braun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); lehmiger Sand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ IV.3.1
C1	4-20 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); lehmiger Sand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ IV.3.2
2C2	20-50/70 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 3/2 sehr dunkel gräulich braun (feucht); Grobsand mit sehr hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; mittel durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach alkalisch (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ IV.3.3
3Akb	50/70-65/85 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); lehmiger Sand mit extrem hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte mittel durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; mittel carbonathaltig; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ IV.3.4
4C	65/85-110 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); lehmiger Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ IV.3.5
5Ab	110-120 cm u. GOF 10YR 5/3 braun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); lehmiger Sand mit hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ IV.3.6

Tab. 245: Physikalische Bodenparameter Standort TZ IV.3

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
TZ IV.3.1	0-4									I S	3-15				
TZ IV.3.2	4-20									I S	3-15				
TZ IV.3.3	20-60									gS	60-85				
TZ IV.3.4	60-75									I S	> 85				
TZ IV.3.5	75-110									I S	0-3				
TZ IV.3.6	110-120									I S	40-60				

Tab. 246: Chemische Bodenparameter Standort TZ IV.3

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org}			Carbonat	Gips	Salz n. EC ₅	pH _{CaCl₂}	Basensättigung
			%	%	%					
TZ IV.3.1	0-4	A	0,23	0,4	0,0		0,01	6,2	80-100	
TZ IV.3.2	4-20	C1	0,20	0,3	0,0		0,00	6,5	80-100	
TZ IV.3.3	20-60	2C2	0,13	0,2	0,01		0,01	7,4	80-100	
TZ IV.3.4	60-75	3Akb	0,21	0,4	6,3		0,03	7,8	100	
TZ IV.3.5	75-110	4C	0,08	0,1	0,01		0,01	7,6	100	
TZ IV.3.6	110-120	5Ab	0,16	0,3	0,01		0,01	7,3	80-100	

Tab. 247: Vegetation Standort RZ IV.3

Datum der Aufnahme:	12.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	7
Gesamtdeckung der Vegetation:	25-50 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	5-25 %
Deckung der niederen Krautschicht:	< 5 %
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Bouteloua simplex</i> Lag., <i>Guilleminea densa</i> (Willd.) Moq., <i>Euphorbia</i> ssp. L., <i>Parastrephia lepidophylla</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Hoffmannseggia</i> ssp. Cav., <i>Festuca orthophylla</i> Pilg., <i>Lampaya castellani</i> Moldenke, <i>Poaceae</i> (5)

Tab. 248: Profilbeschreibung Standort RZ IV.3

A	0-4 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 3/2 sehr dunkel grünlich braun (feucht); Sand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ IV.3.1
BC	4-20 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); lehmiger Sand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ IV.3.2
2C	20-60 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); lehmiger Sand mit sehr hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; mittel durchwurzelt; schwach feucht; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ IV.3.3

Tab. 249: Physikalische Bodenparameter Standort RZ IV.3

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
RZ IV.3.1	0-4									S	3-15				
RZ IV.3.2	4-20									I S	3-15				
RZ IV.3.3	20-60									I S	60-85				

Tab. 250: Chemische Bodenparameter Standort RZ IV.3

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org}		Org. Subst.		Carbonat		Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl2}	Basensättigung %
			%	%	%	%						
RZ IV.3.1	0-4	A	0,54	0,9	0,02				0,02	6,6	80-100	
RZ IV.3.2	4-20	BC	0,25	0,4	0,01				0,01	6,6	80-100	
RZ IV.3.3	20-60	2C	0,20	0,3	0,02				0,01	6,8	80-100	

Tab. 251: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ IV.3

Tiefe cm	NH ₄ OAc-extr. Basen in mval/100g					lösliche Basen in mval/100g					austauschbare Basen in mval/100g				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-4	3,3	0,4	0,3	0,0	3,9										
4-20	4,8	0,9	0,6	0,1	6,4										
20-60	4,8	0,8	0,7	0,0	6,3										

Tab. 252: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval/100g Boden Standort RZ IV.3

Tiefe cm	Anteil an extr. Basen in %					Anteil an lösl. Basen in %					Anteil an aust. Ba. in %					Anteil lösl. an extr. Basen in %					
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	
0-4	82,9	9,6	6,8	0,7	100																
4-20	76,0	13,9	9,3	0,8	100																
20-60	75,8	13,0	10,5	0,6	100																

Tab. 253: Lageparameter Standort IV.4

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Río Lauca Hoja 5937 I
UTM-Koordinaten:	19KEV810224
Topographische Lage:	3 km E von Huachacalla
Luftbild-Nr.:	4320
Höhe ü. M.:	3712 m
Höhe ü. GW-Stand:	7 m (TZ) / 6 m (RZ)
Neigung:	1 °
Exposition:	NNO (20 °)
Reliefformtyp:	schwach geneigter Tiefenbereich
Umgebung des Standortes:	1,1 km nördlich der Straße, die nach Payrumani führt
Dünen:	bis 1 m hoch
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	keine
Aktuelle Bodennutzung:	Lama-, Alpaka und/oder Schafweide
Anthropogene Veränderungen:	aus Huachacalla angewehter Müll (Plastiktüten); <i>Festuca orthophylla</i> Pilg. gebrannt
Bodenausgangsmaterial:	äolisch (bis 70 cm u. GOF) und fluviatil (ab 70 cm u. GOF; sehr skelettreich) abgelagertes Lockergestein
Oberfl. anstehendes Festgestein:	kein
Standorteinheit:	äolisch geprägte Alluvialebene
Vegetationshaupteinheit:	<i>Lampaya castellani</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Lampaya castellani</i> - <i>Parastrephia lepidophylla</i> - <i>Festuca orthophylla</i>
Bodeneinheit	Ustifluent (USDA); Lockersyrosem (DBG)

Tab. 254: Vegetation Standort TZ IV.4

Datum der Aufnahme:	08.10.1996
Gesamtzahl der Taxa:	4
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	< 5 %
Deckung der hohen Krautschicht:	5-25 %
Deckung der niederen Krautschicht:	keine
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Parastrephia lepidophylla</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Festuca orthophylla</i> Pilg., <i>Lampaya castellani</i> Moldenke, <i>Parastrephia phyllocaeformis</i> (Walp.) Cabrera

Tab. 255: Profilbeschreibung Standort TZ IV.4

A	0-6 cm u. GOF	Proben-Nr.: TZ IV.4.1
	10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Sand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; trocken; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC _s ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	

C1	6-25 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); lehmiger Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ IV.4.2
C2	25-45 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); lehmiger Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ IV.4.3
C3	45-70 cm u. GOF 10YR 5/3 braun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); lehmiger Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ IV.4.4
2Ab	70-95 cm u. GOF 10YR 5/2 gräulich braun (trocken); 10YR 3/2 sehr dunkel gräulich braun (feucht); lehmiger Sand mit sehr hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht bis feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ IV.4.5
2C'	95-120 cm u. GOF 10YR 5/2 gräulich braun (trocken); 10YR 3/2 sehr dunkel gräulich braun (feucht); Grobsand mit sehr hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht bis feucht; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach alkalisch (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ IV.4.6

Tab. 256: Physikalische Bodenparameter Standort TZ IV.4

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
TZ IV.4.1	0-6									S	3-15				
TZ IV.4.2	6-25									I S	0-3				
TZ IV.4.3	25-45									I S	0-3				
TZ IV.4.4	45-70									I S	0-3				
TZ IV.4.5	70-95									I S	60-85				
TZ IV.4.6	95-120									gS	60-85				

Tab. 257: Chemische Bodenparameter Standort TZ IV.4

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl₂}	Basensättigung %
TZ IV.4.2	6-25	C1	0,15	0,3	0,0		0,00	7,1	80-100
TZ IV.4.3	25-45	C2	0,08	0,1	0,0		0,01	7,1	80-100
TZ IV.4.4	45-70	C3	0,16	0,3	0,0		0,01	7,1	80-100
TZ IV.4.5	70-95	2Ab	0,23	0,4	0,02		0,01	7,1	80-100
TZ IV.4.6	95-120	2C'	0,08	0,1	0,0		0,01	7,4	80-100

Tab. 258: Vegetation Standort RZ IV.4

Datum der Aufnahme:	12.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	4
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	< 5 %
Deckung der hohen Krautschicht:	5-25 %
Deckung der niederen Krautschicht:	keine
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Parastrephia lepidophylla</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Festuca orthophylla</i> Pilg., <i>Lampaya castellani</i> Moldenke, <i>Parastrephia phyllicaeformis</i> (Walp.) Cabrera

Tab. 259: Profilbeschreibung Standort RZ IV.4

A	0-6 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 3/2 sehr dunkel gräulich braun (feucht); Sand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; trocken; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ IV.4.1
C1	6-25 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); lehmiger Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ IV.4.2
C2	25-45 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 3/2 sehr dunkel gräulich braun (feucht); lehmiger Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ IV.4.3
C3	45-70 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); sandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; geringe Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ IV.4.4
2Ab	70-95 cm u. GOF 10YR 5/2 gräulich braun (trocken); 10YR 3/2 sehr dunkel gräulich braun (feucht); lehmiger Sand mit sehr hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; mittlere Summe der austauschbaren Basen	Proben-Nr.: RZ IV.4.5

Tab. 260: Physikalische Bodenparameter Standort RZ IV.4

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	VV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
RZ IV.4.1	0-6									S	3-15				
RZ IV.4.2	6-25									I S	0-3				
RZ IV.4.3	25-45									I S	0-3				
RZ IV.4.4	45-70									s L	0-3				
RZ IV.4.5	70-95									I S	60-85				

Tab. 261: Chemische Bodenparameter Standort RZ IV.4

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl2}	Basensättigung %
RZ IV.4.1	0-6	A	0,14	0,2	0,0		0,01	6,6	80-100
RZ IV.4.2	16-25	C1	0,14	0,2	0,01		0,01	7,0	80-100
RZ IV.4.3	25-45	C2	0,13	0,2	0,0		0,01	7,0	80-100
RZ IV.4.4	45-70	C3	0,17	0,3	0,01		0,01	6,9	80-100
RZ IV.4.5	70-95	2Ab	0,28	0,5	0,01		0,01	7,2	80-100

Tab. 262: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ IV.4

Tiefe cm	NH ₄ OAc-extr. Basen in mval/100g					lösliche Basen in mval/100g					austauschbare Basen in mval/100g				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-6	1,9	0,4	0,2	0,0	2,6										
16-25	3,8	1,1	0,5	0,1	5,4										
25-45	3,6	1,0	0,4	0,1	5,1										
45-70	6,4	1,7	0,7	0,1	8,9										
70-95	9,2	2,2	0,8	0,2	12,3										

Tab. 263: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval/100g Boden Standort RZ IV.4

Tiefe cm	Anteil an extr. Basen in %					Anteil an lösl. Basen in %					Anteil an aust. Ba. in %					Anteil lösl. an extr. Basen in %					
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	
0-6	74,3	15,1	9,3	1,3	100																
16-25	70,3	19,8	8,8	1,2	100																
25-45	70,1	19,9	8,6	1,4	100																
45-70	71,2	19,4	8,1	1,2	100																
70-95	74,9	17,6	6,1	1,4	100																

Tab. 264: Lageparameter Standort IV.5

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Rio Lauca Hoja 5937 I
UTM-Koordinaten:	19KEV810235
Topographische Lage:	3,3 km ENE von Huachacalla
Luftbild-Nr.:	4276
Höhe ü. M.:	3707 m
Höhe ü. GW-Stand:	1,5 m (RZ)
Neigung:	0,5 °
Exposition:	NE (45 °)
Reliefformtyp:	Tiefenbereich
Umgebung des Standortes:	wenige 100 m nördl. des Standortes langgestreckte wallartige natürliche Erhebung
Dünen:	flache Dünen um Vegetation
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	Halophytenvegetation
Aktuelle Bodennutzung:	Lama-, Alpaka und/oder Schafweide
Anthropogene Veränderungen:	keine
Bodenausgangsmaterial:	fluviatil (und äolisch) abgelagertes Lockergestein
Oberfl. anstehendes Festgestein:	kein
Standorteinheit:	grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene
Vegetationshaupteinheit:	<i>Distichlis humilis</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Distichlis humilis</i> - <i>Salicornia pulvinata</i> - <i>Anthobryum triandrum</i> - <i>Festuca orthophylla</i> - <i>Parastrephia phyllocaefomis</i>
Bodeneinheit	Halaquept (USDA)

Tab. 265: Vegetation Standort RZ IV.5

Datum der Aufnahme:	13.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	5
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	sehr gering
Deckung der hohen Krautschicht:	< 5 %
Deckung der niederen Krautschicht:	gering
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	5-25 %
Taxa:	<i>Festuca orthophylla</i> Pilg., <i>Parastrephia phyllicaeformis</i> (Walp.) Cabrera, <i>Distichlis humilis</i> Phil., <i>Salicornia pulvinata</i> R. E. Fr., <i>Anthobryum triandrum</i> (Remy) Surgis

Tab. 266: Profilbeschreibung Standort RZ IV.5

Aznk1	0-3 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); sandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; trocken; deutliche Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; schwach carbonathaltig; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; stark versalzter Salzkalkaliboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ IV.5.1
Aznk2	3-15 cm u. GOF 10YR 7/2 hellgrau (trocken); 10YR 5/2 gräulich braun (feucht); feinsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos mittel carbonathaltig; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; stark versalzter Salzkalkaliboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ IV.5.2
Cznk1	15-30 cm u. GOF 10YR 7/2 hellgrau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); feinsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; stark versalzter Salzkalkaliboden mit sehr hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ IV.5.3
Cznk2	30-33 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); feinsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; mäßig erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ IV.5.4
Cznk3	33-43 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); feinsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ IV.5.5
Cznk4	43-54 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); feinsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ IV.5.6
Cznk5	54-72/65 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 4/3 braun (feucht); sandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ IV.5.7
Aznkb	72/65-72 cm u. GOF 10YR 7/3 sehr fahl braun (trocken); 10YR 5/3 braun (feucht); feinsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ IV.5.8

Cn	72-80 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 4/3 braun (feucht); feinsandiger Lehm mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkornggefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ IV.5.9
2C'zmk1	80-90 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 4/3 braun (feucht); Sand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkornggefüge; sehr schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; humusfrei; sehr carbonatarm; gipsfrei; sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ IV.5.10
2C'zmk2	90-110 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 4/3 braun (feucht); Grobsand mit hohem Grobbodenanteil; Einzelkornggefüge; sehr schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; humusfrei; carbonatarm; gipsfrei; sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ IV.5.11
2C'zmk3	110-129 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); Grobsand mit sehr hohem Grobbodenanteil; Einzelkornggefüge; sehr schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; humusfrei; sehr carbonatarm; gipsfrei; sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ IV.5.12
2C'zmkg	129-131 cm u. GOF 2.5Y 7/2 hellgrau (trocken); 2.5Y 5/3 hell olivebraun (feucht); Schlufflehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkornggefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; feucht; humusfrei; sehr carbonatarm; gipsfrei; sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ IV.5.13

Tab. 267: Physikalische Bodenparameter Standort RZ IV.5

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grob- %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fs	ffS	S	U	T						
RZ IV.5.1	0-3	14,8	6,8	7,6	22,6	20,2	71,9	21,0	7,1	s L	0,5				
RZ IV.5.2	3-15	2,6	4,9	8,4	26,1	21,4	63,4	28,9	7,6	fs L	0,1	1,15	2,55	55,1	16,4
RZ IV.5.3	15-30	2,6	7,3	9,9	29,7	20,2	69,6	23,9	6,5	fs L	0,1	1,47	2,45	40,1	19,2
RZ IV.5.4	30-33	1,3	4,8	8,2	24,8	22,4	61,4	30,4	8,2	fs L	0				
RZ IV.5.5	33-43	4,7	9,9	14,2	29,9	16,7	75,5	17,9	6,6	fs L	1	1,55	2,49	37,9	20,1
RZ IV.5.6	43-54	4,6	12,5	17,7	36,1	13,2	84,1	10,6	5,3	fs L	1				
RZ IV.5.7	54-68,5	7,8	10,4	12,2	26,7	9,6	66,8	17,7	15,6	s L	7	1,40	2,53	44,8	33,0
RZ IV.5.8	68,5-72	1,6	2,5	5,9	24,3	19,1	53,3	36,9	9,8	fs L	1				
RZ IV.5.9	72-80	7,0	7,9	7,3	25,7	18,9	66,8	25,3	7,8	fs L	8	1,49	2,53	41,1	27,3
RZ IV.5.10	80-90	10,7	14,4	15,8	38,2	11,6	90,7	7,2	2,1	S	7	1,49	2,53	41,1	27,3
RZ IV.5.11	90-110	35,3	20,4	17,0	14,5	3,0	90,2	7,3	2,5	gS	49				
RZ IV.5.12	110-129	27,6	13,4	15,1	25,5	7,7	89,3	7,9	2,8	gS	60				
RZ IV.5.13	129-131	4,1	3,9	1,5	3,9	6,6	20,0	72,9	7,1	U L	0				

Tab. 268: Chemische Bodenparameter Standort RZ IV.5

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl2}	Basensättigung %
RZ IV.5.1	0-3	Aznk1	0,49	0,8	3,6	0	0,69	8,5	100
RZ IV.5.2	3-15	Aznk2	0,33	0,6	5,3	0	0,53	8,6	100
RZ IV.5.3	15-30	Cznk1	0,08	0,1	0,4	0	0,64	8,4	100
RZ IV.5.4	30-33	Cznk2	0,10	0,2	0,4	0	0,27	8,35	100
RZ IV.5.5	33-43	Cznk3	0,05	0,1	0,2	0	0,14	8,2	100
RZ IV.5.6	43-54	Cznk4	0,04	0,1	0,3	0	0,08	8,1	100
RZ IV.5.7	54-68,5	Cznk5	0,11	0,2	0,1	0	0,11	8,1	100
RZ IV.5.8	68,5-72	Aznkb	0,28	0,5	0,2	0	0,11	8,0	100
RZ IV.5.9	72-80	Cn	0,08	0,1	0,02	0	0,04	7,85	100
RZ IV.5.10	80-90	2C'znk1	0,00	0,0	0,3	0	0,05	8,0	100
RZ IV.5.11	90-110	2C'znk2	0,00	0,0	1,0	0	0,07	7,95	100
RZ IV.5.12	110-129	2C'znk3	0,00	0,0	0,1	0	0,06	7,9	100
RZ IV.5.13	129-131	2C'znkg	0,02	0,0	0,1	0	0,08	7,7	100

Tab. 269: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten Standort RZ IV.5

Tiefe cm	lösliche Kationen im Sättigungsextrakt in mval/l						lösliche Anionen im Sättigungsextrakt in mval/l						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-3	59,4	9,1	14,4	220,3	0,07	303,2	0,00	3,1	250,0	53,9	0,31	0,5	307,8
3-15	6,5	1,6	9,0	184,9	0,07	202,0	0,00	4,7	170,0	30,4	0,17	0,3	205,6
15-30	17,6	5,3	13,4	267,4	0,00	303,7	0,00	2,5	290,0	15,4	0,05	0,0	308,0

Tab. 270: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten bezogen auf mval/l Standort RZ IV.5

Tiefe cm	Anteil an löslichen Kationen im Sättigungsextrakt in %						Anteil an löslichen Anionen im Sättigungsextrakt in %						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-3	19,6	3,0	4,7	72,7	0,02	100,0	0,00	1,0	81,2	17,5	0,10	0,18	100,0
3-15	3,2	0,8	4,4	91,5	0,04	100,0	0,00	2,3	82,7	14,8	0,08	0,16	100,0
15-30	5,8	1,8	4,4	88,0	0,00	100,0	0,00	0,8	94,1	5,0	0,02	0,00	100,0

Tab. 271: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ IV.5

Tiefe cm	Sätt. %	lösliche Kationen in mg/100g Boden						lösliche Anionen in mg/100g Boden						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-3	24,4	29,1	2,7	13,7	123,8	0,03	169,4	0,00	4,6	216,6	63,2	0,59	0,8	285,9
3-15	29,9	3,9	0,6	10,5	127,0	0,04	142,0	0,00	8,5	180,1	43,6	0,39	0,6	233,2
15-30	25,8	9,1	1,7	13,5	158,6	0,00	182,8	0,00	4,0	265,2	19,1	0,10	0,0	288,4

Tab. 272: EC_e, SAR, pH_e, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte Standort RZ IV.5

Tiefe cm	EC _e mS/cm	SAR	pH _e	Bor - B	Bor - B	lösl. Kat.	lösl. An.	EC _e *10	lösl. Kat.	lösl. An.	B(OH) ₃ ⁰	Summe	Salze n. EC _e
				mg/l	mg/100g	mval/l	mval/l	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	
0-3	29,8	37,7	7,8	30,21	0,74	303,2	307,8	298,0	169,4	285,9	3,8	459,0	466,0
3-15	21,4	91,7	8,1	11,96	0,36	202,0	205,6	214,4	142,0	233,2	1,7	376,9	409,9
15-30	31,6	79,0	7,9	4,33	0,11	303,7	308,0	316,0	182,8	288,4	0,6	471,8	521,5

Tab. 273: Lageparameter Standort IV.6

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Río Lauca Hoja 5937 I
UTM-Koordinaten:	19KEV813236
Topographische Lage:	3,6 km ENE von Huachacalla
Luftbild-Nr.:	4276
Höhe ü. M.:	3707 m
Höhe ü. GW-Stand:	1,3 m (RZ)
Neigung:	0 °
Exposition:	keine
Reliefformtyp:	Tiefenbereich
Umgebung des Standortes:	einige 100 m nördl. des Standortes langgestreckte wallartige natürliche Erhebung
Dünen:	keine
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	Halophytenvegetation
Aktuelle Bodennutzung:	Lama-, Alpaka und/oder Schafweide
Anthropogene Veränderungen:	keine
Bodenausgangsmaterial:	fluviatil (und äolisch) abgelagertes Lockergestein
Oberfl. anstehendes Festgestein:	kein
Standorteinheit:	grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene
Vegetationshaupteinheit:	<i>Distichilis humilis</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Distichilis humilis</i> - <i>Salicornia pulvinata</i> - <i>Anthobryum triandrum</i>
Bodeneinheit	Halaquept (USDA)

Tab. 274: Vegetation Standort RZ IV.6

Datum der Aufnahme:	14.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	4
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	keine
Deckung der hohen Krautschicht:	keine
Deckung der niederen Krautschicht:	5-25 %
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	gering
Taxa:	<i>Junellia minima</i> (Meyen) Moldenke, <i>Distichilis humilis</i> Phil., <i>Salicornia pulvinata</i> R. E. Fr., <i>Anthobryum triandrum</i> (Remy) Surgis

Tab. 275: Profilbeschreibung Standort RZ IV.6

Azkn1	0-1 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 4/3 braun (feucht); Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Krümelgefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; stark durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; mittel humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; mäßig erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; gering versalzter Salzkalkiboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ IV.6.1
Azkn2	1-12 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Krümelgefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; stark durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; gering versalzter Salzkalkiboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ IV.6.2
Azkn3	12-24/22 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 4/3 braun (feucht); schluffiger Tonlehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Subpolyedergefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; mittel versalzter Salzkalkiboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ IV.6.3

ACznk1	24/22-37/38 cm u. GOF 7.5YR 6/4 hellbraun (trocken); 7.5YR 4/4 braun (feucht); schluffiger Tonlehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Subpolyedergefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; mittel carbonathaltig; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; mittel versalzter Salzkalkaliboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ IV.6.4
ACznk2	37/38-50 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Schlufflehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Subpolyedergefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; feucht; scharfe Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; schwach carbonathaltig; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ IV.6.5
2Aznkmb	50-50,5 cm u. GOF 10YR 7/2 hellgrau (trocken); 10YR 5/2 gräulich braun (feucht); Kruste mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr stark verfestigt; sehr hohe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; scharfe Horizontuntergrenze; carbonatreich; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ IV.6.6
2Aznkb	50,5 -67 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); schluffiger Tonlehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Subpolyedergefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; feucht; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; stark carbonathaltig; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ IV.6.7
2Cznk	67-82 cm u. GOF 10YR 7/3 sehr fahl braun (trocken); 10YR 5/3 braun (feucht); lehmiger Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos mittel carbonathaltig; gipsfrei; mäßig erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ IV.6.8
2Czng1	82-100 cm u. GOF 5Y 8/2 fahlgelb (trocken); 5Y 6/3 fahloliv (feucht); lehmiger Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; feucht; diffuse Horizontuntergrenze; humusfrei; carbonatfrei; gipsfrei; gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ IV.6.9
2Czng2	100-108/107 cm u. GOF 5Y 8/2 fahlgelb (trocken); 5Y 6/4 fahloliv (feucht); Schlufflehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; feucht; humusfrei; sehr carbonatarm; gipsfrei; gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ IV.6.10

Tab. 276: Physikalische Bodenparameter Standort RZ IV.6

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
RZ IV.6.1	0-1	0,6	1,8	2,8	18,8	24,2	48,1	32,8	19,1	L	1,0				
RZ IV.6.2	1-12	1,0	3,7	5,1	23,3	17,0	50,0	31,7	18,2	L	0,5	1,3	2,41	47,2	37,4
RZ IV.6.3	12-23	0,4	0,6	1,9	5,6	5,4	14,0	48,2	37,9	u T L	0				
RZ IV.6.4	23-37,5	0,4	1,0	1,7	6,7	6,6	16,4	44,6	39,0	u T L	0,1	1,4	2,53	46,1	43,2
RZ IV.6.5	37,5-50	0,1	0,9	2,1	5,4	4,3	12,8	63,8	23,4	U L	0	1,1	2,46	53,6	44,6
RZ IV.6.6	50-50,5									K	0,5				
RZ IV.6.7	50,5 -67	1,5	1,8	3,2	6,9	5,0	18,4	46,7	34,9	u T L	0,5	1,2	2,65	55,7	39,5
RZ IV.6.8	67-82	0,3	7,0	30,2	34,3	9,8	81,6	13,6	4,8	I S	0	1,3	2,32	45,3	34,0
RZ IV.6.9	82-100	0,5	9,6	33,1	30,7	10,5	84,5	12,6	2,8	I S	0	1,3	2,32	42,7	37,6
RZ IV.6.10	100-107,5	0,7	2,5	4,1	9,7	20,0	37,0	58,2	4,8	U L	0				

Tab. 277: Chemische Bodenparameter Standort RZ IV.6

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl2}	Basensättigung %
RZ IV.6.1	0-1	Aznk1	1,51	2,6	0,3	0	0,26	7,9	100
RZ IV.6.2	1-12	Aznk2	0,98	1,7	0,2	0	0,18	8,05	100
RZ IV.6.3	12-23	Aznk3	0,68	1,2	0,2	0	0,47	8,4	100
RZ IV.6.4	23-37,5	ACznk1	0,24	0,4	5,4	0	0,50	8,5	100
RZ IV.6.5	37,5-50	ACznk2	0,29	0,5	1,5	0	0,58	8,4	100
RZ IV.6.6	50-50,5	2Aznkmb			18,8	0	0,65	8,3	100
RZ IV.6.7	50,5-67	2Aznkb	0,58	1,0	7,2	0	0,51	8,3	100
RZ IV.6.8	67-82	2Cznk	0,03	0,1	5,1	0	0,32	8,2	100
RZ IV.6.9	82-100	2Czng1	0,00	0,0	0,0	0	0,17	8,1	100
RZ IV.6.10	100-107,5	2Czng2	0,01	0,0	0,02	0	0,15	7,9	100

Tab. 278: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten Standort RZ IV.6

Tiefe cm	lösliche Kationen im Sättigungsextrakt in mval/l						lösliche Anionen im Sättigungsextrakt in mval/l						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-1	14,6	2,1	3,1	52,1	0,25	72,0	0,30	8,4	45,6	18,7	0,13	0,0	73,1
1-12	3,0	0,8	1,9	40,1	0,00	45,8	0,20	5,5	25,0	15,8	0,18	0,0	46,7
12-23	7,2	2,9	3,4	103,4	0,00	116,9	0,04	3,5	83,0	29,3	0,26	0,0	116,1
23-37,5	6,9	2,5	3,2	103,0	0,04	115,6	0,20	2,6	79,4	33,0	0,27	0,0	115,4

Tab. 279: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten bezogen auf mval/l Standort RZ IV.6

Tiefe cm	Anteil an löslichen Kationen im Sättigungsextrakt in %						Anteil an löslichen Anionen im Sättigungsextrakt in %						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-1	20,3	2,9	4,3	72,3	0,35	100,0	0,41	11,4	62,4	25,5	0,18	0,00	100,0
1-12	6,5	1,8	4,2	87,5	0,00	100,0	0,43	11,7	53,6	33,9	0,38	0,00	100,0
12-23	6,2	2,5	2,9	88,4	0,00	100,0	0,03	3,0	71,5	25,2	0,23	0,00	100,0
23-37,5	5,9	2,1	2,8	89,1	0,03	100,0	0,17	2,2	68,8	28,6	0,23	0,00	100,0

Tab. 280: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ IV.6

Tiefe cm	Sätt. %	lösliche Kationen in mg/100g Boden						lösliche Anionen in mg/100g Boden						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-1	39,2	11,5	1,0	4,7	46,9	0,18	64,2	0,35	20,0	63,4	35,1	0,41	0,0	119,2
1-12	33,0	2,0	0,3	2,5	30,5	0,00	35,2	0,20	11,0	29,3	25,1	0,46	0,0	66,0
12-23	50,7	7,3	1,8	6,7	120,5	0,00	136,3	0,06	10,8	149,1	71,2	1,06	0,0	232,2
23-37,5	49,2	6,8	1,5	6,2	116,6	0,03	131,0	0,30	7,7	138,5	77,9	1,05	0,0	225,4

Tab. 281: EC_e, SAR, pH_e, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte Standort RZ IV.6

Tiefe cm	EC _e mS/cm	SAR	pH _e	Bor - B	Bor - B	lösl. Kat.	lösl. An.	EC _e *10	lösl. Kat.	lösl. An.	B(OH) ₃ ⁰	Summe	Salze n. EC _e
				mg/l	mg/100g	mval/l	mval/l	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	
0-1	7,4	18,0	8,3	8,45	0,33	72,0	73,1	73,6	64,2	119,2	1,6	185,0	184,6
1-12	4,9	29,0	8,5	10,00	0,33	45,8	46,7	49,0	35,2	66,0	1,5	102,8	103,5
12-23	12,0	46,0	8,2	17,87	0,91	116,9	116,1	120,0	136,3	232,2	4,3	372,9	389,1
23-37,5	12,6	47,7	8,2	18,28	0,90	115,6	115,4	125,5	131,0	225,4	4,3	360,8	395,2

Tab. 282: Lageparameter Standort V.1

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Yunguyo Hoja 5937 III
UTM-Koordinaten:	19KEV693041
Topographische Lage:	2,9 km NNE der Furt, welche die Straße Nr. 601 durch den Río Sabaya führt
Luftbild-Nr.:	4761
Höhe ü. M.:	3695 m
Höhe ü. GW-Stand:	3 m (TZ) / 2 m (RZ)
Neigung:	0 °
Exposition:	keine
Reliefformtyp:	Tiefenbereich
Umgebung des Standortes:	einige Meter südl. des Standortes befindet sich eine 2 m hohe Düne
Dünen:	bis 3 (4 m) hoch
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	keine
Aktuelle Bodennutzung:	Lama-, Alpaka und/oder Schafweide
Anthropogene Veränderungen:	keine
Bodenausgangsmaterial:	fluviatil (und äolisch) abgelagertes Lockergestein; mit sehr geringem Grobbodenanteil
Oberfl. anstehendes Festgestein:	kein
Standorteinheit:	äolisch geprägte Alluvialebene
Vegetationshaupteinheit:	<i>Lampaya castellani</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Lampaya castellani</i> - <i>Parastrephia lepidophylla</i> - <i>Festuca orthophylla</i>
Bodeneinheit	Ustorthent (USDA); Lockersyrosem (DBG)

Tab. 283: Vegetation Standort TZ V.1

Datum der Aufnahme:	20.9.1996
Gesamtzahl der Taxa:	5
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	< 5 %
Deckung der hohen Krautschicht:	5-25 %
Deckung der niederen Krautschicht:	keine
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Stipa</i> ssp. L., <i>Parastrephia lepidophylla</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Festuca orthophylla</i> Pilg., <i>Lampaya castellani</i> Moldenke, <i>Parastrephia phyllicaeformis</i> (Walp.) Cabrera

Tab. 284: Profilbeschreibung Standort TZ V.1

A1	0-5 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 3/3 dunkelbraun (feucht); Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; scharfe Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ V.1.1
A2	5-30 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); lehmiger Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge mittel verfestigt; geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ V.1.2
C1	30-40 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht) mit Rostflecken (horizontal); lehmiger Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; scharfe Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ V.1.3

C2	40-70 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 3/2 sehr dunkel gräulich braun (feucht); Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ V.1.4
C3	70-90 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 3/2 sehr dunkel gräulich braun (feucht) mit Rostflecken (horizontal); Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; scharfe Horizontuntergrenze; humusfrei; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ V.1.5
C4	90-105 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht) mit Rostflecken (horizontal); lehmiger Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; schwach carbonathaltig; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ V.1.6
C5	105-120 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 3/2 sehr dunkel gräulich braun (feucht); Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; humusfrei; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ V.1.7

Tab. 285: Physikalische Bodenparameter Standort TZ V.1

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
TZ V.1.1	0-5									S	0,5				
TZ V.1.2	5-30									l S	0,1				
TZ V.1.3	30-40									l fS	0				
TZ V.1.4	40-70									fS	0				
TZ V.1.5	70-90									fS	0				
TZ V.1.6	90-105									l fS	0,5				
TZ V.1.7	105-120									fS	0				

Tab. 286: Chemische Bodenparameter Standort TZ V.1

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl₂}	Basensättigung %
TZ V.1.1	0-5	A1	0,08	0,1	0,0		0,01	6,9	80-100
TZ V.1.2	5-30	A2	0,17	0,3	0,01		0,01	6,9	80-100
TZ V.1.3	30-40	C1	0,12	0,2	0,9		0,03	7,8	100
TZ V.1.4	40-70	C2	0,06	0,1	0,8		0,03	8,0	100
TZ V.1.5	70-90	C3	0,00	0,0	0,0		0,01	7,6	100
TZ V.1.6	90-105	C4	0,09	0,2	4,0		0,03	8,0	100
TZ V.1.7	105-120	C5	0,00	0,0	0,0		0,02	8,0	100

Tab. 287: Vegetation Standort RZ V.1

Datum der Aufnahme:	31.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	10
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	< 5 %
Deckung der hohen Krautschicht:	5-25 %
Deckung der niederen Krautschicht:	< 5 %
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	keine

Taxa: *Stipa ssp. L.*, *Euphorbia ssp. L.*, *Parastrephia lepidophylla* (Wedd.) Cabrera, *Hoffmannseggia ssp. Cav.*, *Festuca orthophylla* Pilg., *Lampaya castellani* Moldenke, *Parastrephia phyllicaeformis* (Walp.) Cabrera, *Iridaceae (2)*, *Soliva ssp. Ruiz & Pav.*, *Gomphrena cf. umbellata* Remy

Tab. 288: Profilbeschreibung Standort RZ V.1

A1	0-5 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; feucht; scharfe Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.1.1
A2	5-20 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); lehmiger Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge mittel verfestigt; geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.1.2
C1	20-32 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 4/3 braun (feucht); lehmiger Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge mittel verfestigt; geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; scharfe Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.1.3
C2	32-40 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht) mit Rostflecken (horizontal); lehmiger Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; scharfe Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.1.4
C3	40-61 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Feinstsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; scharfe Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.1.5
C4	61-73 cm u. GOF 10YR 5/2 gräulich braun (trocken); 10YR 3/2 sehr dunkel gräulich braun (feucht); Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; scharfe Horizontuntergrenze; humusfrei; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.1.6
C5	73-88 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht) mit Rostflecken (horizontal); Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; scharfe Horizontuntergrenze; humusfrei; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.1.7
C6	88-106 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht) mit Rostflecken (horizontal); feinsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; scharfe Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; schwach carbonathaltig; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.1.8
C7	106-130 cm u. GOF 10YR 5/2 gräulich braun (trocken); 10YR 3/2 sehr dunkel gräulich braun (feucht); Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; humusfrei; carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.1.9

Tab. 289: Physikalische Bodenparameter Standort RZ V.1

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grob- %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	VV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
RZ V.1.1	0-5									S	1,0				
RZ V.1.2	5-20									l fS	0,1	1,52	2,56	40,5	34,2
RZ V.1.3	20-32									l fS	0,1	1,46	2,48	41,1	32,1
RZ V.1.4	32-40									l fS	0				
RZ V.1.5	40-61									ffS	0				
RZ V.1.6	61-73									fS	0				
RZ V.1.7	73-88									fS	0				
RZ V.1.8	88-106									fs L	0,1				
RZ V.1.9	106-130									fS	0				

Tab. 290: Chemische Bodenparameter Standort RZ V.1

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl₂}	Basensättigung %
RZ V.1.2	5-20	A2	0,15	0,3	0,0		0,01	6,9	80-100
RZ V.1.3	20-32	C1	0,15	0,3	0,0		0,03	6,9	80-100
RZ V.1.4	32-40	C2	0,07	0,1	0,4		0,04	7,7	100
RZ V.1.5	40-61	C3	0,07	0,1	0,6		0,03	7,9	100
RZ V.1.6	61-73	C4	0,00	0,0	0,1		0,02	7,9	100
RZ V.1.7	73-88	C5	0,00	0,0	0,1		0,02	7,9	100
RZ V.1.8	88-106	C6	0,07	0,1	2,5		0,04	8,0	100
RZ V.1.9	106-130	C7	0,01	0,0	0,5		0,03	8,0	100

Tab. 291: Lageparameter Standort V.2

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Yunguyo Hoja 5937 III
UTM-Koordinaten:	19KEV693041
Topographische Lage:	2,9 km NNE der Furt, welche die Straße Nr. 601 durch den Río Sabaya führt
Luftbild-Nr.:	4761
Höhe ü. M.:	3695 m
Höhe ü. GW-Stand:	2 m (RZ)
Neigung:	0 °
Exposition:	keine
Reliefformtyp:	Tiefenbereich
Umgebung des Standortes:	wenige Meter südl. des Standortes befindet sich eine 2 m hohe Düne
Dünen:	bis 3 (4 m) hoch
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	keine
Aktuelle Bodennutzung:	Lama-, Alpaka und/oder Schafweide
Anthropogene Veränderungen:	keine
Bodenausgangsmaterial:	fluviatil (und äolisch) abgelagertes Lockergestein; mit sehr geringem Grobbodenanteil
Oberfl. anstehendes Festgestein:	kein
Standorteinheit:	äolisch geprägte Alluvialebene
Vegetationshauptseinheit:	<i>Lampaya castellani</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Lampaya castellani</i> - <i>Parastrephia lepidophylla</i> - <i>Festuca orthophylla</i>
Bodeneinheit	Haplustept (USDA); Lockersyrosem (DBG)

Tab. 292: Vegetation Standort RZ V.2

Datum der Aufnahme:	01.02.1997
Gesamtzahl der Taxa:	11
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	5-25 %
Deckung der niederen Krautschicht:	< 5 %
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Tarasa ssp.</i> , <i>Guilleminea densa</i> (Willd.) Moq., <i>Stipa ssp.</i> L., <i>Euphorbia ssp.</i> L., <i>Parastrephia lepidophylla</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Hoffmannseggia ssp.</i> Cav., <i>Festuca orthophylla</i> Pilg., <i>Lampaya castellani</i> Moldenke, <i>Parastrephia phyllocaeformis</i> (Walp.) Cabrera, <i>Iridaceae</i> (2), <i>Soliva ssp.</i> Ruiz & Pav.

Tab. 293: Profilbeschreibung Standort RZ V.2

A	0-16 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); feinsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach alkalisch (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.2.1
BC	16-34/43 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 4/3 braun (feucht); Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; scharfe Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.2.2
C1	34/43-42/41 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); feinsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.2.3
C2	42/41-68/64 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 3/2 sehr dunkel gräulich braun (feucht); lehmiger Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; deutliche Horizontuntergrenze; humusfrei; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.2.4
C3	68/64-68 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); feinstsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.2.5
C4	68-73 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); feinstsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; scharfe Horizontuntergrenze; humusfrei; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.2.6
Cm	73-74 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Kruste mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; stark verfestigt; mittlere Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; scharfe Horizontuntergrenze; carbonatfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.2.7
C'1	74-89 cm u. GOF 10YR 5/2 gräulich braun (trocken); 10YR 3/2 sehr dunkel gräulich braun (feucht); Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; deutliche Horizontuntergrenze; humusfrei; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.2.8

C'2	89-100 cm u. GOF	Proben-Nr.: RZ V.2.9
	10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); feinsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; humusfrei; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	

Tab. 294: Physikalische Bodenparameter Standort RZ V.2

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Boden- art	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	VV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
RZ V.2.1	0-16	0,4	3,7	17,1	41,5	14,9	77,5	9,2	13,2	fs L	0,1	1,27	2,43	47,7	28,2
RZ V.2.2	16-38,5	0,1	0,7	3,9	19,7	16,2	40,4	36,7	23,0	L	0	1,54	2,50	38,5	34,7
RZ V.2.3	38,5-41,5	0,1	0,5	1,8	36,5	19,9	58,7	31,3	10,0	fs L	0				
RZ V.2.4	41,5-66	0,0	0,2	2,9	55,4	26,1	84,6	11,4	4,0	l fs	0				
RZ V.2.5	66-68	0,0	0,1	0,6	15,3	41,7	57,7	37,5	4,8	ffs L	0,1				
RZ V.2.6	68-73	0,0	0,1	0,5	22,1	49,7	72,3	23,9	3,7	ffs L	0				
RZ V.2.7	73-74									K	0				
RZ V.2.8	74-89	0,0	0,1	0,9	65,0	29,6	95,7	3,4	0,9	fs	0				
RZ V.2.9	89-100	0,3	0,6	1,7	35,0	27,5	64,9	27,2	7,9	fs L	0				

Tab. 295: Chemische Bodenparameter Standort RZ V.2

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl₂}	Basensättigung %
RZ V.2.1	0-16	A	0,12	0,2	0,01		0,01	7,4	80-100
RZ V.2.2	16-38,5	BC	0,17	0,3	0,02		0,02	7,2	80-100
RZ V.2.3	38,5-41,5	C1	0,06	0,1	0,0		0,01	7,2	80-100
RZ V.2.4	41,5-66	C2	0,02	0,0	0,0		0,01	7,2	80-100
RZ V.2.5	66-68	C3	0,04	0,1	0,0		0,01	7,2	80-100
RZ V.2.6	68-73	C4	0,02	0,0	0,0		0,01	7,1	80-100
RZ V.2.7	73-74	Cm			0,0		0,01	7,2	80-100
RZ V.2.8	74-89	C'1	0,00	0,0	0,0		0,01	7,0	80-100
RZ V.2.9	89-100	C'2	0,01	0,0	0,0		0,01	6,9	80-100

Tab. 296: Lageparameter Standort V.3

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Yunguyo Hoja 5937 III
UTM-Koordinaten:	19KEV693041
Topographische Lage:	2,9 km NNE der Furt, welche die Straße Nr. 601 durch den Río Sabaya führt
Luftbild-Nr.:	4761
Höhe ü. M.:	3696 m
Höhe ü. GW-Stand:	3 m (RZ)
Neigung:	der Ebene 0 °; des Dünenhanges 16 °
Exposition:	N (0 °)
Reliefformtyp:	Tiefenbereich
Dünen:	bis 3 (4 m) hoch
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	keine
Aktuelle Bodennutzung:	Lama-, Alpaka und/oder Schafweide
Anthropogene Veränderungen:	keine
Bodenausgangsmaterial:	äolisch abgelagertes Lockergestein (Sand)
Oberfl. anstehendes Festgestein:	kein
Standorteinheit:	äolisch geprägte Alluvialebene
Vegetationshauptseinheit:	<i>Lampaya castellani</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Lampaya castellani</i> - <i>Parastrephia lepidophylla</i> - <i>Festuca orthophylla</i>
Bodeneinheit	Ustipsamment (USDA); Lockersyrosem (DBG)

Tab. 297: Vegetation Standort RZ V.3

Datum der Aufnahme:	01.02.1997
Gesamtzahl der Taxa:	7
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	< 5 %
Deckung der niederen Krautschicht:	gering
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Stipa ssp. L.</i> , <i>Euphorbia ssp. L.</i> , <i>Parastrephia lepidophylla</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Hoffmannseggia ssp. Cav.</i> , <i>Festuca orthophylla</i> Pilg., <i>Lampaya castellani</i> Moldenke, <i>Parastrephia phylcaeformis</i> (Walp.) Cabrera.

Tab. 298: Profilbeschreibung Standort RZ V.3

A	0-20 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; humusfrei; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.3.1
2Ab	20-40 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 4/3 braun (feucht); Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.3.2
2C	40-65 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; humusfrei; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.3.3
3A`b	65-90/80 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.3.4
3C`	90/80-100 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.3.5
4A``b	100-105 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); sandiger Tonlehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Subpolyedergefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.3.6

Tab. 299: Physikalische Bodenparameter Standort RZ V.3

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Boden- art	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	VV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
RZ V.3.1	0-20	0,0	2,3	38,7	52,3	4,2	97,5	0,8	1,7	fS	0,0				
RZ V.3.2	20-40	0,1	6,2	44,6	40,8	5,6	97,3	0,9	1,9	S	0,1	1,14	2,16	47,3	
RZ V.3.3	40-65	0,0	8,3	54,2	33,1	2,1	97,7	0,6	1,6	S	0,1				
RZ V.3.4	65-85	0,0	13,6	44,0	36,6	3,1	97,4	0,8	1,8	S	0,1	1,05	2,25	53,4	19,5
RZ V.3.5	85-100	0,4	5,5	29,7	54,1	7,6	97,2	1,2	1,6	fS	0,1				
RZ V.3.6	100-105	0,1	1,6	11,6	35,6	13,8	62,7	16,0	21,3	s T L					

Tab. 300: Chemische Bodenparameter Standort RZ V.3

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl2}	Basensättigung %
RZ V.3.1	0-20	A	0,02	0,0	0,0		0,01	6,5	80-100
RZ V.3.2	20-40	2Ab	0,09	0,2	0,0		0,01	6,6	80-100
RZ V.3.3	40-65	2C	0,01	0,0	0,0		0,01	6,7	80-100
RZ V.3.4	65-85	3A ⁺ b	0,15	0,3	0,0		0,01	6,6	80-100
RZ V.3.5	85-100	3C ⁺	0,05	0,1	0,0		0,01	6,7	80-100
RZ V.3.6	100-105	4A ⁺ b	0,15	0,3	0,0		0,02	6,9	80-100

Tab. 301: Lageparameter Standort V.4

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Yunguyo Hoja 5937 III
UTM-Koordinaten:	19KEV693041
Topographische Lage:	2,9 km NNE der Furt, welche die Straße Nr. 601 durch den Río Sabaya führt
Luftbild-Nr.:	4761
Höhe ü. M.:	3697 m
Höhe ü. GW-Stand:	4 m (RZ)
Neigung:	der Ebene 0 °; der Dünenkuppe 0 °
Exposition:	keine
Reliefformtyp:	Tiefenbereich
Dünen:	bis 3 (4 m) hoch
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	keine
Aktuelle Bodennutzung:	Lama-, Alpaka und/oder Schafweide
Anthropogene Veränderungen:	keine
Bodenausgangsmaterial:	äolisch abgelagertes Lockergestein (Sand)
Oberfl. anstehendes Festgestein:	kein
Standorteinheit:	äolisch geprägte Alluvialebene
Vegetationshaupteinheit:	<i>Lampaya castellani</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Lampaya castellani</i> - <i>Parastrephia lepidophylla</i> - <i>Festuca orthophylla</i>
Bodeneinheit	Ustipsamment (USDA); Lockersyrosem (DBG)

Tab. 302: Vegetation Standort RZ V.4

Datum der Aufnahme:	01.02.1997
Gesamtzahl der Taxa:	7
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	< 5 %
Deckung der niederen Krautschicht:	gering
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Stipa</i> ssp. L., <i>Euphorbia</i> ssp. L., <i>Parastrephia lepidophylla</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Hoffmannseggia</i> ssp. Cav., <i>Festuca orthophylla</i> Pilg., <i>Lampaya castellani</i> Moldenke, <i>Parastrephia phyllicaeformis</i> (Walp.) Cabrera.

Tab. 303: Profilbeschreibung Standort RZ V.4

A	0-20 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht bis feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen; nicht versalzter Normalboden	Proben-Nr.: RZ V.4.1
C1	20-45 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht bis feucht; diffuse Horizontuntergrenze; humusfrei; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen; nicht versalzter Normalboden mit geringer Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ V.4.2
C2	45-69 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht bis feucht; diffuse Horizontuntergrenze; humusfrei; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen; nicht versalzter Normalboden mit geringer Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ V.4.3
C3	69-100 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; humusfrei; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung; sehr geringe Summe der austauschbaren Basen; nicht versalzter Normalboden	Proben-Nr.: RZ V.4.4

Tab. 304: Physikalische Bodenparameter Standort RZ V.4

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Boden- art	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
RZ V.4.1	0-20	0,0	3,0	36,4	51,7	5,7	96,9	1,1	2,0	fS	0				
RZ V.4.2	20-45	0,0	3,0	48,1	41,6	4,6	97,3	0,9	1,8	S	0,1	1,30	2,48	47,6	16,4
RZ V.4.3	45-69	0,0	5,4	54,6	33,6	4,0	97,5	0,8	1,6	S	0				
RZ V.4.4	69-100	0,0	3,6	45,8	43,4	4,7	97,6	0,7	1,8	S	0,1				

Tab. 305: Chemische Bodenparameter Standort RZ V.4

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl2}	Basensättigung %
RZ V.4.1	0-20	A	0,04	0,1	0,0		0,01	6,7	80-100
RZ V.4.2	20-45	C1	0,02	0,0	0,0		0,01	6,7	80-100
RZ V.4.3	45-69	C2	0,01	0,0	0,0		0,01	6,55	80-100
RZ V.4.4	69-100	C3	0,01	0,0	0,0		0,01	6,6	80-100

Tab. 306: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ V.4

Tiefe cm	NH ₄ OAc-extr. Basen in mval/100g					lösliche Basen in mval/100g					austauschbare Basen in mval/100g				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-20	1,8	0,9	0,4	0,0	3,2	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	1,7	0,9	0,4	0,0	3,1
20-45	1,6	0,9	0,4	0,1	3,1	0,01	0,01	0,01	0,02	0,05	1,6	0,9	0,4	0,0	3,0
45-69	1,6	0,9	0,4	0,1	3,0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	1,6	0,9	0,4	0,0	2,9
69-100	1,8	1,0	0,4	0,1	3,3	0,01	0,01	0,02	0,03	0,07	1,8	1,0	0,4	0,1	3,2

Tab. 307: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval/100g Boden Standort RZ V.4

Tiefe cm	Anteil an extr. Basen in %					Anteil an lösl. Basen in %					Anteil an aust. Ba. in %					Anteil lösl. an extr. Basen in %				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-20	55,2	29,6	13,7	1,5	100	14,9	24,6	24,8	35,7	100	55,8	29,7	13,6	1,0	100	0,4	1,1	2,5	32,9	1
20-45	53,6	31,0	13,3	2,1	100	18,3	22,6	25,8	33,2	100	54,2	31,1	13,1	1,6	100	0,6	1,2	3,2	26,6	2
45-69	54,3	30,8	12,9	2,0	100	17,3	16,3	27,8	38,7	100	54,7	31,0	12,7	1,6	100	0,4	0,6	2,4	22,2	1
69-100	54,6	30,8	12,0	2,6	100	19,9	20,5	21,7	37,9	100	55,3	31,0	11,8	1,8	100	0,8	1,4	3,9	31,5	2

Tab. 308: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten Standort RZ V.4

Tiefe cm	lösliche Kationen im Sättigungsextrakt in mval/l						lösliche Anionen im Sättigungsextrakt in mval/l						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-20	0,2	0,3	0,3	0,5	0,00	1,3					0,00	0,0	
20-45	0,3	0,4	0,4	0,5	0,07	1,7					0,00	0,1	
45-69	0,2	0,2	0,3	0,4	0,14	1,2					0,00	0,1	
69-100	0,4	0,4	0,4	0,8	0,00	2,0					0,00	0,0	

Tab. 309: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten bezogen auf mval/l Standort RZ V.4

Tiefe cm	Anteil an löslichen Kationen im Sättigungsextrakt in %						Anteil an löslichen Anionen im Sättigungsextrakt in %						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-20	14,9	24,6	24,8	35,7	0,00	100,0					0,00	0,0	
20-45	17,5	21,7	24,7	31,8	4,19	100,0					0,00	0,2	
45-69	15,1	14,3	24,4	33,9	12,37	100,0					0,00	0,2	
69-100	19,9	20,5	21,7	37,9	0,00	100,0					0,00	0,0	

Tab. 310: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ V.4

Tiefe cm	Sätt. %	lösliche Kationen in mg/100g Boden						lösliche Anionen in mg/100g Boden					
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻
0-20	32,5	0,1	0,1	0,4	0,4	0,00	1,0	0,98	2,0	1,2		0,00	0,0
20-45	31,2	0,2	0,1	0,5	0,4	0,04	1,3	0,00	0,0	0,0		0,00	0,2
45-69	33,2	0,1	0,1	0,4	0,3	0,09	0,9	0,00	0,0	0,0		0,00	0,2
69-100	34,7	0,3	0,2	0,6	0,6	0,00	1,6	0,00	0,0	0,0		0,00	0,0

Tab. 311: EC_e, SAR, pH_e, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte Standort RZ V.4

Tiefe cm	EC _e mS/cm	SAR	pH _e	Bor - B mg/l	Bor - B mg/100g	lösl. Kat.		EC _e *10	lösl. An.		B(OH) ₃ ⁰ mg/100g	Summe mg/100g	Salze n. EC _e mg/100g
						mval/l	mval/l		mg/100g	mg/100g			
0-20	0,29	0,9	4,8		0,00	1,3	48,0	2,9	1,0	4,1	0,0	5,2	6,0
20-45	0,17	0,9	6,3	0,65	0,02	1,7	0,1	1,7	1,3	0,2	0,1	1,5	3,4
45-69	0,12	1,0	5,0	0,57	0,02	1,2	0,1	1,2	0,9	0,2	0,1	1,2	2,5
69-100	0,21	1,2	5,2		0,00	2,0	0,0	2,1	1,6	0,0	0,0	1,6	4,7

Tab. 312: Lageparameter Standort V.5

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Yunguyo Hoja 5937 III
UTM-Koordinaten:	19KEV693041
Topographische Lage:	2,9 km NNE der Furt, welche die Straße Nr. 601 durch den Río Sabaya führt
Luftbild-Nr.:	4761
Höhe ü. M.:	3696 m
Höhe ü. GW-Stand:	3 m (RZ)
Neigung:	der Ebene 0 °; des Dünenhanges 16 °
Exposition:	S (180 °)
Reliefformtyp:	Tiefenbereich
Dünen:	bis 3 (4 m) hoch
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	keine
Aktuelle Bodennutzung:	Lama-, Alpaka und/oder Schafweide
Anthropogene Veränderungen:	keine
Bodenausgangsmaterial:	äolisch abgelagertes Lockergestein (Sand)
Oberfl. anstehendes Festgestein:	kein
Standorteinheit:	äolisch geprägte Alluvialebene
Vegetationshaupteinheit:	<i>Lampaya castellani</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Lampaya castellani</i> - <i>Parastrephia lepidophylla</i> - <i>Festuca orthophylla</i>
Bodeneinheit	Haplustept (USDA); Lockersyrosem (DBG)

Tab. 313: Vegetation Standort RZ V.5

Datum der Aufnahme:	01.02.1997
Gesamtzahl der Taxa:	7
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	< 5 %
Deckung der niederen Krautschicht:	gering
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Stipa</i> ssp. L., <i>Euphorbia</i> ssp. L., <i>Parastrephia lepidophylla</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Hoffmannseggia</i> ssp. Cav., <i>Festuca orthophylla</i> Pilg., <i>Lampaya castellani</i> Moldenke, <i>Parastrephia phyllocaeformis</i> (Walp.) Cabrera

Tab. 314: Profilbeschreibung Standort RZ V.5

A	0-30 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.5.1
2Ab	30-60 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.5.2
2ACb	60-85 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.5.3

3Ab 85-100 cm u. GOF Proben-Nr.: RZ V.5.4
 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); sandiger Tonlehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Subpolyedergefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC₅; neutral (CaCl₂); sehr hohe Basensättigung

Tab. 315: Physikalische Bodenparameter Standort RZ V.5

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Boden- art	Grob- b. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	VV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
RZ V.5.1	0-30	0,0	4,9	31,1	50,4	9,8	96,3	1,5	2,2	fS	0	1,13	2,49	54,6	15,4
RZ V.5.2	30-60	0,0	1,7	13,3	60,2	19,7	94,9	2,9	2,2	fS	0	1,15	2,42	52,6	14,4
RZ V.5.3	60-85	0,1	0,5	13,0	64,6	17,1	95,4	2,4	2,2	fS	0,1	1,15	2,48	53,6	11,7
RZ V.5.4	85-100	0,0	0,7	8,1	42,9	15,5	67,2	10,2	22,6	s T L	0	1,43	2,52	43,2	26,4

Tab. 316: Chemische Bodenparameter Standort RZ V.5

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl2}	Basensättigung %
RZ V.5.1	0-30	A	0,07	0,1	0,0		0,01	6,7	80-100
RZ V.5.2	30-60	2Ab	0,19	0,3	0,0		0,02	6,8	80-100
RZ V.5.3	60-85	2ACb	0,09	0,2	0,0		0,02	7,0	80-100
RZ V.5.4	85-100	3Ab	0,16	0,3	0,01		0,03	6,9	80-100

Tab. 317: Lageparameter Standort V.6

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Yunguyo Hoja 5937 III
UTM-Koordinaten:	19KEV693041
Topographische Lage:	2,9 km NNE der Furt, welche die Straße Nr. 601 durch den Río Sabaya führt
Luftbild-Nr.:	4761
Höhe ü. M.:	3695 m
Höhe ü. GW-Stand:	2 - 2,5 m (RZ)
Neigung:	0 °
Exposition:	keine
Reliefformtyp:	Tiefenbereich
Umgebung des Standortes:	in einem Dünenental zwischen zwei 2 m hohen Dünen
Dünen:	bis 3 (4 m) hoch
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	keine
Aktuelle Bodennutzung:	Lama-, Alpaka und/oder Schafweide
Anthropogene Veränderungen:	keine
Bodenausgangsmaterial:	fluviatil und äolisch abgelagertes Lockergestein; mit sehr geringem Grobbodenanteil
Oberfl. anstehendes Festgestein:	kein
Standorteinheit:	äolisch geprägte Alluvialebene
Vegetationshauptseinheit:	<i>Lampaya castellani</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Lampaya castellani</i> - <i>Parastrephia lepidophylla</i> - <i>Festuca orthophylla</i>
Bodeneinheit	Haplustept (USDA); Lockersyrosem (DBG)

Tab. 318: Vegetation Standort RZ V.6

Datum der Aufnahme:	01.02.1997
Gesamtzahl der Taxa:	11
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	5-25 %
Deckung der niederen Krautschicht:	< 5 %
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Stipa ssp. L.</i> , <i>Euphorbia ssp. L.</i> , <i>Parastrephia lepidophylla</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Hoffmannseggia ssp. Cav.</i> , <i>Festuca orthophylla</i> Pilg., <i>Lampaya castellani</i> Moldenke, <i>Parastrephia phyllocaeformis</i> (Walp.) Cabrera, <i>Iridaceae</i> (2), <i>Soliva ssp. Ruiz & Pav.</i> , <i>Gomphrena cf. umbellata</i> Remy

Tab. 319: Profilbeschreibung Standort V.6

A	0-9 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.6.1
2Ab1	9-20 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/4 dunkel gelblich braun (feucht); sandiger Tonlehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Subpolyedergefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.6.2
2Ab2	20-35 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); sandiger Tonlehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Subpolyedergefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.6.3
2ACb	35-50 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.6.4
C1	50-59 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 3/2 sehr dunkel gräulich braun (feucht); lehmiger Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.6.5
C2	59-72 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 3/2 sehr dunkel gräulich braun (feucht); Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; deutliche Horizontuntergrenze; humusfrei; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.6.6
C3	72-83 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); feinstsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.6.7
C4	83-100 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; humusfrei; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ V.6.8

Tab. 320: Physikalische Bodenparameter Standort RZ V.6

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Boden-art	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
RZ V.6.1	0-9	0,1	4,5	36,7	41,0	11,2	93,4	3,3	3,3	S	0,1	1,14	2,29	50,4	20,6
RZ V.6.2	9-20	0,0	1,7	11,8	29,8	11,9	55,3	16,2	28,5	s T L	0				
RZ V.6.3	20-35	0,1	1,0	7,8	35,8	17,0	61,7	15,8	22,5	s T L	0	1,51	2,50	39,7	35,3
RZ V.6.4	35-50	0,2	0,6	3,6	22,5	16,1	43,0	40,0	17,0	L	0				
RZ V.6.5	50-59	0,0	0,2	1,0	38,9	36,7	76,8	18,8	4,4	I S	0,1	1,49	2,61	43,0	11,5
RZ V.6.6	59-72	0,0	0,1	0,6	64,5	25,6	90,8	7,3	1,9	fS	0				
RZ V.6.7	72-83	0,0	0,1	0,2	9,3	47,2	56,7	40,1	3,2	ffs L	0				
RZ V.6.8	83-100	0,0	0,2	1,6	65,7	28,1	95,6	3,7	0,7	fS	0				

Tab. 321: Chemische Bodenparameter Standort RZ V.6

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl₂}	Basensättigung %
RZ V.6.1	0-9	A	0,08	0,1	0,0		0,01	6,9	80-100
RZ V.6.2	9-20	2Ab1	0,27	0,5	0,0		0,01	6,8	80-100
RZ V.6.3	20-35	2Ab2	0,16	0,3	0,0		0,01	6,6	80-100
RZ V.6.4	35-50	2ACb	0,10	0,2	0,0		0,01	6,7	80-100
RZ V.6.5	50-59	C1	0,03	0,1	0,0		0,01	6,8	80-100
RZ V.6.6	59-72	C2	0,02	0,0	0,0		0,01	6,6	80-100
RZ V.6.7	72-83	C3	0,05	0,1	0,02		0,01	7,1	80-100
RZ V.6.8	83-100	C4	0,00	0,0	0,0		0,01	7,0	80-100

Tab. 322: Lageparameter Standort VI.1

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Huachacalla Hoja 5937 IV
UTM-Koordinaten:	19KEV797236
Topographische Lage:	2,2 km NE von Huachacalla
Luftbild-Nr.:	4276
Höhe ü. M.:	3709 m
Höhe ü. GW-Stand:	2-3 m (TZ) / 1-2 m (RZ)
Neigung:	0 °
Exposition:	keine
Reliefformtyp:	Tiefenbereich
Umgebung des Standortes:	1 km NNW befindet sich der grundwasser- und salzbeeinflusste Standort III.6
Dünen:	bis 0,5 m hoch
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	keine
Aktuelle Bodennutzung:	Lama-, Alpaka und/oder Schafweide
Anthropogene Veränderungen:	200 m südöstlich verläuft die Straße Nr. 601 auf einer Trasse (Grundwasserstau)
Bodenausgangsmaterial:	fluviatil und äolisch abgelagertes Lockergestein; über vulkanischem Festgestein ab 80 cm u. GOF
Oberfl. anstehendes Festgestein:	0,8 m u. GOF
Standorteinheit:	schwach grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene
Vegetationshaupteinheit:	Übergang zwischen <i>Lampaya castellani</i> und <i>Distichilis humilis</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Festuca orthophylla</i>
Bodeneinheit	Haplustept (USDA); Lockersyrosem (DBG)

Tab. 323: Vegetation Standort TZ VI.1

Datum der Aufnahme:	26.09.1996
Gesamtzahl der Taxa:	2
Gesamtdeckung der Vegetation:	25-50 %
Deckung der Strauchschicht:	keine
Deckung der hohen Krautschicht:	25-50 %
Deckung der niederen Krautschicht:	keine
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	sehr gering
Taxa:	<i>Festuca orthophylla</i> Pilg., <i>Junellia minima</i> (Meyen) Moldenke

Tab. 324: Profilbeschreibung Standort TZ VI.1

Azn	0-5 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Sand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; mittel durchwurzelt; trocken; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; geringe Summe der austauschbaren Basen mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; gering versalzter Salzboden mit sehr hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: TZ VI.1.1
Czn	5-30 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); lehmiger Feinsand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; geringe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; nicht versalzter Normalboden mit sehr hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: TZ VI.1.2
Cnk	30-50 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); feinsandiger Lehm mit mittlerem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; nicht versalzter Normalboden mit hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: TZ VI.1.3
2Ck	50-70/80 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); lehmiger Sand mit sehr hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate); nicht versalzter Normalboden mit mittlerer Borkonzentration	Proben-Nr.: TZ VI.1.4
2CRk	70/80-80 cm u. GOF 10YR 6/4 hell gelblich braun (trocken); 10YR 4/4 dunkel gelblich braun (feucht); Grobsand mit extrem hohem Grobbodenanteil; Kittgefüge; stark verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; extrem schwach humos; carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate); nicht versalzter Normalboden mit sehr geringer Borkonzentration	Proben-Nr.: TZ VI.1.5
2R	80-... cm u. GOF	anstehendes Festgestein

Tab. 325: Physikalische Bodenparameter Standort TZ VI.1

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	VV %
		ggS	gS	mS	fs	ffS	S	U	T						
TZ VI.1.1	0-5	4,5	17,0	21,2	31,1	14,9	88,8	8,7	2,5	S	8				
TZ VI.1.2	5-30	2,2	7,8	12,0	33,9	23,1	79,1	16,3	4,6	l fs	10				
TZ VI.1.3	30-50	3,5	10,1	12,1	31,0	18,5	75,2	19,5	5,3	fs L	22				
TZ VI.1.4	50-75	10,6	14,4	16,1	30,2	11,3	82,7	12,8	4,5	l S	60-85				
TZ VI.1.5	75-80	20,5	19,2	19,2	28,5	5,6	93,2	4,9	2,0	gS	> 85				

Tab. 326: Chemische Bodenparameter Standort TZ VI.1

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl2}	Basensättigung %
TZ VI.1.1	0-5	Azn	0,19	0,3	0,0	0	0,13	8,0	100
TZ VI.1.2	5-30	Czn	0,06	0,1	0,06	0	0,05	8,3	100
TZ VI.1.3	30-50	Cnk	0,12	0,2	0,6	0	0,04	8,2	100
TZ VI.1.4	50-75	2Ck	0,16	0,3	0,5	0	0,03	8,1	100
TZ VI.1.5	75-80	2CRk	0,11	0,2	1,3	0	0,04	8,0	100

Tab. 327: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort TZ VI.1

Tiefe cm	NH ₄ OAc-extr. Basen in mval/100g					lösliche Basen in mval/100g					austauschbare Basen in mval/100g				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-5	4,1	0,6	0,7	1,2	6,6	0,55	0,12	0,07	0,76	1,49	3,6	0,5	0,6	0,4	5,1
5-30	4,9	1,4	0,6	0,9	7,8	0,04	0,02	0,01	0,26	0,33	4,9	1,4	0,6	0,7	7,5
30-50	17,3	1,8	0,6	0,6	20,3	0,04	0,02	0,01	0,13	0,20	17,3	1,8	0,6	0,4	20,1
50-75	18,2	2,3	0,5	0,5	21,6	0,04	0,02	0,00	0,08	0,15	18,2	2,3	0,5	0,4	21,4
75-80	30,2	2,6	0,5	0,5	33,8	0,12	0,05	0,01	0,21	0,38	30,0	2,6	0,5	0,3	33,4

Tab. 328: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval/100g Boden Standort TZ VI.1

Tiefe cm	Anteil an extr. Basen in %					Anteil an lösl. Basen in %					Anteil an aust. Ba. in %					Anteil lösl. an extr. Basen in %				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-5	62,7	9,0	10,7	17,6	100	36,6	8,0	4,7	50,7	100	70,4	9,3	12,5	7,9	100	13,3	20,2	10,0	65,4	23
5-30	62,5	18,0	7,5	12,1	100	11,6	5,5	3,3	79,6	100	64,7	18,5	7,7	9,1	100	0,8	1,3	1,9	27,9	4
30-50	85,4	9,0	2,8	2,8	100	21,9	9,7	3,0	65,4	100	86,1	9,0	2,8	2,2	100	0,3	1,1	1,1	23,3	1
50-75	84,5	10,9	2,5	2,1	100	28,1	14,0	3,0	55,0	100	84,9	10,8	2,5	1,8	100	0,2	0,9	0,9	18,3	1
75-80	89,2	7,8	1,4	1,6	100	31,4	11,9	2,9	53,7	100	89,8	7,7	1,4	1,0	100	0,4	1,7	2,3	38,0	1

Tab. 329: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten Standort TZ VI.1

Tiefe cm	lösliche Kationen im Sättigungsextrakt in mval/l						lösliche Anionen im Sättigungsextrakt in mval/l						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-5	18,8	4,1	2,4	26,0	0,00	51,4	0,00	2,9	40,0	8,2	0,04	0,0	51,1
5-30	1,4	0,7	0,4	9,6	0,00	12,0	0,10	4,4	6,4	1,1	0,12	0,0	12,1
30-50	1,8	0,8	0,3	5,5	0,00	8,4	0,10	4,3	3,3	0,7	0,06	0,0	8,5
50-75	1,8	0,9	0,2	3,6	0,00	6,5	0,00	2,9	2,9	0,6	0,03	0,0	6,4
75-80	4,1	1,6	0,4	7,0	0,00	13,1	0,00	4,0	6,7	0,1	0,00	0,0	10,8

Tab. 330: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten bezogen auf mval/l Standort TZ VI.1

Tiefe cm	Anteil an löslichen Kationen im Sättigungsextrakt in %						Anteil an löslichen Anionen im Sättigungsextrakt in %						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-5	36,6	8,0	4,7	50,7	0,00	100,0	0,00	5,7	78,2	16,0	0,09	0,00	100,0
5-30	11,6	5,5	3,3	79,6	0,00	100,0	0,82	36,2	52,5	9,5	0,97	0,00	100,0
30-50	21,9	9,7	3,0	65,4	0,00	100,0	1,18	50,7	38,9	8,5	0,75	0,00	100,0
50-75	28,1	14,0	3,0	55,0	0,00	100,0	0,00	45,0	45,0	9,5	0,40	0,00	100,0
75-80	31,4	11,9	2,9	53,7	0,00	100,0	0,00	37,2	62,0	0,9	0,00	0,00	100,0

Tab. 331: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort TZ VI.1

Tiefe cm	Sätt. %	lösliche Kationen in mg/100g Boden						lösliche Anionen in mg/100g Boden						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-5	29,0	10,9	1,5	2,7	17,4	0,00	32,5	0,00	5,1	41,2	11,4	0,10	0,0	57,9
5-30	27,5	0,8	0,2	0,4	6,1	0,00	7,5	0,08	7,4	6,2	1,5	0,26	0,0	15,4
30-50	24,1	0,9	0,2	0,2	3,1	0,00	4,4	0,07	6,3	2,8	0,8	0,12	0,0	10,2
50-75	23,8	0,9	0,3	0,2	1,9	0,00	3,3	0,00	4,2	2,4	0,7	0,05	0,0	7,4
75-80	29,1	2,4	0,6	0,4	4,7	0,00	8,1	0,00	7,1	6,9	0,1	0,00	0,0	14,1

Tab. 332: EC_e, SAR, pH_e, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte Standort TZ VI.1

Tiefe cm	EC _e mS/cm	SAR	pH _e	Bor - B	Bor - B	lösl. Kat.	lösl. An.	EC _e *10	lösl. Kat.	lösl. An.	B(OH) ₃ ⁰	Summe	Salze n. EC _e
				mg/l	mg/100g	mval/l	mval/l	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	
0-5	5,3	7,7	7,7	5,02	0,15	51,4	51,1	53,0	32,5	57,9	0,8	91,2	98,5
5-30	1,4	9,5	8,3	7,51	0,21	12,0	12,1	13,7	7,5	15,4	1,0	23,9	24,1
30-50	0,9	4,8	8,4	3,84	0,09	8,4	8,5	8,7	4,4	10,2	0,4	15,0	13,4
50-75	0,7	3,1	8,1	1,84	0,04	6,5	6,4	6,8	3,3	7,4	0,2	10,9	10,3
75-80	0,6	4,2	7,2	-0,04	0,00	13,1	10,8	6,4	8,1	14,1	0,0	22,2	11,9

Tab. 333: Vegetation Standort RZ VI.1

Datum der Aufnahme:	11.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	4
Gesamtdeckung der Vegetation:	25-50 %
Deckung der Strauchschicht:	keine
Deckung der hohen Krautschicht:	25-50 %
Deckung der niederen Krautschicht:	< 5 %
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	sehr gering
Taxa:	<i>Hoffmannseggia</i> ssp. Cav., <i>Festuca orthophylla</i> Pilg., <i>Junellia minima</i> (Meyen) Moldenke

Tab. 334: Profilbeschreibung Standort RZ VI.1

A	0-5 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Sand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; mittel durchwurzelt; trocken; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC _s ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; geringe Summe der austauschbaren Basen; nicht versalzter Normalboden mit mittlerer Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ VI.1.1
Czn	5-17/12 cm u. GOF 10YR 7/2 hellgrau (trocken); 10YR 5/2 gräulich braun (feucht); Sand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht bis feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC _s ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; geringe Summe der austauschbaren Basen mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; nicht versalzter Normalboden mit hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ VI.1.2
Cznk	17/12-21/16 cm u. GOF 10YR 7/3 sehr fahl braun (trocken); 10YR 5/3 braun (feucht); feinsandiger Lehm mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht bis feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC _s ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung mittlere Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) sehr hohem Natriumanteil; nicht versalzter Alkaliboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ VI.1.3

Czn	21/16-30 cm u. GOF 10YR 7/3 sehr fahl braun (trocken); 10YR 5/3 braun (feucht); feinsandiger Lehm mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht bis feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; geringe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) sehr hohem Natriumanteil; nicht versalzter Alkaliboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ VI.1.4
C'zmk1	30-43/50 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); sandiger Lehm mit mittlerem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatarm; gipsfrei; gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; hohe Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil mittel versalzter Salzkalkiboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ VI.1.5
2C'zmk2	43/50-60/62 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); lehmiger Sand mit sehr hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; mäßig erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung mittlere Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil mittel versalzter Salzboden mit sehr hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ VI.1.6
2CRzmk	60/62-80 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 4/3 braun (feucht); Grobsand mit extrem hohem Grobbodenanteil; Kittgefüge; stark verfestigt; geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; feucht; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung mittlere Summe der austauschbaren Basen (erhöht durch NH ₄ OAc-lösliche Carbonate) mit relativ (zum Ausgangsmaterial) hohem Natriumanteil; sehr gering versalzter Normalboden mit hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ VI.1.7
2R	80-... cm u. GOF	anstehendes Festgestein

Tab. 335: Physikalische Bodenparameter Standort RZ VI.1

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Boden- art	Grob- %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	VV %
		ggS	gS	mS	fs	ffS	S	U	T						
RZ VI.1.1	0-5	6,4	16,7	19,4	29,0	17,1	88,7	9,4	1,9	S	10				
RZ VI.1.2	5-14,5	2,7	12,2	20,4	37,3	15,9	88,6	8,8	2,6	S	3	1,10	2,29	51,8	18,2
RZ VI.1.3	14,5-18,5	1,2	5,1	10,3	32,9	23,6	73,2	20,4	6,5	fs L	3				
RZ VI.1.4	18,5-30	3,6	7,3	10,4	32,6	22,4	76,4	19,3	4,3	fs L	7	1,38	2,46	43,9	18,9
RZ VI.1.5	30-46,5	7,1	9,1	11,0	29,0	17,8	74,0	21,2	4,7	s L	15-40	1,42	2,52	43,7	19,4
RZ VI.1.6	46,5-61	12,5	13,7	14,7	30,6	11,2	82,8	12,6	4,7	l S	60-85	1,45	2,50	42,1	19,1
RZ VI.1.7	61-80	29,3	27,1	19,4	15,2	2,2	93,3	3,5	3,2	gS	> 85				

Tab. 336: Chemische Bodenparameter Standort RZ VI.1

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl₂}	Basensättigung %
RZ VI.1.1	0-5	A	0,30	0,5	0,0	0	0,02	8,1	100
RZ VI.1.2	5-14,5	Czn	0,11	0,2	0,02	0	0,05	8,1	100
RZ VI.1.3	14,5-18,5	Czmk	0,12	0,2	0,1	0	0,09	8,4	100
RZ VI.1.4	18,5-30	Czn	0,06	0,1	0,05	0	0,08	8,6	100
RZ VI.1.5	30-46,5	C'zmk1	0,11	0,2	0,5	0	0,20	8,5	100
RZ VI.1.6	46,5-61	2C'zmk2	0,12	0,2	0,3	0	0,21	8,3	100
RZ VI.1.7	61-80	2CRzmk	0,11	0,2	0,3	0	0,07	8,1	100

Tab. 337: Extrahierbare, lösliche und austauschbare Basen Standort RZ VI.1

Tiefe cm	NH ₄ OAc-extr. Basen in mval/100g					lösliche Basen in mval/100g					austauschbare Basen in mval/100g				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-5	4,0	0,7	0,7	0,1	5,5	0,07	0,02	0,03	0,03	0,14	3,9	0,7	0,7	0,1	5,3
5-14,5	3,3	0,8	1,1	0,5	5,6	0,01	0,01	0,04	0,13	0,19	3,3	0,8	1,1	0,4	5,4
14,5-18,5	5,1	1,6	1,7	2,4	10,7	0,01	0,01	0,02	0,25	0,30	5,1	1,6	1,7	2,1	10,4
18,5-30	4,0	1,1	1,0	2,0	8,1	0,02	0,01	0,02	0,34	0,38	3,9	1,1	1,0	1,7	7,7
30-46,5	15,1	1,6	0,8	3,2	20,7	0,35	0,15	0,04	1,52	2,06	14,8	1,5	0,8	1,6	18,7
46,5-61	11,7	2,3	0,6	2,1	16,7	0,79	0,42	0,02	1,08	2,31	10,9	1,9	0,6	1,0	14,4
61-80	11,8	2,4	0,5	0,8	15,5	0,19	0,11	0,01	0,27	0,58	11,6	2,3	0,5	0,6	14,9

Tab. 338: Anteile extrahierbarer, löslicher und austauschbarer Basen bezogen auf mval/100g Boden Standort RZ VI.1

Tiefe cm	Anteil an extr. Basen in %					Anteil an lösl. Basen in %					Anteil an aust. Ba. in %					Anteil lösl. an extr. Basen in %				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Sum.
0-5	72,7	12,3	13,0	2,0	100	47,4	12,5	19,4	20,7	100	73,4	12,3	12,8	1,5	100	1,7	2,7	3,9	26,9	3
5-14,5	58,1	13,5	19,6	8,8	100	7,0	3,2	19,1	70,7	100	59,9	13,8	19,6	6,6	100	0,4	0,8	3,2	26,9	3
14,5-18,5	47,3	14,6	16,0	22,1	100	4,8	3,4	7,0	84,8	100	48,5	14,9	16,3	20,3	100	0,3	0,6	1,2	10,7	3
18,5-30	48,8	13,1	12,7	25,3	100	4,2	2,0	4,2	89,7	100	51,0	13,7	13,2	22,1	100	0,4	0,7	1,5	16,5	5
30-46,5	72,8	7,8	4,1	15,3	100	17,1	7,3	1,7	73,9	100	78,9	7,9	4,4	8,8	100	2,3	9,2	4,2	48,1	10
46,5-61	70,1	13,7	3,4	12,8	100	34,3	18,0	0,9	46,9	100	75,9	13,0	3,8	7,3	100	6,8	18,2	3,6	50,9	14
61-80	76,3	15,3	3,0	5,4	100	33,1	19,4	1,6	46,0	100	78,0	15,1	3,1	3,8	100	1,6	4,8	2,0	32,1	4

Tab. 339: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten Standort RZ VI.1

Tiefe cm	lösliche Kationen im Sättigungsextrakt in mval/l						lösliche Anionen im Sättigungsextrakt in mval/l						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-5	2,5	0,7	1,0	1,1	0,04	5,3	0,00	2,9	0,5	0,5	0,02	0,0	3,9
5-14,5	0,4	0,2	1,2	4,5	0,07	6,5	0,10	4,9	0,2	0,3	0,04	0,9	6,5
14,5-18,5	0,5	0,4	0,8	9,3	0,18	11,1	0,40	7,8	0,5	1,2	0,19	0,8	10,9
18,5-30	0,6	0,3	0,6	12,9	0,05	14,5	0,40	5,9	4,9	2,8	0,36	0,7	15,1
30-46,5	14,5	6,2	1,5	62,8	0,00	85,0	0,00	3,0	50,0	29,7	0,27	1,5	84,5
46,5-61	36,1	18,9	0,9	49,3	0,00	105,3	0,00	1,8	78,0	25,6	0,07	0,0	105,5
61-80	8,4	4,9	0,4	11,7	0,00	25,5	0,00	1,6	21,0	3,0	0,02	0,0	25,6

Tab. 340: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten bezogen auf mval/l Standort RZ VI.1

Tiefe cm	Anteil an löslichen Kationen im Sättigungsextrakt in %						Anteil an löslichen Anionen im Sättigungsextrakt in %						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-5	47,1	12,4	19,3	20,5	0,67	100,0	0,00	74,7	12,2	12,6	0,50	0,00	100,0
5-14,5	6,9	3,2	18,9	69,9	1,10	100,0	1,55	75,8	3,1	5,0	0,60	13,97	100,0
14,5-18,5	4,7	3,3	6,9	83,5	1,60	100,0	3,68	71,8	4,6	11,0	1,77	7,13	100,0
18,5-30	4,1	2,0	4,2	89,3	0,37	100,0	2,66	39,2	32,5	18,8	2,37	4,50	100,0
30-46,5	17,1	7,3	1,7	73,9	0,00	100,0	0,00	3,5	59,1	35,2	0,32	1,81	100,0
46,5-61	34,3	18,0	0,9	46,9	0,00	100,0	0,00	1,7	73,9	24,3	0,06	0,00	100,0
61-80	33,1	19,4	1,6	46,0	0,00	100,0	0,00	6,1	82,1	11,7	0,10	0,00	100,0

Tab. 341: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ VI.1

Tiefe cm	Sätt. %	lösliche Kationen in mg/100g Boden						lösliche Anionen in mg/100g Boden						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-5	27,4	1,4	0,2	1,1	0,7	0,02	3,4	0,00	4,8	0,5	0,6	0,04	0,0	6,0
5-14,5	29,1	0,3	0,1	1,4	3,0	0,04	4,8	0,09	8,7	0,2	0,5	0,09	1,6	11,2
14,5-18,5	27,2	0,3	0,1	0,8	5,8	0,09	7,1	0,33	13,0	0,5	1,6	0,41	1,3	17,0
18,5-30	26,1	0,3	0,1	0,6	7,7	0,03	8,8	0,31	9,4	4,5	3,5	0,73	1,1	19,6
30-46,5	24,2	7,0	1,8	1,4	35,0	0,00	45,3	0,00	4,4	43,0	34,6	0,52	2,3	84,8
46,5-61	22,0	15,9	5,1	0,8	24,9	0,00	46,7	0,00	2,4	60,7	27,0	0,12	0,0	90,3
61-80	22,9	3,9	1,4	0,4	6,2	0,00	11,8	0,00	2,2	17,0	3,3	0,04	0,0	22,6

Tab. 342: EC_e, SAR, pH_e, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte Standort RZ VI.1

Tiefe cm	EC _e mS/cm	SAR	pH _e	Bor - B	Bor - B	lösl. Kat.	lösl. An.	EC _e *10	lösl. Kat.	lösl. An.	B(OH) ₃ ⁰	Summe	Salze n. EC _e
				mg/l	mg/100g	mval/l	mval/l	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g
0-5	0,6	0,9	8,1	1,39	0,04	5,3	3,9	5,7	3,4	6,0	0,2	9,6	10,0
5-14,5	0,7	7,9	8,4	2,31	0,07	6,5	6,5	6,7	4,8	11,2	0,3	16,3	12,5
14,5-18,5	1,0	13,9	8,6	10,37	0,28	11,1	10,9	10,3	7,1	17,0	1,3	25,5	18,0
18,5-30	1,5	19,4	8,75	19,27	0,50	14,5	15,1	14,8	8,8	19,6	2,3	30,7	24,7
30-46,5	8,2	19,5	8,05	21,00	0,51	85,0	84,5	82,0	45,3	84,8	2,5	132,6	127,2
46,5-61	9,8	9,4	7,7	7,63	0,17	105,3	105,5	98,4	46,7	90,3	0,9	137,8	138,3
61-80	2,8	4,5	7,8	2,40	0,05	25,5	25,6	27,9	11,8	22,6	0,3	34,6	40,8

Tab. 343: Lageparameter Standort VI.2

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Yunguyo Hoja 5937 III
UTM-Koordinaten:	19KEV735114
Topographische Lage:	5 km SSW von Esmeralda
Luftbild-Nr.:	4722
Höhe ü. M.:	3695 m
Höhe ü. GW-Stand:	4 m (TZ) / 3 m (RZ)
Neigung:	0 °
Exposition:	keine
Reliefformtyp:	Tiefenbereich
Umgebung des Standortes:	südl. des vegetationslosen Tiefenbereichs der Ebene
Dünen:	bis 1,2 m hoch
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	keine
Aktuelle Bodennutzung:	Lama-, Alpaka und/oder Schafweide
Anthropogene Veränderungen:	keine
Bodenausgangsmaterial:	fluviatil und äolisch abgelagertes Lockergestein, ab 83 u. GOF skelettreich (runde Steine)
Oberfl. anstehendes Festgestein:	kein
Standorteinheit:	äolisch geprägte Alluvialebene
Vegetationshaupteinheit:	<i>Lampaya castellani</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Lampaya castellani</i> - <i>Parastrephia lepidophylla</i> - <i>Festuca orthophylla</i>
Bodeneinheit:	Ustorthent (USDA), Lockersyrosem (DBG)

Tab. 344: Vegetation Standort TZ VI.2

Datum der Aufnahme:	14.09.1996
Gesamtzahl der Taxa:	5
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	5-25 %
Deckung der niederen Krautschicht:	keine
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Parastrephia lepidophylla</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Festuca orthophylla</i> Pilg., <i>Lampaya castellani</i> Moldenke, <i>Parastrephia phyllicaeformis</i> (Walp.) Cabrera

Tab. 345: Profilbeschreibung Standort TZ VI.2

A	0-20 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Sand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ VI.2.1
C1	20-40 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Sand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ VI.2.2
C2	40-70 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Sand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; scharfe Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ VI.2.3
C3	70-83 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht) mit Rostflecken; lehmiger Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge mittel verfestigt mittlere Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; trocken; scharfe Horizontuntergrenze; humusfrei; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ VI.2.4
2C4	83-105 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 4/3 braun (feucht); lehmiger Sand mit sehr hohem Grobbodenanteil; Kittgefüge mittel verfestigt mittlere Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; trocken; scharfe Horizontuntergrenze; humusfrei; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ VI.2.5
2C5	105-113/108 cm u. GOF 10YR 6/3 fahlbraun (trocken); 10YR 4/3 braun (feucht); lehmiger Sand mit sehr hohem Grobbodenanteil; Kittgefüge mittel verfestigt mittlere Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; trocken; scharfe Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach sauer (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ VI.2.6
2C6	113/108-120 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Grobsand mit sehr hohem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; schwach feucht; humusfrei; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ VI.2.7

Tab. 346: Physikalische Bodenparameter Standort TZ VI.2

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grob- b. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	VV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
TZ VI.2.1	0-20									S	3				
TZ VI.2.2	20-40									S	4				
TZ VI.2.3	40-70									S	10				
TZ VI.2.4	70-83									l fS	1				
TZ VI.2.5	83-105									l S	60-85				
TZ VI.2.6	105-110,5									l S	60-85				
TZ VI.2.7	110,5-120									gS	60-85				

Tab. 347: Chemische Bodenparameter Standort TZ VI.2

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl₂}	Basensättigung %
TZ VI.2.1	0-20	A	0,09	0,2	0,0		0,01	6,6	80-100
TZ VI.2.2	20-40	C1	0,08	0,1	0,0		0,01	6,9	80-100
TZ VI.2.3	40-70	C2	0,05	0,1	0,0		0,00	6,9	80-100
TZ VI.2.4	70-83	C3	0,02	0,0	0,0		0,01	6,7	80-100
TZ VI.2.5	83-105	2C4	0,02	0,0	0,0		0,01	6,7	80-100
TZ VI.2.6	105-110,5	2C5	0,03	0,1	0,0		0,01	6,5	80-100
TZ VI.2.7	110,5-120	2C6	0,00	0,0	0,0		0,00	6,6	80-100

Tab. 348: Vegetation Standort RZ VI.2

Datum der Aufnahme:	11.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	9
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	5-25 %
Deckung der niederen Krautschicht:	gering
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Euphorbia</i> ssp. L., <i>Parastrephia lepidophylla</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Hoffmannseggia</i> ssp. Cav., <i>Festuca orthophylla</i> Pilg., <i>Lampaya castellani</i> Moldenke, <i>Parastrephia phyllocaeformis</i> (Walp.) Cabrera; <i>Iridaceae</i> (2), <i>Poaceae</i> (2)

Tab. 349: Profilbeschreibung Standort RZ VI.2

A	0-20 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Sand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkornggefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ VI.2.1
C1	20-40 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Sand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkornggefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ VI.2.2
C2	40-70 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Sand mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkornggefüge; nicht verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; scharfe Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ VI.2.3

C3	70-83 cm u. GOF	Proben-Nr.: RZ VI.2.4
	10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht) mit Rostflecken; lehmiger Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; mittel verfestigt; mittlere Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; trocken; extrem schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	

Tab. 350: Physikalische Bodenparameter Standort RZ VI.2

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	VV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
RZ VI.2.1	0-20									S	3				
RZ VI.2.2	20-40									S	4				
RZ VI.2.3	40-70									S	10				
RZ VI.2.4	70-83									I fS	1				

Tab. 351: Chemische Bodenparameter Standort RZ VI.2

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl2}	Basensättigung %
RZ VI.2.1	0-20	A	0,11	0,2	0,0		0,01	6,9	80-100
RZ VI.2.2	20-40	C1	0,08	0,1	0,0		0,01	7,0	80-100
RZ VI.2.3	40-70	C2	0,04	0,1	0,0		0,01	6,8	80-100
RZ VI.2.4	70-83	C3	0,04	0,1	0,0		0,01	6,8	80-100

Tab. 352: Lageparameter Standort VI.3

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Yunguyo Hoja 5937 III
UTM-Koordinaten:	19KEV683015
Topographische Lage:	200 m E der Furt, welche die Straße Nr. 601 durch den Río Sabaya führt
Luftbild-Nr.:	4761
Höhe ü. M.:	3693 m
Höhe ü. GW-Stand:	3 m (TZ) / 2 m (RZ)
Neigung:	1 °
Exposition:	SE (130 °)
Reliefformtyp:	Tiefenbereich
Umgebung des Standortes:	150 m südwestl. des Standortes verläuft der Río Sabaya in einem 4 m tief in die Ebene eingeschnittenem Flussbett
Dünen:	flache Dünen um Vegetation
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	keine
Aktuelle Bodennutzung:	Lama-, Alpaka und/oder Schafweide
Anthropogene Veränderungen:	Straße Nr. 106 200 m W des Standorts
Bodenausgangsmaterial:	fluvial und äolisch abgelagertes Lockergestein
Oberfl. anstehendes Festgestein:	kein
Standorteinheit:	äolisch geprägte Alluvialebene
Vegetationshaupteinheit:	<i>Lampaya castellani</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Lampaya castellani</i> - <i>Parastrephia lepidophylla</i> - <i>Festuca orthophylla</i>
Bodeneinheit:	Ustifluvent (USDA), Regosol (DBG)

Tab. 353: Vegetation Standort TZ VI.3

Datum der Aufnahme:	07.09.1996
Gesamtzahl der Taxa:	4
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	< 5 %
Deckung der niederen Krautschicht:	keine
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Parastrephia lepidophylla</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Festuca orthophylla</i> Pilg., <i>Lampaya castellani</i> Moldenke, <i>Distichilis humilis</i> Phil. (vertrocknet)

Tab. 354: Profilbeschreibung Standort TZ VI.3

A1	0-2 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 3/2 sehr dunkel gräulich braun (feucht); Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; neutral (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ VI.3.1
A2	2-12 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); feinsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge mittel verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach alkalisch (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: TZ VI.3.2
Azk1	12-24 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); feinsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge mittel verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ VI.3.3
Azk2	24-36 cm u. GOF 2.5Y 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 2.5Y 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge mittel verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos mittel carbonathaltig; gipsfrei; sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ VI.3.4
Czk	36-70 cm u. GOF 2.5Y 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 2.5Y 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); feinsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; schwach carbonathaltig; gipsfrei; sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ VI.3.5
2Azkgb	70-95 cm u. GOF 2.5Y 7/2 hellgrau (trocken); 2.5Y 4/3 olivebraun (feucht) mit Rostflecken; schluffiger Tonlehm mit mittlerem Grobbodenanteil; Kittgefüge mittel verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatarm; gipsfrei; mäßig erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ VI.3.6
3Czg	95-120 cm u. GOF 10YR 7/1 hellgrau (trocken); 2.5Y 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Grobsand mit mittlerem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; schwach feucht; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ VI.3.7

Tab. 355: Physikalische Bodenparameter Standort TZ VI.3

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grob- %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	VV %
		ggS	gS	mS	fs	ffS	S	U	T						
TZ VI.3.1	0-2	0,6	5,1	16,9	38,9	26,9	88,3	9,1	2,7	f S	1				
TZ VI.3.2	2-12	1,0	3,9	12,8	34,3	23,2	75,3	15,5	9,2	fs L	2				
TZ VI.3.3	12-24	1,2	4,2	9,2	23,6	15,4	53,6	33,6	12,8	fs L	0,5				
TZ VI.3.4	24-36	0,6	2,5	7,2	19,1	11,7	41,1	44,0	14,9	L	0,5				
TZ VI.3.5	36-70	0,6	1,9	5,8	35,0	25,7	69,0	23,0	8,0	fs L	0,5				
TZ VI.3.6	70-95	1,1	1,7	1,0	1,9	1,6	7,3	56,5	36,2	u T L	15-40				
TZ VI.3.7	95-120	42,9	31,8	11,2	5,7	0,8	92,3	3,8	3,9	gS	22				

Tab. 356: Chemische Bodenparameter Standort TZ VI.3

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl₂}	Basensättigung %
TZ VI.3.1	0-2	A1	0,78	1,3	0,0	0	0,03	7,0	80-100
TZ VI.3.2	2-12	A2	0,41	0,7	0,0	0	0,01	7,4	80-100
TZ VI.3.3	12-24	Azk1	0,50	0,9	0,2	0	0,05	7,8	100
TZ VI.3.4	24-36	Azk2	0,56	1,0	5,8	0	0,06	8,0	100
TZ VI.3.5	36-70	Czk	0,23	0,4	2,2	0	0,08	8,0	100
TZ VI.3.6	70-95	2Azkgb	0,52	0,9	0,5	0	0,36	8,2	100
TZ VI.3.7	95-120	3Czg	0,05	0,1	0,02	0	0,10	8,3	100

Tab. 357: Vegetation Standort RZ VI.3

Datum der Aufnahme:	25.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	11
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	5-25 %
Deckung der hohen Krautschicht:	< 5 %
Deckung der niederen Krautschicht:	< 5 %
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	keine
Taxa:	<i>Bouteloua simplex</i> , <i>Geranium</i> oder <i>Tarasa</i> , <i>Tarasa ssp.</i> , <i>Euphorbia ssp.</i> L., <i>Parastrephia lepidophylla</i> (Wedd.) Cabrera, <i>Hoffmannseggia ssp.</i> Cav., <i>Festuca orthophylla</i> Pilg., <i>Lampaya castellani</i> Moldenke, <i>Poaceae</i> (2), <i>Distichilis humilis</i> Phil. (vertrocknet)

Tab. 358: Profilbeschreibung Standort RZ VI.3

A1	0-1 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 3/2 sehr dunkel gräulich braun (feucht); Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; deutliche Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach alkalisch (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ VI.3.1
A2	1-22 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); feinsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge mittel verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatfrei; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach alkalisch (CaCl ₂); sehr hohe Basensättigung	Proben-Nr.: RZ VI.3.2
Ak	22-32 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge mittel verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatarm; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; schwach alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ VI.3.3

ACk	32-50 cm u. GOF 2.5Y 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 2.5Y 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); feinstsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge mittel verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; schwach carbonathaltig; gipsfrei; nicht erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ VI.3.4
2ACzk	50-70 cm u. GOF 2.5Y 7/2 hellgrau (trocken); 2.5Y 4/3 olivebraun (feucht); Schlufflehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; scharfe Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; stark carbonathaltig; gipsfrei; sehr gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ VI.3.5
3Azkgb	70-80 cm u. GOF 2.5Y 5/1 grau (trocken); 2.5Y 3/1 sehr dunkel grau (feucht) mit Rostflecken; Lehm mit geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; mittel verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; trocken; deutliche Horizontuntergrenze; schwach humos; carbonatarm; gipsfrei; gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ VI.3.6
4ACzkgb	80-95 cm u. GOF 2.5Y 7/2 hellgrau (trocken); 2.5Y 5/3 hell olivebraun (feucht) mit Rostflecken; schluffiger Ton mit sehr geringem Grobbodenanteil; Kittgefüge; mittel verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; gering erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ VI.3.7
5Czg	95-109 cm u. GOF 10YR 6/1 grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Grobsand mit mittlerem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; schwach feucht; scharfe Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; sehr carbonatarm; gipsarm; geringer Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ VI.3.8
6A'zkgb	109-120 cm u. GOF 2.5Y 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 2.5Y 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); sandiger Lehm mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; schwach verfestigt; geringe Lagerungsdichte; nicht durchwurzelt; schwach feucht; sehr schwach humos; sehr carbonatarm; gipsfrei; mäßig erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: RZ VI.3.9

Tab. 359: Physikalische Bodenparameter Standort RZ VI.3

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
RZ VI.3.1	0-1	0,9	6,9	22,0	34,4	24,1	88,3	8,8	2,9	S	1				
RZ VI.3.2	1-22	0,5	2,9	11,7	34,0	21,6	70,7	16,5	12,8	fs L	0,5	1,2	2,39	48,4	14,1
RZ VI.3.3	22-32	0,1	0,6	3,1	22,9	24,9	51,7	33,1	15,2	L	0,1				
RZ VI.3.4	32-50	0,1	0,4	1,7	27,2	28,5	57,9	32,3	9,8	ffs L	0,1				
RZ VI.3.5	50-70	0,1	0,1	0,3	5,5	14,5	20,5	62,0	17,5	U L	0	1,1	2,43	53,5	13,6
RZ VI.3.6	70-80	5,4	5,7	2,9	8,9	9,5	32,5	45,8	21,7	L	11				
RZ VI.3.7	80-95	0,0	0,1	0,3	1,2	0,7	2,4	57,1	40,4	u T	1				
RZ VI.3.8	95-109	62,2	23,1	4,9	2,6	0,9	93,8	3,5	2,7	gS	39				
RZ VI.3.9	109-120	6,1	6,8	7,9	26,9	16,0	63,7	23,0	13,3	s L	4				

Tab. 360: Chemische Bodenparameter Standort RZ VI.3

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl2}	Basensättigung %
RZ VI.3.1	0-1	A1	0,45	0,8	0,0	0	0,03	7,4	80-100
RZ VI.3.2	1-22	A2	0,36	0,6	0,0	0	0,01	7,4	80-100
RZ VI.3.3	22-32	Ak	0,43	0,7	0,6	0	0,04	7,8	100
RZ VI.3.4	32-50	ACk	0,25	0,4	3,3	0	0,04	8,0	100
RZ VI.3.5	50-70	2ACzk	0,35	0,6	9,7	0	0,06	8,1	100
RZ VI.3.6	70-80	3Azkgb	1,05	1,8	1,4	0	0,10	8,1	100
RZ VI.3.7	80-95	4ACzkgb	0,31	0,5	0,1	0	0,18	8,0	100
RZ VI.3.8	95-109	5Czg	0,05	0,1	0,04	< 1	0,10	8,2	100
RZ VI.3.9	109-120	6A'zkgb	0,32	0,6	0,2	0	0,22	8,2	100

Tab. 361: Lageparameter Standort VII.1

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Río Lauca Hoja 5937 I
UTM-Koordinaten:	19KEV833266
Topographische Lage:	700 m WSW von der Betonbrücke, welche die Straße Nr. 601 über den Río Lauca führt
Luftbild-Nr.:	4276
Höhe ü. M.:	3705 m
Höhe ü. GW-Stand:	1,1 m (TZ) / 0,6 m (RZ)
Neigung:	0 °
Exposition:	keine
Reliefformtyp:	Tiefenbereich
Umgebung des Standortes:	700 m NE des Standortes verläuft der Río Lauca
Dünen:	keine
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	Salzausscheidungen (TZ), Halophytenvegetation
Aktuelle Bodennutzung:	Lama-, Alpaka und/oder Schafweide
Anthropogene Veränderungen:	Entwässerungsgräben und auf Trasse geführte Straße Nr. 601 mit Durchlässen verändern hydrologische Verhältnisse; Betonbrücke
Bodenausgangsmaterial:	fluviatil (und äolisch) abgelagertes Lockergestein
Oberfl. anstehendes Festgestein:	kein
Standorteinheit:	grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene
Vegetationshaupteinheit:	<i>Distichilis humilis</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Distichilis humilis</i> - <i>Salicornia pulvinata</i> - <i>Anthobryum triandrum</i>
Bodeneinheit	Halaquept (USDA)

Tab. 362: Vegetation Standort TZ VII.1

Datum der Aufnahme:	24.09.1996
Gesamtzahl der Taxa:	3
Gesamtdeckung der Vegetation:	25-50 %
Deckung der Strauchschicht:	keine
Deckung der hohen Krautschicht:	keine
Deckung der niederen Krautschicht:	< 5 %
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	25-50 %
Taxa:	<i>Distichilis humilis</i> Phil., <i>Salicornia pulvinata</i> R. E. Fr., <i>Anthobryum triandrum</i> (Remy) Surgis

Tab. 363: Profilbeschreibung Standort TZ VII.1

Aznk1	0-10 cm u. GOF 2.5Y 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 2.5Y 4/3 olivebraun (feucht); lehmiger Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Krümelgefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr stark durchwurzelt; schwach feucht; diffuse Horizontuntergrenze; schwach humos; carbonatarm; gipsarm; extrem erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr stark versalzter Salzalkaliboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: TZ VII.1.1
Aznk2	10-30 cm u. GOF 2.5Y 7/2 hellgrau (trocken); 2.5Y 4/3 olivebraun (feucht); feinsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkornggefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; schwach feucht; deutliche Horizontuntergrenze; schwach humos; schwach carbonathaltig; gipsarm; extrem erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr stark versalzter Salzalkaliboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: TZ VII.1.2
ACznk	30-70 cm u. GOF 2.5Y 7/2 hellgrau (trocken); 2.5Y 5/3 hell olivebraun (feucht); lehmiger Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkornggefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; feucht; diffuse Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; schwach carbonathaltig; gipsfrei; sehr stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr stark versalzter Salzalkaliboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: TZ VII.1.3

Czngk1	70-77 cm u. GOF 2.5Y 8/1 weiß (trocken); 2.5Y 5/2 gräulich braun (feucht); sandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; stark feucht; scharfe Horizontuntergrenze; humusfrei; schwach carbonathaltig; gipsfrei; sehr stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ VII.1.4
Czngk2	77-100 cm u. GOF 2.5Y 8/1 weiß (trocken); 2.5Y 5/2 gräulich braun (feucht) mit Rost- und Manganflecken; Schlufflehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; stark feucht; diffuse Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; stark carbonathaltig; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ VII.1.5
2Azngkb	100-110 cm u. GOF 10YR 6/2 hell bräunlich grau (trocken); 10YR 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); Lehm mit geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; nass; extrem schwach humos mittel carbonathaltig; gipsfrei; mäßig erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung	Proben-Nr.: TZ VII.1.6
Grundwasser	110-... cm u. GOF mittel versalztes Salzkalkgrundwasser mit sehr hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: TZ VII.1.GW

Tab. 364: Physikalische Bodenparameter Standort TZ VII.1

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Boden- art	Grob- b. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	VV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
TZ VII.1.1	0-10	1,5	11,9	22,1	25,6	16,1	77,2	16,9	5,8	IS	0				
TZ VII.1.2	10-30	0,5	2,2	6,1	30,3	18,1	57,3	29,2	13,5	fs L	0,1				
TZ VII.1.3	30-70	0,5	4,4	10,5	41,5	21,5	78,4	16,0	5,6	IS	0,1				
TZ VII.1.4	70-77	0,1	8,7	23,9	25,3	12,2	70,2	25,4	4,4	s L	0				
TZ VII.1.5	77-100	0,4	1,8	6,0	16,6	19,4	44,3	50,1	5,6	UL	0,1				
TZ VII.1.6	100-110	2,7	4,6	4,8	17,6	21,0	50,6	41,5	7,9	L	4				

Tab. 365: Chemische Bodenparameter Standort TZ VII.1

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl₂}	Basensättigung %
TZ VII.1.1	0-10	Azngk1	0,90	1,5	1,0	1	1,66	7,9	100
TZ VII.1.2	10-30	Azngk2	1,13	1,9	2,1	< 1	1,93	8,2	100
TZ VII.1.3	30-70	ACzngk	0,32	0,6	3,9	0	1,28	8,5	100
TZ VII.1.4	70-77	Czngk1	0,00	0,0	2,0	0	1,02	8,6	100
TZ VII.1.5	77-100	Czngk2	0,10	0,2	7,0	0	0,43	8,2	100
TZ VII.1.6	100-110	2Azngkb	0,28	0,5	6,1	0	0,24	8,0	100

Tab. 366: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser Standort TZ VII.1

Tiefe cm	lösliche Kationen im Sättigungsextrakt in mval/l						lösliche Anionen im Sättigungsextrakt in mval/l						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-10	61,9	70,2	18,7	375,0	0,00	525,8	0,00	6,2	425,0	84,4	0,10	0,0	515,7
10-30	60,5	64,0	20,3	403,3	0,07	548,1	0,00	5,6	455,0	82,3	0,21	0,5	543,6
30-70	55,4	49,4	16,8	402,2	0,07	523,8	0,00	2,0	420,0	92,7	0,15	0,3	515,2
:													
GW 110-...	8,4	17,9	2,9	77,3	0,00	106,4	0,40	5,6	78,5	25,0	0,08	0,0	109,6

Tab. 367: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser bezogen auf mval/l Standort TZ VII.1

Tiefe cm	Anteil an löslichen Kationen im Sättigungsextrakt in %						Anteil an löslichen Anionen im Sättigungsextrakt in %						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-10	11,8	13,3	3,6	71,3	0,00	100,0	0,00	1,2	82,4	16,4	0,02	0,00	100,0
10-30	11,0	11,7	3,7	73,6	0,01	100,0	0,00	1,0	83,7	15,1	0,04	0,10	100,0
30-70	10,6	9,4	3,2	76,8	0,01	100,0	0,00	0,4	81,5	18,0	0,03	0,06	100,0
:													
GW 110-...	7,9	16,8	2,7	72,6	0,00	100,0	0,36	5,1	71,6	22,8	0,07	0,00	100,0

Tab. 368: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort TZ VII.1

Tiefe cm	Sätt. %	lösliche Kationen in mg/100g Boden						lösliche Anionen in mg/100g Boden						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-10	32,6	40,4	27,8	23,9	281,1	0,00	373,2	0,00	12,2	491,2	132,2	0,26	0,0	635,9
10-30	47,3	57,3	36,8	37,5	438,6	0,06	570,2	0,00	16,2	762,9	186,9	0,79	1,6	968,3
30-70	32,3	35,9	19,4	21,2	299,0	0,04	375,5	0,00	3,9	481,4	143,9	0,38	0,6	630,2

Tab. 369: EC_{e/w}, SAR, pH_{e/w}, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte und des Grundwassers Standort TZ VII.1

Tiefe cm	EC _{e/w} mS/cm	SAR	pH _{e/w}	Bor - B	Bor - B	lösl. Kat.	lösl. An.	EC _{e/w} *10	lösl. Kat.	lösl. An.	B(OH) ₃ ⁰	Summe	Salze n. EC _{e/w}
				mg/l	mg/100g	mval/l	mval/l		mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g
0-10	50,3	46,2	7,6	13,50	0,44	525,8	515,7	502,5	373,2	635,9	2,3	1.011,4	1.048,2
10-30	52,7	51,1	7,8	20,87	0,99	548,1	543,6	526,5	570,2	968,3	5,0	1.543,5	1.593,3
30-70	50,4	55,6	7,6	19,95	0,64	523,8	515,2	503,7	375,5	630,2	3,4	1.009,1	1.042,0
:													
GW 110-...	10,4	21,3	8,0	6,83		106,4	109,6	104,3					

Tab. 370: Vegetation Standort RZ VII.1

Datum der Aufnahme:	30.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	3
Gesamtdeckung der Vegetation:	25-50 %
Deckung der Strauchschicht:	keine
Deckung der hohen Krautschicht:	keine
Deckung der niederen Krautschicht:	< 5 %
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	25-50 %
Taxa:	<i>Distichlis humilis</i> Phil., <i>Salicornia pulvinata</i> R. E. Fr., <i>Anthobryum triandrum</i> (Remy) Surgis

Tab. 371: Profilbeschreibung Standort RZ VII.1

Aznk1	0-12 cm u. GOF 2.5Y 6/3 hell gelblich braun (trocken); 2.5Y 4/3 olivebraun (feucht); feinsandiger Lehm mit sehr geringem Grob- bodenanteil; Krümelgefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr stark durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; schwach humos; carbonatarm; sehr gipsarm; sehr stark erhöhter Salzge- halt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr stark versalzter Salzalkaliboden mit ex- trem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ VII.1.1
Aznk2	12-21 cm u. GOF 2.5Y 6/3 hell gelblich braun (trocken); 2.5Y 4/3 olivebraun (feucht); feinsandiger Lehm mit sehr geringem Grob- bodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; schwach carbonathaltig; gipsarm; extrem hoher Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; extrem versalzter Salzalkaliboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ VII.1.2

ACznkg1	21-30 cm u. GOF 10YR 7/2 hellgrau (trocken); 10YR 5/2 gräulich braun (feucht); feinsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; schwach carbonathaltig; gipsarm; extrem erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; extrem versalzter Salzkalkiboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ VII.1.3
ACznkg2	30-41 cm u. GOF 10YR 7/2 hellgrau (trocken); 10YR 5/2 gräulich braun (feucht); feinsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; stark feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; schwach carbonathaltig; gipsfrei; extrem erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; extrem versalzter Salzkalkiboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ VII.1.4
2Aznkgb	41-55 cm u. GOF 10YR 8/2 sehr fahl braun (trocken); 10YR 6/3 fahlbraun (feucht); Schlufflehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; nass; deutliche Horizontuntergrenze; sehr schwach humos; carbonatreich; gipsfrei; extrem erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr stark versalzter Salzkalkiboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ VII.1.5
3CWznkg	55-70 cm u. GOF 10YR 7/1 hellgrau (trocken); 2.5Y 5/2 gräulich braun (feucht); Feinsand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; stark nass; humusfrei; schwach carbonathaltig; gipsfrei; sehr stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; stark versalzter Salzkalkiboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ VII.1.6
Grundwasser	60-... cm u. GOF sehr stark versalztes Salzkalkigrundwasser mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ VII.1.GW

Tab. 372: Physikalische Bodenparameter Standort RZ VII.1

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	WV %
		ggS	gS	mS	fs	ffS	S	U	T						
RZ VII.1.1	0-12	0,6	4,2	10,7	33,0	15,5	64,0	27,7	8,4	fs L	1,0				
RZ VII.1.2	12-21	1,1	2,3	6,7	27,2	18,5	55,8	35,3	8,9	fs L	0,5	1,24	2,44	49,0	34,2
RZ VII.1.3	21-30	0,4	5,5	13,5	33,2	22,7	75,3	18,3	6,4	fs L	0,1				
RZ VII.1.4	30-41	0,4	4,2	10,9	35,4	23,9	74,8	20,0	5,2	fs L	0,2	1,16	2,39	51,6	38,8
RZ VII.1.5	41-55	0,1	0,7	2,7	15,1	14,1	32,7	56,2	11,1	U L	0	1,08	2,40	54,9	51,9
RZ VII.1.6	55-70	0,1	1,8	9,5	68,3	13,7	93,3	6,0	0,6	fs	0,1	1,37	2,30	40,5	39,2

Tab. 373: Chemische Bodenparameter Standort RZ VII.1

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl2}	Basensättigung %
RZ VII.1.1	0-12	Aznk1	0,70	1,2	1,5	<< 1	1,21	8,8	100
RZ VII.1.2	12-21	Aznk2	0,59	1,0	2,1	< 1	3,35	8,8	100
RZ VII.1.3	21-30	ACznkg1	0,30	0,5	3,7	< 1	2,34	8,7	100
RZ VII.1.4	30-41	ACznkg2	0,31	0,5	3,5	0	1,74	8,7	100
RZ VII.1.5	41-55	2Aznkgb	0,53	0,9	13,1	0	1,97	8,5	100
RZ VII.1.6	55-70	3CWznkg	0,00	0,0	2,0	0	0,85	8,8	100

Tab. 374: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser Standort RZ VII.1

Tiefe cm	lösliche Kationen im Sättigungsextrakt in mval/l						lösliche Anionen im Sättigungsextrakt in mval/l						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-12	24,7	33,1	19,2	357,6	0,00	434,7	0,80	6,0	280,0	137,7	0,91	0,0	425,5
12-21	56,0	84,4	54,6	1.197,8	0,54	1.393,3	0,00	4,3	1.112,5	230,2	0,36	0,0	1347,3
21-30	68,0	70,0	43,0	834,8	0,11	1.015,8	0,00	1,6	850,0	80,4	0,17	0,0	932,2
30-41	69,0	65,0	31,1	598,9	0,25	764,3	0,00	1,6	655,0	112,8	0,18	0,0	769,5
41-55	61,6	59,7	23,2	439,1	0,07	583,7	0,00	1,7	503,1	96,7	0,17	0,0	601,6
55-70	43,2	26,3	13,3	255,1	0,00	337,9	0,00	1,2	268,8	68,1	0,09	0,0	338,1
GW 60-...	19,1	65,8	13,0	275,1	0,00	373,1	0,88	6,2	295,0	72,5	0,22	0,0	374,9

Tab. 375: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser bezogen auf mval/l Standort RZ VII.1

Tiefe cm	Anteil an löslichen Kationen im Sättigungsextrakt in %						Anteil an löslichen Anionen im Sättigungsextrakt in %						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-12	5,7	7,6	4,4	82,3	0,00	100,0	0,19	1,4	65,8	32,4	0,21	0,00	100,0
12-21	4,0	6,1	3,9	86,0	0,04	100,0	0,00	0,3	82,6	17,1	0,03	0,00	100,0
21-30	6,7	6,9	4,2	82,2	0,01	100,0	0,00	0,2	91,2	8,6	0,02	0,00	100,0
30-41	9,0	8,5	4,1	78,4	0,03	100,0	0,00	0,2	85,1	14,7	0,02	0,00	100,0
41-55	10,6	10,2	4,0	75,2	0,01	100,0	0,00	0,3	83,6	16,1	0,03	0,00	100,0
55-70	12,8	7,8	3,9	75,5	0,00	100,0	0,00	0,3	79,5	20,1	0,03	0,00	100,0
GW 60-...	5,1	17,6	3,5	73,7	0,00	100,0	0,24	1,7	78,7	19,4	0,06	0,00	100,0

Tab. 376: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ VII.1

Tiefe cm	Sätt. %	lösliche Kationen in mg/100g Boden						lösliche Anionen in mg/100g Boden						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-12	37,6	18,6	15,1	28,3	309,1	0,00	371,1	0,90	13,8	373,1	248,6	2,69	0,0	639,1
12-21	34,0	38,2	34,9	72,6	936,7	0,33	1.082,6	0,00	8,9	1.341,3	375,9	0,96	0,0	1.727,1
21-30	32,1	43,7	27,3	53,9	615,8	0,06	740,7	0,00	3,2	966,6	123,9	0,42	0,0	1.094,2
30-41	30,3	41,9	24,0	36,9	417,6	0,14	520,5	0,00	3,0	704,1	164,2	0,42	0,0	871,7
41-55	46,6	57,6	33,8	42,3	471,0	0,06	604,7	0,00	4,7	831,9	216,6	0,62	0,0	1.053,8
55-70	30,5	26,4	9,8	15,9	179,1	0,00	231,1	0,00	2,2	290,8	99,9	0,21	0,0	393,1

Tab. 377: EC_{e/w}, SAR, pH_{e/w}, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte und des Grundwassers Standort RZ VII.1

Tiefe cm	EC _{e/w} mS/cm	SAR	pH _{e/w}	Bor - B		lösl. Kat. mval/l	lösl. An. mval/l	EC _{e/w} *10	lösl. Kat.		B(OH) ₃ ⁰ mg/100g	Summe mg/100g	Salze n. EC _{e/w} mg/100g
				mg/l	mg/100g				mg/100g	mg/100g			
0-12	41,6	66,5	8,1	65,56	2,46	434,7	425,5	415,8	371,1	639,1	12,0	1.022,2	1.000,1
12-21	143,4	143,0	7,8	35,18	1,20	1.393,3	1.347,3	1.433,6	1.082,6	1.727,1	6,1	2.815,8	3.119,5
21-30	99,7	100,5	7,6	22,67	0,73	1.015,8	932,2	997,2	740,7	1.094,2	3,8	1.838,6	2.046,8
30-41	73,9	73,2	7,6	23,93	0,73	764,3	769,5	739,2	520,5	871,7	3,8	1.396,1	1.434,3
41-55	61,0	56,4	7,6	22,87	1,07	583,7	601,6	610,0	604,7	1.053,8	5,6	1.664,2	1.820,5
55-70	31,7	43,3	7,6	11,85	0,36	337,9	338,1	316,8	231,1	393,1	1,9	626,1	618,7
GW 60-...	34,6	42,2	7,8	21,48		373,1	374,9	346,4					

Tab. 378: Lageparameter Standort VII.2

Topographische Karte:	Carta Nacional 1:50.000 Río Lauca Hoja 5937 I
UTM-Koordinaten:	19KEV835268
Topographische Lage:	200 m WSW von der Betonbrücke, welche die Straße Nr. 601 über den Río Lauca führt
Luftbild-Nr.:	4276
Höhe ü. M.:	3705 m
Höhe ü. GW-Stand:	0,5 m (RZ)
Neigung:	0 °
Exposition:	keine
Reliefformtyp:	Tiefenbereich
Umgebung des Standortes:	200 m NE des Standortes verläuft der Río Lauca
Dünen:	bis 0,5 m hoch
Sichtb. Merkmale f. Bodenversalzung:	Halophytenvegetation
Aktuelle Bodennutzung:	keine
Anthropogene Veränderungen:	Entwässerungsgräben und auf Trasse geführte Straße Nr. 601 mit Durchlässen verändern hydrologische Verhältnisse; Betonbrücke
Bodenausgangsmaterial:	fluviatil (und äolisch) abgelagertes Lockergestein
Oberfl. anstehendes Festgestein:	kein
Standorteinheit:	grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene
Vegetationshaupteinheit:	<i>Distichilis humilis</i>
Vegetationsuntereinheit:	<i>Distichilis humilis</i> - <i>Salicornia pulvinata</i> - <i>Anthobryum triandrum</i> - <i>Festuca orthophylla</i> - <i>Parastrephia phyllicaeformis</i>
Bodeneinheit	Halaquept (USDA)

Tab. 379: Vegetation Standort RZ VII.2

Datum der Aufnahme:	30.01.1997
Gesamtzahl der Taxa:	5
Gesamtdeckung der Vegetation:	5-25 %
Deckung der Strauchschicht:	< 5 %
Deckung der hohen Krautschicht:	5-25 %
Deckung der niederen Krautschicht:	< 5
Deckung der Cacteen:	keine
Deckung der Polsterpflanzen:	< 5 %
Taxa:	<i>Hoffmannseggia</i> ssp. Cav., <i>Festuca orthophylla</i> Pilg., <i>Parastrephia phyllicaeformis</i> (Walp.) Cabrera, <i>Distichilis humilis</i> Phil., <i>Anthobryum triandrum</i> (Remy) Surgis

Tab. 380: Profilbeschreibung Standort RZ VII.2

Aznkg	0-16 cm u. GOF 10YR 7/2 hellgrau (trocken); 10YR 5/2 gräulich braun (feucht); Sand mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; schwach durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; schwach carbonathaltig; gipsfrei; mäßig erhöhter Salzgehalt nach EC5; stark alkalisch; (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; gering versalzter Salzkalkiboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ VII.2.1
ACznkg	16-22 cm u. GOF 2.5Y 7/2 hellgrau (trocken); 2.5Y 4/2 dunkel gräulich braun (feucht); feinstsandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; schwach carbonathaltig; gipsfrei; extrem erhöhter Salzgehalt nach EC5; stark alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; extrem versalzter Salzkalkiboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ VII.2.2

2Azknkgb	22-31 cm u. GOF 2.5Y 7/2 hellgrau (trocken); 2.5Y 5/2 gräulich braun (feucht); Schlufflehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; mittel carbonathaltig; gipsfrei; extrem erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; sehr stark versalzter Salzkalkiboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ VII.2.3
2ACznkgb1	31-42 cm u. GOF 2.5Y 7/2 hellgrau (trocken); 2.5Y 5/2 gräulich braun (feucht); Schlufflehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; stark feucht; deutliche Horizontuntergrenze; extrem schwach humos; carbonatarm; gipsfrei; sehr stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; stark versalzter Salzkalkiboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ VII.2.4
2ACznkgb2	42-50 cm u. GOF 10YR 8/1 weiß (trocken); 10YR 8/2; sehr fahl braun (feucht); sandiger Lehm mit sehr geringem Grobbodenanteil; Einzelkorngefüge; sehr schwach verfestigt; sehr geringe Lagerungsdichte; sehr schwach durchwurzelt; nass; extrem schwach humos; mittel carbonathaltig; gipsfrei; stark erhöhter Salzgehalt nach EC ₅ ; mäßig alkalisch (CaCl ₂); vollständige Basensättigung; mäßig versalzter Salzkalkiboden mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ VII.2.5
Grundwasser	50-... cm u. GOF stark versalztes Salzkalkigrundwasser mit extrem hoher Borkonzentration	Proben-Nr.: RZ VII.2.GW

Tab. 381: Physikalische Bodenparameter Standort RZ VII.2

Proben-Nr.	Tiefe cm	Anteil der Fraktion am Feinboden in %								Bodenart	Grobb. %	Ld g/cm ³	dF g/cm ³	PV %	VV %
		ggS	gS	mS	fS	ffS	S	U	T						
RZ VII.2.1	0-16	0,7	12,3	20,7	38,3	15,0	87,0	9,2	3,8	S	0,1	1,19	2,34	49,3	26,8
RZ VII.2.2	16-22	0,1	0,2	0,4	17,9	49,4	67,9	28,7	3,4	ffs L	0,1				
RZ VII.2.3	22-31	0,1	0,3	0,3	1,7	11,7	14,2	79,6	6,3	U L	0	1,11	2,42	54,3	50,6
RZ VII.2.4	31-42	0,0	0,0	0,0	8,0	34,1	42,2	53,5	4,3	U L	0	1,14	2,53	54,8	48,8
RZ VII.2.5	42-50	0,8	8,0	17,6	33,7	15,6	75,7	18,7	5,7	s L	0,1	1,25	2,40	47,8	43,6

Tab. 382: Chemische Bodenparameter Standort RZ VII.2

Proben-Nr.	Tiefe cm	Horizont n. USDA	C _{org} %	Org. Subst. %	Carbonat %	Gips %	Salz n. EC ₅ %	pH _{CaCl2}	Basensättigung %
RZ VII.2.1	0-16	Aznkg	0,16	0,3	2,7	0	0,20	8,5	100
RZ VII.2.2	16-22	ACznkg	0,10	0,2	2,6	0	2,01	8,6	100
RZ VII.2.3	22-31	2Azknkgb	0,25	0,4	5,3	0	2,14	8,3	100
RZ VII.2.4	31-42	2ACznkgb1	0,15	0,3	1,6	0	0,99	8,3	100
RZ VII.2.5	42-50	2ACznkgb2	0,13	0,2	6,6	0	0,40	8,4	100

Tab. 383: Lösliche Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser Standort RZ VII.2

Tiefe cm	lösliche Kationen im Sättigungsextrakt in mval/l						lösliche Anionen im Sättigungsextrakt in mval/l						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-16	12,1	6,2	3,5	48,5	0,05	70,3	0,00	4,4	6,3	58,0	0,33	0,0	69,0
16-22	54,4	50,2	15,0	563,0	0,05	682,7	0,00	1,4	595,0	75,5	0,10	0,0	671,9
22-31	76,2	84,8	15,2	478,3	0,11	654,6	0,00	1,3	592,5	56,5	0,07	0,0	650,4
31-42	32,6	39,1	8,8	225,4	0,11	306,0	0,00	1,7	265,0	42,8	0,09	0,1	309,7
42-50	16,7	18,5	5,9	114,0	0,14	155,3	0,00	1,8	125,0	29,4	0,09	0,0	156,3
GW 50-...	16,7	26,7	5,6	131,3	0,00	180,4	0,60	4,7	147,5	32,1	0,17	0,0	185,0

Tab. 384: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Sättigungsextrakten und im Grundwasser bezogen auf mval/l Standort RZ VII.2

Tiefe cm	Anteil an löslichen Kationen im Sättigungsextrakt in %						Anteil an löslichen Anionen im Sättigungsextrakt in %						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-16	17,2	8,8	5,0	68,9	0,08	100,0	0,00	6,3	9,1	84,1	0,48	0,00	100,0
16-22	8,0	7,4	2,2	82,5	0,01	100,0	0,00	0,2	88,5	11,2	0,02	0,00	100,0
22-31	11,6	13,0	2,3	73,1	0,02	100,0	0,00	0,2	91,1	8,7	0,01	0,00	100,0
31-42	10,6	12,8	2,9	73,7	0,04	100,0	0,00	0,5	85,6	13,8	0,03	0,03	100,0
42-50	10,8	11,9	3,8	73,4	0,09	100,0	0,00	1,2	80,0	18,8	0,06	0,00	100,0
GW 50-...	9,3	14,8	3,1	72,8	0,00	100,0	0,32	2,5	79,7	17,4	0,09	0,00	100,0

Tab. 385: Lösliche Kationen und Anionen bezogen auf Bodensubstanz Standort RZ VII.2

Tiefe cm	Sätt. %	lösliche Kationen in mg/100g Boden						lösliche Anionen in mg/100g Boden						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
0-16	31,2	7,6	2,3	4,3	34,7	0,03	48,9	0,00	8,3	6,9	86,9	0,81	0,0	102,9
16-22	42,7	46,6	26,1	25,0	553,4	0,04	651,1	0,00	3,6	901,7	154,9	0,35	0,0	1.060,5
22-31	49,1	75,0	50,6	29,2	540,4	0,09	695,4	0,00	4,0	1.032,2	133,2	0,27	0,0	1.169,7
31-42	44,0	28,7	20,9	15,2	228,0	0,08	292,9	0,00	4,5	413,2	90,4	0,32	0,2	508,7
42-50	28,9	9,7	6,5	6,7	75,9	0,07	98,9	0,00	3,2	128,3	40,9	0,21	0,0	172,5

Tab. 386: EC_{e/w}, SAR, pH_{e/w}, Bor- und Salzgehalt der Sättigungsextrakte und des Grundwassers Standort RZ VII.2

Tiefe cm	EC _{e/w} mS/cm	SAR	pH _{e/w}	Bor - B mg/l	Bor - B mg/100g	lösl. Kat. mval/l	lösl. An. mval/l	EC _{e/w} *10	lösliche Kationen		B(OH) ₃ ⁰ mg/100g	Summe mg/100g	Salze n. EC _{e/w} mg/100g
									lösliche Kat. mg/100g	lösliche An. mg/100g			
0-16	6,3	16,0	8,1	23,71	0,74	70,3	69,0	63,0	48,9	102,9	3,6	155,4	125,6
16-22	66,1	77,9	7,6	14,19	0,61	682,7	671,9	661,2	651,1	1.060,5	3,2	1.714,8	1.808,4
22-31	63,4	53,3	7,45	11,65	0,57	654,6	650,4	634,4	695,4	1.169,7	3,1	1.868,2	1.994,8
31-42	30,1	37,7	7,7	10,62	0,47	306,0	309,7	300,8	292,9	508,7	2,4	804,0	846,6
42-50	15,0	27,2	7,8	8,98	0,26	155,3	156,3	149,5	98,9	172,5	1,3	272,7	276,9
GW 50-...	17,4	28,2	8,1	11,91		180,4	185,0	174,2					

Tab. 387: Lösliche Kationen und Anionen in den Fluss-, Oberflächen- und Leitungswasserproben

Proben- Nr.	lösliche Kationen im Sättigungsextrakt in mval/l						lösliche Anionen im Sättigungsextrakt in mval/l						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
Río Lauca TZ	3,4	3,0	0,6	7,8	0,00	14,7	0,20	4,8	6,3	3,4	0,05	0,0	14,8
Río Sabaya TZ	4,8	3,6	0,8	14,3	0,00	23,6	0,20	4,5	11,8	6,8	0,05	0,0	23,3
Río Sabaya RZ 1	4,4	3,5	0,8	9,6	0,00	18,3	0,12	3,3	6,2	8,5	0,04	0,0	18,2
Río Sabaya RZ 2	7,7	6,0	1,6	24,1	0,00	39,4	0,08	3,8	17,9	17,9	0,08	0,0	39,8
Ombrogen RZ 1	0,9	1,9	0,9	1,2	0,04	5,0	0,00	0,0	2,0	1,3	0,00	0,0	3,3
Ombrogen RZ 2	0,7	1,4	0,6	0,7	0,05	3,5	0,00	0,0	2,0	1,1	0,00	0,0	3,1
LeitungswasserTZ	1,0	1,0	0,2	5,9	0,00	8,1	0,00	1,5	5,5	0,9	0,01	0,0	8,0

Tab. 388: Anteile löslicher Kationen und Anionen in den Fluss-, Oberflächen- und Leitungswasserproben

Proben-Nr.	Anteil an löslichen Kationen im Sättigungsextrakt in %						Anteil an löslichen Anionen im Sättigungsextrakt in %						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Sum.	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B(OH) ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	Sum.
Río Lauca TZ	23,1	20,2	3,8	52,9	0,00	100,0	1,35	32,7	42,3	23,3	0,36	0,00	100,0
Río Sabaya TZ	20,5	15,2	3,5	60,8	0,00	100,0	0,86	19,4	50,4	29,2	0,19	0,00	100,0
Río Sabaya RZ 1	23,9	19,4	4,5	52,3	0,00	100,0	0,66	18,4	34,0	46,8	0,21	0,00	100,0
Río Sabaya RZ 2	19,5	15,2	4,1	61,2	0,00	100,0	0,20	9,7	44,9	45,0	0,21	0,00	100,0
Ombrogen RZ 1	19,0	38,0	18,2	24,0	0,72	100,0	0,00	0,0	60,6	39,4	0,04	0,00	100,0
Ombrogen RZ 2	20,7	41,2	17,9	18,7	1,53	100,0	0,00	0,0	64,3	35,6	0,02	0,00	100,0
LeitungswasserTZ	12,0	12,7	2,7	72,6	0,00	100,0	0,00	19,3	69,1	11,5	0,12	0,00	100,0

Tab. 389: EC_w, SAR, pH_w, Bor- und Salzgehalt der Fluss-, Oberflächen- und Leitungswasserproben

Proben-Nr.	EC _w mS/cm	SAR	pH _w	Bor - B mg/l	lösl. Kat. mval/l	lösl. An. mval/l	EC _w *10
Río Lauca TZ (11.10.1996)	1,6	4,4	8,3	3,39	14,7	14,8	15,8
Río Sabaya TZ (11.10.1996)	2,7	7,0	8,3	2,89	23,6	23,3	26,8
Río Sabaya RZ 1 (11.01.1997)	2,0	4,8	8,1	2,79	18,3	18,2	19,5
Río Sabaya RZ 2 (01.02.1997)	4,1	9,2	8,15	5,73	39,4	39,8	40,8
ombrogenes Wasser RZ 1 (11.01.1997)	0,1	1,0	7,6	0,20	5,0	3,3	0,7
ombrogenes Wasser RZ 2 (03.02.1997)	0,1	0,6	7,4	0,14	3,5	3,1	0,6
Leitungswasser Huachacalla TZ	1,0	5,9	7,8	0,97	8,1	8,0	10,3

Anhang Fotos



Foto 44:
Fabiana densa Remy SOLANACEAE (regengrün) in
der Regenzeit



Foto 45:
Fabiana densa Remy SOLANACEAE (regengrün) in
der Trockenzeit



Foto 46:
Baccharis incarum Wedd. ASTERACEAE (immergrün)
in der Trockenzeit



Foto 47: *Opuntia* ssp. Mill. CACTACEAE in der Regenzeit



Foto 48:
Adesmia ssp. DC. FABACEAE in der
Trockenzeit



Foto 49:
Mayeniopsis CACTACEAE in der
Trockenzeit



Foto 50: CACTACEAE [kugelförmig] in der Regenzeit



Foto 51:
Tetraglochin cristatum (Britton) Rothm. ROSACEAE
(regengrün) in der Regenzeit

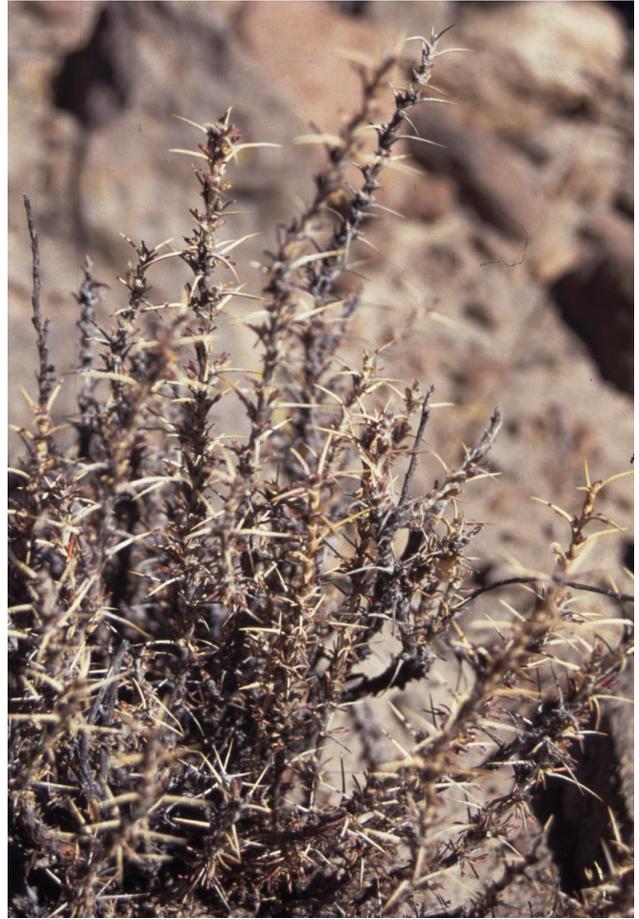


Foto 52:
Tetraglochin cristatum (Britton) Rothm. ROSACEAE
(regengrün) in der Trockenzeit



Foto 53:
Junellia seriphioides (Gillies & Hook.) Moldenke
VERBENACEAE in der Regenzeit



Foto 54:
Ephedra cf. rupestris Benth. EPHEDRACEAE in der Regenzeit



Foto 55:
Baccharis boliviensis (Wedd.) Cabrera ASTERACEAE (regengrün) in der Regenzeit

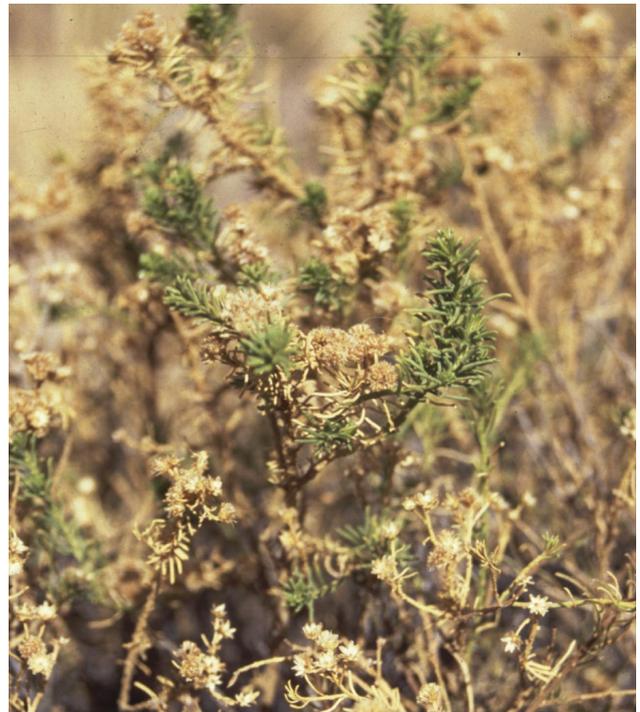


Foto 56:
Baccharis boliviensis (Wedd.) Cabrera ASTERACEAE (regengrün) in der Trockenzeit



Foto 57: *Stevia* ssp. Cav. ASTERACEAE (ephemer) in der Regenzeit



Foto 58: *Portulaca* ssp. L. PORTULACACEAE (ephemer) in der Regenzeit



Foto 59:
Cheilanthes pruinata Kaulf.
PTERIDOPHYTA in der Regenzeit



Foto 60: IRIDACEAE (ephemer) in der Regenzeit



Foto 61:
Stipa ssp. L. POACEAE in der
Trockenzeit



Foto 62: *Parastrephia lepidophylla* (Wedd.) Cabrera oder *Parastrephia quadrangularis* (Meyen) Cabrera (immergrün) in der Trockenzeit



Foto 63: *Hoffmannseggia* ssp. Cav. FABACEAE (ephemer) in der Regenzeit



Foto 64:
Festuca orthophylla Pilg. POACEAE in der Regenzeit

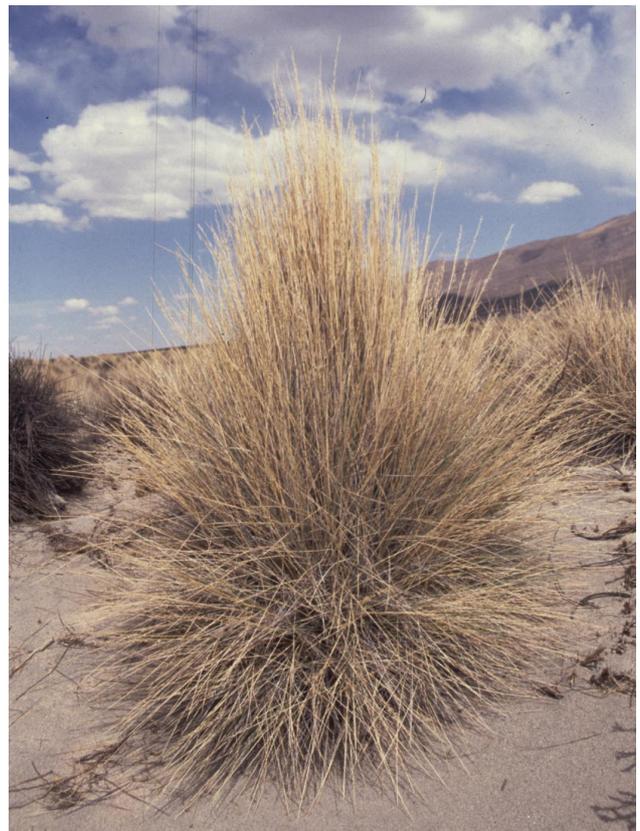


Foto 65:
Festuca orthophylla Pilg. POACEAE in der Trockenzeit



Foto 66: *Lampaya castellani* Moldenke VERBENACEAE (immergrün) in der Regenzeit



Foto 67:
Parastrephia phyllocaeformis (Walp.)
Cabrera ASTERACEAE (immergrün)
in der Trockenzeit



Foto 68: *Junellia minima* (Meyen) Moldenke VERBENACEAE in der Regenzeit



Foto 69: *Distichilis humilis* Phil. POACEAE in der Regenzeit



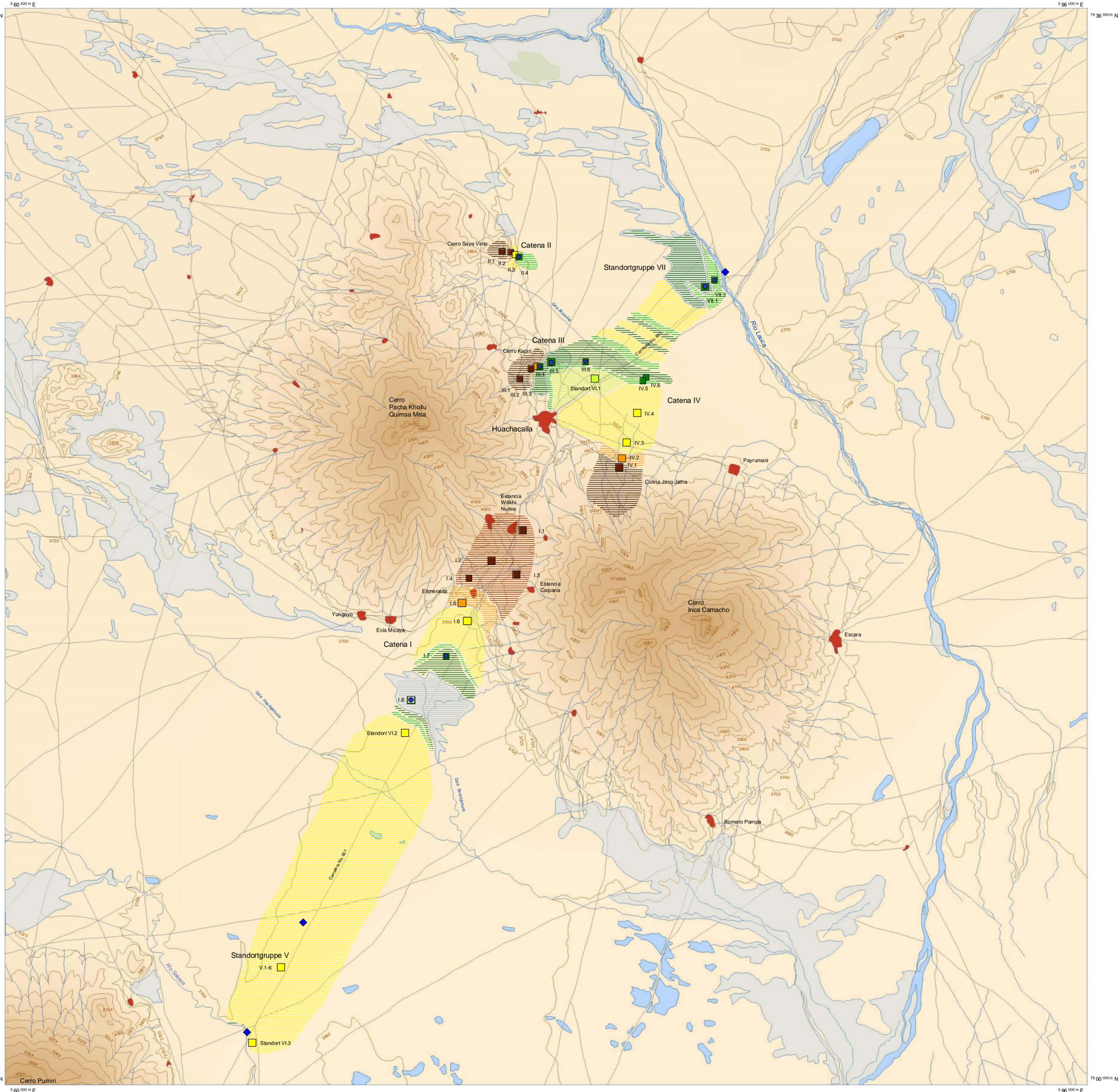
Foto 70: *Salicornia pulvinata* R.E. Fr. CHENOPODIACEAE (hellgrüne, sukkulente Blätter) und *Anthobryum triandrum* (Remy) Surgis FRANKENIACEAE (dunkelgrüne Blätter und weiße Blüten) in der Regenzeit



Foto 71: *Anthobryum triandrum* (Remy) Surgis FRANKENIACEAE in der Trockenzeit

Tab. 20 a: Vegetationstabelle für den Bereich von Huachacalla (Regenzeit)

Vegetation, Lage- und Bodenparameter der Standorte in der Regenzeit (Aufnahmezeitraum: Jan./Febr. 1997)		III. 2	III. 1	IV. 1	II. 1	II. 2	I. 2	I. 4	I. 3	I. 1	IV. 2	III. 3	I. 5	I. 6	IV. 3	VI. 3	IV. 4	VI. 2	V. 4	V. 3	V. 5	V. 6	V. 2	V. 1	II. 3	VI. 1	III. 5	IV. 6	III. 4	III. 6	III. 7	I. 7	I. 8				
Datum der Aufnahme 1997		20.01.	19.01.	12.01.	27.01.	27.01.	11.01.	10.01.	11.01.	11.01.	12.01.	21.01.	10.01.	10.01.	12.01.	25.01.	12.01.	11.01.	01.02.	01.02.	01.02.	01.02.	01.02.	01.02.	31.01.	29.01.	11.01.	30.01.	13.01.	29.01.	23.01.	14.01.	22.01.	24.01.	30.01.	09.01.	08.01.
Höhenlage des Standorts (bezogen auf GOF) in m über Meeresniveau		3780	3820	3780	3845	3755	3820	3760	3810	3850	3750	3740	3710	3702	3725	3693	3712	3695	3697	3696	3696	3695	3695	3695	3731	3709	3709	3705	3707	3730	3720	3706	3729	3707	3704	3695	3692
GW-Stand RZ des Einzugsbereichs der Catena in m über Meeresniveau		3729	3729	3706	3729	3729	3694	3694	3694	3694	3706	3729	3694	3694	3706	3706	3691	3706	3692	3693	3693	3693	3693	3693	3729	3707	3704	3706	3729	3720	3706	3729	3707	3704	3694	3691	
Höhenlage des Standorts (bezogen auf GOF) in m über GW-Stand RZ		51	91	74	116	26	126	66	116	156	44	11	16	8	19	2	6	3	4	3	3	2	2	2	2	2	2	0,5	1,5	1,5	0,4	1,3	0,8	1,2	0,6	1,3	0,8
Hangneigung des Standorts in Grad		15	20	15	16	10	10	5	5	2	3	10	2	0,5	2	0	1	0	(0)	(16)	(16)	0	0	0	0,5	0	0	0,5	0	0	0	0	2	0	0	0,5	0
Exposition		E	E	E	E	E	SE	S	SW	SW	NE	SE	SE	N	NE	E	N	-	-	(N)	S	-	-	-	E	-	-	NE	-	-	-	SE	-	-	SW	-	
Oberflächennah anstehendes Festgestein in m unter GOF		0,3	0,2	0,8	0,4	0,6	0,7	0,2	0,7	0,4	-	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bodenart im Wurzelraum nach USDA		lfs	sL	sL*	L	lS	L	lS	lS	lS	lS*	S	lS	gS	lS	fsL	lS*	S	S	S	lfs	sL**	fsL	lfs	lS	lS**	sL***	fsL	sL	UL	L**	sL**	L**	fsL***	lS**	sL**	
Humusgehalt in % im Wurzelraum		0,9	0,9	0,5*	1,0	0,6	0,5	1,3	0,9	0,8	0,5*	0,4	0,3	0,1*	0,3*	0,7**	0,3*	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,3	0,2	0,3***	0,3	0,9**	5***	1,5**	7,3**	1,2**	1***	2,0**	0,1	
Carbonatgehalt in % im Wurzelraum		0,0	0,0	0,0*	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0*	0,0	0,2	0,0*	1,2*	2,9**	0,0*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5**	3,7**	0,2	4**	2,3**	7,1**	20***	0,9**	6,2**	7,3**	2,7**	2,6	2,1**	
Gipsgehalt in % im Wurzelraum																<<<1										<<<1	0	0	0	0	0	<<<1**	0	<<1***	0	0	
Salzgehalt in % errechnet aus EC _s im Wurzelraum		0,02	0,02	0,01*	0,02	0,01	0,05	0,01	0,02	0,02	0,01*	0,01	0,02	0,005*	0,01*	0,07**	0,01*	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,04	0,1**	0,7***	0,4**	0,35	1,2***	0,3	0,7**	2,2**	1,3***	0,4**	1,7**
pH _{CaCl2} des Bodens im Wurzelraum		6,1	5,7	6,4*	6,6	6,3	7,3	6,2	6,6	6,3	6,2*	7,5	6,7	6,6*	7,1*	7,9**	7,0*	6,9	6,6	6,6	6,8	6,8	7,2	7,5**	8,0	8,3	8,4***	8,4	9,2	8,3***	8,1	7,4**	8,4	8,7**	8,0	8,5**	
Austauschbare Kationen Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ und Na ⁺ in mval/100 g Boden im Wurzelraum		7,7	5,8	7,7*	17,3	6,4	36,6	9,1	10,0*	7,4	5,0*	4,1	7,5	2,9*	6,2*										25**	11	8,3	8,4***	8,4	9,2	8,3***	8,1	7,4**	8,4	8,7**	8,0	8,5**
EC _e (Elektrische Leitfähigkeit des Sättigungsextraktes) in mS/cm im Wurzelraum					0,4	0,1																			0,5	3,6**	22,5***	20**	8,5**	30***	7,5***	10***	7,5***	50***	9**	7,5***	
SAR (Sodium Adsorption Ratio) im Wurzelraum					1,0	0,8																			3,7	9,5**	30***	75***	90**	50***	32***	25***	150***	70***	12,5**	150***	
pH _e (pH des Sättigungsextraktes) im Wurzelraum					7,0	6,9																			8,2**	8,1**	7,8***	8,0***	9,1**	8,0***	8,4***	7,2***	7,7***	7,9***	7,9	7,6***	
Borkonzentration im Sättigungsextrakt in mg/l im Wurzelraum					1,5*	0,4																			1,7	8,0**	15**	10**	55**	7,5***	12,5***	15***	17,5***	50***	7**	10***	
Gesamtzahl Taxa Regenzeit		16	23	25	18	17	24	20	24	17	19	19	12	18	7	11	4	9	7	7	7	11	11	10	9	4	5	5	5	1	4	8	3	3	3	3	
Deckungsgrad Vegetationsbestand		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	3	2	5	3	3	4	r	
Deckungsgrad Strauchschicht		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2												
Deckungsgrad hohe Krautschicht																																					
Deckungsgrad niedere Krautschicht		1	2	1	1	2	1	1	1	1	+	1	1	1	1	1																					
Deckungsgrad Cactaceae		1	1	1	1	+	1	1	+	r	r	r	r	r																							
Deckungsgrad Polsterpflanzen																										r	1	2	2		+	2	2	3	4	r	
Fabiana densa Remy - SOLANACEAE (Ch.) [Foto 44]		2	1	1	2	2	2	2	2	1	+	1	+																								
<i>Baccharis incarum</i> Wedd. - ASTERACEAE		r	r	1	r	1	1	1	1	1	+	r	1																								
<i>Opuntia</i> ssp. Mill. - CACTACEAE [Foto 47]		1	1	1	1	+	+	+	+	+	r	r	r																								
<i>Cardionema ramosissima</i> (Weinm.) A. Nelson & J.F. Macbr. - CARYOPHYLLACEAE		r	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+																								
<i>Adesmia</i> ssp. DC. - FABACEAE		1	+	1	1	2	+	1	+	1	1	1	1																								
<i>Mayeniopsis</i> - CACTACEAE		1	1	+	+	+	1	+	+	+	+	+	+																								
?? - CACTACEAE [kugelförmig] [Foto 50]		r	+	r	r	+	r	r	r	r	r	r	r																								
<i>Bidens</i> ssp. L. - ASTERACEAE		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+																								
<i>Tetraglochin cristatum</i> (Britton) Rothm. - ROSACEAE [Foto 51]				r	1	1	+	r	r	1	1	+																									
<i>Junellia seriphioides</i> (Gillies & Hook.) Moldenke - VERBENACEAE [Foto 53]			+	1	2	1	1																														
<i>Ephedra cf. rupestris</i> Benth. - EPHEDRACEAE [Foto 54]			+	r	r	r	r	r	r	r	r	r	r																								
<i>Baccharis boliviensis</i> (Wedd.) Cabrera - ASTERACEAE [Foto 55]		2	1	1	2	+	+																														
<i>Stevia</i> ssp. Cav. - ASTERACEAE [Foto 57]		+	+	+	1	1																															
<i>Portulaca</i> ssp. L. - PORTULACACEAE [Foto 58]		+	+	+	+																																
?? - PORTULACACEAE ?		r	r	+	+																																
<i>Cheilanthes pruinata</i> Kaulf. - PTERIDOPHYTA [Foto 59]		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+																								
?? - IRIDACEAE [Foto 60]		+	1																																		
?? - ASTERACEAE ?																																					
<i>Nassella</i> ssp. Desv. - POACEAE			r		+																																
<i>Gamochaeta</i> ssp. Wedd. - ASTERACEAE		r			+																																



Karte 1:
Das Untersuchungsgebiet im Bereich von
Huachacalla (Altiplano - Bolivien)
- Standort-, Boden- und Vegetationseinheiten

Standort-, Boden- und Vegetationseinheiten der untersuchten Standorte

- Gebirge / (Lithic) Ustorthent / *Fabiana densa*
- Hangfuß / Ustorthent / Übergang *Lampaya castellani*
- äolisch geprägte Alluvialebene / Ustorth-, Ustipsamm-, Ustifluent u. Haplustept ↗
- schwach grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene / Haplustept / Übergang
- grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene / Halaquept / *Distichlis humilis*
- extrem grundwasser- und salzbeeinflusste Alluvialebene / Halaquept / *Distichlis humilis*
- Grundwasserentnahme
- Oberflächenwasserentnahme
- I-IV Catenen
- V-VII Standortgruppen
- 1-max. 8 Standort innerhalb Catena bzw. Standortgruppe
- Aufnahme in Trockenzeit und Regenzeit
- Aufnahme nur in Regenzeit

Vegetationsuntereinheiten (kartiert und extrapoliert)

- Fabiana densa* - *Baccharis boliviensis* - *Opuntia* ssp.
- *Adesmia* ssp. - *Stipa* ssp.
- Fabiana densa* - *Baccharis incarum* - *Adesmia* ssp.
- *Stipa* ssp. - *Parastrephia lepidophylla*
- Baccharis incarum* - *Adesmia* ssp. - *Stipa* ssp.
- *Parastrephia lepidophylla* - *Festuca orthophylla*
- Lampaya castellani* - *Parastrephia lepidophylla*
- *Festuca orthophylla*
- Festuca orthophylla*
- Distichlis humilis* - *Salicornia pulvinata* - *Anthobryum triandrum*
- *Festuca orthophylla* - *Parastrephia phylicaeformis*
- Distichlis humilis* - *Salicornia pulvinata* - *Anthobryum triandrum*
- in extrem geringer Deckung (Salztonebene)

Aus der Kartengrundlage
(Topographische Karte)
übernommene Signaturen

- Ortschaft (Población)
- Weg oder Schotterstraße (Camino)
- versalzter Bereich (Salitre)
- Feuchtbereich / Moor (Ciénaga o Bofedal)
- temporärer See (Lago o Charco intermitente)
- perennierender Fluss (Río)
- temporär wasserführende Abflusslinie (Quebrada)
- Höhenlinie und Höhe in m über Meeresebene (Altura s.n.m. en metros)



UTM Zone 19 S
 WGS 84

Kartengrundlage: Carta Nacional, Bolivia 1:50.000; Hojas 5937 I-IV
 Digitalisierung: Nina Erdmann

Anlage zu Carola Dörrie (2001):
 Boden und Vegetation im Bereich von Huachacalla (Altiplano - Bolivien)
 - unter besonderer Berücksichtigung der Bodenversalzung