

**Aus dem Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Peter Angerer**

**Aussagekraft der elektrodermalen Aktivität in
Laborexperimenten mit Schwerpunkt Lärm
– Literaturstudie zu wichtigen Einflussfaktoren und
gesundheitlichen Implikationen –**

Dissertation

**zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf**

vorgelegt von

Ricarda Mertens

2016

Als Inauguraldissertation gedruckt mit
Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.: Univ.-Prof. Dr. med. Joachim Windolf
Dekan

Referent: Univ.-Prof. Dr. med. P. Angerer
Korreferentin: Univ.-Prof. Dr. med. B. Hoffmann

Zusammenfassung

Die Belastung mit Umweltlärm stellt vor allem für dicht besiedelte, industriell entwickelte Länder trotz jahrzehntelanger Lärmbekämpfung nach wie vor ein großes Problem dar. Auch wenn langfristige Gesundheitsschäden immer noch kontrovers diskutiert werden, ist das enorme Ausmaß der subjektiven Belästigung durch Umweltlärm unumstritten. Die Erkenntnis, dass Lärm aus unserer Umwelt nicht verbannt werden kann, zwingt aber dazu, nach Methoden zu suchen, mit denen potenzielle Gefährdungen durch Lärmquellen physiologisch und psychologisch erfasst und Aussagen zur Vorhersage der Wirkung von Geräuschen in komplexen Lärmsituationen ermöglicht werden.

Als einfach zu messender und altbewährter Parameter zur Erfassung vegetativer Reaktionen bietet sich die Elektrodermale Aktivität (*EDA*) an. Dabei bildet die *EDA* in hohem Maße und deutlich stärker als die meisten anderen vegetativen Parameter die emotionale Reaktionslage ab. Um die Bedeutung und die Nutzbarkeit der *EDA* für die Beurteilung von Lärmwirkungen auf den Menschen zu evaluieren, wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit eine umfangreiche systematische Literaturrecherche durchgeführt. Mit Hilfe klar definierter Ein- und Ausschlusskriterien wurden über verschiedene Datenbanken experimentelle Studien zum Thema *EDA* in Bezug auf Lärm wie auch auf andere Einflussgrößen identifiziert.

Analysiert wurden im Einzelnen die technischen Bedingungen der Messmethoden der *EDA*, die Reaktivität auf spezielle Lärm Aspekte (z. B. Schallpegel, Geräuschstruktur, Art der Geräusche), die besondere Sensitivität der *EDA*, ihre Zuverlässigkeit und der Einfluss von Moderatorvariablen.

Als wichtigste und zuverlässigste Messgröße wurde die Hautleitfähigkeit (*skin conductance*) herausgearbeitet, und zwar als Hautleitfähigkeitsniveau (*SCL*), als Hautleitfähigkeitsreaktion (*SCR*) oder als sog. Spontanfluktuation (*NS.SCR*). Die Messungen sollten vorzugsweise exosomatisch (d.h. Anlegen eines geringen Gleichstroms mit konstanter Spannung) erfolgen.

Zunächst wurde der konkrete Einfluss unterschiedlicher akustischer Parameter auf die *EDA* analysiert, indem Arbeiten mit verschiedensten Geräuschquellen und Versuchssituationen ausgewertet und verglichen wurden. Es zeigten sich sowohl für *SCR* wie für *SCL* stärkere Reaktionen bei höheren Schallpegeln sowie Einflüsse der räumlichen Wiedergabe und anderer Charakteristika des Geräusches. Auch die Erwartung eines Geräusches oder die Möglichkeit seiner Kontrolle beeinflussen die *EDA*, ebenso Unterschiede im Informationsgehalt (wie z. B. emotional belastende vs. positiv bewertete Schallreize). Diese Ergebnisse waren sehr zuverlässig reproduzierbar.

Weiterhin wurden die Variablen analysiert, die die Änderung der *EDA* durch Schallreize moderieren können. Generell lässt sich z. B. eine deutliche Beeinflussung durch Alter und Geschlecht aufzeigen. Die *EDA* fällt bei älteren Menschen meist erheblich schwächer aus als bei jüngeren. Außerdem ist die *EDA* bei Männern in Lärmexperimenten in der Regel stärker als bei Frauen. Ein bemerkbarer Einfluss auf die *EDA* konnte auch für einige Merkmale der Persönlichkeit bzw. der psychischen Verfassung sowie für bestimmte Lifestyle-Faktoren (Koffein, Nikotin, Alkohol, regelmäßige Meditation) gefunden werden.

Zusammenfassend ist die *EDA* als ein ausgesprochen einfach messbarer, sensitiver und zuverlässiger Parameter einzuschätzen. Bei der Durchführung zukünftiger Versuche, in denen spezifische Eigenschaften von Geräuschen evaluiert werden sollen, ist besonders zu beachten, dass die Stichprobe entweder genügend groß oder alters- und geschlechtshomogen zusammengesetzt ist. Ebenso ist auf das Abschirmen von Störfaktoren wie Wärme, Kälte sowie auf genügend Zeit zur Gewöhnung an die experimentelle Situation zu achten. Die potenziellen Probanden sollten vorab einem Screening hinsichtlich ihrer psychischen Verfassung bzw. bestimmter Lebensgewohnheiten unterzogen und je nach Fragestellung ein- oder ausgeschlossen werden.

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AG	Amtsgericht
Bed.	Bedingung
BGH	Bundesgerichtshof
BVerwG	Bundesverwaltungsgericht
CIA	Central Intelligence Agency
CIT	Concealed Information Test
DALY	disability-adjusted life years
dB(A)	Dezibel, A-bewertet
EDA	Elektrodermale Aktivität
EMG	Elektromyografie
EKG	Elektrokardiogramm
f	Frauen/weiblich/female
FBI	Federal Bureau of Investigation
GSR	Galvanic Skin Response (Resistance)
HR	Herzrate
IAPS	International Affective Picture System
ISI	Interstimulusintervall
J.	Jahre
Kap.	Kapitel
L_m	Mittelungspegel (Akustik)
Min.	Minute
msec	Millisekunde
MW	Mittelwert
n	Anzahl der Merkmalsausprägung (Statistik)
N	Grundgesamtheit (Statistik)
NS.SCR	nonspecific oder nonsignificant skin conductance response
OLG	Oberlandesgericht
Pb(n)	Proband(en)
S	Siemens
μS	mikroSiemens
SC(L)	Skin Conductance (Level)
SC(R)	Skin Conductance (Response oder Reaction)
SD	Standard Deviation/ Standardabweichung
Sek.	Sekunde
SP(L)	Skin Potential (Level)
SR	Skin Resistance
STAI	State-Trait Anxiety Inventory
UBA	Umweltbundesamt
UV	Unabhängige Variable
Vpn	Versuchspersonen
WHO	World Health Organization

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	8
1.1	Zur Entstehung vegetativer Reaktionen auf Lärm	10
1.2	Zur Bedeutung vegetativer Reaktionen auf Lärm	11
2	Fragestellung	12
3	Elektrodermale Aktivität	13
3.1	Überblick	13
3.2	Physiologische Grundlagen der EDA	14
3.3	Physikalischer Messbereich der EDA	15
3.3.1	Tonische Anteile der EDA	16
3.3.2	Phasische Anteile der EDA	17
3.4	Messmethoden der EDA	19
4	Methodik der Literaturrecherche	21
4.1	Übersicht	21
4.2	Suchstrategie am Beispiel der Datenbank PubMed	21
4.3	Auswahlstrategie für die qualitative Literaturanalyse	24
5	Studienergebnisse zur EDA auf akustische Reize	26
5.1	Übersicht	26
5.2	Einfluss akustischer Parameter	28
5.2.1	Einfluss des Parameters Schallpegel	28
5.2.1.1	SCR und Schallpegel	28
5.2.1.2	SCL und Schallpegel	29
5.2.2	Einfluss weiterer akustischer Parameter auf SCL und SCR	30
5.2.2.1	Räumliche Wiedergabe des Reizes	30
5.2.2.2	Reizkontrolle und Reizerwartung	31
5.3	Einfluss von Inhalt und Bedeutung des Schallreizes	32
5.3.1	Experimentelle Vergleiche unterschiedlicher Geräuschquellen	32
5.3.1.1	SCR und unterschiedliche Geräuschquellen	32
5.3.1.2	SCL und unterschiedliche Geräuschquellen	33
5.3.1.3	NS.SCR und unterschiedliche Geräuschquellen	34
5.3.1.4	SPR/SRR und unterschiedliche Geräuschquellen	34
5.3.2	Einfluss von Musik auf die EDA	35
5.3.2.1	SCR und Musik	35
5.3.2.2	SCL und Musik	35
5.4	Einfluss der subjektiven Reizbewertung auf die EDA	37

5.4.1	SCR und subjektive Reizbewertung	37
5.4.2	SCL und subjektive Reizbewertung	38
5.5	Studien zur Habituation/Langzeitwirkung akustischer Reize	38
5.5.1	Habituation in experimentellen Settings	38
5.5.2	Habituation bei langfristig lärmexponierten Personen	39
5.6	Einfluss von Moderatorvariablen in Experimenten mit akustischen Stimuli	41
5.6.1	Einfluss des Alters	41
5.6.1.1	SCR und Alter	41
5.6.1.2	SCL und Alter	41
5.6.1.3	Fazit zum Einfluss des Alters	42
5.6.2	Einfluss des Geschlechts	43
5.6.2.1	SCR und Geschlecht	43
5.6.2.2	SCL und Geschlecht	43
5.6.2.3	Fazit zum Einfluss des Geschlechts	44
5.6.3	Einfluss von Persönlichkeitsfaktoren	45
5.6.4	Einfluss von Lebensgewohnheiten	45
5.6.4.1	SCL und Alkohol	46
5.6.4.2	SCL/SCR und Koffein	46
5.6.4.3	SPR und Entspannung/Meditation	47
6	Studienergebnisse zur EDA bei nicht-akustischen Reizen	48
6.1	Übersicht	48
6.2	Moderatorvariable Alter bei nicht-akustischen Reizen	50
6.2.1	SCR und Alter	50
6.2.2	SCL und Alter	52
6.2.3	Fazit zur Moderatorfunktion des Alters	53
6.3	Moderatorvariable Geschlecht bei nicht-akustischen Reizen	54
6.3.1	SCR und Geschlecht	54
6.3.2	SCL und Geschlecht	56
6.3.3	NS.SCR und Geschlecht	58
6.3.4	Fazit zur Moderatorvariable Geschlecht	58
6.4	Moderatorvariable Persönlichkeit/psych. Verfassung bei nicht-akust. Reizen	59
6.4.1	SCR und Persönlichkeit bzw. Panikstörung	59
6.4.2	SCL und Persönlichkeit bzw. psychische Verfassung	59
6.4.3	Fazit zur Moderatorvariable Persönlichkeit bzw. psychische Verfassung	60

6.5	Einfluss verschiedener nicht-auditiver Stressoren	60
6.5.1	SCR und emotionale Anspannung	60
6.5.2	Tonische EDA-Maße und emotionale Anspannung	61
6.5.3	Fazit zum Faktor emotionale Anspannung	62
6.6	Untersuchungen zur Reliabilität	62
6.6.1	SCR und Reliabilität	62
6.6.2	SCL und Reliabilität	63
6.6.3	NS.SCR und Reliabilität	63
6.6.4	Fazit zur Reliabilität der EDA-Messungen	64
7	Diskussion und Schlussfolgerungen	65
7.1	Bewertung der Messmethode EDA	65
7.2	EDA und Lärm	66
7.3	EDA und individuelle Faktoren	67
7.4	Methodische Gesichtspunkte	69
7.5	Schwächen und Stärken dieser Arbeit	70
7.6	Empfehlungen für zukünftige Laboruntersuchungen mit Schallreizen	71
7.7	Ausblick	71
8	Literaturverzeichnis	72
9	Internetquellen	79
	Danksagung	80
	Eidesstattliche Versicherung	81

1 Einleitung

Umweltlärm stellt in Deutschland seit Jahrzehnten eine erhebliche Belästigung für einen Großteil der Bevölkerung dar. Anhand von repräsentativen bzw. Online-Befragungen kann dargestellt werden, wieviel Prozent der Befragten grundsätzlich eine Belästigung durch die verschiedenen Lärmquellen angeben. Abb. 1 zeigt die Verteilung auf die jeweiligen Umweltlärmquellen bei Umfragen des Umweltbundesamtes im Zeitraum von 2000 bis 2012 (*Umweltbundesamt 2015*). Es wurde auf einer fünfstufigen Skala erfragt, in welchem Maße sich die Person durch jede der großen Lärmquellen in der Umwelt belästigt fühlt: Straßenverkehr, Luftverkehr, Schienenverkehr, Industrie und Gewerbe sowie Nachbarn. Mit leichten Rückgängen in den letzten Befragungen zeigt sich immer wieder ein ähnliches Bild: Über die Hälfte der Bevölkerung gibt eine Belästigung durch Straßenverkehrslärm an, gefolgt von Nachbarschaftslärm und in der Regel von Luftverkehrslärm an 3. Stelle.

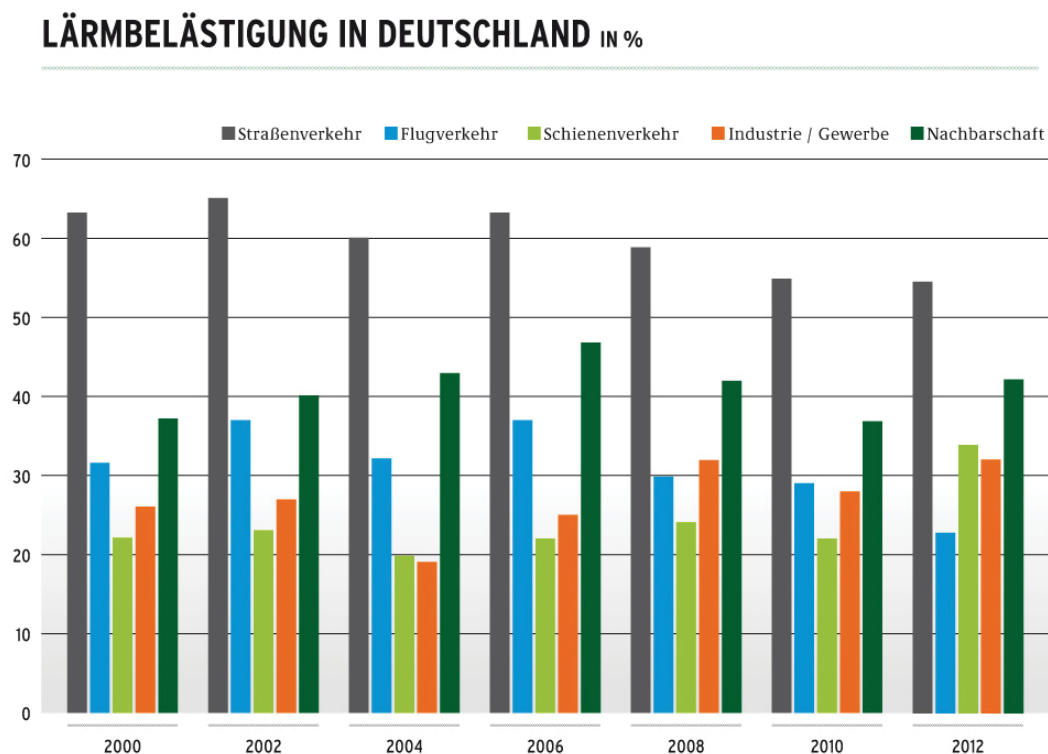


Abb. 1: Prozentsatz der Befragten, die in den Befragungen zur Lärmbelästigung in Deutschland angeben, sich durch die jeweilige Quelle von Umweltlärm belästigt zu fühlen (Quelle: Umweltbundesamt 2015)

Im Detail zeigen die Umfrageergebnisse über die Jahre hinweg relativ konstant, dass etwa die Hälfte der Bevölkerung mindestens zwei verschiedenen Lärmquellen ausgesetzt ist, während sich nur knapp ein Viertel durch keinerlei Lärm belästigt fühlt (vgl. *Ortscheid & Wende 2002, 2006; Umweltbundesamt 2010, S. 80*). Rund 10% der Befragten sind auf Grund ihrer Antworten als „hochgradig belästigt“ einzustufen. Der Prozentsatz von „highly annoyed per-

sons“ wird in der Umweltlärmforschung schon seit langem als wesentliche Kennzahl zur Beurteilung einer Belastungssituation angesehen (z. B. *Finegold et al. 1994* oder *Miedema & Vos 1998*).

Neben der wahrgenommenen Belästigung durch Lärm finden mögliche langfristige Auswirkungen auf die Gesundheit immer größere Aufmerksamkeit. In einer WHO-Veröffentlichung von 2011 wird das epidemiologische Maß DALY (disability-adjusted life years) zur Schätzung möglicher Lärmfolgen eingesetzt (*WHO 2011*). Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass in Westeuropa pro Jahr mindestens eine Million „Lebensjahre in Gesundheit“ durch Verkehrslärm verloren gehen. Schlafstörungen werden als eine der häufigsten gesundheitlichen Auswirkungen des Lärms genannt, während kardiovaskuläre Erkrankungen als besonders schwerwiegende Folgen anzusehen sind. In epidemiologischen Studien wird zunehmend diskutiert, dass erhöhte Risiken für Bluthochdruck oder Herzinfarkt durch hohe Belastung mit Verkehrslärm zu beobachten sind (*Ising & Kruppa 2004, de Kluizenaar 2007, van Kempen & Babisch 2012*). Die Ergebnisse sind jedoch nicht eindeutig, da zusätzliche Wirkfaktoren schwer zu kontrollieren oder gar auszuschließen sind. Große epidemiologische Studien, die zur weiteren Klärung des Zusammenhangs von Umweltlärm und gesundheitlichen Langzeitfolgen notwendig wären, sind allerdings sehr zeit- und kostenaufwändig und stellen auch hohe methodische Anforderungen.

Eine weitere und ausgesprochen wichtige Aufgabe der Lärmwirkungsforschung besteht darin, Personen mit besonderem Gesundheitsrisiko zu erkennen: “In future studies on health effects of noise, a correct assessment of exposure is as important as identifying persons within the population who are at increased risk due to higher susceptibility, i.e. stronger reactions to noise especially on the physiological (stress) or emotional (annoyance, arousal etc.) level” (*Babisch 2011*).

Vor diesem Hintergrund können experimentelle Laborstudien wichtige Hilfestellung bei der Vorauswahl und Einschätzung relevanter Einflussgrößen der individuellen Reaktion auf Lärm leisten. In der Laborsituation lässt sich systematisch und forschungsökonomisch sinnvoll untersuchen, welche emotionalen und kognitiven Faktoren mit interindividuellen Unterschieden in der Reaktion auf Schallreize verbunden sind und wie reliabel physiologische Reaktionen und psychologische Bewertungen von akustischen Reizen korrespondieren. Diese Fragen wiederum sind grundlegend für ein Lärmwirkungsmodell, das Prognosen für die Wirkung von realen Lärmszenarios auf die Betroffenen anstrebt.

1.1 Zur Entstehung vegetativer Reaktionen auf Lärm

Untersuchungen über Reaktionen des vegetativen Nervensystems, vor allem unter Lärmbelastung, werden bereits seit den 1920er und 1930er Jahren in großer Anzahl durchgeführt (Übersicht bei *Schwarze 1991, Jansen 1991, Smith 1991*). Neben den klassischen Reaktionsgrößen wie Hautleitfähigkeit, Herzfrequenz, periphere Durchblutung, Blutdruck und Muskelaktivität wurden auch zahlreiche Untersuchungen mit anderen Parametern unternommen. Es lassen sich z. B. Veränderungen von Atemfrequenz, Hauttemperatur, Magensaftsekretion, Magen-Darm-Passage, Hirndurchblutung, Pupillengröße, Fettstoffwechsel, Blutzucker oder Stresshormonen wie Adrenalin, Noradrenalin bzw. Mineralocorticoiden nachweisen, wobei die Messmethoden immer ausgefeilter wurden wie z. B. die Messung der Durchflussrate der Koronararterien unter Lärmeinfluss (*Colletti & Fiorinio 1987*). Die ausgelösten Reaktionen weisen alle in die gleiche Richtung, nämlich eine Anhebung des Sympathikotonus bzw. eine Steigerung der Ergotropie. Abb. 2 gibt am Beispiel Lärm eine Zusammenschau einiger autonomer Reaktionen.

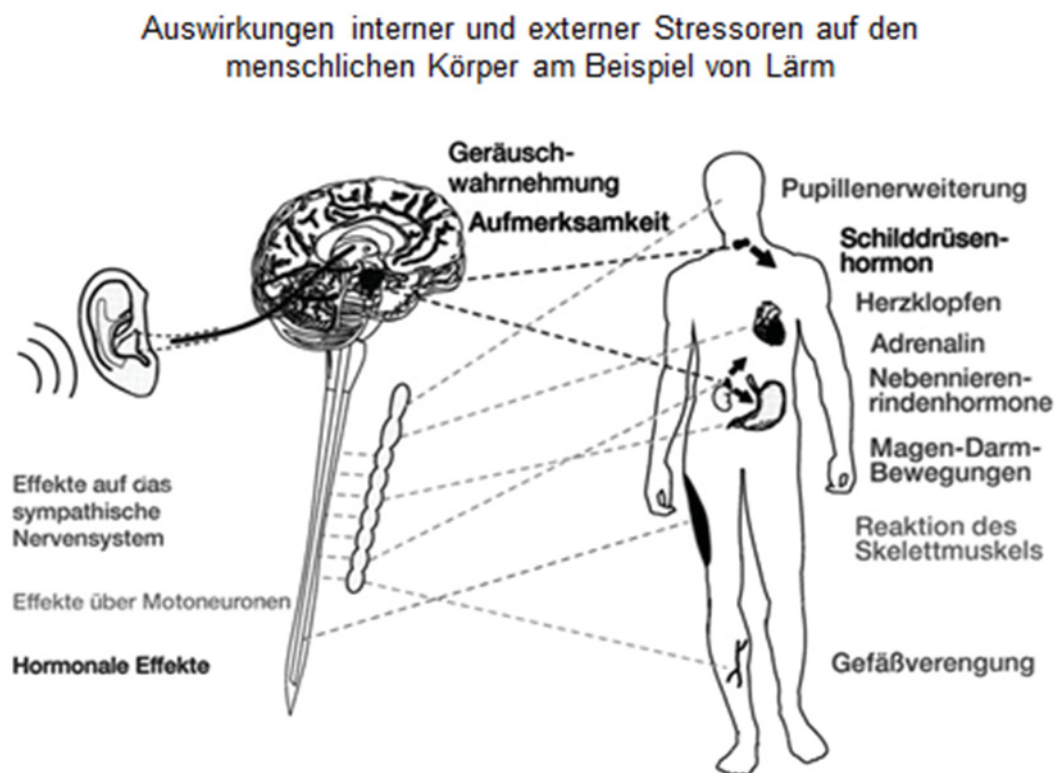


Abb. 2: Auswirkungen interner und externer Stressoren auf den menschlichen Körper am Beispiel von Lärm (Quelle: Lehrmaterial, Institut für Arbeits- und Sozialmedizin, HHU Düsseldorf)

Die aufgeführten Reaktionen sind allerdings unterschiedlich gut messbar bzw. die jeweils verwendeten Messmethoden sind für den Menschen auch mit Nachteilen oder Belastungen

verbunden. So ist die Pupillenfotografie beispielsweise nur bei Menschen mit heller Iris durchführbar (*Jones et al. 1977, Schmalenbach 1977*). Für Untersuchungen der Magen-Darm-Motilität bzw. Flüssigkeitsresorption wurden oro-jejunale Sonden gelegt und z. T. Röntgenaufnahmen angefertigt bzw. Röntgendurchleuchtungen vorgenommen (*Erckenbrecht 1984, 1988*). Derartige Untersuchungen im Magen-Darm-Trakt bringen sehr aufschlussreiche Erkenntnisse, werden aber wegen der damit verbundenen (Strahlen-)Belastung der Probanden (Pbn) heutzutage kritisch gesehen und sind nicht mehr akzeptabel.

Bei anderen Reaktionsgrößen hingegen wurde die Erfassung und Auswertung aufgrund stetiger Verbesserung von Methodik und automatisierter Auswertung leichter, so dass sie sich als gängige Parameter etablieren konnten. Dies sind hauptsächlich Herzfrequenz, Blutdruck, periphere Volumenpulsation, elektrodermale Aktivität (EDA) und Elektromyografie (EMG).

1.2 Zur Bedeutung vegetativer Reaktionen auf Lärm

Die Messung von Reaktionen des autonomen Nervensystems hat in der Lärmwirkungsfor-schung einen besonderen Stellenwert, der hier hervorgehoben werden muss, um die Bedeu-tung der vorliegenden Arbeit zu begründen. Da die Auslösung akuter, Sympathikus vermit-telter Reaktionen langfristig den Organismus verstärkt beansprucht, wird vermutet, dass bei jahre- bis jahrzehntelanger Lärmbelastung Schäden des Herz-Kreislauf-Systems entstehen können. Diese Hypothese basiert auf dem pathogenetischen Modell, dass die durch hohe Schallpegel ausgelösten ergotropen Reaktionen wie z. B. Veränderung von Herzfrequenz, Blutdruckanstieg, Ausschüttung von Stresshormonen usw. langfristig zu einem Überwiegen des Sympathikotonus zu Lasten der notwendigen vagotonen Phasen führen (*Rehm et al. 1985*). Aus dieser Verschiebung resultiert eine verstärkte Beanspruchung des Organismus mit erhöhtem Energieverbrauch und erhöhtem Verschleiß. Das heißt in logischer Konse- quenz, dass Lärm als Stressor hauptsächlich Krankheiten begünstigt, bei denen eine Mitver- ursachung durch Stress eine Rolle spielt wie beispielsweise bei Herz-Kreislauf-Krankheiten. Diese könnten sich dann als Bluthochdruck, Angina pectoris, Myokardinfarkt oder sogar Apoplex manifestieren.

Obwohl diese Theorie als biologisch höchst plausibel gilt und Schlagzeilen in den Tageszei- tungen uns in regelmäßigen Abständen mit der Nachricht erschrecken, dass der Straßenver- kehrslärm jährlich Tausende von Lärmtoten fordert, ist, wie schon oben erwähnt, die Evi- denz der Ergebnisse epidemiologischer Studien zu dieser Verursachungskette immer noch

recht uneinheitlich (*van Kempen et al. 2002, Babisch 2004, Babisch & Kamp 2009, Stansfeld & Crombie 2011, Bluhm & Eriksson 2011, van Kempen 2011, van Kempen & Babisch 2012*). Aufgrund der Vielzahl an mitwirkenden Confoundern bzw. Moderatorvariablen und der Schwächen in der Quantifizierung der Exposition bleiben hier noch viele Fragen offen.

2 Fragestellung

Für ein besseres Verständnis der divergierenden Ergebnisse und in Anbetracht der Tragweite der Erkenntnisse für die betroffene Bevölkerung sollte dringend weiter untersucht werden, welche Rolle unterschiedliche Reaktionen bzw. Verarbeitungsmechanismen bei den exponierten Menschen spielen. Gleichzeitig muss das Instrumentarium der physiologischen Reaktionen zur Beurteilung von Lärmbelastungen auf den Prüfstand, wenn aus akuten Reaktionen auf Lärmreize Entscheidungen über potenzielle Langzeitfolgen abgeleitet werden sollen. Darunter wäre zu verstehen, dass z. B. anhand der vegetativen Reaktionen, die von bestimmten Typen von Straßenverkehrslärm, Typen von Autos oder von Arbeitsmaschinen ausgelöst werden, Prognosen hinsichtlich ihrer möglichen gesundheitsschädigenden Wirkung abgegeben werden könnten. Insbesondere Parameter wie die elektrodermale Aktivität erscheinen hier von Interesse, da sie sich als sehr gut messbare und reliable Indikatoren von Aktivierungsreaktionen auf äußere Reize erwiesen haben.

An dieser Stelle setzt die vorliegende Arbeit an. Im Rahmen einer Literaturrecherche wird am Beispiel der *EDA* untersucht, wie zuverlässig, objektiv und valide dieser vegetative Parameter reagiert und welchen Einfluss Moderatorvariablen haben wie z. B. Geschlecht, Alter, Persönlichkeit oder auch Lebensgewohnheiten. Dabei sollen nicht nur Studien berücksichtigt werden, die explizit Lärmwirkungen untersuchen, sondern auch Laborstudien, in denen elektrodermale Reaktionen auf andere experimentelle Stressoren (z. B. kognitive Aufgaben, emotionale Filmszenen) untersucht wurden. Durch diese Ausweitung sollen zum einen das Datenmaterial für die verschiedenen *EDA*-Parameter erweitert und zum anderen eventuelle spezifische Wirkungen von Lärmstressoren sichtbar gemacht werden.

Es wird erwartet, dass aus dieser Literaturlauswertung Erkenntnisse für zukünftige Untersuchungen in der Lärmwirkungsforschung gewonnen und Schlussfolgerungen hinsichtlich ihrer prognostischen Bedeutung für potenzielle Langzeitfolgen gezogen werden können.

3 Elektrodermale Aktivität

3.1 Überblick

Die EDA gehört zu den ältesten Parametern zur Erfassung von Reaktionen des autonomen Nervensystems. Sie wurde im ausgehenden 19. Jahrhundert entdeckt (ausführliche Darstellung der Geschichte der EDA bei *Burk (2005, S. 6ff)*). Relativ schnell fand sie ihren Einsatz bei psychologischen bzw. psychiatrischen Untersuchungen. Erst später, in den 1920er und 1930er Jahren, eroberte sie sich ihren Platz bei Experimenten, die als Stressor Lärm verwendeten (s. Kap.1.1). Mit verschiedenen elektrischen Verfahren wird sie entweder als Veränderung des Hautwiderstands (skin resistance), des Hautpotenzials (skin potential) oder der Hautleitfähigkeit (skin conductance) gemessen (s. Kap. 3.4). Ein besonderer Vorteil der Erfassung der elektrodermalen Aktivität (EDA) ist, dass sie für den Pbn schmerzfrei und ohne jedwede körperliche Belastung ist. Sie kann ohne großen apparativen Aufwand aufgezeichnet werden, so dass sie auch problemlos außerhalb des Labors registriert werden kann. Diese Eigenschaften machen die EDA zu einem der beliebtesten und am häufigsten erfassten Parameter, so dass die EDA-Messung heutzutage als einer der meist verwandten Reaktionsparameter in der Geschichte der Psychophysiologie bezeichnet werden kann (*Boucsein 2012*).

Die EDA wird beeinflusst durch Reizung des Sympathikus – verursacht durch körperliche Aktivität oder durch psychische Erregung. Durch die Sympathikusaktivierung erhöht sich die Schweißproduktion in den Schweißdrüsen, durch die der Leitungswiderstand der Haut herabgesetzt und die Hautleitfähigkeit erhöht wird (*Schandry 1996*). Entsprechend bezeichnet *Wallin (1981)* in seiner Studie über den Zusammenhang zwischen sympathischem Nervensystem, EDA und kardiovaskulären Reaktionen die EDA als Reaktionsgröße des sympathischen Nervensystems. Bei *Critchley (2002)* wurde die EDA als sensitiver psychophysiologischer Index für Veränderungen der autonomen sympathischen Erregung in Zusammenhang mit emotionalen und kognitiven Zuständen bezeichnet.

In der Vergangenheit wurde die EDA mit Erfolg für die Erfassung von vegetativen Reaktionen auf äußere Reize z. B. in Lärmexperimenten eingesetzt (*Schwarze et al. 1993, 1997*). Weiterhin spielt die EDA auch in der Emotionsforschung, neben anderen Parametern wie Puls, Atmung und Blutdruck, eine wichtige Rolle. Häufig zu finden sind Studien über den Zusammenhang zwischen psychischen Ereignissen bzw. Verhalten und Reaktionen der EDA. Sie wird beispielsweise als Indikator klassischer Konditionierung von schmerzassozii-

ierten Worten genutzt, da der Mensch auf Schmerzen eindeutig mit Änderungen der EDA reagiert (*Schandry 1996*).

Die EDA wird zusammen mit den eben genannten Messgrößen unter anderem auch in der forensischen Psychophysiologie eingesetzt (*Rill 2001, Rill et al. 2003, Vossel et al. 2001*). Fachsprachlich bezeichnet man diese Methode als „Polygraphie“, umgangssprachlich als „Lügendetektion“. Sie kommt vor allem in den USA zum Einsatz beispielsweise im kriminologischen Bereich (CIA, FBI) beim Verhör von Tatverdächtigen oder in größeren Firmen bei Bewerbungsgesprächen bzw. im Bereich des Personal-Screenings, bei der das Personal hinsichtlich seiner Loyalität und Eignung (Drogen, Alkoholismus) getestet wird. Die psychophysiologischen Reaktionen der untersuchten Person auf eine Reihe von Kontrollfragen und eingestreuten relevanten Fragen geben dem Untersucher Hinweise auf die Glaubwürdigkeit der betreffenden Person. Leider lassen die ausgelösten psychophysiologischen Reaktionen keine eindeutige Wertung zu, denn die EDA reagiert unspezifisch und zeigt im Wesentlichen die emotionale Beteiligung an. Es lässt sich in den meisten Fällen nicht unterscheiden, ob die untersuchte Person wirklich die Unwahrheit sagt oder nur sehr aufgeregt ist und Angst davor hat, etwas Falsches zu sagen. Aus diesem Grund ist die EDA als „Lügendetektor“ im deutschen Rechtswesen offiziell nicht zugelassen (*BGH 1999, 2010*). Die Befürworter der Polygraphie halten allerdings an der Beweiskraft der Polygraphie-Ergebnisse fest (*Putzke et al. 2009, Putzke 2011*) - mit entsprechenden Auswirkungen auf die Gerichtsbarkeit: In 2013 wurden durch das *OLG Dresden (2013)* bzw. *AG Bautzen (2013)* Ergebnisse der Polygraphie für den Fall zugelassen, dass der Beschuldigte entlastet wurde. Das Bundesverwaltungsgericht bezieht in seinem Urteil vom 31.07.2014 wieder klar Stellung gegen den Polygraphentest als Beweismittel (*BVG 2014*). In Kap. 6.5.1 wird anhand von Experimenten, die als Methode den „*Concealed Information Test*“ anwenden, das Prinzip der Polygraphie nochmal näher beleuchtet.

3.2 Physiologische Grundlagen der EDA

Die Haut dient als Schutzbarriere vor Umwelteinflüssen und zur Reizaufnahme und -weiterleitung. Dabei ist sie für Anpassungsvorgänge wie die Regulation des Wasser- und Wärmehaushalts oder des Elektrolythaushalts verantwortlich. Die Innervation erfolgt durch zahlreiche efferente Fasern des vegetativen Nervensystems und über sensible Fasern (*Boucsein 2012*). Für die EDA ist die Epidermis, die oberste Hautschicht, am wichtigsten. Die Subkutis

und die Dermis, in der sich die Schweißdrüsengänge befinden, spielen für die EDA hingegen eine untergeordnete Rolle, da sie eine konstant hohe und stabile Leitfähigkeit besitzen.

Schweißdrüsen werden ausschließlich vom sympathischen Nervensystem innerviert. Man unterscheidet zwischen apokrinen (Duftdrüsen) und ekkrinen Schweißdrüsen. Die apokrinen Schweißdrüsen sind nur in bestimmten Körperarealen (axillär, genital, anal) zu finden, während die ekkrinen Schweißdrüsen über den ganzen Körper in unterschiedlicher Dichte verteilt sind. Am dichtesten stehen sie an den Innenflächen von Händen und Füßen. Die EDA korreliert vorrangig mit der Aktivität der ekkrinen Schweißdrüsen. Da jedoch die Leitfähigkeitsreaktion ca. 1 Sekunde vor dem Anstieg der Oberflächenfeuchtigkeit eintritt, kann nicht nur die Stromleitung durch die Schweißschicht an der Hautoberfläche für die Veränderung der Leitfähigkeit verantwortlich sein. Es ist als wahrscheinlich anzunehmen, dass die Schweißdrüsengänge im Bereich des Corneums wasserdurchlässig sind, so dass schon vorher eine Durchfeuchtung von innen heraus stattfindet. Außerdem scheint die Verteilung unterschiedlicher Ionensorten für die Hautleitfähigkeit eine Bedeutung zu haben (*Boucsein 2012*).

Die Messung der EDA ist sowohl von der äußeren Temperatur als auch von der Luftfeuchte abhängig (*Lobstein & Cort 1978*). Optimal sind Umgebungstemperaturen zwischen 24°C und 26°C bei einer Luftfeuchte von rund 55 %. Die Einflüsse meteorologischer Komponenten sind nicht einfach zu bewerten. Wenn deutliche klimatische Veränderungen während eines Experiments erwartet werden können, ist daher zu empfehlen, meteorologische Variablen wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftdruck zu Kontrollzwecken zu erfassen (*Boucsein 2012*).

Auch die Temperatur der Haut ist für die EDA von Bedeutung. Es zeigte sich, dass die EDA beträchtlich durch abfallende oder ansteigende Temperaturen beeinflusst werden kann und daher eine Korrektur der EDA-Ergebnisse in Abhängigkeit von der Temperatur vorgenommen werden muss (*Boucsein 2012*).

3.3 Physikalischer Messbereich der EDA

Die EDA im Allgemeinen dient als Oberbegriff für tonische oder phasische Phänomene der Haut.

- Die tonischen Anteile entsprechen dem Leitwertniveau („level“). Sie ändern sich nur langsam. Das Leitwertniveau als solches ergibt sich aus der Füllung der Schweißdrüsengänge,

der Durchfeuchtung des Corneums und den Permeabilitätsveränderungen der Schweißdrüsengänge.

- Die phasischen Anteile sind schnell und ändern sich im Sekundenbereich („reaction“, „response“).

Die Maßeinheit der EDA ist Siemens (S). Ein Siemens entspricht einem Ohm^{-1} . Die Angaben im Angelsächsischen erfolgen jedoch primär in mho. Es gilt: $1 \text{ mho} = 1 \text{ Ohm}^{-1} = 1 \text{ S}$. Da 1 Siemens bzw. 1 mho ein sehr hoher, physiologisch nicht vorkommender Leitwert ist, werden die Werte der EDA ausschließlich in μmho bzw. μS angegeben. Der Messbereich variiert, je nachdem, ob es sich um phasische oder tonische Niveauverschiebungen handelt (Boucsein 1988). Da bei der exosomatischen Messung Elektroden verwendet werden, die eine bestimmte Fläche abdecken, beziehen sich alle angegebenen Messwerte grundsätzlich auf den Elektrodenquerschnitt in cm^2 .

3.3.1 *Tonische Anteile der EDA*

Das tonische Leitwertniveau der meisten Menschen liegt zwischen 0 und $10 \mu\text{S}/\text{cm}^2$. Allerdings können individuell auch Werte bis zu $100 \mu\text{S}/\text{cm}^2$ auftreten. Daher ist die Verwendung von absoluten Zahlenwerten bei der Analyse der EDA nur eingeschränkt sinnvoll. Vor allem in experimentellen Studien mit automatischer Auswertung wird deshalb in einem definierten Zeitfenster vor dem eigentlichen Experiment eine sog. Baseline ermittelt, so dass die auftretenden EDA-Veränderungen relativiert werden (Alvarsson et al. 2010).

Die tonischen Anteile werden überlagert von „kurzfristigen elektrodermalen Amplitudenanstiegen unter Ruhebedingungen“, den sog. Spontanfluktuationen (vgl. Burk 2005, S.55). Diese geben Aufschluss über die physiologische Aktivierung. Es gilt: Je größer die Erregung eines Individuums, desto mehr Spontanfluktuationen treten auf und desto größer ist auch die mittlere Amplitude. Hierbei treten große interindividuelle Schwankungen auf. In Ruhe liegt der Mittelwert zwischen 3 und 7 Fluktuationen pro Minute, während im Rahmen einer Aktivierung 10–15 Fluktuationen pro Minute beobachtet werden können. Spontanfluktuationen werden in verschiedenen Veröffentlichungen auch als NS.SCR (non-significant oder non-specific skin conductance response) bezeichnet (Venables & Christie 1980, Schandry 1996). Die Erfassung von Spontanfluktuationen ist vor allem dann sinnvoll, wenn keine klar abgrenzbaren Stimuli verwendet werden bzw. wenn die applizierten Reize relativ schwach sind. Diese Methode eignet sich daher besonders für psychologische bzw. psychopathologische Fragestellungen. Als Artefakte sind Fluktuationen abzugrenzen, die durch Reize wie

Bewegen, Sprechen, Husten, Räuspern, tiefes Einatmen oder durch überlagerte EKG-Signale ausgelöst werden. Die Definition einer Fluktuation erfolgt über die Bestimmung eines sogenannten Amplitudenkriteriums. Nur bei Überschreitung einer vorher bestimmten Amplitude liegt demnach eine Spontanfluktuation vor. Dabei kann es sich entweder um einen absoluten Wert handeln, wie z. B. $0,01 \mu\text{S}$, oder um eine Angabe in Prozent von der Grundlinie wie z. B. $0,1\%$.

3.3.2 Phasische Anteile der EDA

Phasische Reaktionen treten typischerweise als Reaktionen auf einzelne Reize auf. Abb. 3 zeigt für einen Sinuston mit moderater Lautstärke drei individuelle Reaktionsverläufe mit unterschiedlicher Ausprägung der sympathischen Aktivierung. Der Reaktionsverlauf ist nicht immer einheitlich, die Richtung aber immer eine Leitwerterhöhung. Phasische Niveaushiftungen liegen im Messbereich zwischen $0,01$ und $5 \mu\text{S}/\text{cm}^2$. Für die automatisierten Mess- und Auswerteverfahren wurde als Mindestkriterium für eine Amplitude ein Wert von $0,02 \mu\text{S}$ festgesetzt (Burk S. 60, 2005). Bei den phasischen Niveaushiftungen muss aufgrund der kleinen Messwerte eine höhere Verstärkung genutzt werden, um die Amplituden so genau wie möglich bestimmen zu können. Um sie gegenüber den tonischen Spontanfluktuationen abzugrenzen, hat man definiert, dass jede innerhalb eines Zeitfensters von $0,5$ bis 4 Sek. nach einem Reiz auftretende Fluktuation eine phasische, reizbedingte Reaktion darstellt (Burk S. 59, 2005).

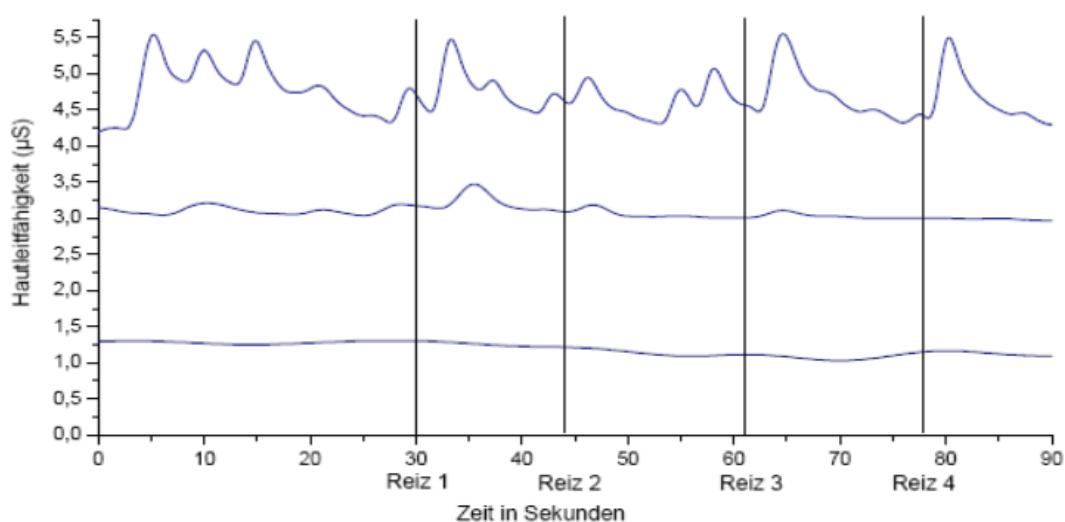


Abb. 3: **Phasische Reaktionen des Hautleitfähigkeitsniveaus**

Drei Beispiele phasischer Reaktionen des Hautleitfähigkeitsniveaus (SCL): jeweils Aufzeichnung über 90 Sekunden / Schallreiz: vier Sinustöne, Beginn in der 30. Sekunde / μS = microSiemens (nach Burk 2005, S. 57)

Problematisch bei der Bewertung der Amplitudengröße ist, dass sich oftmals einzelne Fluktuationen überlagern können und in diesem Fall eine Fluktuation nicht bei der Nulllinie bzw. nicht beim Basalwert beginnt. Hier wird die Senkung zwischen den beiden Gipfelpunkten als Ausgangswert definiert. Zur Charakterisierung der phasischen Reaktionen lassen sich im Idealfall folgende *Kennwerte* definieren (Abb. 4):

- *Latenzzeit*: Zeit zwischen Beginn der Reizdarbietung und Reaktionsbeginn. Von *Venables & Christie (1980)* wurde hierfür ein Minimum von 0,5 bis 1,0 sec sowie ein Maximum von 3,0 bis 5,0 sec angesetzt.
- *Gipfelzeit*: Zeit zwischen Reizbeginn bis zum Maximum des Gipfels (Hochpunkt).
- *Anstiegszeit*: Dauer vom ersten Abheben der Grundlinie (Reaktionsbeginn) bis zum Erreichen des Hochpunkts. Sie kann zwischen 0,5 bis 5 Sekunden liegen mit einem durchschnittlichen Wert von 2 Sekunden (*Venables & Christie 1980*). Zusätzlich wurde, gestützt durch die automatisierten Mess- und Auswerteverfahren, ein Mindestkriterium für eine Amplitude von $0,02 \mu\text{S}$ definiert (*Burk S. 60, 2005*).
- *Reaktionsamplitude*: Höhe zwischen Hochpunkt und Ausgangswert.
- *Erholungszeit*: Zeit zwischen dem Gipfel und dem Abfall der Amplitude auf die Höhe des Ausgangswerts. Sie verkürzt sich bei Spontanfluktuationen bei hohem Aktivierungsgrad erheblich.

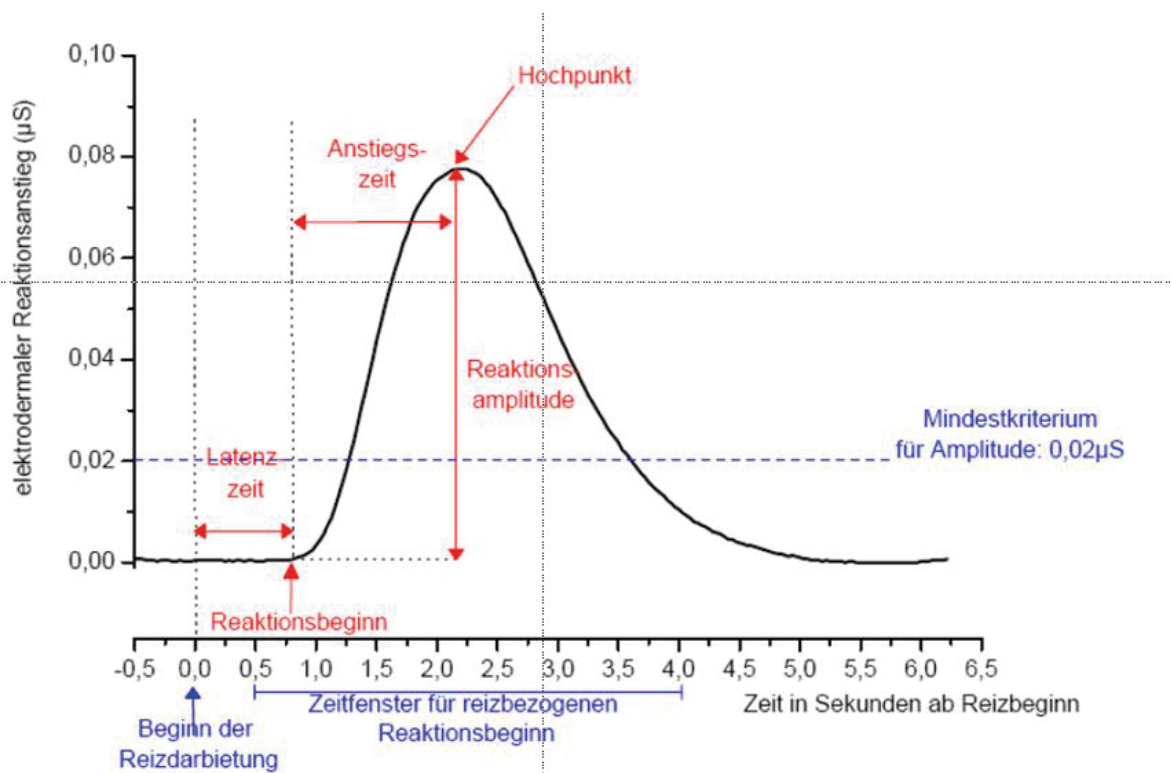


Abb. 4: **Kennwerte der Hautleitwertsreaktion** (nach *Burk 2005, S. 59*)

3.4 Messmethoden der EDA

Für die Messungen werden in der Regel nicht polarisierende Ag/AgCl-Elektroden genutzt. Am praktikabelsten ist die Ableitung der EDA an der Innenfläche der nicht dominanten Hand, da hier die Hornhaut am dünnsten ist.

Die Messung der EDA kann exosomatisch oder endosomatisch erfolgen:

- Bei der *endosomatischen* Methode wird keine Spannung angelegt. Es erfolgt eine Messung des **Hautpotenzials (Skin Potential, SP)**. Es kann zwischen tonischen Parametern wie dem **Hautpotenziallevel (Skin Potential Level, SPL)** und phasischen Parametern wie der **Hautpotenzialantwort (skin potential response, SPR)** unterschieden werden (*Burk 2005*). Die endosomatische Messung des Hautpotenzials ist hinsichtlich Messmethodik und Auswertung problematisch, so dass sie insgesamt nur selten verwendet wird (*Boucsein 2012*).

- Bei der *exosomatischen* Messung wird eine geringe elektrische Spannung angelegt, meistens unter Gleichstrom. Um ein stärkeres Signal zu erzeugen, ist eine bipolare Ableitung vorteilhaft. Mit dieser Methode können die **Hautleitfähigkeit (Skin Conductance, SC)** und der **Hautwiderstand (Skin Resistance, SR)** gemessen werden.

Basierend auf den physiologisch auftretenden tonischen und phasischen Anteilen werden bei der **Hautleitfähigkeit (Skin Conductance, SC)** zwei Messgrößen unterschieden: Das **Hautleitfähigkeitsniveau (Skin Conductance Level, SCL)** gibt die tonischen Anteile wieder, während die **Hautleitfähigkeitsreaktionen (Skin Conductance Response, SCR)** Ausdruck phasischer Reaktionen sind, die als Reaktionen auf einzelne Reize auftreten (Beispiel in Abb. 3). Die Hautleitfähigkeit spiegelt als lineare Funktion die Anzahl der Schweißdrüsen wider.

Ebenso wird beim **Hautwiderstand (Skin Resistance, SR)** zwischen tonischen und phasischen Anteilen unterschieden: **Hautwiderstandsniveau (Skin Resistance Level, SRL)** und **Hautwiderstandsreaktion (Skin Resistance Response, SRR)**. Als wichtige Einschränkung ist hervorzuheben, dass der Hautwiderstand im Vergleich zur Hautleitfähigkeit nicht die lineare Funktion der Anzahl der Schweißdrüsen wiedergibt (*Burk S. 53, 2005*). Weiterhin ist im Gegensatz zur Hautleitfähigkeit der Hautwiderstand vom individuellen Niveauwert abhängig und ist deswegen nur mit Einschränkungen für den Vergleich zwischen verschiedenen Personen geeignet.

Bezüglich der Verwendung endo- oder exosomatischer Messmethoden wurde empfohlen, die exosomatische Messung der Hautleitfähigkeit der endosomatischen Messung des Hautpotenzials vorzuziehen, sofern keine speziellen Fragestellungen bezüglich des Hautpotenzials bestehen (*Lykken & Venables 1971*). Tabelle 1 stellt die Vorteile beider Verfahren gegenüber.

Tabelle 1: Vorteile exosomatischer vs. endosomatischer Messung (in Anlehnung an Kap. 2.6.1 in *Boucsein 2012*)

Vorteile exosomatischer Messung	Vorteile endosomatischer Messung
Unidirektional, einfacher zu interpretieren.	Es muss kein Strom angelegt werden, es ist also „physiologischer“. Vor allem wichtig für Langzeitaufnahmen.
Weniger Artefakte durch Elektroden	Elektrodenpolarisation wird verhindert, weil keine externe Stromquelle angelegt wird.
Deutlich weniger Verstärkung notwendig	Kein spezieller Schaltkreis nötig, Messung erfolgt mit suffizient sensitiven hochohmigen Verstärkern.
Keine inaktive Referenzelektrode an einer geglätteten „(abraded“) Seite erforderlich, Abrasion macht Schmerzen und birgt die Gefahr von Infektionen.	Zählung der NS.EDRs unabhängig von der Amplitude ist sensitiver für das SP als für SC.
SCL lässt sich weniger durch Hydratisierung beeinflussen als das SPL.	Keine Beeinflussung durch Veränderungen im Kontaktbereich, so lange Hautareale mit unterschiedlichen Potenzialen nicht miteinander verknüpft sind.
Die exosomatische Erfassung der EDA ist besser etabliert bzw. bekannter, weil sie häufiger verwandt wird.	

Tabelle 2 zeigt zusammenfassend einen Überblick über die verschiedenen Messgrößen der EDA und ihre unterschiedlichen Bezeichnungen und Abkürzungen. Bisweilen findet man in älteren Publikationen auch die eher unspezifische Abkürzung GSR. Hier ist Vorsicht geboten: Die Messgröße GSR als Galvanic Skin Response wird z. B. bei *Stern et al. (1970)* verwendet und ist wohl identisch mit der Hautleitfähigkeitsreaktion (SCR). GSR kann aber auch heißen: Galvanic Skin Resistance (wird gemessen in $k\Omega$ (kOhm)). Die GSR als Galvanic Skin Resistance findet Anwendung in der Arbeit von *Saha et al. (1996)*. Ganz allgemein lässt sich zur Galvanic Skin Resistance sagen, dass sie, wie schon angedeutet, nicht unabhängig vom individuellen Niveauwert und damit untauglich für den Zwischen-Subjektvergleich ist. Für Untersuchungen der EDA mit mehreren Pbn sollten ausschließlich Messgrößen der Hautleitfähigkeit herangezogen werden (*Burk S. 53, 2005*).

Tabelle 2: **Messgrößen und Termini der EDA (nach Schandry 1989)**

Englisch	Abkürzung	Deutsch
Electrodermal Activity	EDA	Elektrodermale Aktivität
Skin Conductance Level	SCL	Hautleitfähigkeitsniveau Hautleitwertsniveau
Skin Conductance Response (Galvanic Skin Response)	SCR	Hautleitfähigkeitsreaktion Hautleitwertsreaktion
Skin Resistance Level (Galvanic Skin Resistance)	SRL	Hautwiderstandsniveau
Skin Resistance Response	SRR	Hautwiderstandsreaktion
Skin Potential Level	SPL	Hautpotenzialniveau
Skin Potential Response	SPR	Hautpotenzialreaktion

Für die automatische Registrierung und Auswertung kommen verschiedene digital arbeitende Geräte in Frage. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit oder Präferenz seien hier exemplarisch genannt Varioport (Temec Instruments, Kerkrade), Vitaport (Becker Meditec, Karlsruhe) (Boucsein 2012, S. 131) oder Biopac MP 100A (Biopac Systems Inc., Goleta, CA).

Abschließend lässt sich festhalten, dass ein verbindlicher Standard zu Einsatz und Parametrisierung der EDA trotz jahrzehntelanger Forschung mit verschiedenen Methoden zur Erfassung der EDA und zur Auswertung der Messwerte nur in groben Zügen existiert.

4 Methodik der Literaturrecherche

4.1 Übersicht

Die Literatursuche zur Identifizierung von geeigneten Publikationen erfolgte über die Nutzung elektronischer Datenbanken. Der Ergebnisteil befasst sich ausschließlich mit der Auswertung experimenteller Studien. Für die Grundlagenkapitel zur Physiologie wurden ausgewählte Werke der Grundlagenliteratur hinzugezogen.

4.2 Suchstrategie am Beispiel der Datenbank PubMed

Die Recherche wurde im 1. Halbjahr 2013 mit Hilfe der medizinischen Datenbank Medline/Pubmed durchgeführt. Um die Suche abzusichern und sicherzustellen, dass keine relevanten Studien übersehen werden, wurde ergänzend in Google Scholar und in den psychologischen Datenbanken PsycINFO und PSYINDEX recherchiert.

Bzgl. der systematischen Datenbank-Recherche in den genannten Quellen wurden zunächst die Stichwörter festgelegt, anhand derer die Literaturrecherche durchgeführt wurde. Als Ausgangspunkt beinhalteten diese Stichwörter zunächst einmal alle gängigen englischen bzw. deutschen Bezeichnungen der interessierenden physiologischen Parameter sowie ihre Synonyme und Oberbegriffe. Abb. 5 gibt als Screenshot die Suchschritte in Pubmed wieder.

In **Schritt #1** (siehe Feld #1) in Abb. 5 wird nach allen Arbeiten bis zum Stichtag 31.12.2012 gesucht, die in Titel oder Abstrakt einen der folgenden Begriffe mit Bezug zur elektrodermalen Aktivität enthalten: electrodermal activity, electrodermal reaction, electrodermal response, galvanic skin response, skin physiological phenomena, skin resistance, skin conductance, skin potential level. Zusätzlich wurden auch noch die Abkürzungen GSR, SCL, SCR, SRP und SRL verwendet. Um Tierexperimente von vornherein auszuschließen, wurde der Filter „humans“ gesetzt. Mit dieser Suche werden fast 40.000 Titel gefunden, die als sehr umfassende und damit zuverlässige Ausgangsbasis einer systematischen Suche zu elektrodermalen Aktivität beim Menschen anzusehen sind.

Um diese gewaltige Zahl von Literaturstellen sinnvoll zu reduzieren, wurde im nächsten **Schritt #2** der Filter „laboratory OR experimental“ gesetzt, da ja nur Laborexperimente ausgewertet werden sollten. Es verbleibt eine Trefferzahl von 3.485 Literaturstellen, die als Basisdaten für die weitere Suche dienen.

Gemäß Fragestellung sollten in **Schritt #3** mit den Filtern „noise OR sound effect“ diejenigen Arbeiten ausgewählt werden, die sich in irgendeiner Weise mit der Wirkung von Schallreizen befassen. Wie der Abbildung zu entnehmen ist, führt dieser Suchschritt #3 zu einer deutlichen Verringerung der Fundstellen auf 103 Veröffentlichungen.

In weiteren Schritten waren dann die interessierenden Faktoren auszuwählen, die andere relevante Wirkgrößen in Laboruntersuchungen zur EDA darstellen könnten. Im nächsten Schritt (**Schritt #4** in Abb. 5) wurden daher die Basisdaten aus #2 – also die experimentellen Arbeiten mit Bezug zur EDA – zunächst mit Alter und Geschlecht in Verbindung gesetzt. Mit den Suchbegriffen „sex OR gender OR age“ ergaben sich 351 Treffer.

Dann wurde in **Schritt #5** die Schnittmenge von Basisdaten und interessierenden Persönlichkeitsfaktoren (personality OR extraversion OR neuroticism) mit 89 Treffern ermittelt und schließlich in **Schritt #6** die Schnittmenge mit Stressbelastung oder zumindest Aktivierung (stress OR mental load OR activation OR exertion) mit 1.154 Treffern.

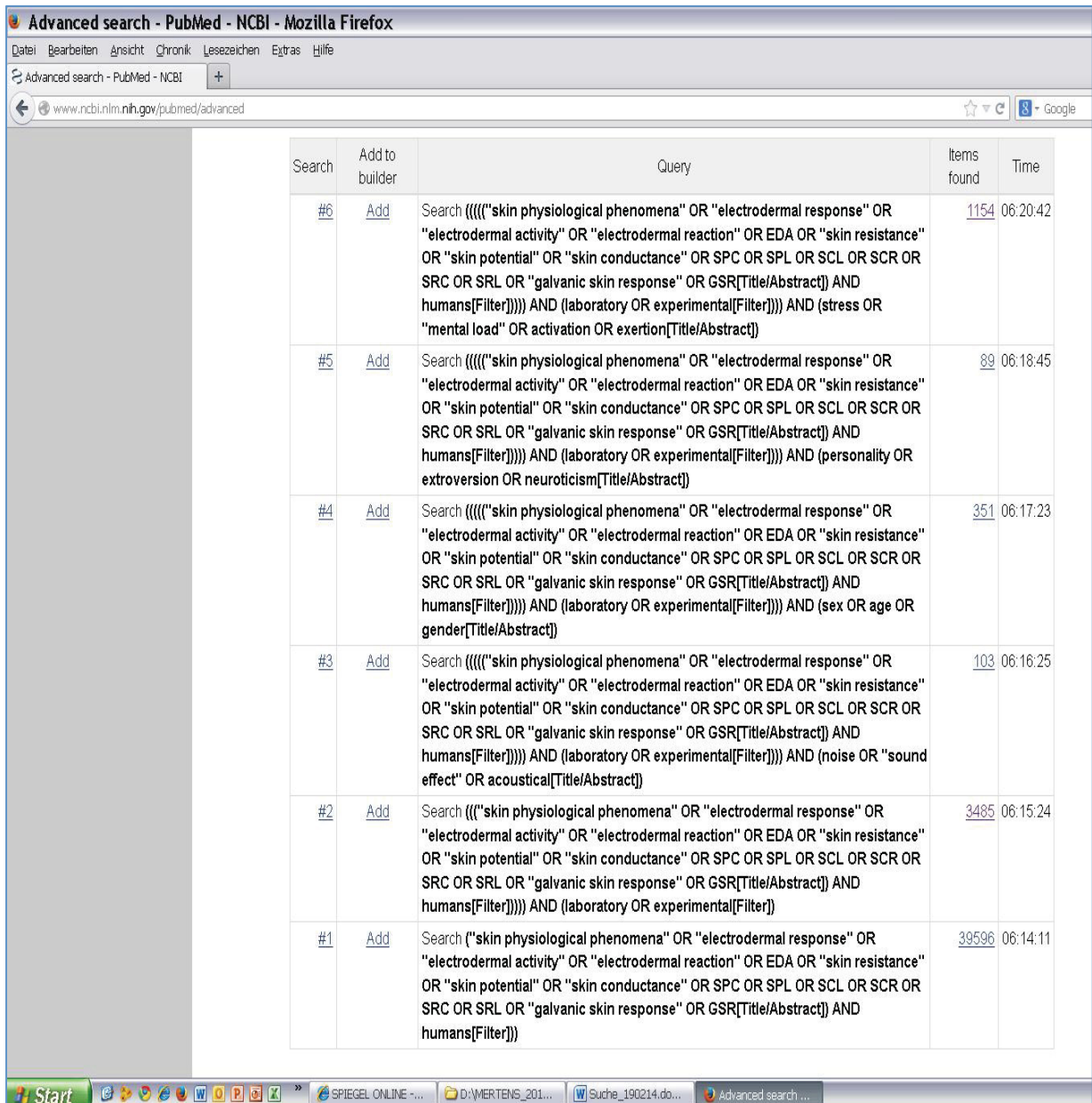


Abb. 5: Suchschritte in Pubmed und jeweilige Trefferzahlen

In der Abbildung nicht mehr dargestellt ist der letzte **Schritt #7**, in dem die Suchlisten für Alter/Geschlecht, Persönlichkeitsfaktoren und Stress/Aktivierung noch einmal zusammengefasst wurden, um eventuelle Doppelnennungen von Arbeiten auszuschließen. Tatsächlich reduziert sich die Gesamtzahl der 1.594 Titeln der Schritte #4 bis #6 auf 1.495.

Insbesondere zum Thema „EDA und Schallwirkungen“ wurden auch die erwähnten psychologischen Datenbanken sowie einschlägige Sekundärliteratur benutzt, um die bestmögliche Übersicht über vorhandene Erfahrungen und Ergebnisse in der Literatur zu erhalten. Per Handsuche wurden auch Hinweise auf interessante Studien verfolgt, die sich aus Literaturverzeichnissen der recherchierten Arbeiten ergaben.

4.3 Auswahlstrategie für die qualitative Literaturanalyse

Die Auswahl der Veröffentlichungen, die am Ende des Suchprozesses in die Literaturanalyse aufgenommen werden sollten, folgte den methodischen Empfehlungen zu systematischen Literaturrecherchen im medizinischen und gesundheitswissenschaftlichen Bereich, die im sogenannten „PRISMA Statement“ veröffentlicht sind (Moher et al. 2009, Liberati et al. 2009). In Abb. 6 wird das dort vorgeschlagene Flussdiagramm auf die vorliegende Literaturanalyse angewendet.

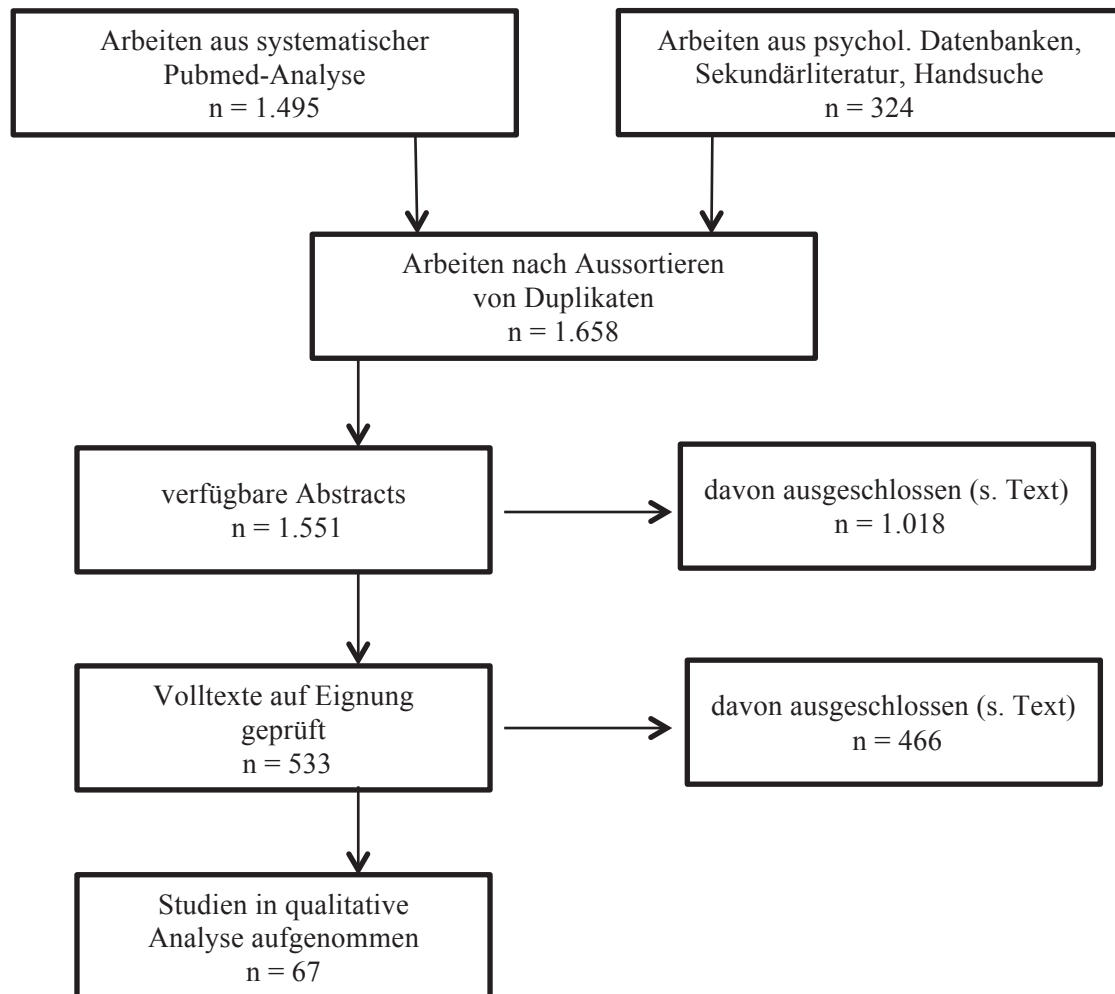


Abb. 6: Fluss-Diagramm der systematischen Literatursuche nach den Vorgaben des PRISMA-Statements (Liberati et al. 2009)

Der abschließende Schritt einer „quantitativen Analyse“ im Sinne einer Metaanalyse lässt sich allein schon aufgrund der Heterogenität der in den Studien gewählten Messparameter sowie der sehr unterschiedlichen Lärmstimuli nicht durchführen. Von den nach Ausschluss der Duplikate verbleibenden 1.658 Literaturstellen wurden bereits im ersten Schritt 107 Texte ausgeschlossen, weil die Mindestvoraussetzung nicht erfüllt war, dass ein Abstract zur ersten Information über den Inhalt zur Verfügung stand. Im nächsten Schritt wurden die

Abstracts auf ihre Eignung für das Thema überprüft. Wichtigstes Einschlusskriterium war, dass es sich bei den experimentellen Studien um Studien mit Menschen handeln musste. Gegenstand der Untersuchung sollten relevante Einflussfaktoren auf Ausmaß und Richtung der Reaktion elektrodermalen Parameter in Laborsituationen sein, sowohl bei Lärmexposition als auch bei anderen Stressoren. Alter und Geschlecht sowie sonstige personenbezogene Unterschiede waren damit von größtem Interesse, aber auch situative Faktoren der Stimulusgestaltung und –darbietung, des Versuchsaufbaus und der Instruktion und Motivation der Teilnehmer waren zu beachten. Auch Studien, die allein die elektrodermale Aktivität zwischen verschiedenen Personengruppen vergleichen, ohne etwaige weitere Stressoren zu betrachten, wurden einbezogen. *Ausgeschlossen* von der weiteren Auswertung wurden Studien, die sich ausschließlich mit organisch kranken Pbn, Kindern oder Tieren beschäftigten.

Im letzten Schritt, der weiteren Auswahl der Volltexte, galten dieselben Vorgaben, die an Hand des Volltextes natürlich besser bewertet werden können:

Einschluss:

- experimentelle Studien mit Menschen
- nachvollziehbare Darstellung der experimentellen Stimuli sowie der EDA-Messmethodik

Ausschluss:

- keine klaren Angaben zur Stimulusbeschaffenheit (z.B. Schallpegel oder Expositionsdauer)
- Tierexperimente
- pharmakologische Studien
- spezielle Stichproben (z. B. nur Kinder, bestimmte Patientengruppen ohne Vergleichsgruppe o. ä.).

Während für den Ergebnisteil und damit für die systematische Literaturschau nur experimentelle Studien genutzt wurden, fanden zur Darstellung und Übersicht der Grundlagen und zur Diskussion auch einige Metaanalysen Verwendung. Bzgl. des Alters der Studien ergab sich vor allem in Bezug auf das Thema „Lärm“, dass aus den letzten Jahren deutlich weniger Studien zu finden sind als etwa bis zur Jahrtausendwende. Daher wurden auch Arbeiten aus den 1990er Jahren und noch früher berücksichtigt, soweit sie die Suchkriterien erfüllten.

5 Studienergebnisse zur EDA auf akustische Reize

5.1 Übersicht

Kap. 5 befasst sich mit Studien, in denen der Einfluss von *akustischen Stimuli* thematisiert wird. Das heißt, in diesen Studien werden meist akustische Eigenschaften von Reizen als unabhängige Variable (UV) variiert und die Auswirkungen auf elektrodermale Größen untersucht (Übersicht in Tabelle 3). Dabei sind zwei unterschiedliche Fragestellungen zu unterscheiden: In Kap. 5.2 bis 5.5 werden zunächst Studien dargestellt, die konkret den Einfluss von akustischen Parametern auf die EDA untersuchen, indem z. B. die Schallpegel, das Frequenzspektrum (von Einzeltönen bis zu Weißem Rauschen) oder das Zeitintervall zwischen zwei Signalen modifiziert werden. Auch Aspekte der Darbietung in der Versuchssituation, z. B. der Räumlichkeitseindruck des akustischen Reizes oder die Kontrollierbarkeit des Reizes, werden hier behandelt, ebenso der Informationsgehalt der akustischen Stimuli (Industriegeräusche, Naturgeräusche, menschliche Stimmen, Musik etc.).

Anschließend werden in Kap. 5.6 Studien behandelt, die akustische Reize einsetzen, um Reaktionsunterschiede aufgrund von personenbezogenen Faktoren wie beispielsweise Alter, Geschlecht, Persönlichkeitsmerkmale wie Introversion/Extraversion, Raucherstatus oder Lebensgewohnheiten unter Stressbedingungen zu untersuchen. In einigen dieser Studien wird der auditive Stimulus gar nicht variiert und nur als austauschbarer Stressor eingesetzt. Hier sind zum einen weitere Ergebnisse hinsichtlich der elektrodermalen Reaktion auf spezifische akustische Reize zu erwarten und zum anderen auch Hinweise auf interindividuelle Reaktionsunterschiede auf Grund von Moderatorvariablen.

Ein Problem in der strukturierten Darstellung der Ergebnisse der Literaturrecherche besteht darin, dass zwei Ordnungsgesichtspunkte zu berücksichtigen sind: Zum einen ist die Frage zu beantworten, welche akustischen Reizqualitäten in welcher Quantität geeignet sind, elektrodermale Antworten zu stimulieren. Zum anderen stellt sich aber auch die Frage, ob bestimmte elektrodermale Parameter vielleicht besonders aussagekräftig oder aber gar nicht brauchbar sind. Daher wird jeder akustische Wirkfaktor gesondert behandelt. Die Ergebnisse für jeden Faktor werden dann jeweils nach EDA-Parametern getrennt dargestellt – soweit überhaupt eine größere Anzahl von Publikationen dazu in der Literatur gefunden wurde.

In der Tabelle 3 lässt sich klar erkennen, dass die weitaus meisten Autoren die Hautleitfähigkeit messen (SCL oder SCR) – entweder als Niveau oder als Reaktion oder auch beides. Die Klassifizierung der verwendeten Messmethode bzw. Signalauswertung ist allerdings

bisweilen sehr spartanisch. Vor allem wird bei Verwendung einer automatisierten Auswertung meist nicht eindeutig dargestellt, wie die Verarbeitung der registrierten EDA-Messungen erfolgte, da die EDA kein standardisiert erfasster Parameter ist.

Tabelle 3: Ausgewertete Studien mit akustischen Stimuli – Angabe der verwendeten unabhängigen bzw. Moderator-Variablen und der elektrodermalen Parameter

Autoren, Jahr	unabhängige bzw. Moderator-Variablen	EDA-Parameter
<i>Alvarsson et al., 2010</i>	Geräuschart, Erholung	SCL
<i>Bradley & Lang, 2000</i>	Alltagsgeräusche mit unterschiedlicher Wertigkeit	SCR
<i>Björk, 1986</i>	Schallpegel, Art des Geräusches	SCL
<i>Breier et al., 1987</i>	Kontrollierbarkeit	SCL
<i>Catania et al., 1980</i>	Alter	SCR, SCL
<i>Davidson & Smith, 1991</i>	Koffein	SCR, SCL
<i>Fisher & Kotses, 1974</i>	Geschlecht	SCL
<i>Gaviria, 1967</i>	Geräuschbedeutung, Habituation	SPR, SRR
<i>Gomez & Danuser, 2004</i>	Erregungsniveau, affektive Bewertung	SCL
<i>Khalfa et al., 2002</i>	Musikclips unterschiedlicher Wertigkeit	SCR
<i>Knott, 1984</i>	Geschlecht, Rauchen	SCR, SCL
<i>Knott & Bulmer, 1985</i>	Alkohol	SCL
<i>Korn & Moyer, 1968</i>	Geschlecht	SR
<i>Krumhansl, 1997</i>	emotionsbetonte Musikstile	SCL
<i>Martinez-Selva et al., 1987</i>	Geschlecht	SCR, SCL
<i>Martin-Soelch et al., 2006</i>	Affektive Geräuschbewertung, Ängstlichkeit, Habituation	SCR
<i>Nater et al., 2006</i>	Musik, Geschlecht	SC, SCL
<i>Nivison et al., 1987</i>	Interstimulusintervall, subjektive Erregung, Habituation	SCR, SCL
<i>Notbohm et al., 2003</i>	Geräusch	SCL
<i>Notbohm et al., 2011</i>	Verkehrsgeräusche, Alter und Geschlecht	SCL
<i>Saha et al., 1996</i>	Langzeitwirkung von Lärm, Hautwiderstand!	GSR
<i>Schwarze et al., 1993 u. 1997</i>	räumlicher Geräuscheindruck	SCR
<i>Shmavonian et al., 1968</i>	Alter	SCL
<i>Siddle & Heron, 1976</i>	1 kHz Töne, 70 dB, 90 dB, Reliabilität	SCR, SCL
<i>Sokhadze, 2007</i>	Musik, Erholung	SCL
<i>Stansfeld et al., 1985</i>	Lärmempfindlichkeit, chron. Lärmbelastung	SCR
<i>Stern et al., 1970</i>	Subjektive Bewertung, Schallintensität	SCR
<i>Travis et al., 2009</i>	Meditation	SPR
<i>Trimmel et al., 2012</i>	Fluglärm, Nachbarschaftslärm, niedrige Pegel, Geschlecht	NS.SCR
<i>Turpin & Siddle, 1979</i>	1 kHz Töne, ansteigende Lautstärke (45- 105 dB)	SCR, SCL, SPR, SPL
<i>Turpin et al., 1999</i>	Schallpegel, Anstiegsdauer/-steilheit	SCR
<i>Vera et al., 1992</i>	Induzierte negative Beurteilung	SCR, SCL

5.2 Einfluss akustischer Parameter

5.2.1 Einfluss des Parameters Schallpegel

5.2.1.1 SCR und Schallpegel

Drei Studien aus England (mit sich überlappender Autorenschaft) befassten sich mit der Frage, wie sehr SCR von der Höhe des Schallpegels und z. T. auch den akustischen Eigenschaften des verwendeten Schallreizes abhängen:

Siddle & Heron (1976) untersuchten anhand von 37 Männern und Frauen den Einfluss des Schallpegels auf die SCR und ihre Habituation, indem sie zwei Versuchsgruppen mit unterschiedlicher Exposition – Stimuli von 70 dB bzw. 90 dB – verglichen. Im Rahmen zweier Sitzungen mit dem Abstand von 97 bis 160 Tagen, bei denen jeweils zwanzig 1000-Hz-Töne von je 3 s Dauer vorgespielt wurden (in Gruppe „hohe Belastung“ mit 90 dB, in Gruppe „mittlere Belastung“ mit 70 dB), konnten sie deutlich höhere SCR-Amplituden bei Darbietung des 90-dB-Stimulus feststellen. Die Messungen über die beiden Sitzungen hinweg zeigten eine gute Reliabilität.

Die stärkere Reaktion auf den höheren Schallpegel steht in Einklang mit den Ergebnissen einer späteren Studie von *Turpin & Siddle (1979)*, die in ihrem Laborversuch die Lautstärke von 1 kHz Einzeltönen systematisch in 15-dB-Schritten von 45 bis 105 dB je Versuchsgruppe variierten. Es gab fünf Experimentalgruppen, die entweder mit 45, 60, 75, 90 oder 105 dB beschallt wurden. Unter den intensiveren Schallpegeln (105 dB, 90 dB) zeigten sich auch hier nahezu linear verlaufende stärkere SCR als unter Versuchsbedingungen mit geringeren Schallpegeln (45–75 dB). Die Habituation setzte bei höheren Stimulus-Intensitäten später ein, während die Stimulus-Intensität keine Auswirkungen auf die Latenzzeiten vor Beginn der elektrodermalen Reaktion hatte.

1999 ermittelten *Turpin et al.* in einem ähnlichen Versuch signifikant ($p < .01$) größere Amplituden und Frequenzen der SCR bei der Gruppe mit Darbietung von Geräuschen mit höherem Schallpegel (100 dB(A)) im Vergleich zu der Gruppe, die Geräusche mit geringerem Schallpegel (60 dB(A)) präsentiert bekam.

In derselben Studie untersuchten *Turpin et al. (1999)* auch den Einfluss von Anstiegsdauer und Anstiegssteilheit des Tonstimulus (Weißes Rauschen) auf elektrodermale Maße und fanden einen Zusammenhang zwischen schnelleren Anstiegszeiten und größeren SCR ($p < .05$). Für den Einfluss der Stimulusdauer zeigte sich ein nicht signifikanter Einfluss mit

größeren SCRs nach längerer Dauer von 5 s im Vergleich zu Stimuluszeiten von 1 s ($p < .09$).

Für die SCR kann also zusammengefasst werden, dass sie durch den Schallpegel deutlich beeinflusst und mit höheren Pegeln größer werden, wobei in den dargestellten Studien meist sehr große Pegeldifferenzen bis zu 60 dB untersucht wurden. Darüber hinaus wurde deutlich, dass es selbst bei relativ einfachen akustischen Reizen wie Weißem Rauschen wichtig ist, experimentelle Details wie die Dauer der Darbietung im Sekundenbereich oder die Anstiegsteilheit des Schallpegels zu beachten, da solche Faktoren bereits deutliche Reaktionsunterschiede hervorrufen können. Wie bei der peripheren Volumenpulsation ist in Laborexperimenten mit akustischen Stimuli erst ab Schallpegeln von 65-70 dB(A) mit einer klaren SCR-Reaktion, die dem Reiz zugeordnet werden kann, zu rechnen.

5.2.1.2 SCL und Schallpegel

In zwei der erwähnten Studien zum Einfluss des Schallpegels wurde neben den SCR auch das SCL gemessen. Die Studie von *Siddle & Heron (1976)* ergab, dass die Gruppe mit höherem Expositionsniveau (also bei 90 dB vs. 70 dB) eine stärkere Erhöhung des SCL zeigte. Über die zwei Sitzungen hinweg erwiesen sich die SCL-Messungen als sehr reliabel. Zum gleichen Ergebnis - aber mit höheren SCLs unter höheren Schallpegeln - kam auch die bereits vorgestellte Untersuchung von *Turpin & Siddle (1979)*. Darüber hinaus konnten sie eine Verringerung des SCL über die Aufgabendauer hinweg im Sinne einer Habituation feststellen.

Björk (1986) untersuchte den Einfluss der Lautstärke, indem er den Schallpegel ab 20 dB in 10-dB-Schritten ansteigen ließ. Zunächst kam es im Verlauf der dB-Steigerung zu einer kontinuierlichen SCL-Verringerung. Nach Überschreiten der Stimulusintensität über ein Niveau von 70 dB kam es allerdings auch zu einem Anstieg des SCL und ab einem Niveau von 90 dB zu einem erneuten Absinken des SCL. *Björk (1986)* interpretiert die Veränderung des SCL ab 70 dB als Abwehrreaktion des Organismus, während vorher aufgrund des vorhersehbaren und leichten Anstiegs der Schallintensität zunächst keine Orientierungs- oder Schreckreaktion auftrat.

Weiterhin ist bei der EDA bei wiederholter Stimulation bzw. bei langsam ansteigenden Pegeln mit einer Habituation zu rechnen. Denn die z. T. erstaunlichen Ergebnisse von *Björk (1986)* im Vergleich mit *Turpin & Siddle (1979)* und *Siddle & Heron (1976)* lassen sich

plausibel mit den unterschiedlichen Versuchsplänen erklären. Während es sich bei *Turpin & Siddle (1979)* um fünf verschiedene Gruppen mit unterschiedlichen Schallpegeln handelte, wovon im Anschluss die beiden Gruppen mit höheren und die drei Gruppen mit niedrigeren Pegeln zusammengefasst und verglichen wurden, handelte es sich bei *Björk (1986)* um eine allmähliche Erhöhung der Pegel mit der Zeit innerhalb der gleichen Sitzung und Gruppe. Bei *Björk (1986)* spielt also der Mechanismus der Habituation über die Zeit eine große Rolle, der die Verringerung des SCL über die Zeit bei zunehmenden Schallpegeln erklären könnte. Auch für das SCL lässt sich also grundsätzlich eine Steigerung mit zunehmendem Schallpegel im Laborexperiment feststellen, wobei Effekte wie Schreckreaktion oder Habituation die Reaktion der Pbn beeinflussen können. Vergleichbar mit den Ergebnissen, die im vorigen Kapitel in Bezug zur SCR dargestellt wurden, konnte *Björk (1986)* bestätigen, dass reliable Anstiege des SCL erst bei Schallpegeln oberhalb von 70 dB(A) auftreten.

5.2.2 Einfluss weiterer akustischer Parameter auf SCL und SCR

5.2.2.1 Räumliche Wiedergabe des Reizes

Mit der Frage nach dem Unterschied der Reaktion auf ein Geräusch, das mit zwei verschiedenen Aufnahme- bzw. Wiedergabetechniken eingesetzt wurde (jeweils mit einem Mittelungspegel L_m von 83 dB(A)) befassten sich *Schwarze et al. (1993, 1997)* in drei Versuchsreihen. In der ersten Versuchsreihe mit 48 jungen Pbn kamen drei verschiedene sehr informationshaltige Maschinengeräusche sowie zum Vergleich Rosa Rauschen (informationsarm, keine Impulshaltigkeit, unidirektionale Beschallung) zum Einsatz. Die Geräusche waren zum einen mit konventionellen Mikrofonen aufgenommen worden und zum anderen mit binauraler Messtechnik. Die binaurale Technik, auch Kunstkopftechnik genannt, erzeugt einen fast wirklichkeitsgetreuen Eindruck der Räumlichkeit. Hierzu wurde ein sog. Kunstkopf verwendet, der die anatomischen und physiologischen Verhältnisse der menschlichen Ohren simuliert. D. h. binaurale Kunstkopfaufnahmen geben den räumlichen Eindruck „hörgerichtet“ wieder, so wie es in der realen Situation über das menschliche Ohr wahrgenommen würde. Zu Beginn der Darbietung der Kunstkopfaufnahmen zeigten sich signifikant stärkere SCR-Werte. Dieser Reaktionsunterschied entspricht nach Angabe der Autoren etwa dem, wie man ihn bei einer Schallpegeldifferenz von etwa 3 dB(A), also einer Verdopplung der Schallenergie, erwarten würde. Bezüglich der subjektiven Bewertung allerdings fand sich kein Unterschied zwischen den Aufnahmetechniken. Die gleichzeitige Registrierung weiterer physiologischer Parameter ergab ein paralleles Verhalten der Fingerpulsamplitude, wohingegen Herzfrequenz und Stirn-EMG keine Reaktionen auf die Geräusche zeigten.

In der zweiten Versuchsreihe wurden das Geräusch einer Metallsäge und einer sog. Aufkopplungsmaschine per Kunstkopf zum einen unidirektional und zum anderen multidirektional, also aus zwei Richtungen einwirkend, dargeboten. Die initiale SC-Reaktion während der ersten 15 Sekunden fiel bei der multidirektionalen Geräuscharbietung signifikant stärker aus.

Im dritten Versuch wurde die physiologische Reaktion in Abhängigkeit vom Informationsgehalt der Geräusche untersucht. Hierzu wurde statt der vorher verwendeten informationsreichen Maschinengeräusche nur informationsarmes Rosa Rauschen präsentiert. Dieses wurde mittels Kunstkopftechnik in unterschiedlicher räumlicher Anordnung dargeboten: unidirektional, bidirektional und als bewegte Schallquelle. In der subjektiven Geräuschbeurteilung wurden das bidirektionale und das bewegte Rauschen als lauter, unangenehmer, belästigender und gefährlicher wahrgenommen als das unidirektionale Geräusch. Bei den physiologischen Parametern einschließlich SCR fanden sich nicht ganz so starke Unterschiede: Die Initialreaktionen unterschieden sich bei den verschiedenen Rauschsignalen nicht, aber beim bidirektionalen und beim bewegten Geräusch zeigte sich beim SCL während der gesamten Dauer des Geräusches keine Rückkehr zum Ausgangswert.

Bei informationsreichen Geräuschen (Maschinengeräuschen) führte die binaurale Aufnahme also zu deutlich stärkeren Reaktionen von EDA und Fingerpuls als bei informationsarmem Rauschen, ebenso bei der räumlich korrekten Wiedergabe zweier unterschiedlicher Maschinen. Bei informationsarmen Geräuschen (Rauschen) konnten der Informationsgehalt durch Bewegung der Schallquelle gesteigert und damit stärkere physiologische Reaktionen induziert werden. Offensichtlich wirkt die räumliche Information bei binauralen Geräuschen gleicher Lautstärke realistischer auf den Pbn und suggeriert bei der verwendeten Lautstärke sogar eher eine Gefahrensituation, auf die der Organismus mit einer Sympathikusaktivierung, erkennbar an der Erhöhung der EDA, reagiert.

5.2.2.2 Reizkontrolle und Reizerwartung

Den Unterschied zwischen kontrollierbarer, d. h. durch den Pbn steuerbarer Geräuschexposition und unkontrollierbarer Exposition untersuchten *Breier et al. (1987)* anhand von 3000-Hz-Tönen, die mit einem Schallpegel von 100 dB dargeboten wurden. In der kontrollierbaren Bedingung konnte das Geräusch durch Drücken von Tasten in einer bestimmten Reihenfolge gestoppt werden. Es zeigten sich signifikante Unterschiede ($p < .04$) mit höherem SCL während der unkontrollierbaren Bedingung. Die Autoren erklären dies durch höhere Werte

von Anspannung, Angst oder Hilflosigkeit in der unkontrollierbaren Situation, wodurch es zu einer verstärkten Sympathikusaktivierung im Sinne einer Stressreaktion kommt. Auch wenn der Reiz nicht kontrollierbar ist, kann es einen Unterschied machen, ob man einen Reiz erwartet und sich darauf einstellen kann, oder nicht.

Den Zusammenhang zwischen der Dauer des Interstimulusintervalls (ISI), selbstberichtetem Arousal und der Hautleitfähigkeit untersuchten *Nivison et al. (1987)*. Als Interstimulusintervall wird die Zeit zwischen zwei Stimuli bezeichnet, in der der Proband in Erwartung des nächsten Stimulus ist. Die 30 an der Studie teilnehmenden Studenten wurden in drei Gruppen mit unterschiedlicher durchschnittlicher ISI-Länge (45 Sek., 3 Min., 10 Min.) eingeteilt. Es zeigten sich proportional höhere Reaktionswahrscheinlichkeiten und höhere SCR-Amplituden bei längerem ISI als bei kurzem ISI, vermutlich, weil bei längerem Intervall das Auftreten des nächsten Reizes schlechter antizipiert werden kann und das Warten als zusätzliche Belastung empfunden wird. Der Einfluss des Faktors „individuelles Arousal“ wird in Kap. 5.4.1 eingehender behandelt.

5.3 Einfluss von Inhalt und Bedeutung des Schallreizes

5.3.1 Experimentelle Vergleiche unterschiedlicher Geräuschquellen

5.3.1.1 SCR und unterschiedliche Geräuschquellen

Den Einfluss der affektiven Bewertung eines Geräuschstimulus (Dauer 6 Sek., ISI 20 Sek.) sowie der Persönlichkeitseigenschaft „Ängstlichkeit“ und die Habituation psychophysiologischer Reaktionen untersuchten *Martin-Soelch et al. (2006)*. Für emotionale Geräusche wurde ein signifikanter Anstieg der SCR im Vergleich zu neutralen Geräuschen beobachtet ($p < .001$). Bei den emotionalen Geräuschen wurden angenehme (z. B. klassische Musik, Lachen, Gitarre) von unangenehmen (z. B. Wecker, Schrei eines Neugeborenen) unterschieden. Als neutrale Geräusche wurden beispielsweise Verkehrsgeräusche oder das Ticken einer Uhr eingesetzt.

Bradley & Lang (2000) untersuchten die Reaktionsmuster auf akustische Reize aus dem Blickwinkel des Aktivierungs-Valenz-Modells der Emotionspsychologie, demzufolge affektive Reaktionen sich in den beiden Dimensionen „aktiviert – deaktiviert“ und „angenehm – unangenehm“ abbilden (vgl. *Lang et al. 1993, Västfjäll et al. 2002*). In ihrem Experiment wurden 60 akustische Stimuli von jeweils 6 s Dauer eingesetzt, die laut Vorversuchen zu je einem Drittel als angenehm, neutral oder unangenehm einzuschätzen waren. Es handelte sich

dabei um eine breite Sammlung verschiedenster Lebensgeräusche von Uhrticken über Bienensummen, Hundeklaffen, Babygeschrei und zischendem Bier bis zu Liebesgeflüster, die sich sehr unterschiedlich auf die beiden affektiven Dimensionen verteilten. Da die Geräusche realitätsgetreu dargeboten wurden, variierte der Spitzenpegel zwischen 64 und 81 dB(A). Die SCR-Reaktionen wurden signifikant von der Valenz der Geräusche beeinflusst: Die Reaktion fiel bei neutralen Reizen deutlich schwächer aus, als bei angenehmen und unangenehmen Reizen; die stärksten Reaktionen waren bei einigen positiven Stimuli (erotisches Geräusch, Achterbahnfahrt) zu verzeichnen.

5.3.1.2 SCL und unterschiedliche Geräuschquellen

In der Untersuchung von *Björk (1986)* zeigten sich bei einem Schallpegel von 60 – 80 dB(A) signifikante ($p < .05$) Unterschiede im SCL zwischen den Geräuschen eines schreienden Babys und eines lesenden Mannes sowie zwischen Vogelzwitschern und dem Schrei einer Lachmöwe. Die SCL fielen bei letzteren deutlich stärker ab als bei den erstgenannten Geräuschen. Die Lautstärken der Geräusche wurden von 20 dB(A) ausgehend alle 30 Sekunden um 10 dB(A) bis auf 90 dB(A) gesteigert und im Anschluss ebenso wieder gesenkt.

Ob es einen Unterschied zwischen der Auswirkung von Geräuschen aus der Natur oder Umweltlärm auf die Erholungsphase nach einer stressigen kognitiven Aufgabe gibt, untersuchten *Alvarsson et al. (2010)* mit verschiedenen Schallpegeln bei 40 Studenten. Direkt nach Stressorexposition war das SCL für die unterschiedlichen Bedingungen gleich, erholte sich aber unter dem Einfluss von Naturgeräuschen (50 dB(A)) am schnellsten, während die Exposition mit 80-dB(A)-Verkehrslärm die langsamste Erholung zur Folge hatte. Dementsprechend war das mittlere SCL bei Naturgeräuschexposition signifikant ($p = .045$) geringer als bei Lärmexposition von 80 dB(A). Auch wenn man die gleichen Schallpegel von 50 dB(A) betrachtet, zeigen sich infolge der Verkehrsgeräusche leicht höhere SCL als bei Exposition gegenüber Naturgeräuschen (0,82 μ S vs. 0,84 μ S, jeweils bezogen auf die vorher ermittelte *Baseline*). Der Umgebungslärm von 40 dB(A) bedingte ein mittleres SCL von 0,85 μ S. Die auch beschriebene schnellere Erholung des sympathischen Systems unter Einfluss von Naturgeräuschen bringen die Autoren in Zusammenhang mit den positiven Emotionen, die mit Natur verbunden sind.

Selbst beim Vergleich relativ ähnlicher Straßenverkehrsgeräusche im Schalllabor sind elektrodermale Reaktionsunterschiede feststellbar, die auch mit subjektiven Geräuschbewertungen korrespondieren (*Notbohm et al. 2003*). Zweiminütige Aufnahmen von Fahrgeräuschen

auf zweispurigen städtischen Straßen mit ähnlichem Fahrzeugaufkommen, aber einseitiger vs. beidseitiger Bebauung wurden mit dem gleichen Mittelungspegel von 83 dB(A) dargeboten. Über die meisten Zeitabschnitte ergaben sich deutlich stärkere SCL-Anstiege - insbesondere in den ersten 30 – 90 s der Exposition für die Straße mit einseitiger Bebauung, die auch in der subjektiven Geräuschbeurteilung schlechter abschnitt. Ebenso zeigten sich im Vergleich von zwei vierspurigen, stark befahrenen Ausfallstraßen (mit einseitiger Bebauung vs. freiem Feld) signifikante Unterschiede in der elektrodermalen Reaktion. Ob die jeweilige Bebauung mit ihren akustischen Auswirkungen bei diesen Paarvergleichen tatsächlich als entscheidende Wirkgröße anzusehen ist, sei dahingestellt; hervorzuheben ist vor allem die Tatsache, dass auch bei relativ ähnlichen Geräuschen signifikante und erklärbare Unterschiede im Niveau des SCL der Pbn nachzuweisen waren und es sich damit bestätigt, dass die EDA sehr differenzierte Messungen ermöglicht.

5.3.1.3 NS.SCR und unterschiedliche Geräuschquellen

Trimmel et al. (2012) verglichen in einer quasi-experimentellen Studie den Effekt von Fluglärm (48 dB(A)), Nachbarschaftslärm (45 dB(A)) und einer Kontrollbedingung (36 dB(A)) auf kognitive Funktionen und elektrophysiologische Stressreaktionen. Allerdings wurde in dieser Studie zur Messung der EDA die Anzahl der Spontanfluktuationen (NS.SCR), die sich dem tonischen Level auflagern bestimmt, da bei derart niedrigen Schallpegeln und nicht klar abgrenzbaren Stimuli die Messung des SCR nicht sinnvoll ist. Um den Realitätsgehalt des Experiments zu erhöhen, wurde es in den Wohnungen der Pbn durchgeführt, indem die Geräusche im Nebenzimmer abgespielt wurden. Es zeigte sich unter allen Geräuschbedingungen eine Verschlechterung der kognitiven Funktion (Gedächtnisleistung). Unter Fluglärm zeigte sich während der Lernepisode eine erhöhte Anzahl von Spontanfluktuationen, unter Nachbarschaftslärm waren die Spontanfluktuationen hingegen vor und nach der Lernepisode erhöht. Es zeigte sich, dass selbst geringfügige Hintergrundgeräusche in der Lage sind, sowohl die kognitive Leistung als auch die autonome Aktivität zu beeinflussen.

5.3.1.4 SPR/SRR und unterschiedliche Geräuschquellen

Gaviria (1967) verglich den Einfluss von Weißem Rauschen und verschiedenen Stimmen gleichen Schallpegels (60 dB +/- 5 dB) auf Habituation und Reaktionsamplitude von Hautpotenzialreaktion (SPR) und Hautwiderstandsreaktion (SRR). Für die Habituation zeigte sich sowohl für SPR als auch für SRR, dass bei Weißem Rauschen bis zur Habituation die meisten Durchgänge notwendig waren, gefolgt von der Habituation nach Präsentation der eige-

nen Stimme, der des Ehepartners, der fremden Stimme des anderen Geschlechts und der gleichgeschlechtlichen, fremden Stimme. Reaktionsamplitude und die spontane elektrodermale Aktivität unterschieden sich infolge der unterschiedlichen Stimuli nicht. Wie in Tabelle 3 dargelegt, werden die gewählten Parameter SPR und SRR eher selten eingesetzt, was auf Schwierigkeiten in der Messung und Interpretation der Messergebnisse hindeuten kann.

5.3.2 Einfluss von Musik auf die EDA

5.3.2.1 SCR und Musik

Musik ist ein akustischer Reiz, der häufig explizit darauf zielt, emotionale Reaktionen hervorzurufen. *Khalfa et al. (2002)* untersuchten im Rahmen des o.g. Aktivierungs-Valenz-Schemas nach *Bradley & Lang (2000)*, inwieweit Stimuli mit deutlich verschiedenen Ausprägungen von Aktivierung und Wertigkeit zu Unterschieden in den SCR-Werten führen. In einer methodisch sehr exakt geplanten und durchgeführten Studie wurden 14 Musikclips von je 7 s Dauer verwendet, die deutlich den musikalischen Stimmungen „Frieden“, „Trauer“, „Glück“ und „Furcht“ zuzuordnen waren. Ausgewertet wurden nur die Stücke, die auch von den 34 Pbn deutlich als emotional empfunden wurden. „Glück“ und „Furcht“ – die beiden Emotionen, die als sehr aktivierend eingeordnet wurden – erwiesen sich als die Stimuli mit den signifikant höheren SCR-Werten, während sich die Valenz (angenehm – unangenehm) nicht so eindeutig in den SCR-Reaktionen widerspiegelte. Angaben zum Schallpegel der Musikdarbietungen werden nicht gemacht. Offensichtlich konzentrierte sich das Interesse ganz auf den Vergleich der musikalischen Inhalte.

5.3.2.2 SCL und Musik

Ebenfalls im Rahmen des Aktivierungs-Valenz-Modells untersuchten *Gomez & Danuser (2004)* SCL-Reaktionen auf Musik und Umweltgeräusche (vom Wasserfall über Menschenmenge bis zu Autobahn- und Flugzeuggeräuschen). Jeweils 16 Musikfragmente (L_m zwischen 52,2 und 76,7 dB(A)) und 16 Umweltgeräusche (L_m zwischen 58,9 und 77,5 dB(A)) von je 30 s Dauer wurden den 31 Pbn im Labor vorgespielt. Unmittelbar nach jedem Stimulus wurde die Bewertung hinsichtlich Aktivierung und Valenz erfasst. Für das SCL zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang mit dem Anstieg der jeweils berichteten Aktivierung, aber nur für die Darbietung der Musikstücke und nicht während der Umweltgeräusche. Am Rande sei angemerkt, dass die ebenfalls aufgezeichnete Herzfrequenz genau den entgegengesetzten Trend zeigte: stärkerer Anstieg mit höherer angegebener Aktivierung nur bei Umweltgeräuschen, nicht bei Musikstücken. Die Autoren verweisen darauf, dass Geräusche an-

ders verarbeitet werden als Musik. Sie vermuten bei Musik eine stärkere Visualisierung entsprechender Objekte oder Situationen, die zu stärkerer Ausprägung und Variation der elektrodermalen Reaktionen führt. Allerdings werden in der Studie nur die Ergebnisse von Regressionsanalysen wiedergegeben, so dass manche Fragen offen bleiben.

SCL-Reaktionen auf verschiedene Musikrichtungen oder -stile wurden auch in einigen weiteren Studien untersucht. *Krumhansl (1997)* versuchte, die durch Musik induzierten Emotionen psychophysiologisch zu erfassen, indem sechs Musikexzerpte (z. B. Vivaldi, Musorgsky, Albinoni) von jeweils 3 min. Dauer vorgespielt wurden, die nach Expertenmeinung die Emotionen Trauer, Furcht oder Glück hervorrufen sollten. Unter insgesamt zwölf erfassten physiologischen Maßen befand sich auch das SCL. Für die drei Emotionen ergaben sich unterschiedliche Reaktionsspektren, wobei das SCL bei allen drei Musikstilen im Verhältnis zum Ausgangsniveau (Mittel über 90 s vor Beginn der Musik) abnahm, am stärksten bei den Trauer-induzierenden Stücken. Angaben zum Schallpegel der Musikdarbietungen werden nicht gemacht.

Im Rahmen ihrer Studie mit 53 Studenten zu emotionalen und psychophysiologischen Reaktionen auf musikalische Stimuli konnten *Nater et al. (2006)* zeigen, dass Heavy-Metal-Musik im Vergleich zu Renaissance-Musik im Durchschnitt zu einer signifikant ($p = .037$) stärkeren Erhöhung des SCL führt. Angaben bezüglich eventuell unterschiedlicher Schallpegel werden nicht gemacht.

Sokhadze (2007) untersuchte den Einfluss von angenehmer Musik, trauriger Musik und Weißem Rauschen auf das SCL in einer sehr speziellen experimentellen Situation, nämlich in der Erholungsphase nach unangenehmer visueller Stimulation. Die Stimulation mit ausgewählten Bildern des IAPS (International Affective Picture System), die als besonders ekelierend beurteilt wurden, führte zu einem signifikanten ($p = .007$) Anstieg des SCL gegenüber dem Ausgangswert. Durch anschließende Präsentation beider Musikarten (mit jeweils 55 dB) kehrte der Parameter zügig auf den Ausgangswert zurück, während Weißes Rauschen (55 dB) den Erholungsprozess nicht beschleunigen konnte: Auch nach der Exposition mit Weißem Rauschen blieb der SCL-Wert höher als während der initialen Baseline ($p < .05$).

Hervorzuheben ist an dieser Stelle die Übereinstimmung in den Studien von *Sokhadze (2007)* und von *Alvarsson et al. (2010)* (s. Kap. 5.3.1.2), dass die *Erholung* nach einer Stressbelastung im Sinne einer Normalisierung der EDA-Werte durch angenehme akustische Reize (hier verschiedene Musikarten, dort Naturgeräusche) beschleunigt wird.

5.4 Einfluss subjektiver Reizbewertung auf die elektrodermalen Reaktionen

Die bisher dargestellten Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Stärke elektrodermalen Reaktionen auf akustische Reize auch davon abhängt, wie der jeweilige Hörer seine physiologische Aktivierung wahrnimmt und in der Folge den Reiz und/oder die Situation entsprechend bewertet. Einige Studien versuchen, diese subjektive Bewertung genauer zu analysieren.

5.4.1 SCR und subjektive Reizbewertung

Im Rahmen ihrer Studie zum Zusammenhang zwischen subjektiver Bewertung und der Reaktion physiologischer Parameter fanden *Stern et al. (1970)* keine Korrelation zwischen physiologischen Reaktionen und subjektiver Empfindung der Geräuschintensität von Weißem Rauschen. In zwei Gruppen wurde für jeden Pbn individuell ein Lärmlevel festgelegt, indem die Schallpegel in 10-dB-Schritten entweder in der einen Gruppe bis zu einem Punkt erhöht wurde, an dem es die Pbn störte, oder in der anderen Gruppe bis die Schmerzgrenze erreicht war. In der Gruppe mit niedriger Intensität wurde also eine Lautstärke eingesetzt, die von den Pbn zuvor als „störend“ beurteilt wurde, in der Gruppe mit hoher Intensität dagegen ein Lärmniveau, das als „maximal erträglich“ eingestuft wurde. Diese individuellen Lautstärkeniveaus wurden jeweils über den gesamten Versuch konstant gehalten.

Während die SCR im Verlauf der Geräuschpräsentationen von Weißem Rauschen signifikant ($p < .05$) abnahm, d.h. eine Habituation an das Geräusch stattfand, wurden die Geräusche trotz unverändertem Pegel signifikant ($p < .01$) als zunehmend stärker beurteilt. Die subjektiv als stärker empfundenen Geräuschintensitäten bei gleich bleibendem Schallpegel im Verlauf des Experiments führten die Autoren auf eine entspannte Allgemeinstimmung am Anfang der Untersuchung zurück, die sich im Verlauf der Sitzung in einen zunehmend angespannteren Zustand wandelte.

Vera et al. (1992) untersuchten den Einfluss suggerierter negativer Bewertung auf die elektrodermalen Reaktionen. 84 studentische Pbn hörten zweimal Verkehrsgeräusche im Bereich von 85 bis 95 dB in 2 jeweils 15-minütigen Durchgängen. Entweder im ersten oder im zweiten Durchgang dieser Geräusche wurden ihnen negative Beurteilungen in Form von 45 verschiedenen kurzen Sätzen per Projektor präsentiert. Zusätzlich erhielt jeweils die Hälfte jeder Probandengruppe vor Versuchsbeginn schriftliche Instruktionen, in denen ihnen gesundheitsschädliche Effekte der folgenden Geräusche beschrieben wurden. Die physiologischen Reaktionen wurden in 3 Phasen in jedem Durchgang für jeweils 2 min. gemessen. Es zeigte

sich, dass die negative Stimulation durch die Beurteilungen nur dann stärkere SCR hervorrief, wenn sie bei der ersten Geräuschpräsentation erfolgte. Bei negativer Beurteilung in Durchgang 2, also während des bereits aus Durchgang 1 bekannten Verkehrsgeräusches, blieb der Effekt der negativen Beurteilung hingegen gering. Es zeigte sich damit in beiden Probandengruppen eine Abnahme der SCRs im Sinne einer Habituation. Die zusätzliche schriftliche Instruktion vor Versuchsbeginn führte in beiden Probandengruppen zu deutlich höheren SCR im ersten Versuchsdurchgang als bei den Pbn ohne diesen zusätzlichen Belastungsfaktor. Beide Interventionen – die Projektion negativer Sätze während der Erstexposition und die schriftliche Instruktion vor der Exposition – verstärkten also die elektrodermale Reaktion.

5.4.2 SCL und subjektive Reizbewertung

In der eben vorgestellten Studie von *Vera et al. (1992)* wurde neben der SCR auch das SCL gemessen. Hier zeigte sich ein deutlicher Effekt der negativen Instruktion in stark erhöhten SCL-Werten während der Phase 1; insbesondere die Kombination von negativer Stimulation und schriftlicher Instruktion führte zu deutlich stärkeren SCL-Werten, sogar bei der Gruppe, die diese Exposition erst im zweiten Durchgang erlebte. Eine Habituation fand bei den meisten Teilnehmern bis zum Ende der Messungen nicht statt.

5.5 Studien zur Habituation/Langzeitwirkung akustischer Reize

5.5.1 Habituation in experimentellen Settings

Eine Habituation der elektrodermalen Reaktion auf wiederholte Geräuschstimuli im Laufe eines Laborexperiments ist im Vorhergehenden schon öfters erwähnt worden, z. B. fand sich in der bereits oben erwähnten Studie von *Nivison et al. (1987)* bezüglich SCR und SCL eine hochsignifikante Abnahme ($p < .001$) über alle jeweils 4 Sek. dauernden 80-dB(A)-Geräuschstimuli hinweg. In praktischer Hinsicht ist die Frage, inwieweit sich eine Habituation über größere Zeiträume hinweg einstellt, von größerer Bedeutung. In einigen Laborexperimenten wird dieser Aspekt mituntersucht.

Gaviria (1967) konnte in der bereits oben erwähnten Studie bei einer zweiten Versuchssitzung 2 bis 9 Tage nach der ersten Sitzung eine anhaltende Habituation des Hautpotenzials (SP) und des Hautwiderstandes (SR) von der ersten zur zweiten Sitzung feststellen. Diese hatte sich bereits während der ersten Sitzung mit einer Abnahme der Amplitudenhöhe und Reaktionshäufigkeit bemerkbar gemacht.

Wie schon in Kap. 5.3.1.1 erwähnt, fanden *Martin-Soelch et al. (2006)* für die Hautleitfähigkeit eine deutliche Habituation mit Verringerungen der SCR im Verlauf der drei Präsentationsblöcke ($p < .005$). Eine Woche später zeigten sich zwischen dem ersten und zweiten Präsentationsblock signifikante initiale Verringerungen der SCR für unangenehme ($p < .01$) und neutrale ($p < .01$) Geräusche, nicht aber für angenehme Geräusche, gefolgt von einer signifikanten SCR-Erhöhung zwischen dem zweiten und dritten Präsentationsblock für unangenehme Geräusche ($p < .05$). In der zweiten Sitzung konnte kein Unterschied zwischen angenehmen und neutralen Geräuschen festgestellt werden, da die SCR eventuell durch das allgemein verringerte Erregungsniveau reduziert war. Die Autoren argumentieren, dass die Amygdala eine wichtige Rolle in der Regulation der EDA spielt und eng mit Emotionen verknüpft ist. Die unangenehmen Geräusche riefen offensichtlich eine besonders langanhaltende Wirkung hervor.

Bezüglich der Test-Retest-Reliabilität der beobachteten Habituation der SCR-Reaktionen über zwei Sitzungen im Abstand von mehr als 90 Tagen hinweg kam die bereits vorgestellte Studie von *Siddle & Heron (1976)* zu dem Ergebnis, dass sich unter beiden verwendeten Stimulusintensitäten eine deutliche Reliabilität der SCR-Habituation zeigte. Dabei war der Reliabilitätskoeffizient in der Gruppe mit einer Exposition von 90 dB größer als in der Gruppe mit 70 dB.

5.5.2 Habituation bei langjährig lärmexponierten Personen

Für die Frage, inwieweit elektrodermale Reaktionen in Laborexperimenten überhaupt Schlussfolgerungen auf mögliche Langzeitwirkungen von Lärmexposition zulassen, sind Langzeituntersuchungen mit entsprechend Exponierten von größtem Interesse. Zwei sehr unterschiedliche Arbeiten zu dieser Fragestellung liegen vor:

Gegen Ende der 1980er Jahre hatte in der Umgebung Londoner Heathrow Airport eine umfangreiche epidemiologische Studie zu Fluglärmwirkungen in den betroffenen Wohngebieten stattgefunden (siehe z. B. *Tarnopolsky & Morton-Williams 1980*). An einer Teilgruppe dieses Studienkollektivs führten *Stansfeld et al. (1985)* eine Nachuntersuchung mit der Fragestellung durch, wie stark die individuelle Lärmempfindlichkeit die psychophysiologische Reaktivität beeinflusst. Die Besonderheit dieser Untersuchung lag in ihrem quasi-experimentellen Charakter: Es wurde eine repräsentative Auswahl von Frauen mit niedriger, mittlerer bzw. hoher Lärmempfindlichkeit aus den niedrig und hoch belasteten Gebieten der Flughafenstudie getroffen. Die Untersuchung von jeweils 45 Min. Dauer fand in den Wohnungen

der betreffenden Pbn statt – d.h. auch mit Einwirkung einiger realer Überflüge. Im Unterschied zu ähnlichen Laboruntersuchungen sollte damit eine höhere ökologische Validität der Ergebnisse erreicht werden.

Die Untersuchung bestand aus einer 15-minütigen Befragung, 15 Min. für die schriftliche Bearbeitung von Fragebögen und 15 Min. für Audiometrie und Lautheitsbewertung von Tonsignalen. EKG und Hautleitfähigkeitsdaten wurden während der gesamten Zeit aufgezeichnet. Entgegen den Hypothesen zeigten sich bzgl. des tonischen SCLs kein Einfluss der Lärmempfindlichkeitsstufen und auch kein Unterschied zwischen den beiden Gebieten. Aber es zeigte sich ein signifikanter Effekt der chronischen Lärmbelastung auf die SCR: Neben dem Alter war die Zugehörigkeit zu dem höher belasteten Wohngebiet ein signifikanter Faktor für eine höhere Anzahl von Reaktionen. Offensichtlich führt die häufigere Exposition nicht zu einer SCR-Habituation, sondern zu immer neuen Abwehrreaktionen als Merkmal chronischer Lärmexposition.

In ganz anderer Weise und auf anderem Terrain untersuchten *Saha et al. (1996)* die Auswirkungen langjähriger Lärmbelastung am Arbeitsplatz an 156 Männern zwischen 22 und 58 Jahren. Anhand dreier Gruppen mit unterschiedlich langer Lärmexposition im Betrieb -- Arbeit im Wärmekraftwerk 8 Std. täglich an 6 Tagen pro Woche bei einem Schallpegel zwischen 90 und 113 dB(A) -- und altersgemäß entsprechenden zwei Kontrollgruppen wurden neben anderen kardiovaskulären Variablen die Auswirkungen der verschiedenen Lärmexpositionszeiträume (Gruppe 1: <10 J., Gruppe 2: 10-20 J., Gruppe 3: >20 J.) auf den Hautwiderstand (Galvanic skin resistance (GSR)) getestet. Die Lärmarbeiter zeigten im Vergleich zur jeweiligen Kontrollgruppe einen signifikant geringeren Hautwiderstand in Ruhe. So betrug der GSR in der Lärmgruppe I (<10 J) 348.60 k Ω (\pm 171.90); in der Kontrollgruppe I lag er mit 523.40 k Ω (\pm 264.90) deutlich höher. In der Lärmgruppe II (10-20 J) lag der Hautwiderstand bei 362.20 k Ω (\pm 180.40) und wiederum deutlich höher in der Kontrollgruppe II mit 678.20 k Ω (\pm 430.30). In der Lärmgruppe III (>20 J.) lag der Hautwiderstand mit 401.40 k Ω (\pm 190.50) zwar über dem Wert der beiden anderen Lärmgruppen, aber noch deutlicher unter dem Wert der Kontrollgruppe II. Inwieweit die Gruppenunterschiede z. B. auch zwischen den Lärmgruppen statistisch signifikant sind, wird nicht mitgeteilt. Trotz der genannten Inkonsistenzen zwischen den Lärmgruppen sprechen die Autoren im Zusammenhang mit den höheren Messwerten von systolischem und diastolischem Blutdruck und der Herzfrequenz von „noise stress“ auf Grund der langjährigen Exposition, der auf die kontinuierliche Aktivierung der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse und die daraus resultie-

rende Freisetzung von Katecholaminen zurückzuführen sei. Da es sich bei der EDA um eine momentane Reaktion des autonomen Nervensystems handelt, ist nicht ganz nachvollziehbar, wie es zu einer dauernden Absenkung des Hautwiderstands kommen kann. An dieser Stelle sei deshalb auf die Ausführungen in Kap. 3.1.2 verwiesen. Wie man beispielhaft an der sehr großen Standardabweichung der Experimentalgruppe II ($678.20 \text{ k}\Omega \pm 430.30$) erkennen kann, ist die Galvanic Skin Resistance stark abhängig vom individuellen Niveaufwert. Somit ist sie als Konsequenz wenig tauglich für den Zwischen-Subjektvergleich. Nach *Burk (S. 53, 2005)* sollen für Vergleiche mit mehreren Pbn hauptsächlich Leitfähigkeitsparameter gemessen werden.

5.6 Einfluss von Moderatorvariablen in Experimenten mit akustischen Stimuli

5.6.1 Einfluss des Alters

5.6.1.1 SCR und Alter

Keine signifikanten Altersunterschiede der SCR-Habituation oder der SCR-Höhe konnten *Catania et al. (1980)* im Vergleich der elektrodermalen Reaktionen von jeweils 12 Pbn aus zwei Altersgruppen feststellen (jung: 22–30 J. MW = 25,3 J.; alt: 61–78 J., MW = 69,5 J.; 7 Frauen und 5 Männer in jeder Gruppe): Nach einer 5-min. Ruhephase wurde jeder Pb einer Serie von 1000 Hz-Tönen mit 95 dB ausgesetzt, bis eine Habituation der SC-Reaktion eintrat (definiert als Abwesenheit von SCR größer $0,6 \mu\text{mho}$ über drei Tonsignale hinweg). Weder in den SCR-Mittelwerten noch in der Anzahl von Durchgängen bis zur Habituation zeigte sich ein signifikanter Alterseffekt. Das einzige auffällige Ergebnis zeigte sich bei Analyse der Anzahl aktiver Schweißdrüsen der Pbn: In der jüngeren Gruppe lag die Zahl aktiver Schweißdrüsen im Mittel dreimal höher als bei den Älteren, und nur in der älteren Gruppe zeigte sich eine signifikante Korrelation zwischen Anzahl aktiver Schweißdrüsen und Stärke der SCR.

5.6.1.2 SCL und Alter

Für das SCL dagegen war der Alterseffekt in derselben Studie von *Catania et al. (1980)* während der Ruhephase und während der Habituation hoch signifikant. Die jungen Pbn zeigten sowohl in Ruhe wie unter Habituationsbedingungen höhere SCL als die Älteren. Bei den jungen Pbn konnte eine starke Korrelation zwischen der Anzahl der aktiven Schweißdrüsen und dem SCL beobachtet werden ($r = .74$), aber nicht bei den 61–78jährigen ($r = .22$). Daher diskutieren die Autoren zusätzlich zur altersbedingten Abnahme der Schweißdrüsen auch ei-

nen altersbedingten Unterschied der epidermalen Hydration durch Elektrolytverschiebungen als mögliche Ursache für das Phänomen abnehmender SCL.

Bezüglich des Alterseffektes auf das SCL infolge akustischer Stimuli liegen weitere Studien vor, die zu einem übereinstimmenden Ergebnis kommen. Bei *Shmavonian et al. (1968)* zeigten 17- bis 25-jährige Pbn konstant wesentlich höhere Ausgangswerte des Leitfähigkeitsniveaus (SCL) als 61- bis 76-jährige Pbn. Den deutlichen Unterschied der Altersgruppen führen die Autoren nicht nur auf äußere Einflussfaktoren, sondern auch auf eventuelle Veränderungen im Hormonhaushalt zurück.

In einem Forschungsprojekt der EUGT* (Europäische Forschungsvereinigung für Umwelt und Gesundheit im Transportsektor e.V., Berlin) zu Wirkungen von Verkehrslärm (*Notbohm et al. 2013*) wurde der Einfluss von Alter und Geschlecht systematisch im Labor untersucht, indem SCL-Messungen an männlichen und weiblichen Pbn aus zwei Altersgruppen durchgeführt wurden, während sie im Schalllabor acht verschiedene Kfz-Vorbeifahrgeräusche von jeweils 2 min. Dauer hörten. Über alle Geräusche gemittelt zeigten sich während der ersten 30 s der Exposition die stärksten prozentualen SCL-Anstiege in den beiden älteren Gruppen. Die individuelle Reaktion wurde jeweils als Prozentwert im Verhältnis zur Baseline vor Geräuschbeginn ermittelt, um die teilweise extremen Unterschiede in den Ausgangswerten zwischen den Pbn auszugleichen. Insbesondere bei der Gruppe der älteren Frauen lagen die Ausgangswerte des SCL im Ruhezustand extrem niedrig, so dass sich ein geringer Anstieg von beispielsweise 5 μ S prozentual viel stärker niederschlägt als bei einem jungen Mann mit dreimal höherem Ausgangswert. Die Absolutwerte der Reaktionen kamen für einen Gruppenvergleich aber auch nicht in Frage, weil die Daten in dieser Studie auf eine deutliche Abschwächung der Reaktionen mit höherem Alter hinweisen.

5.6.1.3 Fazit zum Einfluss des Alters

In Experimenten mit wiederholten akustischen Stimuli zeigten ältere Pbn das gleiche Habituationmuster wie jüngere. Während keine Altersunterschiede im SCR festgestellt werden konnten, war bei den älteren Pbn das SCL deutlich erniedrigt, vermutlich aufgrund der bei älteren geringeren Anzahl an aktiven Schweißdrüsen. Unter Lärm kommt es jedoch bei den Älteren vermehrt zu stärkeren SCL-Anhebungen.

5.6.2 *Einfluss des Geschlechts*

5.6.2.1 SCR und Geschlecht

Frauen erwiesen sich in einer Studie von *Knott (1984)* bei aversiven Stimuli häufiger als Nonresponder als Männer. Es wurden 12 Geräuschstimuli mit 1000 Hz und einer Anstiegs- und Abfall-Zeit von 25 msec bei einer Intensität von 100 dB präsentiert. Stimulus 13 hatte eine geringere Frequenz von 500 Hz - diese Töne sollten ignoriert werden. Bei 33,3 % der weiblichen Raucher und 12,5 % der weiblichen Nichtraucher wurden keine SCR-Reaktionen auf die 13 Stimuli nachgewiesen, während bei den männlichen Pbn nur 12,5 % der Raucher und 6,3 % der Nichtraucher keine Reaktionen zeigten. Bei den Respondern konnte ein signifikanter Haupteffekt des Geschlechts festgestellt werden ($p < .001$), wobei Frauen stärkere SCRs zeigten als Männer. Alle Erklärungen für dieses Ergebnis beziehen sich auf den Faktor „Rauchen“: Raucher werden als besonders empfindlich gegenüber auditiven Stimuli beschrieben. Insbesondere weibliche Raucher verspürten während der stärkeren Stimuli einen starken Drang zu rauchen.

Im Gegensatz dazu fanden *Martinez-Selva et al. (1987)* bei Männern als Reaktion auf 5 Sekunden dauernde Sinustöne (80 dB, teils 500 Hz, teils 2000 Hz je nach Probandengruppe) insgesamt höhere SCR (Mittelwerte in μS : rechte Hand: 0,51; linke Hand: 0,58) als bei Frauen (Mittelwerte in μS : rechte Hand: 0,48; linke Hand: 0,44). Auffällig war, dass Männer an der linken Hand signifikant höhere SCRs zeigten (0,58 vs. 0,51 μS , $p < .016$). Bei den Frauen dagegen zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Händen.

Bezüglich des SCR zeigt sich also z. T. eine Tendenz der stärkeren Reaktionen auf Seiten der Männer.

5.6.2.2 SCL und Geschlecht

In der Reaktion auf eine Serie von Tönen zeigten sich bei *Korn & Moyer (1968)* Geschlechtsunterschiede mit einer schnelleren Habituation des SCL bei den Frauen. Ein höheres SCL bei den Männern konnten auch *Fisher & Kotses (1974)* beobachten (Männer 8,21 μS vs. Frauen 4,07 μS , $p < .001$). Darüber hinaus konnte eine signifikante Wirkung ($p < .001$) des Geschlechts des Versuchsleiters auf das Ruhe-SCL bei den Pbn festgestellt werden: Die mittleren Ruhe-SCLs in Anwesenheit von männlichen Versuchsleitern betragen 4,47 μS und bei Anwesenheit weiblicher Versuchsleiter 7,82 μS , bezogen auf die gesamte Probandengruppe. Außerdem zeigten sowohl Männer wie Frauen in der Bedingung mit einem gegengeschlechtlichen Versuchsleiter auch mehr spontane Hautwiderstandserhöhungen.

Auch in der bereits erwähnten Studie von *Nater et al. (2006)* wurde ein signifikanter Haupteffekt des Geschlechts ($p = .007$) beim SCL mit höheren SCL auf Seiten der Männer beobachtet. Frauen schienen in den untersuchten psychophysiologischen Variablen insgesamt stärker als Männer auf Stress zu reagieren, zeigten aber hinsichtlich der elektrodermalen Aktivität ein insgesamt geringeres SCL als Männer (ca. $0,7\text{--}1,4 \mu\text{S}$ vs. ca. $1,3\text{--}2,1 \mu\text{S}$).

Im Gegensatz dazu fand *Knott (1984)* nach aversiver Stimulation bei den weiblichen Rauchern höhere SCLs ($3,8\text{--}5,1 \mu\text{S}$) als bei den männlichen Rauchern ($2,7\text{--}3,3 \mu\text{S}$). Frauen hatten in dieser Situation einen besonders starken Drang zu rauchen. *Knott* vermutet, dass Tabak bei diesen Pbn zu einer Normalisierung der physiologischen Reaktion führt.

Für das SCL beobachteten *Martinez-Selva et al. (1987)* bei Frauen und Männern SCL-Unterschiede zwischen der rechten und linken Hand mit signifikant höheren SCL-Werten rechts bei Frauen ($8,250 \mu\text{S}$ vs. $6,289 \mu\text{S}$) ($p < .016$) und größeren SCL-Werten links bei Männern ($8,750 \mu\text{S}$ vs. $7,282 \mu\text{S}$) ($p < .01$).

In der bereits erwähnten EUGT-Laborstudie zu Wirkungen von Kfz-Vorbeifahrgeräuschen (*Notbohm et al. 2013*) wurde neben dem Alterseinfluss auch der des Geschlechts untersucht. Der prozentuale SCL-Anstieg während der Expositionszeit fiel sowohl für die jüngeren wie die älteren Frauen signifikant höher aus als bei den Männergruppen ($p < .001$ für den Haupteffekt „Geschlecht“ in der Varianzanalyse). Insbesondere die älteren Frauen zeigten bei sehr niedrigem Ausgangsniveau einen erheblichen prozentualen Anstieg, wobei gerade in dieser Gruppe auch die interindividuellen Unterschiede besonders groß waren.

Auch eine weitere, oben bereits erwähnte Studie (*Trimmel et al. 2012*) fand Geschlechtsunterschiede. Als EDA-Parameter wurden die Spontanfluktuationen auf unterschiedliche Geräuschbedingungen erfasst. In nahezu allen Bedingungen zeigten hier Frauen eine höhere Anzahl von Spontanfluktuationen.

5.6.2.3 Fazit zum Einfluss des Geschlechts

Wie für das Lebensalter zeigte sich auch für den Faktor „Geschlecht“ ein relevanter Einfluss, der sich in Abhängigkeit des zur Beobachtung stehenden elektrodermalen Parameters unterscheidet. Frauen sind häufiger *non-responder* und neigen stärker zur Habituation. Sowohl beim SCR als auch beim SCL (mit Ausnahme der Spontanfluktuationen) zeigte sich bei Männern eine Tendenz zu stärkeren Veränderungen der EDA als Reaktion auf auditive Sti-

muli. Bei gemischten Probandenkollektiven müssen diese Unterschiede folglich bei der Interpretation von elektrodermalen Reaktionen auf akustische Stimuli berücksichtigt werden.

5.6.3 Einfluss von Persönlichkeitsfaktoren

Stabile Persönlichkeitsfaktoren wie Extra-/Introversion, Neurotizismus, Ängstlichkeit oder Lärmempfindlichkeit werden in der Lärmwirkungsforschung als wichtige Moderatoren der individuellen Reaktion auf Geräuschereignisse diskutiert. In Experimenten zu EDA-Veränderungen durch Schallreize wurden solche Einflüsse jedoch sehr selten untersucht.

Bezüglich des Einflusses der Persönlichkeitseigenschaft „Ängstlichkeit“, ermittelt über den STAI-Persönlichkeitsfragebogen, konnte die bereits oben genannte Studie von *Martin-Soelch et al. (2006)* keinen Effekt der persönlichen Ängstlichkeit auf die SCR im Rahmen eines Experiments mit unterschiedlichen Geräuschqualitäten finden.

In der bereits oben vorgestellten Studie von *Stansfeld et al. (1985)* zum Einfluss von Fluglärm unter Feldbedingungen konnte kein Einfluss der individuellen Lärmempfindlichkeit auf die Anzahl der SCR festgestellt werden.

In der EUGT-Studie wurden auch diverse Persönlichkeitsfaktoren erfasst und systematisch in die Auswertung einbezogen. Mittels Mediansplit wurde die Stichprobe von 66 Pbn in Bezug auf einzelne Persönlichkeitsdimensionen jeweils in zwei Hälften geteilt und deren mittlere Veränderung in der Hautleitfähigkeit während Geräuschexposition ermittelt (*Notbohm et al. 2013*). Signifikant höhere SCL-Werte zeigten sich dabei für die folgenden Faktoren:

- hohe Lärmempfindlichkeit nach Weinstein (*Zimmer & Ellermeier 1997*) ($p < .01$)
- hohe Werte für Neurotizismus ($p < .05$) und für Introversion ($p < .01$) im sog. „Big-Five-Persönlichkeitsfragebogen“ (*Borkenau & Ostendorf 2008*)
- geringe Werte auf der *Sensation-Seeking*-Skala (*Beauducel et al. 2003*) ($p < .01$).

Generell zeigte sich eine signifikante negative Korrelation ($r = -.299$) zwischen der *Sensation-Seeking*-Gesamtskala und dem SCL-Anstieg während der Geräuschexposition. In einer weiteren statistischen Analyse dieser Daten (*Notbohm et al. 2013*) ergeben sich die Faktoren Geschlecht (weiblich) und *Sensation Seeking* (mit negativem Vorzeichen) als einzige signifikante Prädiktoren für die Höhe der SCL-Reaktion während der Geräuschexposition.

5.6.4 Einfluss von Lebensgewohnheiten

Auch unterschiedliche Lebens- und Konsumgewohnheiten können die elektrodermale Aktivität beeinflussen. In einigen wenigen experimentellen Studien wurde z. B. die Wirkung von Alkohol, Koffein und Meditation auf EDA-Parameter untersucht.

5.6.4.1 SCL und Alkohol

Knott & Bulmer (1985) befassten sich mit dem Unterschied des SCL zwischen gesunden Pbn und Alkoholikern. Bei den Alkoholikern zeigten sich in Ruhe geringere SCL als bei den gesunden Kontrollprobanden. Auch unter Einfluss eines stressinduzierenden Geräusches (Weißes Rauschen 100 dB, 1 Sek.) zeigten die Alkoholiker signifikant schwächere Reaktionen ($p < .05$) als die Kontrollgruppe. Insgesamt wird daher ein „Hypoarousal“ bei Alkoholikern konstatiert.

5.6.4.2 SCL/ SCR und Koffein

Davidson & Smith (1991) untersuchten den Effekt von Koffein (300 mg) und von Weißem Rauschen auf die elektrodermale Aktivität (SCL/SCR) und auf die Leistung in verschiedenen Erinnerungsaufgaben. Zuvor wurden jedoch alle Pbn in einem ersten Versuchsdurchgang einer Serie von zwölf 1000 Hz-Tönen von jeweils 1 s Dauer ausgesetzt. Unter Koffein-Einfluss zeigten sich während der Exposition signifikant höhere SCL-Werte als in der Kontrollbedingung (MW = 3,36 vs. 2,12 μ S).

Im Anschluss wurden je 12 Pbn einer der vier möglichen Kombinationen der beiden Versuchsbedingungen Koffein (ja/nein) und Weißes Rauschen (ja/nein) zugeordnet. Während der Erinnerungsaufgaben zeigten sich unter Koffeineinfluss wieder höhere SCL-Werte als unter Gabe eines Placebos: im Mittel 2,79 μ S mit Koffein vs. 1,44 μ S ohne Koffein. Zusätzliches Weißes Rauschen führte zu einer stärkeren Habituation der SCL-Reaktion; eine solche Wirkung von moderateren Pegeln Weißes Rauschens ist aus der Literatur bekannt (*Boucsein et al. 1984*).

Für die SCR zeigten sich tendenziell ähnliche Ergebnisse, vor allem grundsätzlich stärkere phasische Reaktionen unter Koffeineinfluss als bei Gabe eines Placebos. Dabei waren die Amplituden im ersten Versuchsdurchgang während der 1000-Hz-Töne geringer als ohne Geräusch. Bei den anschließenden Erinnerungsaufgaben zeigten sich für die Koffein- und Placebogruppen ähnlich hohe Anfangswerte in der SCR. Danach folgte in der Placebo-

Bedingung eine rasche Habituation, während sich in der Koffeingruppe vor allem unter der Bedingung ohne Weißes Rauschen eine ausgeprägte Variabilität der SCR-Werte ohne klares Muster zeigte. Unter Lärm zeigte auch die Koffeingruppe eine zwar variable, aber doch deutlich erkennbare Habituation.

Festzuhalten ist daraus zum einen, dass mittels der elektrodermalen Parameter Unterschiede zwischen Arousal-Zuständen, die aus Kombinationen von Koffein, Schallreizen und kognitiven Aufgaben resultierten, sehr differenziert beschrieben werden konnten, und zum anderen, dass die Parameter SCL und SCR unterschiedliche Akzente in der Erfassung des zeitlichen Reaktionsverlaufs setzen: Gerade diese Studie zeigt sehr gut, wie sich mittels der Variabilität oder Konstanz der SC-Reaktionen ein zusätzlicher Aspekt der Wirkung eines Reizes, in diesem Falle des Koffeins, beschreiben lässt.

5.6.4.3 SPR und Entspannung / Meditation

Dass sich körperliche Entspannung, wie sie ja im autogenen Training und ähnlichen Methoden zu therapeutischen Zwecken geübt wird, in physiologischen Parametern ablesen lässt, liegt auf der Hand. Insofern ist es erstaunlich, dass in der Literaturrecherche nur eine Veröffentlichung zu EDA-Reaktionen in diesem Bereich zu finden war. *Travis et al.* (2009) untersuchten an Studentengruppen den Einfluss regelmäßiger Meditation im Laufe eines Semesters auf verschiedene physiologische Maße, die als Marker für Stressreaktion bzw. Sympathikusaktivität angesehen werden können. Bzgl. EDA wurde die Habituation der Hautpotentialreaktion nach Präsentation von 85-dB-Geräuschen gemessen. In einer Gruppe der Pbn, die seit Semesterbeginn an einem Meditationsprogramm teilnahmen, zeigte sich eine signifikante Verringerung der Habituationsrate, d.h. der Zeit zum Erreichen der Ausgangslage, gegenüber einer Kontrollgruppe (im Schnitt nach 3,7 vs. 7,3 Durchgängen), d.h. eine schnellere Habituation und somit einen geringeren Sympathikotonus im Vergleich mit einer Gruppe mit weniger Meditationserfahrung. Der „Posttest“ lag zeitlich am Semesterende, wo viele Prüfungen stattfanden und daher ein erhöhter Sympathikotonus erwartet werden könnte. Erwartungsgemäß führte Meditation also zu einer schwächeren sympathischen Reaktion mit schnellerer Habituation.

6 Studienergebnisse zur EDA bei nicht-akustischen Reizen

6.1 Übersicht

Es wurde deutlich, dass sich akustische Reize ganz erheblich unterscheiden können im Hinblick auf physikalische Eigenschaften wie Frequenzspektrum oder Schallpegel und auf ihre Bedeutung für den Hörer, von unangenehmsten Geräuschen bis hin zu Musik. Entsprechend vielfältig sind die Wirkungen auf Stichproben, die sehr unterschiedlich hinsichtlich Alter, Geschlecht und Persönlichkeitsmerkmalen zusammengesetzt sind. Daher erscheint es sinnvoll, zum Vergleich und zur Absicherung der Ergebnisse zusätzlich auch Experimente mit *nicht-akustischen Stimuli* heranzuziehen. Zum einen wird damit der Kenntnisstand zu den verschiedenen EDA-Parametern - vor allem zu ihrer Aussagekraft und zu ihren Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen - auf eine breitere Basis gestellt. Zum anderen lassen sich eventuell auch weitere durch Moderatoren bedingte Wirkungen feststellen, die hilfreich sein können in der Einordnung und Bewertung von Ergebnissen in den interessierenden „Lärmexperimenten“.

Obwohl im vorigen Abschnitt deutlich wurde, dass in Laborexperimenten mit Schallreizen eindeutig die Parameter SCR und SCL im Mittelpunkt stehen, sollen für die Experimente mit nicht-akustischen Reizen auch die Veränderungen der Spontanfluktuationen, die sog. NS.SCR (s. Kap. 3.1.1) stärker mitbetrachtet werden. Insbesondere bei psychologischen Experimenten, in denen es nicht um die Auslösung phasischer Reaktionen durch die einzelnen Stimuli geht, sondern eher um die Erfassung von Auswirkungen auf Arousal und emotionale Beeinflussung, ist neben der Anhebung des sympathischen Niveaus auch die Zahl der ausgelösten Spontanfluktuationen aussagekräftig. Andere Parameter wie Skin Potential oder Skin Resistance werden nicht weiter behandelt, da sich schon im vorhergehenden Kapitel zeigte, dass sie in diesem Forschungskontext wenig Bedeutung haben und als methodisch eher problematisch einzustufen sind. Eine Übersicht der im Folgenden ausgewerteten Studien mit Angaben zu den jeweils untersuchten unabhängigen Variablen und Moderatorvariablen findet sich in Tabelle 4. Die Darstellung der Ergebnisse ist ebenfalls nach EDA-Parametern strukturiert.

Tabelle 4: Ausgewertete Studien mit nicht-akustischen Stimuli – Angabe der verwendeten unabhängigen bzw. Moderator-Variablen und der elektrodermalen Parameter

Autoren, Jahr	Unabhängige bzw. Moderatorvariablen	EDA-Parameter
Ambach et al., 2010	Concealed Information Test (Lügendetektor)	SCR
Bach et al., 2010	Variabilität unter div. Einflussfaktoren	SCR
Barontini et al., 1997	Alter, physische Stressoren	SCL
Braune et al., 1994	Geschlecht, Panikstörung	SCR, SCL
Carrillo et al., 2001	Geschlecht	NS.SCR
Davis, 1988	Persönlichkeit (Extro-, Introversion)	SCL, NS.SCR
Donat & McCullough, 1983	Persönlichkeit (Depression)	SCL
Eisdorfer et al., 1980	Alter, Geschlecht, Valsalva-Manöver	SCR, SCL
Evatt & Kassel, 2010	Stress, Rauchen, Ängstlichkeit	SCL
Fahrenberg et al., 1986	Reliabilität	NS.SCR
Fontani et al., 2004	Alter, div. Aufmerksamkeitstests	SCL
Furchtgott & Busemeyer, 1979	Alter, kognitive Aufgaben	SCL
Gavazzeni et al., 2008	Alter, Bilder unterschiedlicher Valenz	SCR
Gilbert & Hagen, 1980	Extro-/Introversion, Rauchen	SCR
Graham et al., 1966	Geschlecht, visuelle Stimuli	NS.SCR
Greenstein & Kassel, 2010	Rauchen, Aufmerksamkeitstests	SCR
Kopacz & Smith, 1971	Geschlecht, Elektroschock	NS.SCR
Kring & Gordon, 1998	Geschlecht, emotionale Stimuli (Filme)	SCR
Martinez-Selva et al., 1987	Geschlecht	SCR,SCL
Neiss et al., 2009	Alter, Geschlecht, Bilder untersch. Valenz	SCR
Neufeld & Davidson, 1974	Geschlecht, Bilder unterschiedlicher Valenz	NS.SCR
Papousek et al., 2002	Kognitiver Stress (Rede halten)	NS.SCR
Plouffe & Stelmack, 1984	Alter, kognitive Aufgaben	SCR, SCL
Riege et al., 1980	Alter, Geschlecht, kognitive Aufgabe	SCR
Robinson et al., 2007	Bilder unterschiedl. Valenz, Nikotin-Entzug	SCR
Roman et al., 1989	Geschlecht, Händigkeit	SCR
Smith et al., 1993	Geschlecht, Kaffee, kognit. Aufgaben	SCR, SCL
Stern et al., 1970	Stress (Elektroschocks)	SCL
Vandenbosch et al., 2009	Stress (Wiederholungsaufgabe)	SCR
Venables & Mitchell, 1966	Geschlecht	NS.SCR
Vrana & Rollock, 1998	Geschlecht, Ethnie	SCL
Vossel & Zimmer, 1990	Reliabilität	NS.SCR
Waters et al., 1987	Test-Retest-Stabilität	SCR, SCL
Weise et al., 2008	Test-Retest-Stabilität.	SCL
Zelinski et al., 1978	Alter, Gedächtnisaufgabe	SCR

6.2 Moderatorvariable Alter bei nicht-akustischen Reizen

6.2.1 SCR und Alter

Sieben der aufgelisteten experimentellen Studien beschäftigen sich mit dem Einfluss des Alters auf die (SCR). Zusätzlich zum Alter wurden noch als Stressoren der Einfluss kognitiver Aufgaben (*Zelinski et al. 1978, Riege et al. 1980, Plouffe & Stelmack, 1984, Fontani et al. 2004*), von Bilderpräsentationen (*Gavazzeni et al. 2008, Neiss et al. 2009*) und von körperlicher Anstrengung (*Eisdorfer et al. 1980*) untersucht.

Bezüglich des Einflusses von Alter und kognitiven Stressoren auf die SCR fanden *Zelinski et al. (1978)* im Rahmen einer Gedächtnisaufgabe bei den 71–85-jährigen geringere SCR als bei den beiden jüngeren Gruppen mit Pbn zwischen 18 und 70 Jahren. Zwischen den Gruppen der 55–70-jährigen und der 18–30-jährigen konnten hingegen keine Unterschiede in den SCR festgestellt werden, was auf einen nicht-linearen Zusammenhang zwischen Alter und SCR schließen lässt. Zur Erklärung verweisen die Autoren auf einen Zusammenhang der geringeren SCR-Höhe bei den 71–85-jährigen mit einer generellen Reduktion des autonomen Reaktionsvermögens, die bisherigen Studien zufolge erst mit relativ fortgeschrittenem Alter beobachtet werden könne.

Sinkende SCR mit zunehmendem Alter finden sich auch in der Studie von *Plouffe & Stelmack (1984)* im Rahmen von optischen Erinnerungsaufgaben. In einer Stichprobe von 60 Frauen zeigte sich ein signifikanter Alterseffekt ($p < .05$) mit stärkeren SCRs bei den 17–24-jährigen als bei den 60–88-jährigen. Im Verlauf vom ersten bis zum letzten präsentierten Bild fand sich zusätzlich eine generelle, altersunabhängige Abnahme der SCR im Sinne einer Habituation in beiden Altersgruppen.

Nicht im Einklang mit diesen Ergebnissen steht die Studie von *Riege et al. (1980)*, die die elektrodermale Reaktion während einer Wortwiedererkennungsaufgabe bei Pbn in drei verschiedenen Altersgruppen (18-34 J., 35-54 J., 55-72 J.) untersuchten. Obwohl die Altersspanne mit 18–72 Jahren recht groß war, konnten über alle Stimuli gemittelt keine signifikanten Altersunterschiede bei der SCR während der Wiedererkennungsaufgabe nach 2 Std. und einem weiteren Durchgang nach einer Woche festgestellt werden. Dies könnte eventuell in der geringen Größe der jeweiligen Personengruppen (je 10 Pbn) begründet sein, aber auch in einem zusätzlichen Einflussfaktor, nämlich dem unterschiedlichen emotionalen Gehalt der Wortreize. Für die emotional besetzten Wörter zeigten sich deutlich höhere SCR-Werte, aber nur für die jüngeren Teilnehmer und vor allem im ersten Durchgang nach 2 Stunden. Die

Reaktionen der ältesten Gruppe auf emotionale und neutrale Wortreize zeigten im Mittel keinen deutlichen Unterschied.

In einer Studie von *Fontani et al. (2004)* wurden insgesamt 68 männliche und weibliche Vpn im Alter von 18 bis 77 Jahren in vier gleich große Altersgruppen aufgeteilt und mit verschiedenen kognitiven Aufgaben (Aufmerksamkeitstests) konfrontiert. Die Gruppe der 18–29-jährigen zeigte in Ruhe die höchsten SCR-Werte wie auch den stärksten Anstieg während der Belastung. Auch die SCR-Werte der älteren Gruppen stiegen unter Belastung an, aber zwischen ihnen zeigten sich keine klaren Unterschiede. Die Ergebnisse der Regressionsanalyse bestätigen diesen Alterseffekt sowohl für die Kontrollbedingung ($p < .02$) als auch für die Testbedingung ($p < .04$).

Bei der Präsentation von Bildern mit negativer Valenz fanden *Gavazzeni et al. (2008)* mit Anstieg der subjektiv angegebenen Erregung stärkere SCR bei den 20–30-jährigen als bei den 70–80-jährigen ($p < .001$), und zwar sowohl für die SCR-Amplitude als auch die Anzahl der SCRs. Bei geringem Erregungsniveau zeigten ältere Erwachsene jedoch *mehr* Reaktionen als junge Erwachsene. Da starke Altersunterschiede nur bei hohen *negativen* Erregungen zu finden waren, empfehlen die Autoren, in Studien, die mit Bildern mit negativer Valenz arbeiten, die Altersunterschiede im Probandenkollektiv abzumildern oder sogar durch Auswahl eines Kollektivs gleichalter Pbn zu eliminieren.

Auch *Neiss et al. (2009)* arbeiteten mit dem Einsatz von Bildern unterschiedlicher Valenz, jedoch zeigten sich hier keine signifikanten Unterschiede zwischen 24–40-jährigen und 65–85-jährigen Pbn beiderlei Geschlechts in der durchschnittlichen SCR-Höhe; tendenziell reagierten aber die jungen Männer am stärksten und die jungen Frauen am schwächsten. Als wichtigster SCR-Prädiktor erwies sich das subjektiv wahrgenommene Arousal ($p = .001$): Junge Männer reagierten besonders stark auf negativ oder neutral eingestufte Reize, junge Frauen dagegen auf positive Reize. Allerdings berichten die Autoren, dass es bei den älteren Pbn mehr *non-responder* gab als bei den jüngeren. Da dies in früheren Studien nicht beobachtet wurde, vermuten sie, dass dies auf einer Verschärfung der Amplitudenkriterien für eine SCR im Vergleich zu vorherigen Studien beruht. So wurden niedrigere Amplituden, wie sie sich bei älteren Pbn häufig finden, nicht als SCR gewertet und somit ein *non-responding* bei diesen Pbn verzeichnet. Die Autoren weisen darauf hin, dass *non-responding* auch durch Hautveränderungen oder Hypothyreoidismus sowie durch kognitive Funktionsverluste bedingt sein kann, so dass dieser Einflussfaktor gerade in Emotionsstudien sehr sorgfältig zu definieren und zu prüfen ist.

Abschließend sei die Arbeit von *Eisdorfer et al. (1980)* erwähnt, die SCR-Veränderungen infolge körperlicher Anstrengung in Form von Valsalva-Manövern beobachteten: Bei insgesamt 60 männlichen und weiblichen Pbn aus drei verschiedenen Altersklassen (20 – 29, 40 – 49 und 65 – 75 J.) wurden die SCR-Werte aus drei Pressdruckversuchen gemittelt. Erstaunlicherweise zeigt sich eine deutliche *Wechselwirkung von Alter und Geschlecht*: In der jüngsten Gruppe ergibt sich für die Frauen ein signifikant höherer SCR-Wert als bei den Männern ($p < .01$), gefolgt von einem signifikanten linearen Abfall über die drei Altersklassen ($p < .03$); die *jungen Männer* dagegen zeigen einen äußerst niedrigen Wert, während in den beiden anderen Altersklassen die Werte der Männer leicht über denen der Frauen liegen. Ein deutlicher Alterseffekt in Form linear abnehmender Werte ergibt sich also nur für die weibliche Stichprobe.

6.2.2 SCL und Alter

Insgesamt vier der vorliegenden Studien beschäftigen sich mit dem Einfluss des Alters auf das SCL. Zusätzlich zum Alter wurde der Einfluss von kognitiven Stressoren (*Furchtgott & Busemeyer 1979; Plouffe & Stelmack 1984*) und physischen Stressoren (*Eisdorfer et al. 1980; Barontini et al. 1997*) untersucht.

Im Rahmen kognitiver Stressoren wie Mathematik- und Gedächtnisaufgaben konnten *Furchtgott & Busemeyer (1979)* folgende Altersunterschiede für das SCL feststellen: Vor den Instruktionen zeigte die Gruppe der 23–39-jährigen mit 70,1 μS die höchsten Werte, gefolgt von der Gruppe der 60–87-jährigen (41,3 μS) und der Gruppe der 40–59-jährigen (36,2 μS). Angesichts des hohen Ausgangsniveaus bei den jungen Pbn zeigte sich während der Mathematikaufgabe kein wesentlicher Anstieg, ebenso wenig bei der Gedächtnisaufgabe. In der älteren Gruppe zeigten sich hingegen größere Anstiege während der Gedächtnisaufgabe im Vergleich zur Mathematikaufgabe. Dieses Ergebnis lässt eine stärkere Anstrengung der Älteren bei der Gedächtnisaufgabe vermuten.

Ein ähnliches Ergebnis berichten *Plouffe & Stelmack (1984)*, bei denen die Gruppe der 17–24-jährigen signifikant ($p < .001$) und konstant höhere SCLs als die der 60–88-jährigen zeigte - sowohl hinsichtlich der Baselinewerte als auch während der Präsentation von einfachen Bildern. Dieses Phänomen steht den Autoren zufolge in Einklang mit Ergebnissen früherer Studien (z. B. *Catania et al. 1980*) und wird mit peripheren Veränderungen bei älteren Pbn in Verbindung gebracht, z. B. einer Reduktion der Anzahl der aktiven Schweißdrüsen, aber

auch mit zentralen Mechanismen, die für die unterschiedlichen Reaktionen auf verschiedene Stimuli verantwortlich sind und bei älteren Pbn vielleicht weniger effizient funktionieren.

In der oben bereits dargestellten Studie von *Eisdorfer et al. (1980)* wurden auch SCL-Messungen der Ausgangslage (jeweils vor den Valsalva-Manövern) vorgenommen. Sowohl für die weiblichen wie für die männlichen Pbn zeigte die Altersgruppe der 65–75-Jährigen geringere SCL als die jüngeren Gruppen.

Auch *Barontini et al. (1997)* untersuchten die Interaktion von SCL und Alter mit physischen Stressoren. Sie verglichen eine Phase, bei der die Pbn ruhig stehen sollten, eine Hyperventilationsphase und eine Phase in Rückenlage. Unter allen drei Bedingungen fanden sich signifikante negative Korrelationen zwischen SCL und Alter (Rückenlage: $p < .003$; im Stehen: $p < .001$; Hyperventilation: $p < .001$), d. h. die jüngsten Pbn zeigten in jeder Bedingung die stärksten, die ältesten die geringsten Reaktionen. Die niedrigsten Werte fanden sich erwartungsgemäß in der Ruhebedingung in Rückenlage (s. Tabelle 5). Die Werte im Stehen lagen jeweils etwas höher und die höchsten Werte zeigten sich in der Hyperventilationsbedingung. Auch *Barontini et al. (1997)* gehen davon aus, dass die Abnahme der SCLs mit zunehmendem Alter in Zusammenhang mit einer altersbedingten verminderten Reaktion der Schweißdrüsen steht.

Tabelle 5: Ergebnisse von *Barontini et al. (1997)* - Mittelwerte und Standardabweichungen des SCL in 3 Altersgruppen in den Versuchsbedingungen Liegen, Stehen, Hyperventilation

Hautleitfähigkeitsniveau (SCL)						
Alter	21 – 40 J.		41 – 60 J.		61 – 80 J.	
	MW (μ S)	SD (μ S)	MW (μ S)	SD (μ S)	MW (μ S)	SD (μ S)
Liegen (Rücken)	26	3	17	2	14	2
Stehen	34	4	29	3	19	3
Hyperventilation	41	4	33	3	20	3

MW=Mittelwert; SD=Standardabweichung; μ S=microSiemens

6.2.3 Fazit zur Moderatorfunktion des Alters

Mit insgesamt neun Studien ist der Einfluss des Lebensalters auf SCR oder SCL ein vergleichsweise häufig untersuchter Zusammenhang. Grundsätzlich ist danach sowohl für SCR- wie SCL-Messungen festzuhalten, dass bei deutlich älteren Personengruppen in der Regel eine schwächere elektrodermale Aktivität zu erwarten ist - sowohl in der Ausgangslage wie in Reaktion auf kognitive, emotionale und physische Stimuli. Unterschiedliche Tendenzen in

den Ergebnissen einiger vorgestellter Studien machen deutlich, dass die Aufgabenart, die Zusammensetzung der Stichprobe und auch individuelle, altersabhängige Faktoren dazu beitragen können, dass je nach Stressor abweichende Ergebnisse auftreten.

6.3 Moderatorvariable Geschlecht bei nicht-akustischen Reizen

6.3.1 SCR und Geschlecht

Sieben der vorliegenden Studien beschäftigen sich mit dem Einfluss des Geschlechts auf die SCR-Werte, meist unter dem Einfluss kognitiver Stressoren (zum Beispiel Rechenaufgaben, Gedächtnisaufgaben oder das Halten einer Rede), physischer Stressoren oder der Präsentation von Bildern unterschiedlicher Valenz.

Bei den Studien mit akustischen Stimuli (in Abschnitt 5.6.2.1) wurde bereits die Arbeit von *Martinez-Selva et al. (1987)* vorgestellt, in der die männlichen Vpn erstens stärkere SCR-Reaktionen auf Sinustöne zeigten als die weiblichen und zweitens auch eine stärkere Reaktion in der linken Hand als in der rechten. In einem Folgeexperiment konnten *Roman et al. (1989)* bei Verwendung einer verbalen und einer räumlichen kognitiven Aufgabe keine Geschlechtsunterschiede finden, nachdem die Pbn in Gruppen von Rechtshändern und Linkshändern unterteilt wurden. Hinsichtlich der Ergebnisse von *Martinez-Selva et al.* vermuten die Autoren daher, dass die Geschlechtsunterschiede dort lediglich aufgrund einer zufällig höheren Prozentzahl von Linkshändern in der männlichen Probandengruppe zustande gekommen sind. Auch *Smith et al. (1993)* konnten beim Vergleich verschiedener experimenteller Situationen nur eingeschränkt Geschlechtsunterschiede der SCR-Werte beobachten: Nur in einer Bedingung, in der zuvor Kaffee konsumiert wurde, nicht aber nach Verabreichung eines Placebos zeigten Männer erheblich größere SCR als Frauen. Unter Placeboeinfluss zeigte sich eine bei Männern und Frauen gleichermaßen über die Zeit schwankende Habituation.

Höhere SCR unter dem Einfluss verschiedener kognitiver Stressoren bei männlichen Pbn konnten *Braune et al. (1994)* sowohl bei gesunden Pbn wie bei Pbn mit Panikstörung bestätigen. Beispielfhaft sollen hier detaillierte Zahlen zu den Reaktionen der verschiedenen Gruppen gezeigt werden, weil die sehr deutlichen Mittelwertunterschiede und vor allem die äußerst hohen Standardabweichungen interessant sind: Männer der gesunden Kontrollgruppe zeigten im Mittel deutlich höhere SCR als die Frauen aus der Kontrollgruppe, und auch in

der Gruppe der Pbn mit Panikstörung zeigten sich bei den Männern etwas höhere Werte als bei den Frauen (vgl. Tabelle 6).

Tabelle 6: Ergebnisse von Braune et al. (1994) - Mittelwerte und Standardabweichungen der SCR bei männlicher und weiblicher Kontrollgruppe und bei männlichen und weiblichen Pbn mit Panikstörung

Hautleitfähigkeitsreaktionen (SCR)				
Geschlecht	Männlich		Weiblich	
	MW (μ S)	SD (μ S)	MW (μ S)	SD (μ S)
gesunde Kontrollgruppe	180,06	215,27	70,56	70,32
Pbn mit Panikstörung	348,45	208,34	296,68	338,68

MW=Mittelwert; SD=Standardabweichung; μ S=microSiemens

Im Rahmen einer Studie zu Geschlechtsunterschieden in der Reaktion auf emotionale Filme führten Kring & Gordon (1998) zwei Experimente durch. Im ersten Experiment sollten die Pbn einen emotionalen Film anschauen und emotional bewerten. Bzgl. der Baseline zeigte sich hier kein Unterschied in der Anzahl der SCRs zwischen Männern und Frauen und auch bei gemeinsamer Betrachtung aller Versuchsbedingungen war der Haupteffekt für das Geschlecht nicht signifikant (Tabelle 7). Es fanden sich jedoch Geschlechtsunterschiede bei getrennter Betrachtung der verschiedenen Versuchsbedingungen: So zeigten Männer bei angst-einflößenden Filmen signifikant ($p = .028$) stärkere SCRs als Frauen und auch stärkere SCRs bei fröhlichen Filmen. Frauen hingegen zeigten tendenziell stärkere Reaktionen auf traurige Filme als Männer, allerdings statistisch nicht signifikant.

Tabelle 7: Ergebnisse von Kring & Gordon (1998) - Mittelwerte und Standardabweichungen der SCR bei Männern und Frauen während beängstigenden, fröhlichen und traurigen Filmen

Hautleitfähigkeitsreaktionen (SCR)				
Geschlecht	Männlich		Weiblich	
	MW (μ S)	SD (μ S)	MW (μ S)	SD (μ S)
Beängstigende Filme	4,40	1,78	3,00	2,35
Fröhliche Filme	1,70	1,58	0,92	1,74
Traurige Filme	0,87	1,88	1,51	2,09

MW=Mittelwert; SD=Standardabweichung; μ S=microSiemens

Auch im zweiten Experiment, bei dem die Pbn emotionale Filme sahen und anschließend Fragebögen dazu ausfüllten, zeigte sich kein signifikanter Haupteffekt für das Geschlecht, aber eine signifikante Interaktion zwischen Geschlecht und Film ($p < .05$): Männer reagierten signifikant stärker auf Ärger induzierende Filme als Frauen. Frauen dagegen reagierten

stärker als Männer auf traurige Filme, wobei hier der Unterschied nur minimal und nicht signifikant war. Ebenfalls nicht signifikant reagierten Männer stärker auf fröhliche Filme.

Bei der Präsentation von Bildern unterschiedlicher Valenz zeigten sich in der bereits vorgestellten Studie von *Neiss et al. (2009)* insgesamt geringere SCR bei Frauen als bei Männern ($p < .06$), wobei dieser Geschlechtsunterschied weitestgehend durch die jüngeren Teilnehmer hervorgerufen wird. Es traten bei den 24–40-jährigen Männern deutlich stärkere SCRs auf als bei 24–40-jährigen Frauen, während sich die SCRs der 65–85-jährigen Männer und Frauen nicht unterschieden. Auch bei Differenzierung der Auswertung nach Valenz der Stimuli liegen die stärksten Reaktionen der jungen Frauen erheblich unter den schwächsten Reaktionen der gleichaltrigen Männer.

Dagegen hatten sich in der oben bereits erwähnten Studie von *Eisdorfer et al. (1980)*, die Geschlechtsunterschiede der EDA im Liegen und infolge von Valsalva-Manövern untersuchten, bei den 20–29-jährigen Frauen unter Belastung signifikant höhere SCRs als bei 20–29-jährigen Männern ($p < .01$) ergeben. Bei den ältesten Pbn (40 – 75 J.) ergaben sich etwa gleiche SCR-Werte bei Männern und Frauen: Die Werte von Männern und Frauen glichen sich in dieser Studie also mit zunehmendem Alter tendenziell an.

6.3.2 SCL und Geschlecht

Mit dem Einfluss des Geschlechts auf das SCL beschäftigen sich sechs der vorliegenden Studien. Zusätzlich zum Geschlecht wurde darin der Einfluss visueller Stimuli (*Graham et al. 1966*), visuell-emotionaler Stimuli (*Neufeld & Davidson 1974; Vrana & Rollock 1998*), kognitiver Stressoren (*Braune et al. 1994*), physischer Stimuli (*Eisdorfer et al. 1980*) und von Kaffeekonsum (*Smith et al. 1993*) untersucht.

Geschlechtsunterschiede in der Reaktion auf visuelle konditionierte Stimuli (Lichter und Bilder) untersuchten *Graham et al. (1966)*. Männer zeigten dabei insgesamt höhere SCLs als Frauen ($p < .025$). Die Mittelwerte der beiden Gruppen betragen für den ersten Messzeitpunkt 100-118 μS vs. 65-75 μS und für den zweiten Messzeitpunkt, der weniger als 7 Tage später stattfand, 85-95 μS vs. 62-70 μS . Ausschließlich bei den Männern, nicht aber bei den Frauen, zeigte sich eine Tendenz zur Habituation, d. h. eine Abnahme des SCL mit der Anzahl der Aufgabendurchgänge. Diese deutlichen Unterschiede der peripheren autonomen Reaktionen zwischen Männern und Frauen bei Stress erzeugenden psychophysiologischen Versuchen legt nach Ansicht der Autoren die Möglichkeit nahe, dass zwischen den Geschlechtern Unterschiede hinsichtlich der Kontrolle autonomer Funktionen durch das zentra-

le Nervensystem bestehen könnten. Möglicherweise sei bei Männern eine stärkere vasomotorische Reaktion mit stärkeren EDA-Reaktionen verbunden, weil beide Aspekte mit einer Orientierungsreaktion in Verbindung stünden, die entwicklungsgeschichtlich bei Männern ausgeprägter sei.

Geschlechtsunterschiede des SCL infolge emotional belastender Bilder untersuchten *Neufeld & Davidson (1974)* und *Vrana & Rollock (1998)*. *Neufeld & Davidson (1974)* fanden nach Präsentation von neutralen Bildern keine signifikanten Geschlechtsunterschiede ($p > .10$). Unter Stressoreinfluss betrug das SCL bei Männern im Mittel $1,89 \mu\text{S}$ und in neutraler Situation $1,60 \mu\text{S}$, während bei Frauen unter Stressoreinfluss ein SCL von $1,24 \mu\text{S}$ und in neutraler Situation eine von $1,38 \mu\text{S}$ beobachtet wurde. Univariate Analysen zeigten, dass die männlichen Pbn generell ein höheres SCL aufwiesen. Keinerlei Geschlechtsunterschiede des SCL infolge emotionaler Bilder stellten hingegen *Vrana & Rollock (1998)* fest, die den Effekt von Geschlecht, Ethnie und sozialem Kontext auf verschiedene physiologische Parameter untersuchten.

Die Ergebnisse der mehrfach erwähnten Studie von *Eisdorfer et al. (1980)* stehen mit denen von *Neufeld & Davidson (1974)* in Einklang, auch wenn deren Ergebnisse nicht signifikant waren. Hier zeigten 20–29-jährige und 40–49-jährige Männer signifikant höhere SCLs als gleichaltrige Frauen ($p < .05$ bzw. $p < .01$). Auch 65–75-jährige Männer zeigten höhere SCL als 65–75-jährige Frauen, allerdings war dieses Ergebnis nicht signifikant. Insgesamt war das SCL der Männer im Vergleich zu den Frauen um etwa $1,5\text{--}2 \mu\text{S}/\text{cm}^2$ erhöht. Männer aller drei untersuchten Altersgruppen zeigten ein höheres SCL als Frauen während der Ruhephase, während die Frauen, wie schon erwähnt, in der physiologische Aktivierungsphase stärkere SCRs als Männer zeigten.

Unter Verwendung verschiedener kognitiver Stressoren konnte die bereits oben erwähnte Studie von *Braune et al. (1994)* keine deutlichen Geschlechtsunterschiede für die Kontrollgruppe feststellen: Das SCL der weiblichen Kontrollgruppe war nur leicht höher als das der männlichen. Bei den Pbn mit Panikstörung zeigten sich allerdings - wie schon bei den SCR-Werten - deutliche Geschlechtsunterschiede mit einem deutlich höheren SCL bei den Männern als bei den Frauen.

Die bereits erwähnte Studie von *Smith et al. (1993)* untersuchte den Einfluss von Geschlecht und Kaffeekonsum auf SCL und SCR während einer neuen und einer sich wiederholenden Erinnerungsaufgabe. Insgesamt konnten bei den Männern in beiden Bedingungen höhere

Werte für das SCL als bei Frauen beobachtet werden (etwa 2,77 -2,92 μ S vs. 2,22– 2,42 μ S). Während der wiederholten Erinnerungsaufgabe zeigten Frauen eine geringfügige Habituation (Absinken des SCL), während Männer eher einen Anstieg des SCL im Sinne einer Bahnung zeigten.

6.3.3 NS.SCR und Geschlecht

Schließlich soll noch eine der wenigen Studien angeführt werden, die sich mit den Spontanfluktuationen (NS.SCR) als einem weiteren tonischen Maß befassen: Bei einem Kollektiv von 15 gesunden Männern und 23 gesunden Frauen fanden *Carrillo et al. (2001)* im Rahmen einer Redeaufgabe für die Baseline keine signifikanten Unterschiede. Während der Vorbereitungsphase und der Redebedingung zeigte sich bei beiden Geschlechtern ein Anstieg der Häufigkeit, wobei Frauen auch höhere Amplituden der Spontanfluktuationen zeigten als Männer. Ein solcher Zusammenhang war auch schon im Rahmen einer Studie mit angstgenerierenden Aufgaben (Elektroschock) bei *Kopacz & Smith 1971*, sowie nach einem „standard stimulus tape“ (*Venables & Mitchell 1996*) festgestellt worden. Es ist zu beachten, dass sich dabei nur die Amplitude, nicht aber die Frequenz der Spontanfluktuationen zwischen den Geschlechtern unterschied, was auf die Wichtigkeit hinweist, grundsätzlich mehr als nur eine EDA-Messgröße zu betrachten.

6.3.4 Fazit zur Moderatorvariable Geschlecht

Für den Faktor „Geschlecht“ weist die Literaturlauswertung auf eine deutliche Tendenz stärkerer SC-Reaktionen bei Männern hin, allerdings mit einigen Ausnahmen. Die Art des Stressors ist offensichtlich von Bedeutung – mit stärkeren Reaktionen der Männer bei kognitiven Stressoren, aber nicht bei emotionalen oder physischen -, und es kann auch eine Interaktion mit dem Alter auftreten in Form von signifikanten Unterschieden nur bei jüngeren Versuchspersonen. Hinsichtlich SCL-Veränderungen ist die Befundlage relativ unklar mit nur einigen Studien, die stärkere SCL-Reaktionen auf Stimuli bei Männern berichten.

6.4 Moderatorvariable Persönlichkeit bzw. psychische Verfassung bei nicht-akustischen Reizen

6.4.1 SCR und Persönlichkeit bzw. Panikstörung

Im Rahmen ihrer Studie zur Test-Retest-Korrelation von SCL und SCR bei Extravertierten und Introvertierten zeigte *Davis (1988)*, dass es bezüglich der SCR keine Unterschiede zwischen Extravertierten und Introvertierten gab. Die Ursache sieht der Autor darin, dass die SCR-Werte im Gegensatz zum SCL ausschließlich durch externe Stimulation erzeugte Erregung widerspiegeln und diese bei allen Sitzungen für alle Pbn gleich war. Auf die entsprechenden SCL-Ergebnisse wird in Abschnitt 6.4.2 eingegangen. Auch *Gilbert & Hagen (1980)*, die den Effekt von Extraversion vs. Introversion und Nikotin auf die SCR untersuchten, konnten keine Unterschiede zwischen den beiden Probandengruppen ausmachen.

Die bereits in Kapitel 6.3.2 erwähnte Studie von *Braune et al. (1994)* berichtet vor allem bei weiblichen Patienten mit Panikstörung über signifikant ($p < .05$) stärkere SCR unter verschiedenen Stressoren als bei einer Kontrollgruppe. Auch in der Gruppe der männlichen Pbn waren die SCR-Werte der Panikpatienten deutlich höher, wenn auch nicht signifikant. Als Erklärung für die höheren SCRs bei Panikstörung postulieren die Autoren eine bei dieser Probandengruppe insgesamt erhöhte autonome Reaktionsfähigkeit, was in Einklang mit anderen Studien stehe (*Freedman et al. 1984; Roth et al. 1986*).

6.4.2 SCL und Persönlichkeit bzw. psychische Verfassung

Im Rahmen der bereits oben erwähnten Studie von *Davis (1988)* über SCL und SCR bei Extravertierten und Introvertierten zeigte sich bezüglich des SCL, dass lediglich bei den Extravertierten eine signifikante Test-Retest-Korrelation nachgewiesen werden konnte, bei den Introvertierten hingegen nicht. Als Erklärung dafür führt *Davis (1988)* das unterschiedliche Interesse am Versuchsablauf an: Das SCL spiegelt tonische elektrodermale Veränderungen als Funktionen kognitiver Aktivität wider. Extravertierte Persönlichkeiten zeigen Interesse am Versuchsablauf, bei introvertierten stehen persönliche Befindlichkeiten im Vordergrund. Unter konstanten Versuchsbedingungen seien daher bei extravertierten Pbn auch die SCL-Werte konstant, bei introvertierten dagegen verhalte sich das SCL unabhängig von der Laborsituation und werde mehr von persönlichen Befindlichkeiten beeinflusst, so dass es daher auch stark schwanken könne.

Donat & McCullough (1983) verglichen die psychophysiologischen Parameter einer Gruppe chronisch depressiver Pbn mit einer Kontrollgruppe unter Ruhebedingungen und bei mentalem Stress. Depressive Pbn zeichneten sich besonders durch ein vermindertes SCL aus, das über alle Studienbedingungen hinweg konstant war. Über die SCL-Werte konnten so unter Ruhebedingungen neun von zehn Mitgliedern der depressiven Probandengruppe und sieben von zehn Mitgliedern der Kontrollgruppe korrekt identifiziert werden.

Die bereits vorgestellte Studie von *Braune et al. (1994)* stellte bei Pbn mit Panikstörung fest, dass diese ein höheres SCL im Vergleich zu Pbn der Kontrollgruppe zeigten. Dieser Zusammenhang war besonders bei männlichen Pbn sehr stark ausgeprägt und signifikant ($p < .05$).

6.4.3 Fazit zur Moderatorvariable Persönlichkeit bzw. psychische Verfassung

Alle vorgestellten Studien konnten die Beeinflussung des SCL durch Persönlichkeitseigenschaften bzw. psychische Störungen nachweisen. Sowohl Introversion als auch Depression waren mit niedrigeren SCL-Werten verbunden, Extraversion oder das Vorliegen einer Panikstörung dagegen mit höheren Werten als Ausdruck einer erhöhten autonomen Reaktionsfähigkeit. Auffällig höhere SCR wurden dagegen nur bei den Pbn mit einer Panikstörung berichtet. Bei der Auswahl von Probandenkollektiven sind also je nach Fragestellung Extraversion / Introversion bzw. die psychische Verfassung der Pbn als potenzielle Einflussfaktoren für die Messung von EDA-Größen zu beachten.

6.5 Einfluss verschiedener nicht-auditiver Stressoren

6.5.1 SCR und emotionale Anspannung

Das im Kap. 5.4.1 beschriebene Experiment von *Stern et al. (1970)* zur subjektiven Beurteilung der Erträglichkeit von Schallreizen enthielt im gleichen Versuch auch eine Anordnung zur Prüfung der Erträglichkeit von *Elektroschocks* als Stressor. Auch hier wurde in einem ersten Schritt durch Steigerung der Stromstärke zunächst individuell festgestellt, welches Schockniveau als „störend“ bewertet wurde und ab wann der Pb keine weitere Steigerung mehr zulassen wollte. Es wurden zwei Gruppen gebildet: Die Pbn der ersten Gruppe wurden dem jeweils individuell als „störend“ eingestuften Schockniveau ausgesetzt, die der zweiten dem als „maximal erträglich“ eingestuften. Im Ergebnis zeigte sich für die erste Gruppe, dass die 15 Elektroschocks – trotz objektiv gleich bleibender Stromstärke – subjektiv als zunehmend weniger intensiv wahrgenommen wurden ($p < .001$), während sich für die SCR-

Werte keine Adaptation zeigte. In der zweiten Gruppe gingen die Ergebnisse in die gleiche Richtung, waren aber weniger eindeutig. Die subjektiv als zunehmend weniger intensiv wahrgenommenen Elektroschocks führten die Autoren darauf zurück, dass die Pbn stärkere Elektroschocks erwartet hatten und gemessen an der Erwartung die tatsächlichen Elektroschocks geringer ausfielen.

Vandenbosch et al. (2009) beschäftigten sich mit dem Einfluss des *Concealed Information Tests (CIT)* auf die SCR-Werte. Bei diesem Paradigma werden den Pbn bestimmte Stimuli (z. B. Bilder, Wörter, Gegenstände in Filmen) als relevant präsentiert. Im Anschluss daran werden verschiedene relevante und irrelevante (d.h. zuvor gesehene vs. nicht gesehene) Stimuli dargeboten, wobei die Pbn instruiert werden, alle Stimuli als irrelevant zu klassifizieren. Parallel dazu werden die physiologischen Reaktionen auf die Stimuli erfasst. *Vandenbosch et al. (2009)* konnten in ihrer Studie zur Validität von Ergebnissen eines Lügendetektors zeigen, dass die SCR stärker ausfiel, wenn die Pbn ein Verbrechen verneinen sollten, was ihnen tatsächlich in einem Video-Film vorgeführt worden war, als wenn sie es tatsächlich nicht gesehen hatten.

Damit im Einklang stehen die Ergebnisse von *Ambach et al. (2010)*, die einen signifikanten Unterschied der SCR als Reaktion auf relevante vs. irrelevante Wörter und Bilder feststellten. Es zeigte sich allerdings ein Unterschied zwischen Test und Retest: Die SCR waren im ersten Durchgang des Tests auf relevante Wörter und Bilder stärker als die Reaktionen auf irrelevante Wörter, beim zweiten Testdurchlauf jedoch verschwanden diese Unterschiede.

Den Einfluss von positiven, neutralen und negativen Bildern auf physiologische Parameter untersuchten *Robinson et al. (2007)*. Dabei zeigte sich kein Einfluss der unterschiedlichen Bilder auf die SCR.

Greenstein & Kassel (2010) konnten zeigen, dass die SCR signifikant höher ausfielen, wenn die Pbn an einer visuellen Aufgabe (Tiere in einer Zeichnung zählen) teilnahmen als unter Ruhebedingungen ($p < .001$) oder während einer akustischen Schreckreaktion ($p = .001$).

6.5.2 Tonische EDA-Maße und emotionale Anspannung

Evatt & Kassel (2010) untersuchten den Zusammenhang zwischen Stress und SCL im Zusammenhang mit „Angstsensibilität“, Rauchen und Erregung. „Angstsensibilität“ ist ein Konstrukt, das die subjektiv wahrgenommene Intensität der Reaktion eines Individuums auf phy-

siologische Erregung beschreibt. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die Stresssituation bei einer Rede zu einem größeren Anstieg des SCL führt als eine nicht stressige Situation.

Zu erwähnen ist noch eine Arbeit von *Papousek et al. (2002)*, in der die Anzahl von non-spezifischen Spontanfluktuationen (NS.SCR) als Maß der tonischen Aktivität unter Stressbedingungen verwendet wird. Insgesamt zeigte sich von der Ruhe- zur Stressbedingung (Halten einer öffentlichen Rede) ein Anstieg der Anzahl der NS.SCR.

6.5.3 Fazit zum Faktor emotionale Anspannung

Es wurde deutlich, dass verschiedenste Arten von Stress zu einer Erhöhung von SCR und SCL führen. Das gilt sowohl für subjektiv empfundenen Stress als auch für emotionale Stressoren wie eine öffentliche Rede, die die Anzahl der elektrodermalen Fluktuationen erhöht oder Bedingungen mit Schreckstimulus. Auch relevante Wörter und Bilder, die mit einem höheren Stresspegel als irrelevante Wörter und Bilder assoziiert sein sollten, führten zu erhöhten SCR im Vergleich zu irrelevanten Wörtern und Bildern. Es zeigt sich also eine Korrelation des subjektiv empfundenen Stresses mit der Stärke der SCR. Es könnte für die Stärke der Reaktion auch von Bedeutung sein, ob es sich um einen visuellen oder auditiven Reiz handelt (*Greenstein & Kassel 2010*). Allerdings handelte es sich hier visuell um eine Zähltaufgabe, auditiv aber um passives Zuhören, sodass der SCR-Anstieg auch durch die stärkere kognitive Belastung bedingt sein könnte.

6.6 Untersuchungen zur Reliabilität

6.6.1 SCR und Reliabilität

In der Studie von *Waters et al. (1987)*, in der neben psychischen und kognitiven Stressoren auch Töne und ein Schallreiz von 20 s eingesetzt wurden, blieben die SCR auf verschiedene Stressoren und in der Ruhephase über einen Zeitraum von zwei Wochen für die Testphasen und für die Ruhephasen stabil. Dies galt für alle verwendeten Stimuli.

Bach et al. (2010) untersuchten die SCR unter verschiedenen Stressbedingungen (z. B. Elektroschocks sowie verschiedene akustische und visuelle Signalerkennungsaufgaben), um die – meist implizite – Annahme einer Invarianz von SCR-Reaktionen zu prüfen. Sie konnten zeigen, dass ein großer Anteil der Varianz der SCRs durch eine personenspezifische Antwortfunktion erklärt werden kann. Spontane Fluktuationen der SCR werden unterdrückt, wenn die SCRs durch externe Ereignisse ausgelöst werden. Spontane oder unspezifische

Fluktuationen bieten also eine mehr als ausreichende Erklärung für die Variabilität der evozierten SCRs, sodass die SCR-Messung zu Recht als valide Reaktion auf den betreffenden Stimulus anzusehen ist. Wenn zwei Reize sehr dicht aufeinander folgen, kann allerdings auch eine Verringerung der Reaktion im Sinne einer Habituation beobachtet werden. Außerdem konnten die Autoren in ihrer Studie zeigen, dass die Ergebnisse der Ableitungen von den Handballen, den Fingern und der Fußsohle miteinander vergleichbar waren. Als interessantes Detail erwähnen sie noch, dass die Reaktionen auf aversive Bilder etwas verzögert ablaufen im Vergleich mit allen anderen Stimuli. Zur Erklärung wird in Betracht gezogen, dass hier mehr Verarbeitungszeit im zentralen Nervensystem erforderlich wird.

6.6.2 SCL und Reliabilität

Während sich die SCR-Werte in der eben erwähnten Studie von *Waters et al. (1987)* als stabil erwiesen, zeigten sich in derselben Studie beim SCL inkonsistente Ergebnisse: Bei einigen Aufgaben und Ruhephasen ergaben sich signifikante Korrelationen zwischen Test und Retest, bei anderen jedoch nicht.

Weise et al. (2008) konnten für die SCL bei einem Abstand von 2 – 3 Monaten in den absoluten Messwerten keine zeitliche Stabilität feststellen: Weder der Korrelationskoeffizient für die Stresssituationen noch derjenige für die Entspannungsphasen erwiesen sich als signifikant. Auch die Differenz zwischen Ausgangslage und Belastungen im Vergleich der beiden Durchgänge korrelierte nicht signifikant.

6.6.3 NS.SCR und Reliabilität

In einer Studie zur Vorhersagbarkeit und Generalisierbarkeit individueller Stressreaktionen infolge physischer Anstrengungen kamen *Fahrenberg et al. (1986)* zu dem Ergebnis, dass die Anzahl der Spontanfluktuationen pro Minute bei wiederholten Messungen über einen längeren Zeitraum (Wochen oder Monate) nur eine geringe Stabilität aufweist. Die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Messungen fielen so gering aus, dass die Autoren ihnen keine praktische Relevanz einräumen. Allerdings war die EDA in dieser sehr auf kardiovaskuläre Reaktionen und sportliche Belastungen ausgerichteten Studie ein eher nebensächlicher Aspekt.

Vossel & Zimmer (1990) untersuchten die Stabilität elektrodermalen Messungen sehr systematisch, indem sie im Rahmen von neun Studien jeweils während einer fünfminütigen Ru-

hephase zu Beginn die elektrodermalen Spontanreaktionen (NS.SCR) von insgesamt 590 Pbn registrierten. Die Studien unterschieden sich jeweils in Einzelheiten der Vorbereitung und Information (z. B. auch Ankündigung akustischer Reize); es ergaben sich aber kaum Unterschiede zwischen den Studien in den Häufigkeitsverteilungen der gemessenen Werte. Für zwei Messungen mit einem Retest-Intervall von einem Tag ergab die MANOVA keine Unterschiede zwischen den Sitzungen und damit eine hoch signifikante Test-Retest-Reliabilität. Allerdings zeigte sich in allen Daten eine große interindividuelle Spanne der Reaktionshäufigkeit, die es erforderlich macht, bei Einsatz dieser Messungen in einem Versuch die Zusammensetzung der Stichprobe hinsichtlich Stabilität oder Labilität zu kontrollieren.

6.6.4 Fazit zur Reliabilität der EDA-Messungen

Die wenigen Studien, die sich explizit mit der Aussagekraft von EDA-Messungen befassen, liefern keine eindeutigen Erkenntnisse. Für die SCR-Messung zeigen zwei Studien gute Reliabilität an, wobei *Bach et al. (2010)* auch sehr gründlich auf das Problem der Interferenz mit spontanen Fluktuationen der SCR eingehen. Dieses Thema wird aufgegriffen in der Arbeit von *Vossel & Zimmer (1990)*, die gerade bei den NS.SCR die interindividuellen Unterschiede aufzeigen, so dass nach ihrer Einschätzung die NS.SCR bei entsprechender Kontrolle der Stichprobe einen verlässlichen Indikator von Beanspruchungsreaktionen darstellen.

7 Diskussion und Schlussfolgerungen

7.1 Bewertung der Messmethode der EDA

Als Ergebnis der Literaturanalyse lassen sich nach derzeitigem Stand folgende Grundzüge für die optimale Erfassung der EDA herausstellen:

Als beste Messmethode bietet sich die exosomatische Messung mittels Gleichstrom an. Eine bipolare Ableitung mit nicht polarisierenden Ag/AgCl-Elektroden ist vorteilhaft. Mit dieser Methode können die **Hautleitfähigkeit** und der **Hautwiderstand** gemessen werden. Hier allerdings sollte die Hautleitfähigkeit bevorzugt werden, da sie als lineare Funktion die Anzahl der Schweißdrüsen widerspiegelt.

Basierend auf den physiologisch auftretenden tonischen und phasischen Anteilen werden bei der Hautleitfähigkeit drei Messgrößen unterschieden, zunächst das **Hautleitfähigkeitsniveau (Skin Conductance Level, SCL)**, welches die tonischen Anteile wiedergibt. Dieses wird überlagert von den Spontanfluktuationen (**NS.SCR**). Als Ausdruck phasischer Reaktionen, die als Reaktion auf einzelne Reize auftreten, lassen sich die **Hautleitfähigkeitsreaktionen (Skin Conductance Reactions, SCR)** messen. Die relevanten Parameter sind also **SCR, SCL** und **NS.SCR**.

Da bei der automatischen Registrierung und Auswertung unterschiedliche Methoden zur Anwendung kommen, müssen die Art und Weise der Registrierung und der Modus der Signalvorverarbeitung für das zu verwendende Gerät grundsätzlich genau dokumentiert sein.

Insgesamt lässt sich aufgrund der Literaturrecherche festhalten, dass trotz jahrzehntelanger Forschung mit verschiedenen Methoden zur Erfassung der EDA und damit zusammenhängend verschiedener Verfahren zur Auswertung der Messwerte auch heute noch ein verbindlicher Standard zu Einsatz und Parametrisierung der EDA fehlt.

Wie aber gezeigt werden konnte, ist die EDA ein hervorragender, im Prinzip unbestechlicher und willentlich nicht zu manipulierender Parameter der sympathischen Aktivierung. Die komplizierte Differenzierung zwischen Spontanfluktuationen und reizbezogenen Reaktionen der Hautleitfähigkeit erschwert allerdings die systematische Auswertung. Hier könnte ein neuer Ansatz, der von *Leiner et al. (2012)* vorgestellt wurde, weiterhelfen, bei dem ein einfach zu berechnender, aber trotzdem valider Parameter – genannt EDA Positive Change (EPC) gebildet wird, in den die Höhe des EDA-Levels sowie jede Art von Amplitudenanstieg eingeht, unabhängig davon, ob es sich um eine tonische Spontanfluktuation (NS.SCR)

oder um eine phasische Hautleitfähigkeitsreaktion (SCR) handelt. Weitere Studien auf dieser Basis könnten Erkenntnisse dazu liefern, ob sich damit eine einfachere und doch aussagekräftige neue Messmethode anbietet.

7.2 EDA und Lärm

Die EDA reagiert sehr sensibel auf verschiedene Eigenschaften von Schallreizen. Eine zuverlässige Beziehung findet sich zwischen SCR und Schallpegel. Je höher der Schallpegel, desto stärker ist die SCR. Allerdings ist ähnlich wie bei der peripheren Volumenpulsation in Lärmexperimenten erst ab Schallpegeln von 65-70 dB(A) mit einer klaren SCR-Reaktion, die dem Reiz zugeordnet werden kann, zu rechnen.

Für die vergleichende Bewertung von Lärmbelastungen muss beachtet werden, dass es selbst bei relativ einfachen akustischen Reizen, wie Weißem Rauschen, wichtig ist, experimentelle Details, wie die Dauer der Darbietung im Sekundenbereich oder die Anstiegssteilheit des Schallpegels zu beachten, da solche Faktoren bereits deutliche Reaktionsunterschiede hervorrufen können.

Auch für das SCL lässt sich eine Steigerung mit zunehmendem Schallpegel im Laborexperiment bestätigen, wobei Effekte wie Schreckreaktion oder Habituation kontrolliert werden müssen. Wie bei der SCR treten reliable Anstiege des SCL erst bei Schallpegeln oberhalb von 70 dB(A) auf. Weiterhin ist bei der EDA bei wiederholter Stimulation bzw. bei langsam ansteigenden Pegeln mit einer Habituation zu rechnen.

Hervorzuheben ist die besondere Sensitivität der EDA im Hinblick auf Aktivierung und emotionale Beeinflussung. Bezogen auf geringe akustische Unterschiede, die messtechnisch nicht darstellbar sind, wirkt die räumliche Information bei binauralen Geräuschen gleicher Lautstärke realistischer auf den Pbn und suggeriert bei der verwendeten Lautstärke sogar eher eine Gefahrensituation, auf die der Organismus mit Erhöhung der EDA als Zeichen stärkerer Sympathikusaktivierung antwortet. Diese Sensitivität für aktivierende bzw. emotionale Aspekte zeigte sich auch in den Reaktionsunterschieden, die beim Vergleich verschiedener Straßenverkehrssituationen mit relativ ähnlicher Geräuschstruktur beobachtet wurden (einseitig vs. zweiseitig bebaute 2-spurige Stadtstraße; vierspurige Ausfallstraße einseitig bebaut vs. freies Feld). Hier ist wieder auf die neueren Erkenntnisse der Hirnphysiologie zu verweisen, dass die EDA insofern eine Sonderstellung einnimmt, als sie ausschließlich dem sympa-

thischen Zweig des autonomen Nervensystems angehört und damit eine verlässliche Anzeige stressvoller emotionaler Erfahrungen darstellt (*Critchley 2002, Sequeira et al. 2009*).

In die gleiche Richtung deuten die Ergebnisse, dass selbst geringfügige Hintergrundgeräusche in der Lage sind, sowohl die kognitive Leistung als auch die autonome Aktivität zu beeinflussen. Die EDA ist also selbst für die Erfassung geringer akustischer Unterschiede sehr sensitiv bzw. für Situationen, in denen diese Unterschiede mit akustischen Kenngrößen nicht zu erfassen, aber vom Menschen zu spüren sind. Änderungen des Arousals zeigen sich auch, wenn die Pbn – erkennbar an den SCR-Reaktionen - von der Valenz der Geräusche beeinflusst werden: Die Reaktion fiel bei neutralen Reizen deutlich schwächer aus als bei angenehmen und unangenehmen Reizen; die stärksten Reaktionen waren bei einigen positiven Stimuli (erotisches Geräusch, Achterbahnfahrt) zu verzeichnen. In die gleiche Richtung deutet das Ergebnis, dass es zu einer schnelleren Erholung des sympathischen Systems unter Einfluss von Naturgeräuschen kommt bzw. zu einer Normalisierung der EDA durch angenehme Musik und Naturgeräusche.

Auch eine psychologische Beeinflussung der Pbn führt zu Änderungen der EDA. Es zeigte sich ein deutlicher Effekt negativer mündlicher Instruktionen in stark erhöhten SCL-Werten. Dieser wurde noch verstärkt, indem negative Stimulation und schriftliche Instruktion kombiniert wurden. Eine Habituation fand bei den meisten Teilnehmern bis zum Ende der Messungen nicht statt - vermutlich als Folge der negativen Instruktion.

Angesichts dieser Sensitivität von EDA-Messungen gegenüber aktivierenden und emotional wirkenden Stimuli ist es naheliegend, dass auch interindividuelle Unterschiede einen deutlichen Effekt auf die Stärke der Reaktionen haben, angefangen von Alter und Geschlecht bis zu verschiedensten Persönlichkeitsfaktoren. Das Material, das die Literaturrecherche dazu zusammengetragen hat, ist daher im Folgenden eingehend zu betrachten und zu bewerten.

7.3 EDA und individuelle Faktoren

Persönlichkeit bzw. psychische Verfassung: EDA-Veränderungen spiegeln emotionale Anspannung wider: Je nach Situation, in der sich der Pb befindet, kann es zu einer Verstärkung oder Abschwächung der EDA oder auch zu keiner Beeinflussung der Reaktivität kommen. Deshalb ist Vorsicht bei der Probandenauswahl geboten bzw. ausführliche Befragung nach Lebensgewohnheiten und auch aktuellen Einflüssen. Koffein z. B. verstärkt SCR und SCL, Nikotin schwächt die EDA-Reaktionen ab. Bei Pbn, die regelmäßig meditieren, kann es im

Laborexperiment zu einer schwächeren sympathischen Reaktion mit schnellerer Habituation kommen.

Der Persönlichkeitsfaktor Extraversion vs. Introversion beeinflusst die EDA-Reaktivität dagegen nicht. Allerdings ist die Höhe des SCL bei Introvertierten vermindert. Letzteres gilt auch für Personen mit depressiver Verstimmung. Ein „Hypoarousal“ wurde bei Alkoholikern festgestellt. Demgegenüber sind SCR und SCL bei Panikgestörten höher wegen erhöhter autonomer Reaktionsfähigkeit. Lärmempfindlichkeit als Wesensmerkmal einer Person scheint keinen Einfluss auf die Höhe des SCL zu haben. Dagegen gibt es neuere Ergebnisse, dass der Persönlichkeitsfaktor „*Sensation Seeking*“ relevant sein könnte.

Bei der Auswahl von Probandenkollektiven sind also je nach Fragestellung Extraversion / Introversion bzw. die psychische Verfassung der Pbn als potenzielle Einflussfaktoren für die Messung von EDA-Größen zu beachten. Auch für Experimente zu Lärmwirkungen sollten die Pbn also vorher einem Screening im Hinblick auf mögliche Störgrößen unterzogen und je nach Fragestellung ein- oder ausgeschlossen werden.

Alter: Experimente mit Schallreizen zeigen eine ziemlich eindeutige Altersabhängigkeit: Ältere Pbn zeigen meist geringere SCR und ein niedrigeres SCL als jüngere, allerdings am deutlichsten bei Vergleichsgruppen ab 70 Jahren. Eine mögliche Erklärung dafür lautet: Junge haben mehr aktive Schweißdrüsen als Alte. Eine Korrelation zwischen Anzahl der Schweißdrüsen und SCR wird tatsächlich beobachtet.

Bei Experimenten mit komplexeren Stimuli findet sich bei deutlich älteren Personengruppen (je nach Studie ab 60 bis 70 Jahren) eine insgesamt schwächere EDA- sowohl in der Ausgangslage wie in der Reaktion auf kognitive, emotionale oder physische Stimuli. Fast alle Studien beziehen sich dabei auf SCR-Messungen. Die Befundlage ist uneinheitlich, da sich je nach Aufgabenstellung unterschiedliche Tendenzen zeigen: Gedächtnisaufgaben sind offensichtlich mit zunehmendem Alter belastender, während emotionale Inhalte (z. B. Wörter oder Bilder mit negativer Valenz) geringere Reaktionen als bei den jüngeren Pbn hervorrufen. Es wird auch darauf hingewiesen, dass ein solches Ergebnis durch ein zu niedriges Kriterium für *non-responding* entstehen könnte, da mit zunehmendem Alter mehr *non-responder* zu erwarten seien.

Für die Auswahl von Pbn für Lärmexperimente sollte also die Fragestellung klar definiert sein, um zu entscheiden, welche Altersgruppen interessieren und welche Auswahlkriterien hinsichtlich des Alters angewendet werden.

Geschlecht: Sowohl beim SCR als auch beim SCL (mit Ausnahme der Spontanfluktuationen) zeigte sich in den Lärmexperimenten bei Männern eine deutliche Tendenz zu stärkeren Veränderungen der EDA. Bei kognitiven Stressoren, aber nicht bei emotionalen oder physischen, finden sich stärkere Reaktionen des SCR bei den Männern. Hinsichtlich SCL-Veränderungen ist die Befundlage relativ unklar mit nur einigen Studien, die stärkere SCL-Reaktionen auf Stimuli bei Männern berichten.

7.4 Methodische Gesichtspunkte

Habituation: Wiederholte Geräuschstimuli innerhalb eines Experiments führen zur Habituation der elektrodermalen Reaktion, d.h. man kennt den Reiz schon und damit ist die emotionale Anspannung geringer. Reaktionen auf verschiedene Reize, z. B. verschiedene Geräusche, sind also nur vergleichbar, wenn am Anfang eine Gewöhnung an die Darbietung stattfindet und die Reihenfolge der Reize systematisch permutiert wird.

Auch bei Wiederholung des Versuchs nach einigen Tagen kommt es zur Habituation. Die Habituation des SCR scheint nicht altersabhängig zu sein – sie verläuft bei Jungen und Alten gleich. Allerdings habituieren Frauen schneller beim SCL und sind häufiger *non-responder* in der SCR-Messung.

Reliabilität: Mit Einschränkungen lässt sich eine gute Reliabilität von SCR feststellen, allerdings ist die Abgrenzung schwierig, da sich häufig eine Interferenz zwischen SCR und NS.SCR einstellt. Die NS.SCR sollte man vor allem in Lärmexperimenten, in denen Lautstärken unter 70 dB(A) eingesetzt werden, stärker berücksichtigen. NS.SCR zeigen sehr gut interindividuelle Unterschiede an, so dass sie bei entsprechender Kontrolle der Stichprobe einen verlässlichen Indikator von Beanspruchungsreaktionen darstellen können.

7.5 Schwächen und Stärken dieser Arbeit

Die Methode der Erfassung elektrodermalen Reaktion wird bereits seit vielen Jahrzehnten für die verschiedensten Fragestellungen wissenschaftlicher und weniger wissenschaftlicher Art eingesetzt. Dies hatte zur Folge, dass die Arbeiten auf unterschiedlichem Qualitätsniveau der Messgenauigkeit und methodischen Sauberkeit anzusiedeln sind. Daher war eine enorme Fülle von Publikationen zu sichten, um die für diese Arbeit wirklich relevanten Studien zu identifizieren und zu analysieren. Die thematische Heterogenität der verfügbaren Studien

blieb aber ein Problem wegen der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten der EDA, z. B. EDA bei Rauchern (Robinson et al. 2007) oder EDA zur Vorhersage der Suizidalität von Depressiven (Steyer 2008) und musste beachtet werden.

Ziel war die Extraktion der relevanten Daten, um die entscheidenden Eigenschaften der EDA herauszuarbeiten, zu verdichten und zu einem Gesamtbild der Stärken der EDA zusammenzufügen. Die Vielzahl der Messmethoden wurde kritisch beleuchtet, und es ließen sich die wichtigsten und zuverlässigsten Messparameter benennen. Gleichzeitig gelang es, die bedeutendsten Moderatorvariablen mit ihrem Einfluss auf die EDA darzustellen. Sicherlich bleiben noch viele Hürden, um einen problemlosen Einsatz dieses Parameters zu gewährleisten, solange nicht die Vereinheitlichung bzw. Standardisierung der (Mess-)Methode geleistet wird.

7.6 Empfehlungen für zukünftige Laboruntersuchungen mit Schallreizen

- **Auswahl des EDA-Parameters:** Die Literaturlauswertung zeigt, dass bzgl. der Parameter SCL und SCR ein großer Erfahrungsschatz vorliegt und - abgesehen von der Größe NS.SCR - keine Erkenntnisse vorliegen, die für Versuche mit anderen EDA-Parameter sprechen würden.
- **SCL vs. SCR:** Für die SCL-Messung spricht zum einen, dass sie technisch etwas weniger Arbeitsaufwand erfordert, zum anderen ist sie besser geeignet, wenn Reaktionen auf längere Tonsequenzen untersucht werden sollen, z. B. längere Verkehrslärm- oder auch Musikausschnitte. SCR-Messungen empfehlen sich dagegen für den direkten Vergleich innerhalb einer Reihe kurzer Geräuschsequenzen oder für den Vergleich von unterschiedlichen Probanden-Stichproben. In letzterem Falle ist der Einfluss z. B. des Faktors „Alter“ auf die unmittelbare Reaktion vielleicht nicht so ausgeprägt wie auf die langwierigere Erhöhung des SCL, auch wenn empirische Daten dazu kaum vorliegen.
- **Zusammensetzung der Stichprobe:** Angesichts der vielfältigen Einflussfaktoren auf die EDA sollte die Stichprobe so strikt wie möglich auf die Fragestellung ausgerichtet sein, d. h., wenn z. B. verschiedene „Sounds“ verglichen werden sollen hinsichtlich ihrer Eignung für eine bestimmte Funktion, sollte die Stichprobe auf diese Anwendung hin zusammengestellt werden – also typische „Exponierte“ umfassen - und ansonsten möglichst einheitlich sein. Wenn die Faktoren „Geschlecht“ oder „Alter“ dabei von Bedeutung sind, ist eine ausreichende Zahl von Pbn erforderlich, um die Einflüsse bewerten zu können. Bzgl. des Alters sollten die interessierenden Gruppen möglichst genau festgelegt werden.

7.7 Ausblick

Die systematische Literaturlauswertung hat gezeit, dass bestimmte Messgrößen der EDA gut geeignet sind, um in Laborexperimenten die Wirkung von Lärm zu untersuchen, wenn mögliche weitere Einflussfaktoren und Störgrößen kontrolliert werden. Obwohl es keinen eigentlichen „Gold-Standard“ gibt, spricht am meisten für die Parameter SCL, SCR und NS.SCR. Weitere Forschung sollte sich stabilen und einfachen Algorithmen zur verbesserten Anwendung dieser alten und guten Methode zur Erfassung psychophysiologischer Reaktionen widmen.

8 Literaturverzeichnis

- Alvarsson, J.J.; Wiens, S.; Nilsson, M.E. (2010) Stress recovery during exposure to nature sound and environmental noise. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 7(3): 1036-1046
- Ambach, W.; Bursch, S.; Stark, R.; Vaitl, D. (2010) A concealed information test with multimodal measurement. *International journal of psychophysiology* 75: 258–267
- Babisch, W. (2004) Health aspects of extra-aural noise research. *Noise & Health* 6: 69-81
- Babisch, W. (2011) Cardiovascular effects of noise. *Noise & Health* 13: 201–204
- Babisch W.; Kamp I. (2009) Exposure-response relationship of the association between aircraft noise and the risk of hypertension. *Noise Health* 11(44):161-168
- Bach, D.R.; Flandin, G.; Friston, K.J.; Dolan, R.J. (2010) Modelling event-related skin conductance responses. *International Journal of Psychophysiology* 75: 349–356
- Barontini, M.; Lázzari, J.O.; Levin, G.; Armando, I.; Basso, S. J. (1997) Age-related changes in sympathetic activity: biochemical measurements and target organ responses. *Archives of gerontology and geriatrics* 25(2): 175–186
- Beauducel, A.; Strobel, A.; Brocke, B. (2003) Psychometrische Eigenschaften und Normen einer deutschsprachigen Fassung der Sensation Seeking-Skalen, Form V. *Diagnostika* 49: 61-72
- Björk, E A (1986) Laboratory annoyance and skin conductance responses to some natural sounds. *Journal of Sound and Vibration* 109(2): 339-345
- Bluhm G.; Eriksson, C. (2011) Cardiovascular effects of environmental noise: research in Sweden. *Noise and Health* 13(52): 212-216
- Borkenau, P.; Ostendorf, F. (2008) NEO-Fünf-Faktoren-Inventar nach Costa und McCrae. 2. Aufl., Göttingen: Hogrefe
- Boucsein, W. (1988) Elektrodermale Aktivität. Berlin: Springer Verlag
- Boucsein, W. (2012) Electrodermal Activity- 2nd edition: New York: Springer Verlag
- Boucsein, W.; Baltissen, R.; Euler, M. (1984) Dependence of skin conductance reactions and skin resistance reactions upon previous level. *Psychophysiology* 21(2): 212–218.
- Bradley, M.M.; Lang, P.J. (2000) Affective reactions to acoustic stimuli. *Psychophysiology* 37(2): 204-215
- Braune, S.; Albus, M.; Fröhler, M.; Höhn, T.; Scheibe, G. (1994) Psychophysiological and biochemical changes in patients with panic attacks in a defined situational arousal. *European archives of psychiatry and clinical neuroscience* 244(2): 86–92
- Breier, A.; Albus, M.; Pickar, D.; Zahn, T. P.; Wolkowitz, O. M.; Paul S. M. (1987) Controllable and Uncontrollable Stress in Humans: Alterations in Mood and Neuroendocrine and Psychophysiological Function. *Am J Psychiatry* 144(11): 1419-1425
- Burk, C (2005) Phasische elektrodermale Aktionen als Persönlichkeitsindikator. Inaugural-Dissertation. Justus-Liebig-Universität Gießen
- Carrillo, E.; Moya-Albiol, L.; González-Bono, E.; Salvador, A.; Ricarte, J.; Gómez-Amor, J. (2001) Gender differences in cardiovascular and electrodermal responses to public speaking task: the role of anxiety and mood states. *International journal of psycho-*

- physiology: official journal of the International Organization of Psychophysiology 42(3): 253–264
- Colletti V.; Fiorino, FG (1987) Myocardial activity during noise exposure. *Acta Oto-laryngol Stockh* 104(3-4): 217-224
- Catania, J. J.; Thompson, L.W.; Michalewski, H.A.; Bowman, T. E. (1980) Comparisons of Sweat Gland Counts, Electrodermal Activity, and Habituation Behavior in Young and Old Groups of Subjects. *Psychophysiology* 17(2): 146-152
- Critchley, H. D. (2002) Electrodermal Responses: What Happens in the Brain? *The Neuroscientist* 8(2): 132-142
- Davidson, R. A.; Smith B. D. (1991) Caffeine and Novelty: Effects on Electrodermal Activity and Performance. *Physiology & Behavior* 49(6): 1169-1175
- Davis, C. (1988) Reliability of psychophysiological assessment within temperament-groups. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology* 6(4): 299-305
- de Kluizenaar Y.; Gansevoort, RT.; Miedema HM., de Jong, PE. (2007) Hypertension and road traffic noise exposure. *J Occup Environ Med* 49(5): 484-492
- Donat, D.C.; McCullough J.P (1983) Psychophysiological discriminants of depression at rest and in response to stress. *Journal of Clinical Psychology* 39(3): 315-320
- Eisdorfer, C.; Doerr H.; Follette, W. (1980) Electrodermal Reactivity : An Analysis by Age and Sex. *Journal of Human Stress* 6(4): 39–42
- Erckenbrecht, J.F.; Ziemer, B.; Lesch, M.; Rehm, S.; Kothe, E.; Berges, W.; Wienbeck, M. (1984): Effects of longterm mental stress by noise on transit of a meal through the small and large bowel. *GUT* 25: A 1311
- Erckenbrecht, J.F.; Borgos, A.; Schöpe-Stiller, A.; Schwarze, S.; Wienbeck, M.; Jansen, G. (1988) Wirkungen von Lärm auf Motilität und Flüssigkeitsresorption im menschlichen Dünndarm. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 35(2): 42-46
- Evatt, D.P.; Kassel, J.D. (2010): Smoking, arousal, and affect: the role of anxiety sensitivity. *Journal of anxiety disorders* 24: 114–123
- Fahrenberg, J.; Foerster, F.; Schneider, HJ.; Müller, W.; Myrtek M. (1986) Predictability of individual differences in activation processes in a field setting based on laboratory measures. *Psychophysiology* 23(3): 323-33.
- Finegold, L.S; Harris, C.S.; von Gierke, H.E. (1994) Community annoyance and sleep disturbance: Updated criteria for assessing the impacts of general transportation noise on people. *Noise Contr. Eng. J.* 42(1): 25-30
- Fisher L. E.; Kotses H. (1974) Experimenter and subject sex effects in the skin conductance response. *Psychophysiology* 11(2): 191-196
- Fontani, G.; Lodi, L.; Felici, A.; Corradeschi, F.; Lupo, C. (2004) Attentional, emotional and hormonal data in subjects of different ages. *European journal of applied physiology* 92(4-5): 452–461
- Freedman RR, Ianni P, Ettetdgui E, et al (1984) Psychophysiological factors in panic disorder. *Psychopathology* 17(1):66-73
- Furchtgott, E.; Busemeyer, J K (1979) Heart rate and skin conductance during cognitive processes as a function of age. *Journal of gerontology* 34(2): 183–190

- Gavazzeni, J.; Wiens, S.; Fischer, H. (2008) Age effects to negative arousal differ for self-report and electrodermal activity. *Psychophysiology* 45(1): 148–151
- Gaviria, B. (1967) Autonomic reaction magnitude and habituation to different voices. *Psychosomatic Medicine* 29(6): 598-605
- Gilbert, D.G.; Hagen, R.L. (1980): The effects of nicotine and extraversion on self-report, skin conductance, electromyographic, and heart responses to emotional stimuli. *Addictive behaviors* 5(3): 247–257
- Graham, L. A.; Cohen, S.I.; Shmavonian, B.M. (1966) Sex differences in autonomic responses during instrumental conditioning. *Psychosomatic medicine* 28(3): 264–271
- Greenstein, J.E.; Kassel, J.D. (2010): The effects of smoking on selective attention as measured by startle reflex, skin conductance, and heart rate responses to auditory startle stimuli. *Psychophysiology* 47(1): 15–24
- Gomez, P.; Danuser, B. (2004) Affective and physiological responses to environmental noises and music. *International Journal of Psychophysiology* 53(2): 91-103
- Ising H.; Kruppa, B. (2004) Health effects caused by noise : Evidence in the literature from the past 25 years. *Noise Health* 6(22): 5-13
- Jansen, G. (1991) Physiological effects of noise. In: Harris, C.M. (ed.): *Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control*, 3rd edition. Chapter 25. New York: McGraw Hill
- Jones PD.; Loeb M.; Cohen A (1977) Effects of intense continuous- and impact-type noise on pupil size and visual acuity. *Am Audiol Soc.* 1977 May-Jun;2(6):202-207
- Khalfa, S.; Peretz, I.; Blondin, J.P.; Manon, R. (2002) Event-related skin conductance responses to musical emotions in humans. *Neuroscience Letters* 328(2): 145-149
- Knott, V. J. (1984) Electrodermal activity during aversive stimulation: sex differences in smokers and non-smokers. *Addictive Behaviors* 9(2): 195–199
- Knott, V. J.; Bulmer, D. R. (1985) Relaxation, noise-induced stress and autonomic responsivity in male alcoholics and normal controls. *The International Journal of the Addictions* 20 (4): 623-628
- Kopacz, F.M.; Smith, B.D. (1971) Sex differences in skin conductance measures as a function of shock threat. *Psychophysiology* 8(3): 293-303
- Korn, J. H.; Moyer, K. E. (1968) Effects of set and sex on the electrodermal orienting response. *Psychophysiology* 4(4): 453–459
- Kring, A.M.; Gordon, A. H. (1998) Sex differences in emotion: expression, experience, and physiology. *Journal of personality and social psychology* 74(3): 686–703.
- Krumhansl, C.L. (1997): An exploratory study of musical emotions and psychophysiology. *Canad. J. of Experimental Psychology* 51(4): 336-352
- Lang, P.J.; Greenwald, M.K.; Bradley, M.M.; Hamm, A.O. (1993) Looking at pictures: Affective, facial, visceral, and behavioural reactions. *Psychophysiol.*30(3): 261-373
- Leiner, D.; Fahr, A.; Früh, H. (2012) EDA positive change: A simple algorithm for electrodermal activity to measure general audience arousal during media exposure. *Communication Methods and Measures* 6(4): 237-250
- Liberati, A.; Altman, D.G.; Tetzlaff, J.; Mulrow, C.; Gøtzsche, P.C.; Ioannidis, J.P.A.; Clarke, M.; Devereaux, P.J.; Kleijnen, J.; Moher, D. (2009) The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care

Interventions: Explanation and Elaboration. *Annals of Internal Medicine* 151(4):W65

- Lobstein, T.; Cort J. (1978): The relationship between skin temperature and skin conductance activity: Indications of genetic and fitness determinants. *Biological Psychology* 7(1): 139-143
- Lykken, D.T.; Venables, P.H. (1971) Direct measurement of skin conductance: a proposal for standardization. *Psychophysiology* 8(5): 656-672
- Martínez-Selva, J. M.; Román, F.; García-Sánchez, F. A.; Gómez-Amor, J. (1987): Sex differences and the asymmetry of specific and non-specific electrodermal responses. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology* 5(3): 155–160
- Martin-Soelch, C.; Stöcklin, M.; Dammann, G.; Opwis, K.; Seifritz, E. (2006) Anxiety trait modulates psychophysiological reactions, but not habituation processes related to affective auditory stimuli. *International Journal of Psychophysiology* 61(2): 87-97
- Miedema, H.M.E.; Vos, H. (1998) Exposure-response relationships for transportation noise. *J. Acoust. Soc. Am.* 104(6): 3432-3445.
- Moher, D.; Liberati, A.; Tetzlaff, J.; Altman, D.G.; and The PRISMA Group (2009) Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *Annals of Internal Medicine* 151(4):264-269
- Nater, U. M.; Abbruzzese, E.; Krebs, M.; Ehlert, U. (2006) Sex differences in emotional and psychophysiological responses to musical stimuli. *International journal of psychophysiology: official journal of the International Organization of Psychophysiology* 62(2): 300–308.
- Neiss, M.B.; Leigland, L.; Carlson, N.E.; Janowsky, J.S. (2009) Age differences in perception and awareness of emotion. *Neurobiology of aging* 30(8): 1305–1313.
- Neufeld, R.W.J.; Davidson, P.O. (1974) Sex differences in stress response: a multivariate analysis. *Journal of Abnormal Psychology* 83(2): 178–185
- Nivison, M.E.; Nordby, H.; Gjestland, T. (1987) The effects of length of interstimulus interval on psychophysiological rRsponses and on self-reported arousal. *Journal of Sound and Vibration* 116(1): 169-180
- Notbohm, G.; Gärtner, C.; Schwarze, S. (2003) Psycho-physiologische Bewertung der Geräuschqualität von Straßenverkehrsgeräuschen. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 50(3): 75-81
- Notbohm, G.; Schmook, R.; Mertens, R.; Frerich, M.; Schwarze, S. (2011) Physiologische und subjektive Reaktionen auf Pkw-Vorbeifahrgeräusche – Einfluss von Alter, Geschlecht und Lärmempfindlichkeit. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie* 61(8): 256-269
- Notbohm G.; Schmook R.; Schwarze S.; Angerer P. (2013) Patterns of physiological and affective responses to vehicle pass-by noises. *Noise & Health* 15(66): 355-366
- Ortscheid J.; Wende H. (2002) Lärmbelastigung in Deutschland – Ergebnisse einer repräsentativen Umfrage. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 49(2): 41–45
- Ortscheid J.; Wende H. (2006) Lärmbelastigung in Deutschland – Ergebnisse der Befragung im Jahr 2004. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 53(1): 24–30
- Papousek I., Schulter G.; Prensberger E. (2002) Dissociated autonomic regulation during stress and physical complaints. *J Psychosom Res* 52(4): 257-66

- Plouffe, L.; Stelmack, R.M. (1984) The electrodermal orienting response and memory: an analysis of age differences in picture recall. *Psychophysiology* 21(2): 191-198
- Putzke, H.; Scheinfeld, J.; Klein, G.; Undeutsch, U. (2009): Polygraphische Untersuchungen im Strafprozess. Neues zur faktischen Validität und normativen Zulässigkeit des vom Beschuldigten eingeführten Sachverständigenbeweises. *Zeitschrift für die gesamte Strafrechtswissenschaft (ZStW)* 121: 607–644
- Putzke, H. (2011) Entscheidungsbesprechung zu BGH, Beschl. v. 30.11.2010, 1 StR 509/10 (Untersuchung mittels eines Polygraphen als ungeeignetes Beweismittel). *Zeitschrift für das Juristische Studium. (ZJS)* 06: 557-563
- Rehm, S.; Gros, E.; Jansen, G. (1985) Effects of noise on health and well-being. *Stress Medicine* 1: 183-191
- Riege, W.H.; Cohen, M.J.; Wailach, H.F. (1980) Autonomic responsivity during recognition memory processing in three age groups. *Experimental Aging Research* 6(2): 159-174.
- Rill, H.G. (2001) Forensische Psychophysiologie: Ein Beitrag zu den psychologischen und physiologischen Grundlagen neuerer Ansätze der „Lügendetektion“. Inauguraldissertation Johannes Gutenberg-Universität Mainz
- Rill, H.G.; Gödert, H.W.; Vossel, G. (2003) Forensische Psychophysiologie („Lügendetektion“). Ein Plädoyer für den Tatwissentest. *Monatsschrift für Kriminologie und Strafrechtsreform* 86(3): 165-180
- Robinson, J.D.; Cinciripini, P.M.; Carter, B.L.; Lam, C.Y.; Wetter, D.W. (2007) Facial EMG as an index of affective response to nicotine. *Experimental and clinical psychopharmacology* 15(4): 390–399.
- Román, F.; García-Sánchez, F.A.; Martínez-Selva, J.M.; Gómez-Amor, J; Carrillo, E. (1989) Sex differences and bilateral electrodermal activity: a replication. *The Pavlovian journal of biological science* 24(4): 150–155.
- Roth, W.T.; Telch, M.J.; Taylor, C.B.; Sachitano, J.A.; Gallen, C.C.; Kopell, M.L.; ... & Pfefferbaum, A. (1986) Autonomic characteristics of agoraphobia with panic attacks. *Biological Psychiatry* 21(12): 1133-1154
- Saha, S.; Gandhi, A.; Das, S.; Kaur, P.; Singh S.H. (1996) Effect of noise stress on some cardiovascular parameters and audiovisual reaction time. *Indian J Physiol Pharmacol* 40(1): 35-40
- Schandry, R. (1989) Lehrbuch der Psychophysiologie. Körperliche Indikatoren psychischen Geschehens. 2. Auflage, München: Psychologie-Verlag Union
- Schandry, R. (1996): Lehrbuch der Psychophysiologie. Körperliche Indikatoren psychischen Geschehens. 3. korrigierte Auflage, Weinheim: Psychologie Verlag Union
- Schmalenbach, G. (1977): Die Wirkung von Xantinol-nicotinat an der Pupille und in der Kreislaufperipherie bei Lärmreizen. Dissertation Johannes-Gutenberg Universität Mainz
- Schwarze, S. (1991): Langjährige Lärmbelastung und Gesundheit. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz. Fb 636. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- Schwarze, S.; Notbohm, G.; Jansen, G. (1993): Die Bedeutung des binauralen Hörens für die Stärke der physiologischen Reaktion auf Geräusche. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 40(5): 151-160
- Schwarze, S.; Jansen, G.; Obermann, M.; Rosendahl, U.; Rüssmann, M.; Notbohm, G.; Splittgerber, B. (1997) Untersuchung der physiologischen Reaktion auf verschieden-

- artige Geräuschsituationen zur Entwicklung eines binauralen Geräuschmessverfahrens. In: Genuit, K., Blauert, J., Bodden, M., Jansen, G., Schwarze, S., Mellert, V., Remmers, H.: Entwicklung einer Messtechnik zur physiologischen Bewertung von Lärmeinwirkungen unter Berücksichtigung der psychoakustischen Eigenschaften des menschlichen Gehörs. FB 774. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- Sequeira, H.; Hot, P.; Silvert, L.; Delplanque, S. (2009) Electrical autonomic correlates of emotion. *Int J Psychophysiol* 71(1): 50–56
- Shmavonian, B.M.; Miller, L.H.; Cohen, S. I. (1968) Differences among age and sex groups in electrodermal conditioning. *Psychophysiology* 5(2): 119-131
- Siddle, D.A.T.; Heron, P.A. (1976) Reliability of electrodermal habituation measures under two conditions of stimulus intensity. *Journal of Research in Personality* 10(2): 195-200
- Smith, A. (1991) A review of the non-auditory effects of noise on health. *Work & Stress*, 5(1): 49-62
- Smith, B.D.; Davidson, R.A.; Green, R.L. (1993) Effects of caffeine and gender on physiology and performance: further tests of a biobehavioral model. *Physiology & Behavior* 54(3): 415–422
- Sokhadze, E.M. (2007) Effects of music on the recovery of autonomic and electrocortical activity after stress induced by aversive visual stimuli. *Appl Psychophysiol Biofeedback* 32(1):31-50
- Stansfeld, S.; Crombie, R. (2011) Cardiovascular effects of environmental noise: research in the United Kingdom. *Noise & Health* 13(52): 229-233
- Stansfeld, S.A.; Clark, C.R.; Turpin, G.; Jenkins, L.M., Tarnopolsky, A. (1985) Sensitivity to noise in a community sample: II. Measurement of psychophysiological indices. *Psychological Medicine* 15(2): 255-263
- Stern, R.M.; Gaupp, L., Leonard W.C. (1970) A Comparison of GSR and subjective adaptation to stressful stimuli. *Psychophysiology* 7(1): 3-9
- Steyer, J. (2008) Elektrodermale Aktivität und ereigniskorrelierte Potentiale bei Depression und Suizidalität. Dissertation, Univ. Ulm
- Tarnopolsky, A.; Morton-Williams, J. (1980) Aircraft noise and prevalence of psychiatric disorders. Research Report. London: Social and Community Planning Research
- Travis, F.; Haaga, D.A.F.; Hagelin, J.; Tanner, M.; Nidich, S.; Gaylord-King, C.; Grosswald, C.; Rainforth, M., Schneider, R.H. (2009) Effects of Transcendental Meditation practice on brain functioning and stress reactivity in college students. *International Journal of Psychophysiology* 71(2): 170-176
- Trimmel, M.; Atzlsdorfer, J.; Tupy, N.; Trimmel, K. (2012) Effects of low intensity noise from aircraft or from neighbourhood on cognitive learning and electrophysiological stress responses. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 215(6): 547-554
- Turpin, G.; Schaefer, F.; Boucsein, W. (1999) Effects of stimulus intensity, risetime, and duration on autonomic and behavioral responding: Implications for the differentiation of orienting, startle, and defense responses. *Psychophysiology* 36(4): 453-463
- Turpin, G.; Siddle D.A.T. (1979) Effects of Stimulus Intensity on Electrodermal Activity. *Psychophysiology* 16(6): 582-591
- Västfjäll, D.; Gulbol, M.A.; Kleiner, M.; Gärling, T. (2002) Affective evaluations and reac-

- tions to exterior and interior vehicle auditory quality. *J Sound Vibration* 255(3): 501-518
- Vandenbosch, K.; Verschuere, B.; Crombez, G.; Clercq, A. de (2009): The validity of finger pulse line length for the detection of concealed information. *International journal of psychophysiology* 71(2): 118–123
- Van Kempen, E.E.; Kruize, H.; Boshuizen, H.C.; Ameling, C.B.; Staatsen, B.A.; de Hollander, A.E. (2002) The association between noise exposure and blood pressure and ischemic heart disease: a meta-analysis. *Environ Health Perspect.* 110(3): 307-17
- Van Kempen, E. (2011) Cardiovascular effects of environmental noise: research in The Netherlands. *Noise & Health* 13(52): 221-228
- Van Kempen, E.; Babisch, W. (2012): The quantitative relationship between road traffic noise and hypertension: a meta-analysis. *Journal of Hypertension.* 30(6): 1075-1086.
- Venables P.H.; Christie, M.J. (1980) Electrodermal activity. In: Martin, I., Venables, PH. (eds) *Techniques in psychophysiology.* pp 3-67, New York: Wiley & Sons
- Venables, P.H.; Mitchell, D.A. (1996) The effects of age, sex and time of testing on skin conductance activity. *Biological psychology* 43(2): 87–101
- Vera, M.N.; Vila, J.; Godoy, J.F. (1992) Physiological and subjective effects of traffic noise: the role of negative self-statements. *Intern. J. Psychophysiol* 12(3): 267-279
- Vossel, G.; Zimmer, H. (1990) Psychometric properties of non-specific electrodermal response frequency for a sample of male students. *International journal of psychophysiology* 10(1): 69–73
- Vossel, G.; Gödert, H.W.; & Rill, H.-G. (2001). “Lügendetektion”: Zufällig, zuverlässig? *Methoden der forensischen Psychophysilogie.* *Psychoscope* 22(4): 6-9
- Vrana, S.R.; Rollock, D. (1998) Physiological response to a minimal social encounter : Effects of gender, ethnicity, and social context. *Psychophysiology* 35(4): 462-469
- Wallin, B.G. (1981): Sympathetic nerve activity underlying electrodermal and cardiovascular reactions in man. *Psychophysiology* 18(4): 470-476.
- Waters, W.F.; Williamson, D.A.; Bernard, B.A.; Blouin, D.C.; Faulstich, M.E. (1987): Test-retest reliability of psychophysiological assessment. *Behaviour research and therapy* 25(3): 213–221.
- Weise, C.; Heinecke, K.; Rief, W. (2008) Stability of physiological variables in chronic tinnitus sufferers. *Applied psychophysiology and biofeedback* 33(3): 149–159.
- WHO European Centre for Environment and Health (2011) *Burden of Disease from Environmental Noise: Quantification of Healthy Life Years Lost in Europe.* Copenhagen: Regional Office for Europe
- Zelinski, E.M.; Walsh, D.A.; Thompson, L.W. (1978) Orienting task effects on EDR and free recall in three age groups. *Journal of Gerontology* 33(2): 239–245.
- Zimmer, K.; Ellermeier, W. (1997) Eine deutsche Version der Lärmempfindlichkeitsskala von Weinstein. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 44(4): 107-110

9 Internetquellen

- AG Bautzen (2013) Urteil vom 26. März 2013, Az. 40 Ls 330 Js 6351/12, BeckRS 2013, 08655
<https://beck-online.beck.de/Default.aspx?vpath=bibdata%2fents%2fbeckrs%2f2013%2fcont%2fbeckrs.2013.08655.htm> (zuletzt aufgerufen: 13.04.15, kostenpflichtig)
- BGH (1999) Polygraphentest als Beweismittel. Urteil vom 17.12.98 (1 StR 156/98) JurPC Web-Dok. 13/1999, Abs. 1 – 75
<http://www.jurpc.de/jurpc/show?id=19990013> [zuletzt aufgerufen: 09.04.15]
- BGH (2010) Beschluss vom 30. November 2010, Az. 1 StR 509/10
<http://openjur.de/u/538866.html> [zuletzt aufgerufen: 10.04.15]
- BVerwG (2014) Polygraphietest als geeignetes Beweismittel im gerichtlichen Disziplinarverfahren Beschl. v. 31.07.2014, Az.: BVerwG 2 B 20.14
<https://www.jurion.de/Urteile/BVerwG/2014-07-31/BVerwG-2-B-2014>
[zuletzt aufgerufen: 09.04.15]
- OLG Dresden (2013) Beschluss vom 14. Mai 2013, Az. 21 UF 787/12
<http://www.justiz.sachsen.de/esamosweb/documents/21UF787.12.pdf>
[zuletzt aufgerufen: 13.04.15]
- Umweltbundesamt (Hrsg.) (2010) Umweltbewusstsein in Deutschland 2010 - Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. S. 80
http://www.klimanavigator.de/imperia/md/content/csc/klimanavigator/bmu_uba_-_umfrage_umweltbewusstsein_in_deutschland_2010.pdf [zuletzt aufgerufen: 13.04.15]
- Umweltbundesamt (2015) Lärmbelästigung
<http://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/laermwirkung/laermbelaestigung> [zuletzt aufgerufen: 11.04.15]

Danksagung

Eine wissenschaftliche Arbeit ist nie das Werk einer einzelnen Person, deshalb ist es jetzt an der Zeit, mich bei allen Menschen zu bedanken, die mir die Erstellung meiner Dissertation ermöglicht haben.

Die vorliegende Arbeit entstand auf Anregung von Frau Prof. Dr. Schwarze, ihr danke ich für die Überlassung des Themas.

Herrn Prof. Dr. Angerer danke ich dafür, dass er die Aufgabe als Referent/Doktorvater übernommen hat, nachdem Frau Prof. Dr. Schwarze aus dem Universitätsbetrieb der Universität Düsseldorf ausgeschieden ist.

Mein besonderer Dank gilt weiterhin Frau Prof. Dr. Schwarze, Herrn Dr. Notbohm und Frau Dr. Schmook für die intensive Betreuung und Förderung, die wesentlich zur Entstehung der Arbeit beitrug.

Meinem Onkel Werner Ludwig und meiner Mutter Frau Dr. Brigitte Hölscher-Mertens danke ich für die freundliche Unterstützung beim Korrekturlesen.

Weiter danke ich meinem Vater, Johannes Mertens, sowie meinen Freunden für die liebevolle und aufmunternde Unterstützung in den Jahren der Entstehung der Arbeit.

Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere an Eides statt, dass die Dissertation selbständig und ohne unzulässige fremde Hilfe erstellt worden ist und die hier vorgelegte Dissertation nicht von einer anderen medizinischen Fakultät abgelehnt worden ist.

Datum, Vor- und Nachname

Unterschrift