

# **Einsatz von Navigations-, Kommunikations- und Erdbeobachtungssatelliten in der Verkehrstelematik**

In a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n

Zur

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

vorgelegt von

Stefan Baumann

aus München

2002

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

Referent: Prof. Dr. Ekkehard Jordan

Korreferenten: Prof. Dr. Gerd Wenzens  
Prof. Dr. Wolfgang Augath

Tag der mündlichen Prüfung: 9 Januar 2002

Bei allen Personen, die mir bei der Erstellung der vorliegenden Arbeit mit zahlreichen Informationen behilflich waren, bedanke ich mich noch einmal sehr herzlich.

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Ekkehard Jordan, Dr.Dr. Wilfried Linder und Michael Braitmeier vom Geographischen Institut der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf für die sorgfältige Betreuung der Arbeit und die fachkundige Unterstützung im Laufe der letzten Jahre.

Bei Prof. Dr. Gerd Wenzens und Prof. Dr. Wolfgang Augath bedanke ich mich für ihre Unterstützung als Korreferenten.

Dr. Wolfgang Lechner und Rolf Sievert (Firma Telematica e.K.) spreche ich für die hilfreichen Anregungen und die sorgfältige Durchsicht der Arbeit meinen Dank aus.

Der Firma T-Mobil und speziell den Herren Bernhard Ruff und Ralf Laing verdanke ich die Bereitstellung und Vorbereitung der benötigten 3D-Stadtmodelle.

Bei der Firma Astrium GmbH bedanke ich mich nochmals für die Bereitstellung der Satellitensimulationssoftware SATNAVsim und speziell bei Herrn Dr. Hans-Jürgen Herpel für die freundliche Unterstützung bei den Simulationen während meines Aufenthalts in Friedrichshafen.

Stefan Baumann

München, 14.1.2002

**1 EINFÜHRUNG****8**

1.1	Erläuterung der Aufgabenstellung .....	9
1.2	Abgrenzung des Themas.....	10
1.3	Methodik .....	10
1.4	Innovativer Ansatz und Nutzen.....	11

**2 VERKEHRSTELEMATIK****14**

2.1	Was ist Verkehrstelematik? .....	14
2.2	Anwendungen der Verkehrstelematik.....	15
2.2.1	Straßenverkehr.....	15
2.2.2	Multimodale Anwendungen .....	20
2.2.3	Fußgängernavigation.....	20
2.3	Verkehrstelematikmarkt .....	20
2.3.1	Derzeitige Marktsituation .....	20
2.3.2	Zukünftiges Marktpotential.....	21

**3 SATELLITENGESTÜTZTE VERFAHREN IN DER VERKEHRSTELEMATIK****24**

3.1	Positionsbestimmung, Ortung und Navigation.....	25
3.1.1	Anforderungen.....	25
3.1.2	Systeme.....	27
3.1.3	Derzeitiger Einsatz in der Verkehrstelematik .....	54
3.1.4	Zukünftige Entwicklungen.....	55
3.2	Kommunikation .....	56
3.2.1	Anforderungen.....	56
3.2.2	Systeme.....	57
3.2.3	Derzeitiger Einsatz in der Verkehrstelematik .....	70
3.2.4	Zukünftige Entwicklungen.....	72
3.3	Erfassung verkehrsrelevanter Objekte .....	72
3.3.1	Anforderungen.....	75
3.3.2	Systeme.....	79
3.3.3	Derzeitiger Einsatz in der Verkehrstelematik .....	107
3.3.4	Zukünftige Entwicklungen.....	108

**4 VERFÜGBARKEIT VON SATELLITENSIGNALEN IN BEBAUTEN GEBIETEN****111**

4.1	Ablauf der Simulation.....	111
4.2	Ausgangsdaten.....	112
4.3	Geographische Informationssysteme (GIS).....	122
4.3.1	GIS - Ein Überblick .....	122
4.3.2	LISA.....	124
4.3.3	Berechnungen .....	126
4.4	Satellitensimulation.....	134
4.4.1	SATNAVsim.....	134
4.4.2	Datenimport .....	138
4.4.3	Simulation.....	138
4.5	Auswertung.....	164
4.6	Übertragbarkeit auf andere Gebiete .....	165

**5 ZUSAMMENFASSUNG UND BEWERTUNG****168**

5.1	Bedeutung satellitengestützter Verfahren für die Verkehrstelematik heute .....	168
5.2	Einsatz von Satellitensystemen in bebauten Gebieten – Möglichkeiten und Grenzen ....	169
5.3	Verbesserungsvorschläge zur Simulation .....	171
5.4	Ausblick auf den zukünftigen Einsatz satellitengestützter Systeme in der Verkehrstelematik .....	172

---

## **6 ANHANG** **175**

6.1	Quellenverzeichnis .....	175
6.1.1	Literatur .....	175
6.1.2	Internetangaben .....	180
6.2	Abbildungsverzeichnis .....	183
6.3	Tabellenverzeichnis .....	187
6.4	Abkürzungen .....	188
6.5	Stichwortverzeichnis .....	197
6.6	Weitere Anwendungen .....	199
6.6.1	Luftfahrt .....	199
6.6.2	Schifffahrt .....	201
6.6.3	Binnenschifffahrt .....	204
6.6.4	Schienenverkehr .....	205
6.7	Dilution of Precision (DOP) .....	207
6.8	Karten der Testgebiete .....	209
6.8.1	Ramersdorf .....	209
6.8.2	Schwabing .....	210
6.8.3	Lehel .....	211
6.8.4	Neuperlach 1 .....	212
6.8.5	Neuperlach 2 .....	213
6.8.6	Moosfeld .....	214
6.9	Tabellen der azimutabhängigen Abschattungswinkel .....	215
6.9.1	Ramersdorf .....	215
6.9.2	Schwabing .....	217
6.9.3	Lehel .....	220
6.9.4	Neuperlach 1 .....	221
6.9.5	Neuperlach 2 .....	223
6.9.6	Moosfeld .....	225

## **KURZBESCHREIBUNG**

Der Begriff **Telematik** setzt sich aus den Wörtern **Tele**kommunikation und **Informatik** zusammen. Die Telematik beschäftigt sich mit der Übermittlung und Verarbeitung von Informationen. Der Teilbereich der Verkehrstelematik konzentriert sich auf verkehrsrelevante Daten mit dem Ziel Verkehrsprozesse zu steuern und zu optimieren. Dadurch können die Negativwirkungen des Verkehrs vermindert werden. Da die bestehende Verkehrsinfrastruktur aufgrund des hohen Flächenverbrauchs zukünftig nicht mehr umfangreich ausgebaut werden kann, muß der weiter anwachsende Verkehr effektiver organisiert werden. Hierfür bieten Verkehrstelematikanwendungen geeignete Lösungsansätze. Im Bereich des Straßenverkehrs gibt es eine Vielzahl verschiedener Telematikanwendungen, wie z.B. Zielführung durch Fahrzeugnavigationssysteme, Flottenmanagement, Unfall- und Pannennotruf, Diebstahlschutz, etc.. Eine detaillierte Beschreibung dieser Anwendungen findet sich in Kapitel 2.2.1 auf Seite 15.

Die Satellitentechnologie kann innerhalb der Verkehrstelematik in drei verschiedenen Bereichen eingesetzt werden:

### 1) **Positionsbestimmung und Navigation**

### 2) **Kommunikation**

### 3) **Erfassung verkehrsrelevanter Objekte**, z.B.:

    Straßennetz ⇒ Herstellung digitaler Straßenkarten

    Fahrzeuge ⇒ Gewinnung von Verkehrsinformationen

Eine Übersicht der Einsatzbereiche gibt Abbildung 10 auf Seite 25.

Grundsätzlich werden die Verfahren der Verkehrstelematik sowohl in ländlichen Gebieten als auch im Stadtbereich angewendet. Einige Anwendungen kommen vor allem im Stadtbereich zum Einsatz. Beispiele hierfür sind z.B. der Einsatz im ÖPNV (Fahrgastinformationssysteme, Ampelvorrangschaltungen) und Parkplatzmanagement. Verbunden mit dem Einsatz in bebauten Gebieten ist jedoch die **Problematik** der Abschattung von Satelliten durch Gebäude. Um die Verfügbarkeit der Satellitensignale in bebauten Gebieten zu untersuchen, können Testfahrten durchgeführt werden. Testfahrten sind jedoch zeitaufwendig und teuer, eine flexiblere und preisgünstigere Lösung ist die **Simulation des Satellitenempfangs** durch entsprechende Computerprogramme. Bisher wurden Satellitensimulationen unter der Annahme eines einheitlichen Abschattungswinkels für alle Azimutrichtungen durchgeführt. Dies spiegelt die tatsächlichen Verhältnisse in bebauten Gebieten nur unzureichend wieder. Der innovative Ansatz dieser Arbeit besteht in der Einbeziehung eines dreidimensionalen Stadtmodells in die Simulationen. Der Unterschied zwischen der konventionellen Simulationemethode und der Berücksichtigung eines 3D-Stadtmodells ist in Abbildung 3 und Abbildung 4 auf Seite 12 dargestellt.

Die Daten des Stadtmodells stammen aus einer photogrammetrischen Erfassung. Es wurden sechs **Testgebiete** mit unterschiedlichen Bebauungsmustern in München ausgewählt (siehe Kapitel 4.2) und in das **Geographische Informationssystem** LISA importiert. Mit LISA konnten azimutabhängige Abschattungswinkel entlang der digitalisierten Fahrtstrecken berechnet werden. Diese Daten wurden anschließend in das **Satellitensimulationssystem** SATNAVsim eingelesen und ausgewertet. Der Ablauf der Datengenerierung und Simulation ist in Abbildung 66 auf Seite 111 visualisiert. Es wurden die Satellitennavigationssysteme GPS, EGNOS, Galileo sowie Kombinationen dieser Systeme und das Satellitenkommunikationssystem Globalstar simuliert. Die Ergebnisse der Simulation wurden durch **GPS-Messungen** für einen ausgewählten Streckenabschnitt überprüft (siehe Kapitel 4.4.3.8.4, Seite 159).

Die wesentlichen Erkenntnisse der **Auswertung** sind:

- Die Ergebnisse der konventionellen Simulationsmethode fallen, im Vergleich zu den Resultaten der Simulationen unter Berücksichtigung des 3D-Stadtmodells, um ca. 15-20% zu optimistisch aus (Tabelle 29 auf Seite 145). Die weitgehende Übereinstimmung der 3D-Simulation mit den tatsächlichen Empfangsbedingungen wurde durch die bereits angesprochenen GPS-Messungen nachgewiesen.
- Es wurde ein signifikanter Einfluß unterschiedlicher Bebauungsmuster festgestellt (siehe Abbildung 92 auf Seite 146). Gute Empfangsbedingungen herrschen in den Testgebieten mit niedriger Bebauung, aber auch bei typischer Hochhausbebauung in Trabanten-siedlungen mit größeren Abständen zwischen den Gebäuden. Wesentlich ungünstigere Bedingungen finden sich im Altstadtbereich mit schmalen Straßen und 3-4 stöckigen Gebäuden. Die Satellitenverfügbarkeit reduziert sich auf Werte von 40-50% gegenüber >95% in den erstgenannten Gebieten.
- Im Altstadtbereich werden punktuell an freien Plätzen, Bebauungslücken und in Kreuzungsbereichen hohe Verfügbarkeiten erreicht (siehe Abbildung 105 und Abbildung 106 auf Seite 154). Weiterhin spielt die Exposition der Straße eine Rolle. Aufgrund der inklinierten Umlaufbahnen der GPS-Satelliten werden auf Nord-Süd exponierten Straßen geringere Verfügbarkeiten erzielt als auf Straßen, die in West-Ost Richtung verlaufen.
- Das simulierte Kommunikationssystem Globalstar weist in allen Testgebieten sehr hohe Verfügbarkeiten für den Empfang eines Satelliten auf. Ein zweiter Satellit (der zur Erhöhung der Sicherheit einer Kommunikationsverbindung benötigt wird) ist ebenfalls in den meisten Testgebieten permanent verfügbar. Lediglich im Altstadtbereich werden Unterbrechungen zu einem zweiten Satelliten mit einer Dauer von ca. 10 Minuten verzeichnet (siehe Abbildung 103 auf Seite 152).

Basierend auf diesen Ergebnissen kann folgendes Fazit für den **zukünftigen Einsatz** der Satellitentechnologie in der Verkehrstelematik gezogen werden:

Satellitengestützte **Navigationssysteme** werden auch zukünftig einen wesentlichen Bestandteil der Verkehrstelematik bilden. Aufgrund der aufgezeigten Weiterentwicklungen werden zukünftig erhebliche Verbesserungen bestehender Anwendungen und die Entwicklung neuer Anwendungsfelder ermöglicht. Der zukünftige Einsatz satellitenbasierter **Kommunikationssysteme** ist technisch möglich und wird im wesentlichen durch die weitere wirtschaftliche Entwicklung in diesem Bereich bestimmt. Daten aus **Erdbeobachtungsmissionen** werden zukünftig in erheblichem Umfang zur Herstellung digitaler Straßenkarten eingesetzt, während eine Nutzung zur Erfassung von Verkehrsinformationen nur bedingt zu erwarten ist.

# 1 EINFÜHRUNG

In den westlichen Industrieländern ist das Verkehrsaufkommen in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich angestiegen. In Deutschland nahm die jährliche Fahrleistung im motorisierten Individualverkehr von 1970 mit 305 Mrd. Personenkilometer (Pkm) (Zängl, 1995) bis 1991 auf 713,5 Mrd. Pkm. und bis 1998 auf 755,7 Mrd. Pkm. zu. Die Gesamtverkehrsleistung der übrigen Verkehrsmittel (Eisenbahn, Schienennahverkehr, öffentlicher Straßennahverkehr und Luftverkehr) betrug 1998 lediglich 179 Mrd. Pkm. (BMVBW<sup>1</sup>, 2000(3)). Während 1996 in der Bundesrepublik ca. 41 Mio. Pkws zugelassen waren, werden laut einer Studie des ifo-Instituts bis 2005 46,5 Mio. Pkws erwartet. Für 2010 wird ein weiterer Anstieg auf 48 Mio. Pkws vorhergesagt (Business Geomatics, 1999).

Auch im Güterverkehr wird der Großteil des Verkehrs über die Straße abgewickelt. Das folgende Diagramm zeigt die Entwicklung des Güterverkehrs zwischen 1991-1998, aufgeschlüsselt nach Transportmitteln.

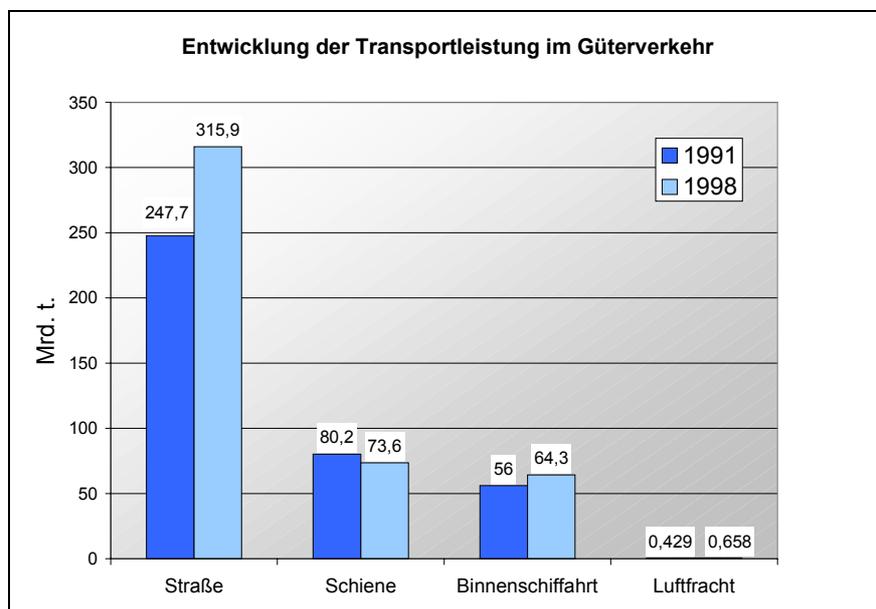


Abbildung 1 Entwicklung des Güterverkehrs in Deutschland zwischen 1991-1998<sup>2</sup>

Der in Abbildung 1 aufgezeigte Anstieg im Straßengüterverkehr wird zukünftig weiter zunehmen. Prognosen des BMVBW, 2000(2) veranschlagen bis 2010 ein Wachstum von 50%.

Der Ausbau von verkehrsbezogener Infrastruktur (z.B. Straßen- und Schienennetz, Flugplätze, etc.) hat aus Gründen des hohen Flächenverbrauchs in den dichtbesiedelten Industrieländern seine Grenzen nahezu erreicht. Während in Deutschland die Verkehrsleistung im motorisierten Individualverkehr von 1991 bis 1998 um 5,9% zugenommen hat und die Anzahl der Kraftfahrzeuge um 14,2% angestiegen ist, wurde das Straßennetz lediglich von 226 300km auf 230 700km erweitert. Dies entspricht einem Wachstum von 1,9% (BMVBW, 2000(3)). Der steigende Bedarf an Mobilität von Personen und Gütern muß daher durch eine effektivere Organisation des Verkehrs bewältigt werden.

Durch eine Optimierung der Verkehrsabläufe können auch die schädlichen Auswirkungen des Verkehrs auf die Umwelt reduziert werden. Trotz technischer Verbesserungen der Fahrzeuge, die zu einer Reduzierung des Energieverbrauchs pro Fahrzeug geführt haben, stieg der Energieverbrauch durch den Verkehr in Deutschland von 1991 bis 1998 von 2 460 Peta-

<sup>1</sup> Literatur: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen

<sup>2</sup> Literatur: BMVBW, 2000 (3)

joule auf 2 679 Petajoule (1 Petajoule =  $10^{15}$  Joule). Auch der relative Anteil des Energieverbrauchs durch den Verkehr am Gesamtenergieverbrauch stieg in diesem Zeitraum von 26,4% auf 28,3% an (BMVBW, 2000(3)). Laut Angaben des Verbandes der Automobilindustrie könnte ein verbesserter Verkehrsfluß den Kohlenwasserstoffausstoß um über 40%, den Kohlenmonoxidausstoß um mehr als 20% und den Stickoxidausstoß um fast 15% verringern (Business Geomatics, 1999). Andere Quellen (Müller, 1995) geben für die Verringerung des Schadstoffausstoßes durch eine optimierte Organisation des Verkehrsflusses ähnliche Größenordnungen an.

Für die angesprochene Neugestaltung der Verkehrsabläufe bieten moderne Informations- und Kommunikationstechnologien geeignete Hilfsmittel. Aus der Kombination der **Telekommunikation** und **Informatik** entstand als neue Disziplin die **Telematik**. Die Verkehrstelematik beschäftigt sich mit der Steuerung und Optimierung der Verkehrsabläufe.

Seit ersten Versuchen in den 60er Jahren durch Technologien der Positionsbestimmung und Kommunikation Einfluß auf das Verkehrsgeschehen zu nehmen, sind mittlerweile eine Anzahl von Anwendungen der Verkehrstelematik wie z.B. Zielführung mit Hilfe von Fahrzeugnavigationssystemen, Flottenmanagement, Verkehrssteuerung mittels Wechselverkehrszeichen, etc. weitgehend realisiert worden, andere Applikationen wie z.B. eine leistungsbezogene Erfassung von Straßennutzungsgebühren, Parkraummanagement, Advanced Driver Assistance Services (ADAS), etc. befinden sich momentan in der Erprobungs- bzw. Einführungsphase und zukünftige Anwendungen wie z.B. die autonome Fahrzeugführung, die Organisation intermodaler Transportketten, etc. werden vorbereitet.

## **1.1 Erläuterung der Aufgabenstellung**

Eine wesentliche Voraussetzung zur Erfassung, Steuerung und Kontrolle des Verkehrs sind aktuelle, genaue, zuverlässige und flächendeckend verfügbare Positionsangaben der Fahrzeuge. Satellitengestützte Navigationsverfahren werden, neben terrestrischen Systemen und fahrzeugseitigen Sensoren, für zahlreiche Anwendungen innerhalb der verschiedenen Verkehrsträger eingesetzt. Vor allem im Bereich des Straßenverkehrs wird ein verstärkter Einsatz satellitengestützter Verkehrstelematikanwendungen in naher Zukunft erwartet.

Neben der **Positionsbestimmung, Ortung und Navigation** ist zu erwarten, daß satellitenbasierte Technologien zukünftig noch weitere Einsatzfelder innerhalb der Verkehrstelematik eröffnen werden. Dies sind die Bereiche **Kommunikation** und **Erfassung verkehrsrelevanter Daten** durch Fernerkundungssensoren, die derzeit nur für Spezialanwendungen der Verkehrstelematik genutzt werden bzw. sich in der Pilotphase befinden. Das Ziel dieser Arbeit ist es, das Potential aber auch die Grenzen der Satellitentechnologie für diese Einsatzfelder aufzuzeigen.

Verkehr ist ein raumbezogener Prozeß, mit dem sich der Zweig der Verkehrsgeographie beschäftigt. Die Einführung neuer Telematiktechnologien, die die Verkehrsprozesse und das Mobilitätsverhalten der Bevölkerung nachhaltig beeinflussen, spielt daher für die zukünftigen Aufgaben und Fragestellungen der Geographie eine zentrale Rolle. Die dabei verwendeten Verfahren der satellitengestützten Positionsbestimmung kommen auch in anderen Bereichen der Geographie immer mehr zum Einsatz (z.B. für die Kartierung raumbezogener Objekte). Ein weiterer wichtiger Aspekt der untersuchten Thematik ist der Einsatz von Methoden der Fernerkundung zur Erfassung verkehrsrelevanter Objekte. Dieses neue Anwendungsgebiet der Fernerkundung eröffnet für Geographen zusätzliche zukunftssträchtige Betätigungsfelder. Aufgrund der zahlreichen ineinandergreifenden Aspekte dieser Arbeit wird zunächst eine Abgrenzung der Themenstellung vorgenommen.

## **1.2 Abgrenzung des Themas**

Aus den verschiedenen Anwendungsbereichen innerhalb der Verkehrstelematik wird der Schwerpunkt auf den **Straßenverkehr** gelegt, da für diesen Bereich das größte Anwendungspotential (DLR, 1998; EC, 2000) erwartet wird. Von den untersuchten Einsatzgebieten satellitenbasierter Verfahren wird die **Positionsbestimmung** als Schwerpunkt gewählt, da dieser Bereich eine grundlegende Voraussetzung aller Verkehrstelematikanwendungen darstellt und bereits heute vielfältig genutzt wird.

Aus den beiden Schwerpunktthemen „satellitengestützte Positionsbestimmung“ und „Straßenverkehrstelematik“ leitet sich auch der praktische Bestandteil dieser Arbeit ab. Dieser besteht aus einer **Simulation der Satellitenverfügbarkeit** verschiedener Navigationssatelliten im Stadtgebiet. Neben den Navigationssystemen wurde auch die Verfügbarkeit eines satellitengestützten Kommunikationssystems (Globalstar) simuliert. Dabei wurden verschiedene Bebauungsmuster in München untersucht. Die ausgewählten Bebauungstypen umfassen zwei Wohnviertel im Altstadtbereich, ein Wohnviertel am Stadtrand, das überwiegend durch Einfamilienhäuser gekennzeichnet ist, zwei Testgebiete mit Hochhausbebauung und ein Gewerbegebiet.

Eine zentrale Rolle bei den Simulationen spielt die Verwendung eines GIS, die eine Verarbeitung der raumbezogenen Informationen ermöglicht. Die Einbeziehung von GIS in Satellitensimulationen stellt ein neues Anwendungsfeld dar, das zukünftig aufgrund der zunehmenden Verbreitung von Satellitennavigations- und Telematikanwendungen an Bedeutung gewinnen wird. Die Erfassung, Auswahl und Aufbereitung raumbezogener Daten, die die Grundlage für die durchgeführten Simulationen bilden, sind weitere Betätigungsfelder, die zukünftig für Geographen erschlossen werden können.

## **1.3 Methodik**

Die Aufgabenstellung wurde nach folgender Methodik bearbeitet:

Zunächst wird in Kapitel 2 eine Einführung in die Verkehrstelematik gegeben. Neben einem allgemeinen Überblick werden speziell die Anwendungen des Straßenverkehrs im Kapitel 2.2.1 ausführlich behandelt.

Das folgende Kapitel 3 beschreibt die drei Einsatzfelder satellitenbasierter Verfahren innerhalb der Verkehrstelematik:

- 1) Positionsbestimmung, Ortung und Navigation (Kapitel 3.1)
- 2) Kommunikation (Kapitel 3.2)
- 3) Erfassung verkehrsrelevanter Daten (Kapitel 3.3)

Dabei werden zunächst terrestrische bzw. fahrzeugseitige Systeme, die ebenfalls für die genannten Aufgaben eingesetzt werden, erläutert. Anschließend werden die satellitenbasierten Systeme vorgestellt, deren heutiger Einsatz dargelegt und die zukünftige Entwicklung beurteilt.

Im anschließenden praktischen Teil dieser Arbeit wird der Signalempfang von Satelliten im Stadtgebiet untersucht. Hierzu wurden Simulationen mit Hilfe des GIS LISA und der Satellitensimulationssoftware SATNAVsim in Kooperation mit der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf und der Firma Astrium GmbH durchgeführt.

Das letzte Kapitel faßt die im Verlauf der Arbeit erzielten Ergebnisse zusammen und bewertet den Einsatz von satellitengestützten Verfahren in der Verkehrstelematik. Dabei wird, basierend auf den Ergebnissen der Simulation, speziell der als besonders problematisch einzuschätzende Einsatz in Stadtgebieten diskutiert.

## 1.4 Innovativer Ansatz und Nutzen

Satellitengestützte Navigationssysteme bilden bereits heute die Basis für eine Vielzahl von Verkehrstelematiksystemen. Andere Anwendungsfelder satellitenbasierter Verfahren, wie die Kommunikation und Fernerkundung werden gegenwärtig aus verschiedenen Gründen noch nicht in größerem Umfang operationell in der Verkehrstelematik eingesetzt. Jedoch sind in beiden Bereichen Entwicklungen abzusehen, die einen zukünftigen Einsatz erwarten lassen. Der Einsatz von Satelliten zur Positionsbestimmung und Kommunikation erfordert eine direkte „Sichtverbindung“ (Line of Sight, LoS) zwischen Satellit und Empfänger. Wird die LoS durch Hindernisse wie z.B. Gebäude, Vegetation, Geländeerhebungen, etc. unterbrochen, spricht man von **Abschattung** und eine Nutzung der Satellitensignale ist wegen der niedrigen Sendeleistung nicht mehr möglich. Sinkt die Anzahl der nutzbaren Satelliten unter die, für eine bestimmte Funktionalität benötigte, Mindestanzahl ab, ist das Satellitensystem nicht mehr nutzbar. So werden z.B. mindestens drei Navigationssatelliten zur Bestimmung einer 2D-Position oder mindestens ein bzw. zwei Kommunikationssatelliten für die Herstellung einer Kommunikationsverbindung bzw. das Durchführen eines **Hand-Overs** (Wechsel der Kommunikationsverbindung zu einem anderen Satelliten) benötigt. Diese Problematik schränkt vor allem im Stadtbereich die Nutzung von satellitenbasierten Systemen zur Positionsbestimmung und Kommunikation stark ein. Eine LoS ist zwar für die Erfassung von verkehrsrelevanten Objekten durch Fernerkundungssatelliten ebenfalls notwendig, jedoch können die benötigten Informationen in der Regel auch bei kleinräumigen Abschattungen aus dem Kontext der sichtbaren Informationen generiert werden, so daß für diese Anwendung die Sichtbarkeit der Satelliten eine nicht so bedeutende Rolle spielt wie für die Positionsbestimmung und Kommunikation.

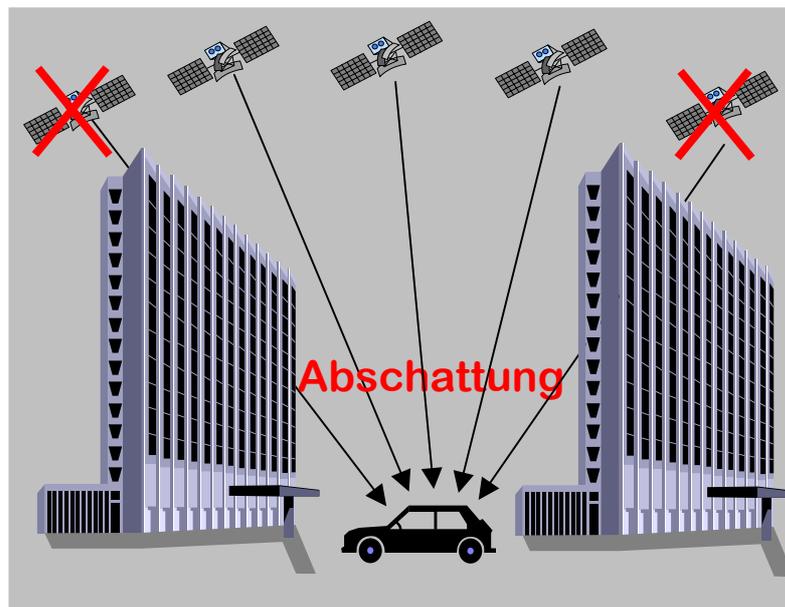


Abbildung 2 Problematik der Abschattung von Satellitensignalen durch Gebäude

Die Satellitensichtbarkeit läßt sich zwar durch Testfahrten ermitteln, jedoch sind diese mit erheblichem zeitlichen und finanziellen Aufwand verbunden und liefern Ergebnisse, die lediglich für das Testgebiet und für einen bestimmten Zeitpunkt aussagekräftig sind. Eine Möglichkeit, die räumliche und zeitliche Einschränkung von Testfahrten zu umgehen, ist die **Simulation** der Satellitenverfügbarkeit durch entsprechende Software. Bisher wurden Satellitensimulationen lediglich unter der Annahme eines einheitlichen Elevationswinkels für alle Azimutrichtungen durchgeführt. Es ist jedoch offensichtlich, daß für den Einsatz von Satellitennavigations- und Kommunikationssystemen in bebauten Gebieten zum einen der ständige Wechsel zwischen unterschiedlichen Abschattungen durch verschiedene Gebäude-

typen und zum anderen punktuell verbesserte Empfangsbedingungen an Kreuzungen, breiten Straßen, freien Plätzen, Häuserlücken, etc. einen erheblichen Einfluß auf die Verfügbarkeit der jeweiligen Systeme ausüben. Systematische Untersuchungen, die diese Aspekte unter Einbeziehung realitätsnaher Daten berücksichtigen, wurden bisher nicht durchgeführt.

Die folgenden Abbildungen veranschaulichen den Unterschied zwischen den konventionellen Simulationsmethoden und dem neuen Ansatz, der ein 3D-Stadtmodell berücksichtigt.

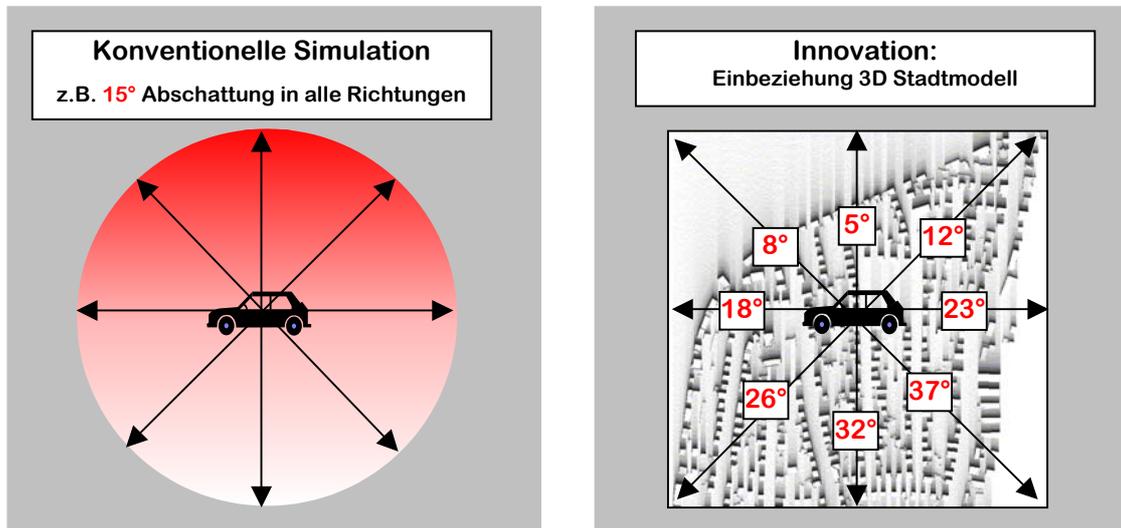


Abbildung 3 Gegenüberstellung von konventioneller Simulation und Simulation unter Berücksichtigung eines 3D-Stadtmodells - Skizze

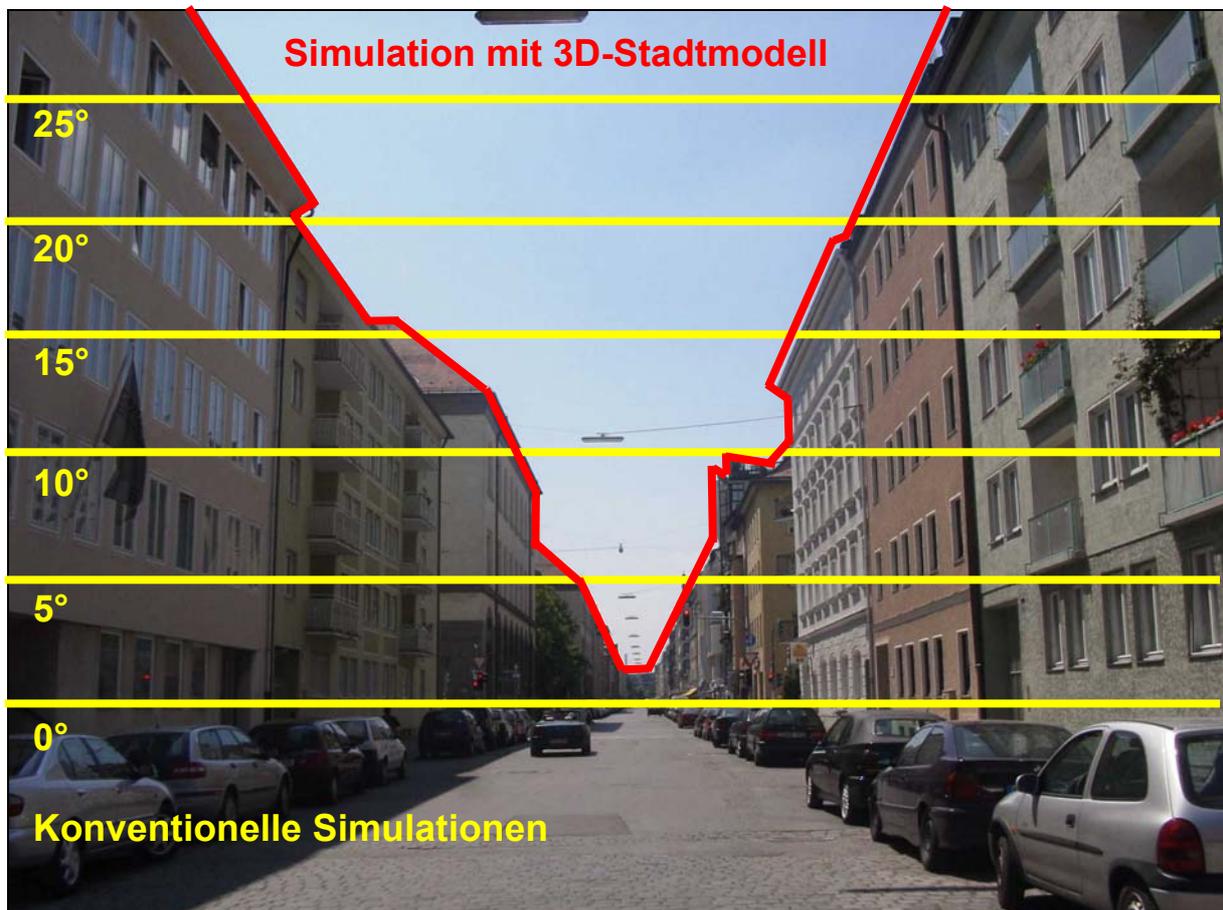


Abbildung 4 Gegenüberstellung von konventioneller Simulation und Simulation unter Berücksichtigung eines 3D-Stadtmodells - Foto

Die durchgeführten Simulationen erlauben es, verschiedene Satellitennavigations- und Kommunikationssysteme unter realitätsnahen Bedingungen hinsichtlich ihrer Verfügbarkeit in bebauten Gebieten zu untersuchen. Diese Erkenntnisse sind für die folgenden strategischen Überlegungen hilfreich:

- Entwicklung und Verbesserung der Satellitenkonstellationen für Anwendungen in bebauten Gebieten
- Auswahl zukünftiger Navigations- und Kommunikationsbestandteile von Fahrzeugnavigationssystemen
- Identifikation von Problemumgebungen (z.B. bestimmte Bebauungstypen), in denen der Einsatz satellitenbasierter Navigations- und Kommunikationssysteme ggf. durch terrestrische/fahrzeugseitige Systeme ergänzt werden muß
- Bewertung des Nutzens von satellitengestützten Ergänzungssystemen (z.B. European Geostationary Navigation Overlay System (EGNOS)) im Stadtgebiet
- Bewertung des Nutzens kombinierter Satellitenempfänger (z.B. Global Positioning System (GPS) und Galileo) unter realitätsnahen Abschattungsbedingungen
- Bewertung des Einsatzes von satellitengestützten Kommunikationssystemen in bebauten Gebieten
- Simulation des Einsatzes mobiler Endgeräte wie z.B. Personal Digital Assistants (PDAs) im Stadtbereich (die Leistungsfähigkeit der PDAs ist aufgrund limitierter Integrationsmöglichkeiten von Zusatzsensorik erheblich stärker von der Qualität der satellitenbasierten Positionsbestimmung beeinflusst als Fahrzeugnavigationssysteme)
- Bewertung der Verfügbarkeit von Global Navigation Satellite System (GNSS)-gestützter Verfahren zur Lokalisierung von Mobilfunkgeräten in bebauten Gebieten

Die Datengrundlage für die durchgeführten Simulationen dieser Arbeit bildet ein dreidimensionales Stadtmodell von München, das durch die photogrammetrische Auswertung einer Luftbildbefliegung erzeugt wurde. Das vorliegende Konzept ist jedoch auch zur Einbeziehung verschiedener DGM-Daten geeignet, um so z.B. die Satellitenverfügbarkeit in anderen problematischen Umgebungen (z.B. Gebirge) zu untersuchen.

## **2 VERKEHRSTELEMATIK**

Zur Einführung in die Thematik wird zunächst der Begriff „Verkehrstelematik“ erläutert, anschließend wird ein kurzer Überblick der Verkehrstelematikanwendungen für die verschiedenen Verkehrsträger gegeben. Die Anwendungsmöglichkeiten im Straßenverkehr werden dabei aufgrund der besonderen Bedeutung für den zukünftigen Markt ausführlicher erläutert. Abschließend erfolgt ein kurzer Ausblick auf die heutige Marktsituation und das zukünftige Marktpotential der Verkehrstelematik.

### **2.1 Was ist Verkehrstelematik?**

Wie bereits erwähnt, versteht man unter dem Begriff Verkehrstelematik in erster Linie die Erfassung, Übermittlung und Auswertung verkehrsbezogener Informationen. Die Verkehrstelematik beschränkt sich jedoch nicht nur auf die Übermittlung von verkehrsrelevanten Informationen: „Die zentrale Aufgabe der Verkehrstelematik ist eine Verkehrsbeeinflussung durch Information, Kommunikation, Steuerung und Regelung, aber auch Überwachung mit dem Ziel einer Minderung der Negativwirkung des Verkehrs“ (Müller und Hohlweg, 1995). Dies gilt sowohl für alle Teilbereiche des Verkehrs (Land-, See-, Luft-, und Binnenschiffahrtsverkehr) als auch für die Optimierung intermodaler Verkehrsketten. Intermodale Telematikansätze versuchen die verschiedenen Verkehrsträger in ein einheitliches Konzept zu integrieren, um so z.B. die Verfolgung eines Containers während des Transports auf Schiene, Schiff oder Straße zu ermöglichen, eine optimale Transportroute unter Nutzung verschiedener Verkehrsträger zu ermitteln oder einem Verkehrsteilnehmer Informationen über die Anschließmöglichkeiten zu anderen Verkehrsmitteln zur Verfügung zu stellen.

Erste Versuche mit Hilfe von Technologien der Positionsbestimmung und Kommunikation Einfluß auf den Straßenverkehr zu nehmen, wurden bereits Anfang der 60er Jahre durchgeführt (Fogy, 1984). Als potentielle Nutzer der Verkehrstelematikanwendungen im Straßenverkehr kommen eine Vielzahl von Zielgruppen in Frage. Die größte potentielle Nutzergruppe ist der private motorisierte Individualverkehr. Zu den gewerblichen Nutzern gehören Speditionen, Taxiunternehmen, Lieferservice, Außendienstmitarbeiter, Autovermietungen, Pannendienste, usw. Auch im öffentlichen Bereich kommen Verkehrstelematikanwendungen zum Einsatz. Beispiele sind der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) und Behörden mit Ordnungs- und Sicherheitsaufgaben (BOS) wie Polizei, Feuerwehr und Rettungsdienste.

Die Vorteile, die sich aus der Nutzung von Verkehrstelematiksystemen ergeben, sind unter anderem:

- Zeit- und Kostenersparnis durch optimierte Routenwahl
- Zeit- und Kostenersparnis durch die Integration aktueller Verkehrsinformationen
- Erfassung flächendeckender und aktueller Verkehrsinformationen durch Floating-Car-Data (FCD) Verfahren
- Effektivere Disposition von Fahrzeugflotten durch den Einsatz von Flottenmanagementsystemen
- Erhöhung der Verkehrssicherheit durch eine Unterstützung des Fahrers (z.B. durch Zielführungssysteme)
- Verringerung der Rettungszeit bei Unfällen durch automatische Unfallnotrufsysteme
- Verringerung der Umweltbelastung durch eine effektivere Organisation der Verkehrsabläufe

Einige Applikationen dienen vorwiegend der **Sicherheit und Bequemlichkeit** des Fahrers (z.B. Zielführung, Unfall- und Pannennotruf, Informationen zu Tankstellen, Werkstätten, Restaurants, etc.), wobei der wirtschaftliche Nutzen nicht im Vordergrund steht, andere Anwendungen wie z.B. das Flottenmanagement bieten ihren Anwendern in erster Linie die Möglichkeit, ihre Aufgaben effektiver auszuführen (der Anteil der Leerfahrten im

Speditionswesen liegt bei ca. 30%) und somit einen **betriebswirtschaftlichen Nutzen** aus dem Einsatz von Verkehrstelematikanwendungen zu ziehen. Der gesamtwirtschaftliche Nutzen ist schwer abzuschätzen, da eine Vielzahl komplexer Parameter wie z.B. Zeitersparnis, geringerer Benzinverbrauch, geringere Unfallfolgekosten, usw. in diese Berechnungen eingehen. Nach Berechnungen der Universität Köln stehen jeder in die Verkehrsleittechnik investierten Mark ein **volkswirtschaftlicher Nutzen** von vier Mark gegenüber (G. Siegle, 1996). Durch den Einsatz von Verkehrsbeeinflussungssystemen kann laut Bundesministerium für Verkehr-, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) die Leistungsfähigkeit der Straßen um 5-10% erhöht und die Anzahl der Unfälle um 20-30% reduziert werden (BMVBW, 2000(3)). Hinsichtlich der **Verkehrssicherheit** prognostiziert die EU-Kommission Directorate General XII (DG XII, heute: DG Research) eine Verringerung der Kollisionen um 10-30% und eine bessere Versorgung der Unfallopfer durch das schnellere Eintreffen der Rettungsmannschaften von 20-30% (Linde, 1996). Im Rahmen des Projekts STORM (Stuttgart Transport Operation by Regional Management) konnte bei der Verwendung eines automatischen Notrufsystems nahezu eine Halbierung der Rettungszeit nachgewiesen werden. Außerorts konnte die Rettungszeit von 21 auf 12 Minuten und innerorts von 13 auf 8 Minuten verkürzt werden. Durch das schnellere Eintreffen der Rettungsmannschaften kann die Überlebenschance der Unfallopfer außerorts um 12% und innerorts um 7% erhöht werden (ZVEI, 1999).

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß der Einsatz der Verkehrstelematik in vielfältiger Weise positive Effekte auf das Verkehrswesen ausüben kann und ein verstärkter Einsatz zukünftig zu erwarten ist.

## **2.2 Anwendungen der Verkehrstelematik**

Im folgenden Kapitel werden die Anwendungen in den Bereichen Straßenverkehr, multimodale Anwendungen und Fußgängernavigation beschrieben. Eine Zusammenstellung der Anwendungen für die Bereiche Luftfahrt, Schifffahrt, Binnenschifffahrt, und Schienenverkehr findet sich in Anhang 6.5.

### **2.2.1 Straßenverkehr**

Folgende Anwendungen sind heute im Straßenverkehr realisiert bzw. zukünftig zu erwarten:

**Routenführungssysteme** berechnen, basierend auf einer digitalen Straßenkarte und einer Gewichtung der Straßen hinsichtlich ihrer Verkehrsdurchlässigkeit, eine optimale Route. Die Zielführung erfolgt mittels eines Displays (kartographische Darstellung, Richtungspfeile) und/oder Sprachausgabe. Eine wesentliche Weiterentwicklung der Routenführung stellt die Einbindung aktueller Verkehrsinformationen dar. In diesem Fall spricht man von dynamischer Zielführung. Der Fahrer kann so frühzeitig über Verkehrsbehinderungen informiert werden und auch Ortsunkundige können diese umfahren.

Man unterscheidet zwei Verfahren der Routenführung:

- **Autonome Routenführung**

Die Routenberechnung wird im Fahrzeugcomputer durchgeführt. Die digitale Straßenkarte wird als CD-ROM mitgeführt. Der Nachteil dieses Verfahrens ist der relativ hohe Anschaffungspreis für das Navigationssystem und ein in regelmäßigen Abständen benötigtes Update der digitalen Straßenkarten.

- **Zentrale Routenführung**

Die Routenberechnung erfolgt in der Zentrale eines Diensteanbieters und das Ergebnis wird an den Fahrer übermittelt. Dabei entstehen für den Nutzer Kommunikations- und Servicegebühren, allerdings werden keine digitalen Straßenkarten im Fahrzeug benötigt und die erforderlichen Navigationssysteme sind preisgünstiger.

Sowohl die autonome als auch die zentrale Routenführung sind heute weit verbreitet. Die Geräte für autonome Routenführung sind in Fahrzeugen der Oberklasse standardmäßig eingebaut und für die meisten Fahrzeugtypen im Mittelklassebereich als Sonderausstattung erhältlich. Weiterhin hat sich ein Markt für Nachrüstgeräte etabliert. Die entsprechenden digitalen Straßenkarten sind für alle gängigen europäischen Reiseländer erhältlich. Updates der Straßendatenbanken werden in der Regel im halb- bis einjährigen Turnus angeboten. Eine zentrale Zielführung wird von fast allen Verkehrstelematikdienstleistern angeboten.

Die folgende Tabelle zeigt einige Produkte der verschiedenen Marktsegmente (teilweise in Kombination mit Radio, CD-Spieler, Telefon):

Marktbereich	Produkt/Fahrzeug	Preis (in Euro)
Serienausstattung	Audi A8L 6.0	2200
	BMW Z8	2950 - 3550
	Daimler Chrysler (versch. Oberklassemodelle)	1800 - 5800
	Opel Omega	1060
	Nissan Maxima QX 3.0	2250
Sonderausstattung	Audi (verschiedene Mittelklassemodelle)	1300 - 2700
	BMW 3er Serie	1550 - 2150
	Daimler Chrysler (verschiedene Mittelklassemodelle)	1100 - 2100
	Opel (verschiedene Mittelklassemodelle)	400 - 2700
	Nissan (verschiedene Mittelklassemodelle)	2250
Nachrüstgeräte	Alpine (verschiedene Modelle)	2250
	Clarion (verschiedene Modelle)	300 - 1500
	Grundig GPS 3	1250
	L.O.S. PILOS	1000
	VDO Daytona (verschiedene Modelle)	1350 - 2700

Tabelle 1 Übersicht verschiedener Fahrzeugnavigationssysteme (Auszug)<sup>3</sup>

Eine neue Methode der Verkehrsdatenerfassung, die auf Verkehrstelematiksystemen basiert, ist das **Floating Car Data (FCD)-Verfahren**. Beim FCD-Verfahren werden Informationen zu Position und Geschwindigkeit von den sich im Verkehr befindlichen Fahrzeugen an eine Zentrale übertragen. Dort werden diese Daten ausgewertet und Verkehrsinformationen generiert. Die Identität der Fahrzeugbesitzer bleibt aus Datenschutzgründen anonym. FCD Verfahren werden von nahezu allen Verkehrstelematik Anbietern zur Generierung von Verkehrsinformationen eingesetzt bzw. befinden sich in der Einführung. In der Regel wird den Kunden ein Nachlaß von ca. 10% der Servicegebühr angeboten, falls sie sich mit der Nutzung ihrer FCD-Daten durch die Service Zentrale einverstanden erklären. Derzeit werden zusätzliche Fahrzeugsensoren wie z.B. Scheibenwischer, Nebelschlußleuchte, Warnblinker, etc. in das FCD-Verfahren integriert um die Qualität der Verkehrsdaten zu verbessern. Dieses Verfahren wird als „Extended Floating-Car-Data (xFCD)“ bezeichnet. Die Nutzung von

<sup>3</sup> Literatur: TeleTraffic, 2001

Satellitentechnologie für FCD wird im Rahmen des Projektes TrafficEye unter der Leitung des Instituts für Automatisierungstechnik der Technischen Universität Dresden untersucht. Ziel ist die Entwicklung und Inbetriebnahme eines Satelliten, der sowohl Signale von ausgewählten Fahrzeugen empfängt und an eine Verkehrszentrale weiterleitet als auch über konventionelle Fernerkundungssensoren verfügt, um Verkehrsströme zu erfassen. Die Vorteile gegenüber terrestrischen FCD-Verfahren liegen in der nahezu gleichzeitigen Erfassung aller Fahrzeuge innerhalb eines größeren Gebietes und der Unabhängigkeit von terrestrischer Kommunikationsinfrastruktur. Ein Nachteil ist die geringe Datenkapazität der derzeit zur Verfügung stehenden Terminals. Deshalb wurde das allgemein zur Übertragung von FCD-Daten verwendete GATS-Format angepaßt. Die Konzeption von TrafficEye sieht den Einsatz von ca. 40 Fahrzeugen zur Erfassung von Verkehrsinformationen im Raum Dresden vor, ist jedoch auf mehrere hundert Fahrzeuge erweiterbar (Janschek, 1999).

Mit Hilfe von **Unfallnotrufsystemen** kann im Falle eines Unfalls eine Alarmmeldung mit Positionsangabe zu einer entsprechenden Dienstzentrale abgesetzt werden. Diese versucht den Fahrer zurückzurufen und benachrichtigt ggf. den zuständigen Rettungsdienst. Bei Systemen, die vom Fahrzeughersteller angeboten werden, kann dies automatisch geschehen, indem durch das Auslösen des Airbags oder Signale der Crash-Sensoren der Unfallnotruf aktiviert wird. Nachrüstsysteme erlauben keine Eingriffe in die Fahrzeug-Sensorik und können somit nur manuell ausgelöst werden. Ein Unfallnotruf wird von zahlreichen Verkehrs-telematikdienstleistern betrieben.

Der **Pannennotruf** basiert auf dem gleichem Funktionsschema wie der Unfallnotruf. Im Falle einer Panne wird ein Automobilclub oder ein Pannendienst benachrichtigt. Eine aktuelle Entwicklung im Bereich Pannennotruf ist die Integration fahrzeuginterner Daten, die eine Ferndiagnose erleichtern. Da diese Informationen Aufschluß über Pannenanfälligkeit bestimmter Fahrzeugtypen geben, ist zu erwarten, daß diese Anwendung nur realisiert wird, wenn ausschließlich der jeweilige Fahrzeughersteller Zugriff auf diese Daten hat. Dies ist bei einem Betrieb des Pannennotrufs durch „hausinterne“ Telematikdienste z.B. wie Onstar (Opel), BMW Assist oder gedas telematics (VW) gewährleistet.

Wird ein **Diebstahlschutzsystem** eingesetzt, informiert in der Regel der Fahrzeughalter im Falle eines Diebstahls die entsprechende Dienstzentrale. Das Ortungssystem wird aktiviert, der aktuelle Aufenthaltsort des entwendeten Fahrzeugs ermittelt und dieses durch die zuständigen Behörden sichergestellt. Permanent aktive Systeme bieten die Möglichkeit, Aufenthaltsbereiche bzw. Fahrtstrecken zu definieren, bei deren Verlassen das Diebstahlschutzsystem automatisch aktiviert wird.

Einige Systeme bieten zusätzlich die Möglichkeit, eine automatische Wegfahrsperre zu aktivieren, so daß ein Neustart des abgestellten Fahrzeugs nicht mehr möglich ist.

Für Diebstahlschutzsysteme gibt es zwei verschiedene technische Lösungsansätze:

- Systeme, die auf einem versteckten Peilsender (Langwelle) basieren und im Falle eines Diebstahls aktiviert werden. Das Fahrzeug wird von Peilsensoren bzw. Peilfahrzeugen geortet. Der Vorteil dieses Systems liegt in der hohen Signaldurchdringung von Hindernissen wie z.B. Mauern, Vegetation, etc.. Ein Nachteil ist der zwingende Einsatz von Peilsensoren bzw. Peilfahrzeugen.
- GPS basierte Lösungen ermöglichen die Positionsbestimmung eines gestohlenen Fahrzeugs unabhängig von terrestrischer Infrastruktur. Zur Übertragung der Positionskordinaten an die Zentrale ist allerdings ein Kommunikationssystem erforderlich. Hierfür wird in der Regel GSM/SMS verwendet. Der Nachteil dieser Systeme ist durch die Signaleigenschaften des GPS-Signals und der somit erforderlichen LoS zwischen der Antenne und dem Satelliten begründet, d.h. eine Ortung in einer Garage oder im Laderaum eines Lkws ist nicht möglich.

In Deutschland sind gegenwärtig zwei Diebstahlschutzsysteme erhältlich. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick der Merkmale beider Produkte.

Produktmerkmal	Skeye Protect	VDO Detektor
GPS-Ortung	X	
Terrestrische Aufspürung		X
Aufspürung in geschlossenen Räumen		X
Fahrer-ID		X
GSM-Kommunikation	X	
Sichtbare Antennen	X	
Wegfahrsperre	X <sup>4</sup>	
Sicherheitsbatterie	X	X
Aufbruchmeldung bei vorhandener Alarmanlage	X	
Dienstzentrale (24h, 365 Tage)	X	X
Monatliche Gebühren	X	
Anschaffungskosten	1400 Euro	650 Euro
Verbreitung	Deutschland	15 Länder

Tabelle 2 Übersicht verschiedener Diebstahlschutzsysteme<sup>5</sup>

**Flottenmanagementsysteme** ermitteln die Positionen der Fahrzeuge einer Flotte in festgelegten Zeit- bzw. Streckenintervallen und übertragen diese an eine Zentrale, ggf. kann jederzeit von der Zentrale die aktuelle Position eines einzelnen Fahrzeugs abgefragt werden (Polling). Zusätzlich können weitere Informationen wie z.B. Angaben zur Art der Ladung und den aktuellen Transportbedingungen im Fahrzeug bzw. Container (z.B. Lufttemperatur, Luftfeuchte, etc.), Informationen zum Fahrzeugführer (z.B. Name, Arbeitszeit, etc.) an die Zentrale übertragen werden. Bei eingehenden Aufträgen oder Auftragsänderungen können unmittelbar die Fahrzeuge, die sich in der Nähe des Einsatzorts befinden und über freie Ladekapazitäten verfügen, ermittelt und der neue Zielort mit den Fahrplänen der Fahrzeuge abgeglichen werden. Anschließend wird ein geeignetes Fahrzeug informiert und übernimmt den Auftrag. Dadurch wird eine flexiblere Routengestaltung ermöglicht, unnötige Leerfahrten und Wartezeiten werden vermieden und die Transportleistung erhöht. Der Einsatzbereich von Flottenmanagementsystemen hat sich mittlerweile von Speditionen auf eine Vielzahl anderer Nutzergruppen ausgeweitet. Die Beispiele reichen von Taxiunternehmen, Autovermietungen und Lieferdiensten bis hin zum Flottenmanagement für BOS-Fahrzeuge bei Polizei, Feuerwehr und Rettungsdiensten. Eine detaillierte Übersicht zur Thematik Flottenmanagement findet sich unter anderem bei Lobenberg und Friedel (1999).

Die Kombination von modernen Navigations- und Kommunikationstechnologien ermöglicht eine räumlich und zeitlich flexible **Straßengebührenerhebung**. Die Vorteile liegen darin, daß keine ortsfesten Infrastruktureinrichtungen wie bemannte Mautstellen oder Schrankenautomaten benötigt werden, Wartezeiten vermieden werden können und die Abrechnung leistungsbezogen gemäß der tatsächlich zurückgelegten Strecke erfolgt. In der Schweiz wurde zum 1.1.2001 eine leistungsbezogene Schwerverkehrsabgabe für Lkws über 3,5t eingeführt. Dabei wird die innerhalb der Schweiz zurückgelegte Fahrtstrecke erfaßt. Der Grenzübertritt wird durch Dedicated Short Range Communication (DSRC)-Baken festgestellt. Die zurückgelegte Strecke wird durch Tachographenaufzeichnungen ermittelt. GPS wird zur Überprüfung der Streckenerfassung, zur Prüfung des Status In-/Ausland und als Zeitreferenz verwendet (BAZL, 2000).

<sup>4</sup> Information: 100 Euro Aufpreis

<sup>5</sup> Literatur: DLR, 2000

Für Deutschland stellt sich die Situation hinsichtlich der Einführung einer leistungsbezogenen Straßengebührenerfassung wie folgt dar:

Nach dem Übereinkommen der sechs Eurovignettenverbundstaaten (Deutschland, Benelux, Dänemark und Schweden) vom 9.2.1994 ist es jedem der Verbundstaaten nach dem 1.1.1998 freigestellt, ein nationales entfernungsabhängiges Gebührensystem für Lkws einzuführen. Dies soll zu einer konsequenteren Umsetzung des Verursacherprinzips beitragen und die Bundesregierung verfolgt dieses Konzept mit Nachdruck. Die heute bestehende zeitbezogene Benutzungsgebühr soll bis 2003 durch eine streckenbezogene Maut abgelöst werden (BMVBW, 2000(1)). Die Einführung einer Straßennutzungsgebühr für Pkws ist momentan nicht vorgesehen (BMVBW, 2000(1)). Derzeit findet die Auswahl eines geeigneten Erfassungssystems durch den TÜV Rheinland im Auftrag des BMVBW statt.

Im **ÖPNV** können Verkehrstelematiksysteme dazu beitragen, den Fahrtablauf zu optimieren und die Fahrgastinformation zu verbessern. Durch Kenntnis der Position der einzelnen Fahrzeuge können Applikationen wie z.B. Ampelvorrangschaltung die Pünktlichkeit der öffentlichen Verkehrsmittel erhöhen. Weiterhin können die Fahrgäste über Anzeigeterminale an den Haltestellen und in den Fahrzeugen über die aktuelle Lage zum geplanten Fahrplan und die Anschlußmöglichkeiten informiert werden. Ein integriertes Notrufsystem unterstützt ggf. die Fahrer bei Unfällen oder sonstigen Notfällen. Haltestellen, deren Positionen bekannt sind, bieten die Möglichkeit das Ortungssystem zu kalibrieren. Verkehrstelematiksysteme für den ÖPNV sind bereits heute in zahlreichen Städten eingeführt. Eine detaillierte Darstellung der Anwendungen im ÖPNV findet sich bei Janecke (1999).

**Parkraummanagementsysteme** informieren den Fahrer über die freien Kapazitäten der umliegenden Parkeinrichtungen und dirigieren ihn per Zielführung zu einem Parkplatz seiner Wahl. Eventuell kann bereits eine Reservierung freiwerdender Parkplätze und die abschließende Abrechnung der Parkgebühr durch das Telematiksystem erfolgen. Derzeit sind in einigen europäischen Städten (z.B. Bern) Abfragesysteme über den aktuellen Belegungsgrad der Parkhäuser per GSM realisiert. Dabei werden ein- und ausfahrende Fahrzeuge durch Schranken erfaßt. Diese Informationen werden auf einem Server abgelegt. In Stoßzeiten wird der Informationsbestand des Servers einmal pro Minute, in der Nacht alle 15 Minuten aktualisiert. Die Einführung von telematikgestützten Parkraummanagementsystemen bzw. deren Integration in bestehende Servicepakete ist zukünftig zu erwarten. Durch den Einsatz von Parkleit- und Verkehrsinformationssystemen kann der Parkplatzsuchverkehr, der in Spitzenzeiten bis zu 30-40% des Gesamtverkehrs beträgt, um 25% reduziert werden (BMVBW, 2000(2)).

Eine exakte Positionsbestimmung in Kombination mit einer detaillierten digitalen Straßenkarte und einem direkten, automatischen Zugriff auf die Steuerungselemente des Fahrzeugs soll es zukünftig ermöglichen, Fahrzeuge durch **autonome Fahrzeugführung** zu einem bestimmten Zielpunkt zu lenken. Zusatzsensoren dienen hierbei der Erfassung anderer Fahrzeuge. Bei automatisierten Kolonnenfahrten werden mehrere Fahrzeuge durch sogenannte „Elektronische Deichseln“ zusammengeschlossen. Lediglich das erste Fahrzeug wird von einem Fahrer gesteuert. An der Entwicklung von geeigneten Fahrzeugsensoren wird bereits seit längerem gearbeitet, beispielhaft sei das Projekt „Chauffeur“ unter Beteiligung von Daimler Chrysler und IVECO genannt. Die Einführung derartiger Systeme auf öffentlichen Straßen ist momentan nicht absehbar. Allerdings sind erste Schritte in die Richtung „**automatisierte Fahrzeugsensoren**“ für nicht-sicherheitskritische Anwendungen zu verzeichnen, so führt z.B. BMW derzeit schwenkbare Scheinwerfer für Fahrzeuge der 7er Baureihe ein. Basierend auf der Kenntnis der aktuellen Position des Fahrzeugs und einer digitalen Straßenkarte werden die Scheinwerfer vor Kurven eingeschwenkt, um eine bessere Ausleuchtung der Kurve zu erzielen. An Kreuzungsbereichen werden die Scheinwerfer nach außen gerichtet, um so Straßenkreuzungen besser zu beleuchten.

Die Anforderungen der Straßenverkehrs Anwendungen und die verwendeten Systeme werden ausführlich in Kapitel 3.1.1 bzw. 3.1.2 beschrieben.

## 2.2.2 Multimodale Anwendungen

Einzelanwendungen der verschiedenen Einsatzbereiche haben bis heute die Verkehrstelematik bestimmt. Die Bewältigung des Verkehrs in naher Zukunft erfordert allerdings zunehmend eine verkehrsträgerübergreifende Vorgehensweise. Auch hier nehmen Positionierungs- und Kommunikationssysteme eine Schlüsselrolle ein.

Im Bereich des **Personenverkehrs** sind Anwendungen geplant, mit denen sowohl die Reisenden kontinuierlich mit aktuellen verkehrsmittelübergreifenden Informationen versorgt werden als auch ein reibungsloser Ablauf an den Schnittstellen der einzelnen Verkehrsträger erzielt werden kann. Diese verkehrsträgerübergreifenden Informationen können bereits vor Antritt der Reise z.B. per Internet zur Verfügung gestellt und dann anschließend während der Reise mittels stationärer Terminals an Haltestellen, Bildschirmen in den jeweiligen Verkehrsmitteln oder auf mobilen Endgeräten wie z.B. PDAs aktualisiert werden.

Im **Güterverkehr** gilt es die Transportketten zu optimieren und effektiver zu gestalten. Konventionelle Lösungen bestehen darin, die Position des Frachtguts nur an Übergabepunkten zwischen den Verkehrsträgern zu bestimmen. Durch den Einsatz neuer Methoden besteht die Möglichkeit, das Frachtgut bzw. das Transportfahrzeug zu jeder beliebigen Zeit zu orten. Weiterhin bieten moderne Verkehrstelematiksysteme den Kunden die Möglichkeit, sich bei Bedarf über den aktuellen Aufenthaltsort ihrer Ladung zu informieren (z.B. per Internet) und somit auf eventuelle Verspätungen frühzeitig zu reagieren.

Sowohl für den Bereich des multimodalen Personenverkehrs als auch für den multimodalen Güterverkehr existieren zum gegenwärtigen Zeitpunkt lediglich Insellösungen. Eine flächendeckende Vernetzung der vorhandenen Einzelsysteme hat bisher noch nicht stattgefunden.

## 2.2.3 Fußgängernavigation

Satellitenpositionierungssysteme werden seit einigen Jahren für die Entwicklung von Fußgängernavigationssystemen eingesetzt. Zur Überwindung der Abschattungsproblematik wird versucht, die Positionslösung durch die Einbindung zusätzlicher Sensoren zu stabilisieren. Während Koppelnavigationssensoren in anderen Bereichen z.B. der Luftfahrt und dem Straßenverkehr zur Standardausstattung gehören, wird der Einsatz in der Fußgängernavigation erst in den letzten Jahren durch die zunehmende Miniaturisierung der Sensoren ermöglicht. Potentielle Anwendungen für derartige Sensoren sind z.B. „elektronische Blindenführer“, Unterstützung von BOS bei Großeinsätzen, Geräte zum Absetzen eines Notrufs mit automatischer Positionsbestimmung, touristische Stadtführungen, „elektronische Wanderkarten“, etc.. Neben dem Preis stellen Größe, Gewicht und Robustheit der Zusatzsensoren noch ein Haupthindernis bei der Realisierung von Fußgängernavigationssystemen dar.

Die Lokalisierung von Mobilfunkgeräten, insbesondere durch die Verwendung von satellitenbasierten und/oder zellenbasierten Positionsbestimmungstechniken (siehe Kapitel 3.1.2.1.5) stellt ein hohes Marktpotential dar, wie das folgende Kapitel zeigen wird.

## 2.3 Verkehrstelematikmarkt

Der Bereich der Straßenverkehrstelematik wurde als Schwerpunkt dieser Arbeit gewählt, da dieser heute den größten Markt für Produkte und Dienste der satellitengestützten Navigation darstellt. Die heutige Marktsituation und das zukünftige Marktpotential werden in den folgenden Kapiteln vorgestellt.

### 2.3.1 Derzeitige Marktsituation

Während der Definitionsphase des geplanten zivilen europäischen Satellitennavigationssystems Galileo (siehe Kapitel 3.1.2.2.3) wurden umfangreiche Marktanalysen durchgeführt. Basierend auf diesen Ergebnissen stellt sich die aktuelle Situation für Europa wie folgt dar:

Die dem Anwendungsspektrum „Straßenverkehr“ zugeordneten Bereiche „Flottenmanagement“ und „Car Navigation“ dominieren mit insgesamt 77% den europäischen Gesamt-

markt von 1 Mrd. Euro. Die restlichen Marktsektoren besitzen lediglich Marktanteile von ca. 5%.

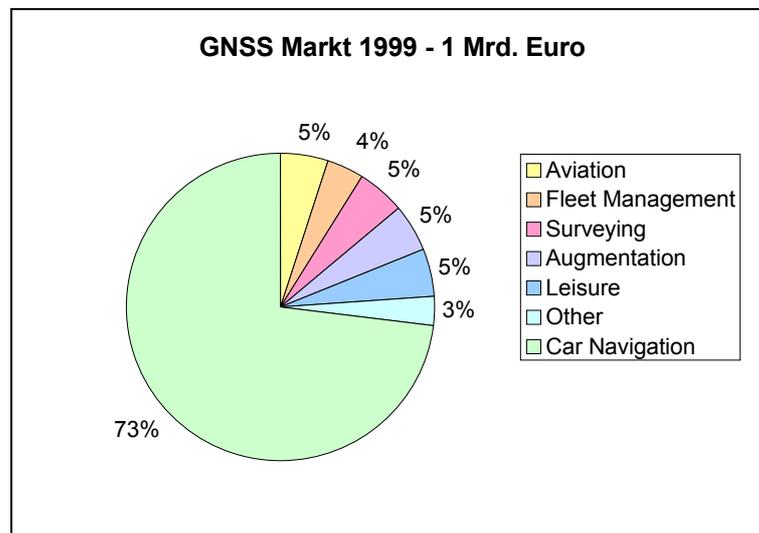


Abbildung 5 Bestandsaufnahme des europäischen GNSS-Marktes (1999) <sup>6</sup>

Eine vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) geförderte Studie zur Analyse des globalen Empfängermarktes für Satellitennavigation (DLR, 1998) ermittelte für 1997 einen weltweiten Gesamtmarkt von 2 Mrd. Euro. Der Anteil der Straßenverkehrstelematik-anwendungen dominiert auch hier und verteilt sich auf die Bereiche Fahrzeugnavigation, Flottenmanagement und ÖPNV wie folgt.

	Fahrzeugnavigation	Flottenmanagement	ÖPNV
Stückzahl Endgeräte	1 100 000	54 000	7 000
Umsatz (Mio. Euro)	1 150	53,5	6

Tabelle 3 Globaler Straßenverkehrstelematik-Markt, 1997 <sup>7</sup>

Der europäische Gesamtmarkt beträgt somit ca. 50% des globalen Gesamtmarktes. In beiden Studien wurden die Anwendungen der Straßenverkehrstelematik als wichtigster Markt-bereich identifiziert (Global: ca. 60%, Europa: 77%), wobei die Fahrzeugnavigation den größten Anteil (Global: ca. 50%, Europa: 73%) einnimmt. Der Markt für Flottenmanagement-anwendungen ist im Vergleich hierzu wesentlich geringer (Global: ca. 2,7%, Europa: 4%) und der ÖPNV nimmt weltweit 0,3% des Gesamtmarktes ein und wurde in der europäischen Studie aufgrund der geringen Größe nicht erfasst.

### 2.3.2 Zukünftiges Marktpotential

Die Europäische Kommission prognostiziert für 2005 einen Anstieg des europäischen Gesamtmarktes um den Faktor 8 (EC, 2001(1)). Dieser verteilt sich auf die einzelnen Anwendungsbereiche wie folgt:

<sup>6</sup> Literatur: EC, 2001(1)

<sup>7</sup> Literatur: DLR, 1998

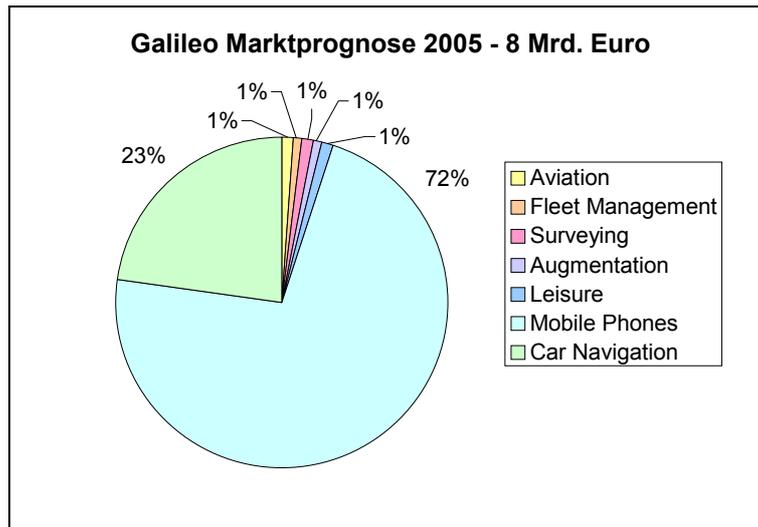


Abbildung 6 GNSS Marktprognosen für Europa bis 2005<sup>8</sup>

Dem hohen Anteil im Bereich der Mobilfunkgeräte liegt allerdings die Annahme zugrunde, daß GNSS-gestützte Verfahren zur Positionsbestimmung verwendet werden. Dies ist jedoch nicht zwingend erforderlich, da mehrere Alternativverfahren vorhanden sind (siehe Kapitel 3.1.2.1.5). Von einer Integration verschiedener Positionsbestimmungstechnologien in Mobilfunkgeräte ist zwar aufgrund aktueller Entwicklungen wie z.B. der Einführung von Location Based Services und den Überlegungen zur Einführung eines lokalisierbaren Notrufes (Enhanced-112 (E-112)) auszugehen, der dieser Marktprognose zugrundeliegende Zeitplan ist jedoch aus heutiger Sicht als zu optimistisch einzuschätzen (EC, 2001(2)). Neben der Entwicklung im Bereich Mobilfunk wird weiterhin der Markt für Fahrzeugnavigation als zweitgrößter Marktbestandteil eingeschätzt.

Die oben zitierte Studie des globalen Marktes (DLR, 1998) prognostiziert bereits bis 2003 einen Anstieg des weltweiten Gesamtmarktes für GNSS-Empfänger auf 8 Mrd. Euro. Die Entwicklung des weltweiten Marktes für Telematikgeräte im Bereich Straßenverkehr von 1997 bis 2003 sowie einer Aufschlüsselung nach Anwendungsgebieten ist in den folgenden Diagrammen zusammengefaßt.

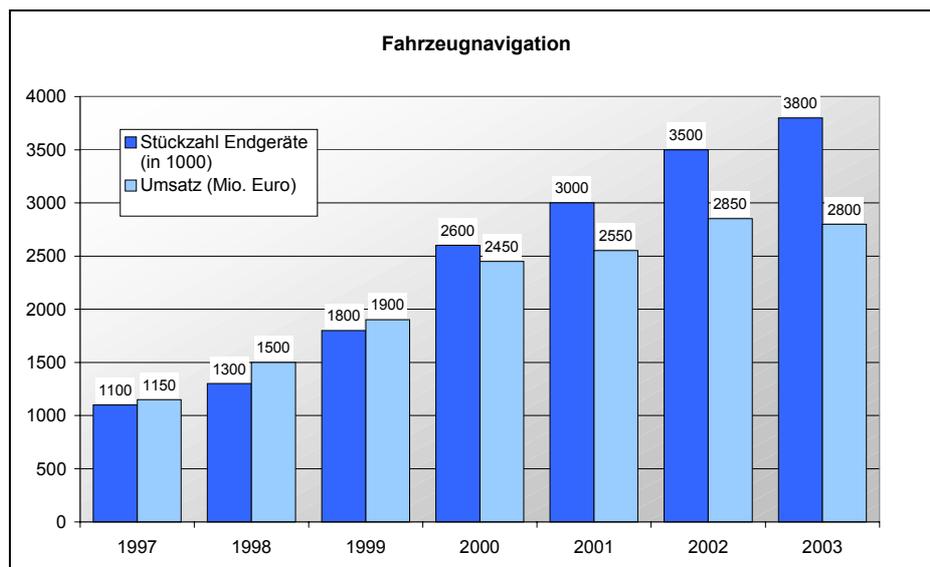


Abbildung 7 Globaler Markt für Fahrzeugnavigationssysteme 1997-2003<sup>9</sup>

<sup>8</sup> Literatur: EC, 2001(1)

<sup>9</sup> Literatur: DLR, 1998

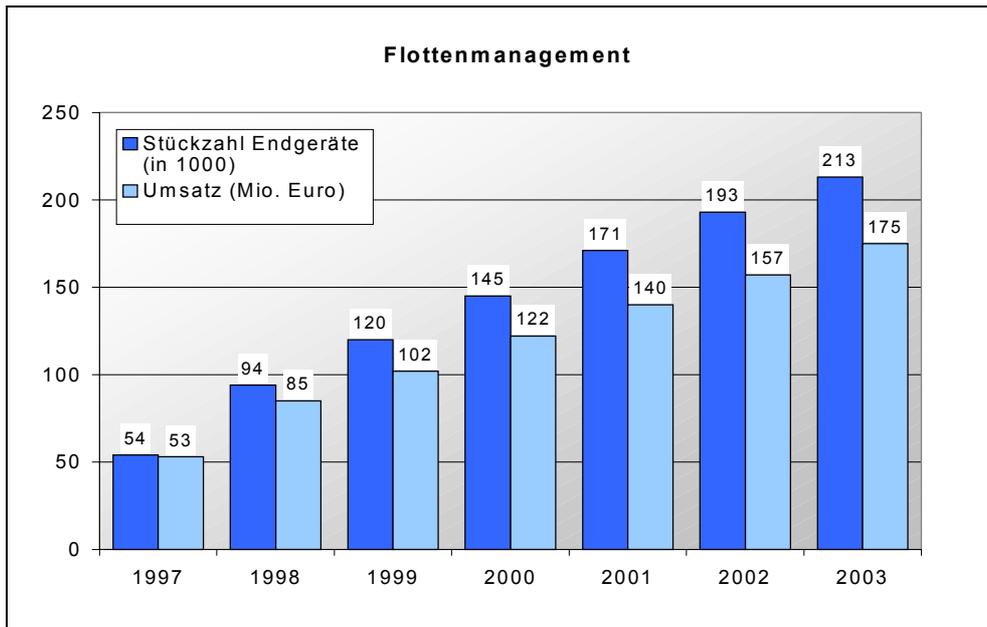


Abbildung 8 Globaler Markt für Flottenmanagementsysteme 1997-2003 <sup>10</sup>

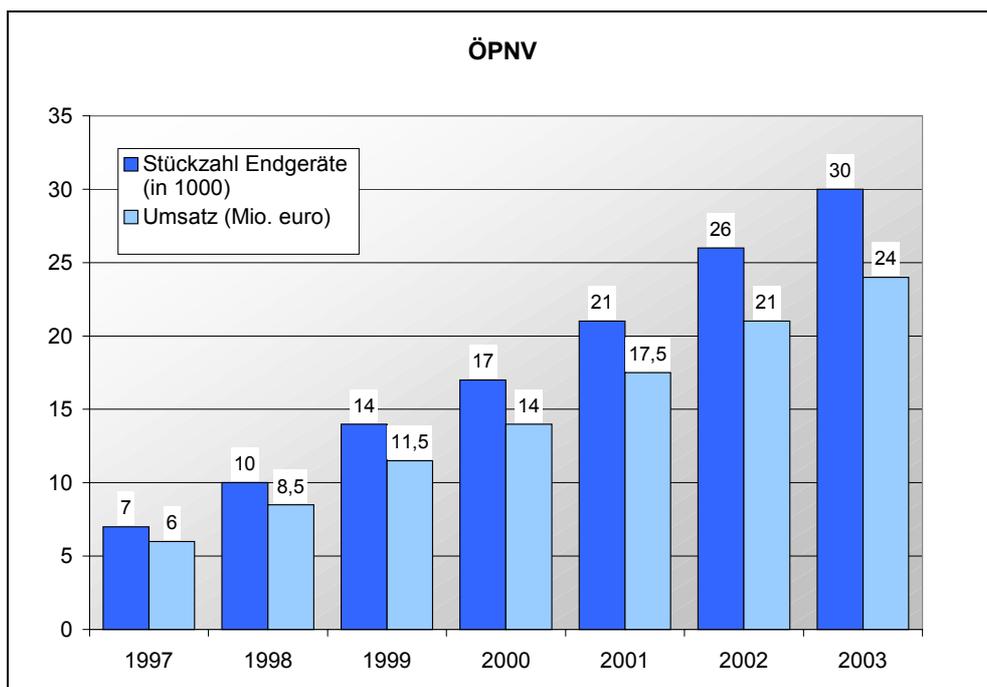


Abbildung 9 Globaler Markt für ÖPNV-Systeme 1997-2003 <sup>10</sup>

Weitere Studien beurteilen das zu erwartende Wachstum ähnlich positiv, eine von Frost & Sullivan durchgeführte Marktstudie prognostiziert bis 2003 einen Anstieg des Umsatzvolumens für GPS-Produkte im Straßenverkehr auf 2,3 Mrd. US\$ bei einem Gesamtumsatz von 3,5 Mrd. US\$ für den gesamten GPS-Markt (Krakowsky, 1999).

<sup>10</sup> Literatur: DLR, 1998

### **3 SATELLITENGESTÜTZTE VERFAHREN IN DER VERKEHRSTELEMATIK**

Der Einsatz satellitenbasierter Verfahren in der Verkehrstelematik wird für folgende drei Anwendungsgebiete untersucht:

#### 1) Positionsbestimmung, Ortung und Navigation

**Positionsbestimmung** ist die Ermittlung der absoluten Position (X-,Y-,Z-Koordinaten) oder der relativen Position des „eigenen“ Fahrzeugs.

**Ortung** ist als die aktive oder passive Positionsbestimmung eines „fremden“ Fahrzeugs definiert.

Unter **Navigation** versteht man den Prozeß, der einen Nutzer von einem Ausgangspunkt A zu einem Zielpunkt B führt.

Alle drei Anwendungen kommen in der Verkehrstelematik zur Anwendung. Die Positionsbestimmung ist für alle Anwendungen erforderlich und ist Grundlage der Ortung (z.B. FCD, Unfall/Pannennotruf) und Navigation (z.B. Zielführung).

#### 2) Kommunikation

In der Verkehrstelematik wird in der Regel eine **Datenkommunikation** benötigt. Diese dient vorwiegend der Übertragung der Positionsdaten der Fahrzeuge und ggf. zusätzlicher Informationen wie z.B. Fahrzeug ID, Angaben zur Fracht, Zielführungsinformationen, etc.. Für einige Anwendungen (z.B. Unfallnotruf) ist eine zusätzliche **Sprachkommunikation** empfehlenswert. Die Kommunikation findet in der Regel zwischen Einzelfahrzeugen und der Dienstzentrale (z.B. Unfall/Pannennotruf, zentrale Zielführung) statt. Eine koordinierte Kommunikation von Fahrzeuggruppen zur Zentrale (z.B. FCD) bzw. zwischen Einzelfahrzeugen (z.B. Weiterleitung von Meldungen wie Witterungs- oder Verkehrsinformationen an entgegenkommende Fahrzeuge) sind ebenfalls Bestandteil von Verkehrstelematikanwendungen. Die Kommunikation erfolgt teilweise **unidirektional**, z.B. Broadcast von Verkehrsinformationen vom Service Provider zum Fahrzeug oder umgekehrt z.B. FCD-Daten vom Fahrzeug zum Service Provider. Einige Anwendungen erfordern eine **bidirektionale** Kommunikation (z.B. Unfallnotruf mit Rückruf Funktion).

#### 3) Erfassung verkehrsrelevanter Objekte

Als verkehrsrelevante Objekte werden in dieser Arbeit in erster Linie das **Straßennetz** und die **Fahrzeuge bzw. Verkehrsströme** behandelt, da deren Erfassung mittels satellitengestützter Fernerkundungssensoren am realistischsten erscheint und dem unmittelbaren Bedarf der Nutzer entspricht. Die Erfassung weiterer verkehrsrelevanter Objekte wie z.B. Parkplätze, Baustellen oder von Sportstadien, Golfplätze, Tankstellen, etc. ist zukünftig ebenfalls denkbar. Einige ausgewählte Beispiele, die anhand von Luftbildauschnitten veranschaulicht werden, finden sich in Kapitel 3.3.

Bei der Erfassung kommen sowohl „aktive“ als auch „passive“ Fernerkundungssysteme zum Einsatz. Neuartige Systeme wie z.B. TrafficEye (Janschek, 2000) verbinden Fernerkundungssensoren mit aktiven Sendeeinrichtungen zur Übertragung von Positionsinformationen (satellitengestütztes FCD) ausgewählter Fahrzeuge.

Jeder der genannten Anwendungsbereiche erfordert spezielle Satellitensensoren und -orbits, die an die entsprechenden Bedürfnisse des jeweiligen Einsatzes angepaßt sind.

Die folgende Abbildung veranschaulicht die drei Einsatzfelder satellitengestützter Verfahren innerhalb der Verkehrstelematik.

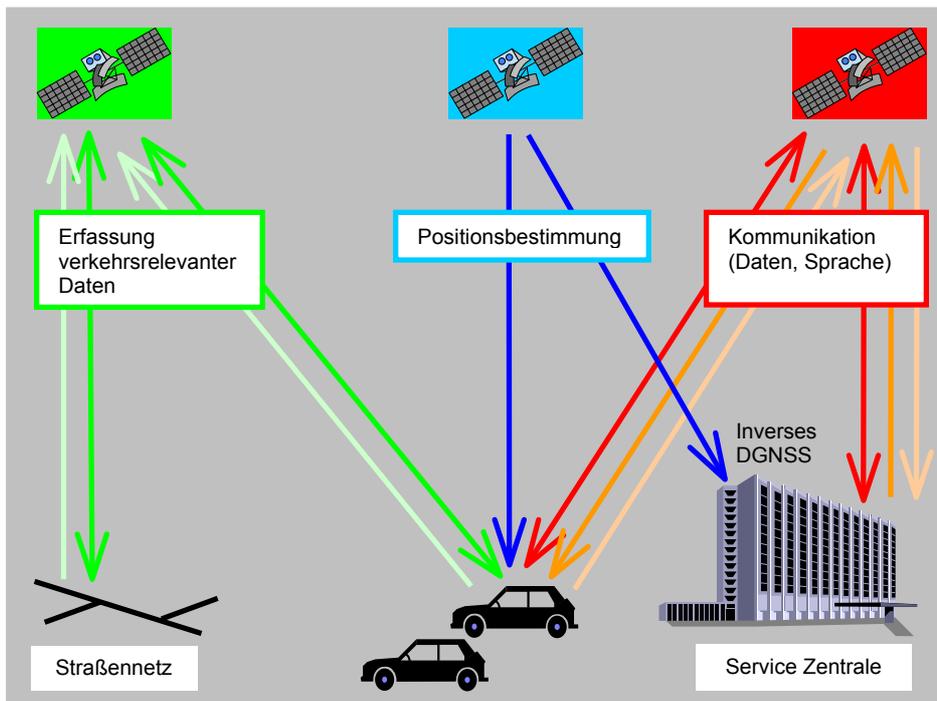


Abbildung 10 Einsatzmöglichkeiten satellitengestützter Verfahren in der Verkehrstelematik

### 3.1 Positionsbestimmung, Ortung und Navigation

Zunächst werden die Anforderungen der Straßenverkehrstelematikanwendungen analysiert, anschließend werden die terrestrischen und satellitengestützten Positionierungs- und Navigationssysteme und der aktuelle Einsatz dieser Systeme vorgestellt und das zukünftige Nutzungspotential aufgezeigt.

#### 3.1.1 Anforderungen

Die Anforderungen der einzelnen Verkehrstelematikanwendungen an das verwendete Positionsbestimmungssystem wurde bereits im Rahmen von Radionavigationsplänen und verschiedenen Studien zu den heute verfügbaren Satellitennavigationssystemen GPS, GLONASS (Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) und den im Aufbau befindlichen Systemen GNSS-1/GNSS-2 (siehe Kapitel 3.1.2.2.3) untersucht. Radionavigationspläne dienen der Information betroffener Nutzergruppen wie z.B. Systembetreiber, Empfängerhersteller, Systemintegratoren, Servicebetreiber und Anwender. Sie beschreiben die Funktionsweise der Funknavigationssysteme und deren Anwendungen, geben einen Überblick der jeweiligen Bereitstellungspläne und zeigen die aktuellen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten auf. Der erste Radionavigationsplan wurde 1980 in Zusammenarbeit des US-amerikanischen Department of Defense (DoD) und des Department of Transportation (DoT) unter der Bezeichnung Federal Radionavigation Plan (FRNP) herausgegeben. Die aktuelle Version (1999) wurde Anfang 2000 veröffentlicht. 1996 wurden die Arbeiten zu einem europäischen Pendant, „Baseline European Radionavigation Plan (ERNP)“, beendet. Diese „Baseline“ wurde jedoch nie offiziell verabschiedet. Das BMVBW ließ 1996 erstmals den deutschen Funknavigationplan (DFNP) erstellen. Dieser wurde 1998 überarbeitet und die aktuelle Version ist seit Anfang 1999 im Internet erhältlich ([www.BauNetz.de/bmvbw/verkehr/funknav.htm](http://www.BauNetz.de/bmvbw/verkehr/funknav.htm)). Die folgende Tabelle gibt einen Überblick der im aktuellen DFNP ermittelten Anforderungen an die Ortungskomponente für die einzelnen Telematikanwendungen im Bereich Straßenverkehr.

Die Anforderungen an ein Navigationssystem wird durch eine Reihen von verschiedenen **Parametern** definiert, die im folgenden kurz erläutert werden:

- **Genauigkeit**  
Hierbei handelt es sich um die Genauigkeit, die von den Abweichungen in 95% der Messungen nicht überschritten werden.
- **Integrität**  
Die Integrität definiert die Wahrscheinlichkeit, daß der Überwacher eine Überschreitung des maximal zulässigen Fehlers nicht bemerkt. Damit verbunden ist die geforderte Fähigkeit eines Systems bei erkannter Fehlerüberschreitung den Nutzer innerhalb festgelegter Zeiten zu warnen (Time-to-Alarm).
- **Time-to-Alarm**  
Die Time-to-Alarm gibt die Zeitspanne zwischen dem Auftreten einer fehlerhaften Positionsbestimmung und der Benachrichtigung des Nutzers an.
- **Verfügbarkeit**  
Die Systemverfügbarkeit gibt den Prozentsatz der Zeit an, in der das System zu den definierten Bedingungen verfügbar ist. Neben der Systemverfügbarkeit unterscheidet man die lokale Verfügbarkeit, die den Signalempfang unter Berücksichtigung kleinräumiger Empfangsverhältnisse bestimmt.
- **Abdeckung**  
Die Abdeckung bezeichnet das Gebiet innerhalb dessen das System zu den definierten Bedingungen genutzt werden kann.

Anwendungen	Genauigkeit	Integrität (%)	Time-to-Alarm	Verfügbarkeit (%)	Abdeckung
Zielführung	5–10m	99	1 Min.	99	Regional
Flottenmanagement	50–1000m	98	1 Min.	98	Regional-Global
Notruf	3–100m	> 99	Sekunden	> 99	Regional
Diebstahlschutz	3–100m	99	Minuten	99	Regional
FCD	10–100m	98	1 Min.	98	Regional
Parkraummanagement	3m	98	1 Min.	98	Regional
Road Pricing	10–100m	> 99	10 Sek.	> 99	Regional
Autonome Fahrzeugführung	0,5–5m	> 99	Sekunden	99	Regional

Tabelle 4 Anforderungen der Straßenverkehrstelematikanwendungen an die Positionsbestimmung <sup>11</sup>

Die untersuchten Anwendungen weisen vor allem hinsichtlich der geforderten **Genauigkeit** erhebliche Unterschiede auf. Es läßt sich ein höchster Genauigkeitsbereich von <5m identifizieren; in diesem sind die autonome Fahrzeugführung und das Parkraummanagement anzusiedeln. In einem darauffolgenden Genauigkeitsbereich von ca. 5-10m folgt die Zielführung (dieser Bereich entspricht der heute verfügbaren Genauigkeit digitaler Straßenkarten). In einem Genauigkeitslevel von einigen Metern bis zu 100m bzw. 10-100m folgen der Notruf und Diebstahlschutz bzw. FCD und Road Pricing. Die Spannbreite dieser Anforderungen ist aus der typischen Topologie des Straßennetzes in unterschiedlicher Umgebung abgeleitet. Für Anwendungen im Stadtgebiet mit einem engmaschigen Straßennetz ist die untere Grenze anzusetzen, bei Anwendungen in ländlichen Regionen ist der obere Grenzwert ausreichend. Gleiches gilt für das Flottenmanagement, wobei für diese Anwendung auch noch die Art der transportierten Fracht (wertvolle oder gefährliche Güter), die Art der Anwendung (Just-in-Time Delivery) und die Art der jeweiligen Nutzergruppe (BOS) für die Tendenz zu höheren Genauigkeiten ausschlaggebend ist. Für Standardanwendungen (Speditionswesen) ist in der Regel die obere Grenze des genannten Genauigkeitsbereiches anzusetzen.

<sup>11</sup> Literatur: BMVBW, 1999

Die geforderte **Integrität** liegt bei Zielführung, Flottenmanagement, Diebstahlschutz, FCD und Parkraummanagement im Bereich von 98-99%. Eine höhere Integrität (>99%) wird für sicherheitsrelevante Anwendungen wie Notruf und autonome Fahrzeugführung bzw. Anwendungen die mit einer Gebührenerhebung verbunden sind (Road Pricing) benötigt. Dies spiegelt sich auch in den Anforderungen hinsichtlich der **Time-to-Alarm** wieder. Die erstgenannten Anwendungen erfordern lediglich eine Benachrichtigung des Nutzers innerhalb einer Minute, während für die letztgenannten Anwendungen eine Time-to-Alarm im Sekundenbereich benötigt wird. Gleiches gilt für die Verfügbarkeit. Die Werte liegen bei der ersten Gruppe bei 98-99% und bei >99% für die zweite Gruppe.

Für alle Anwendungen (mit Ausnahme des Flottenmanagements) wird eine regionale **Abdeckung** benötigt, da die Fahrzeuge vorwiegend in Deutschland bzw. in angrenzenden Ländern genutzt werden. Lediglich für das Flottenmanagement findet durch internationale Spezifikationen eine regelmäßige Nutzung im großräumigen internationalen Umfeld statt.

Für die weiteren Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit, die sich hauptsächlich mit der Verfügbarkeit der Satellitensignale in bebauten Gebieten beschäftigen, können folgende Folgerungen abgeleitet werden:

- Die Anforderungen hinsichtlich der Genauigkeit sind im Stadtgebiet erheblich höher als bei Anwendungen im ländlichen Umland
- Eine Genauigkeit von 10m deckt die wirtschaftlich interessanten Anwendungen des Massenmarktes ab. Dies entspricht der aktuell verfügbaren Genauigkeit digitaler Straßenkarten und eine hausnummerngenaue Navigation wird damit (bei der zukünftig zu erwartenden Verfügbarkeit geeigneter Straßen- und Adressendatenbanken) weitestgehend gewährleistet
- Für die Verfügbarkeit werden Werte von 99% gefordert

### 3.1.2 Systeme

Die im vorhergehenden Kapitel behandelten Anforderungen sind systemunabhängig, d.h. sie können durch den Einsatz von verschiedenen Positionsbestimmungssystemen bzw. deren Kombinationen erfüllt werden. Im folgende Kapitel werden die terrestrischen und satellitengestützten Systeme, die heute in der Verkehrstelematik eingesetzt werden bzw. deren Einsatz in naher Zukunft denkbar ist, vorgestellt.

#### 3.1.2.1 **Terrestrische Systeme**

Die terrestrischen Systeme lassen sich in drei Gruppen einteilen. Diese sind:

- Systeme, die auf Infrastruktureinrichtungen entlang der Straßen basieren (Baken)
- Systeme, die auf Sensorik oder Berechnungen im Fahrzeug basieren (Koppelnavigation, Map-Matching)
- Systeme, die terrestrische Funknavigationsverfahren nutzen (Loran-C, Positionierung mittels Mobilfunksystemen)

Die Funktionsweise, Vor- und Nachteile der einzelnen Systeme werden im folgenden erläutert.

##### 3.1.2.1.1 **Baken und Balisen**

Unter einer Bake versteht man ein „festes Orientierungszeichen für Seefahrt, Luftfahrt, Straßenverkehr bzw. ein Vorsignal auf Bahnstrecken“ (Duden, 1996).

In der Verkehrstelematik versteht man unter Baken oder Balisen alle streckenseitigen Infrastruktureinrichtungen, die in Kombination mit fahrzeugseitigen Sendeeinrichtungen zur Positionsbestimmung und Kommunikation mit dem Fahrzeug verwendet wer-

den. Balisen werden vor allem im Schienenverkehr häufig zur Positionsbestimmung, für Zugsicherungsaufgaben und zur Datenübertragung zum fahrenden Fahrzeug eingesetzt. Im europäischen Schienenverkehr wird eine standardisierte Eurobalise im Rahmen des European Train Control System (ETCS) eingeführt. Das ETCS ist Bestandteil des European Rail Traffic Management System (ERTMS), das die Aufgabe verfolgt ein gemeinsames europaweites Zugsicherungssystem zu definieren.

An der Straße positionierte Baken dienen ebenfalls der Positionsbestimmung von Fahrzeugen an Fixpunkten. Sie sind sozusagen „elektronische Kilometersteine“. Beim Passieren einer Bake wird dem Bordrechner über ein Infrarot- oder Mikrowellensignal eine Positionsangabe mitgeteilt. Gleichzeitig können auch Informationen vom Fahrzeug ausgesandt und zu einer Verkehrszentrale weitergeleitet bzw. Informationen über die Bake an das Fahrzeug übertragen werden. Dieses Verfahren wird als DSRC bezeichnet.

Eine flächendeckende Ausstattung größerer Gebiete mit Bakensystemen und deren Instandhaltung ist mit erheblichen Kosten verbunden. Ein weiterer Nachteil ist, daß eine Erfassung der Fahrzeuge nur entlang bestimmter Straßenabschnitte möglich ist.

Am 29.06.2000 wurde in Nordrhein-Westfalen ein neues, auf Induktionsschleifen basierendes Stauwarnsystem in Betrieb genommen. Dieses System ist Bestandteil eines Feldversuchs für ein europaweites Stauwarnsystem. Die Induktionsschleifen ermitteln Daten wie Verkehrsdichte, Durchschnittsgeschwindigkeit und daraus abgeleitet Verkehrsstörungen und Staulängen. In Nordrhein-Westfalen sind bereits 75% der Autobahnen mit 2500 Induktionsschleifen ausgestattet. Die Informationen werden in Verkehrsrechnerzentralen in Recklinghausen und Leverkusen verarbeitet und über lokale Radiostationen ausgestrahlt ([www.autoboersedeutschland.de](http://www.autoboersedeutschland.de)).

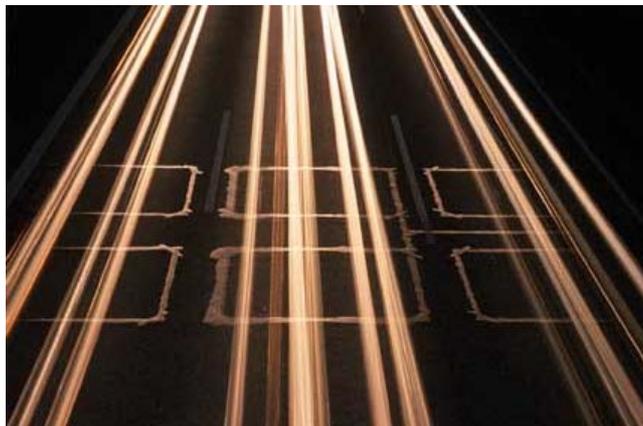


Abbildung 11 Induktionsschleifen zur Erfassung von Verkehrsinformationen <sup>12</sup>

### 3.1.2.1.2 Koppelnavigation

Durch den Einsatz von Zusatzsensoren kann die Fahrtrichtung und die zurückgelegte Strecke ermittelt werden. Mit Hilfe dieser Vektoren kann, ausgehend von einer bekannten absoluten Positionsangabe (z.B. durch GPS-Messung) die aktuelle Position berechnet werden. Dieses Verfahren wird als Koppelnavigation bezeichnet. Zur Bestimmung der zurückgelegten Wegstrecke wird das Tachosignal abgegriffen. Es gab auch Überlegungen diese Informationen von den ABS-Sensoren abzugreifen um eine höhere Genauigkeit zu erzielen, dieses Verfahren ist jedoch mit einem Eingriff in sicherheitskritische Fahrzeugkomponenten verbunden und wurde deshalb nicht realisiert. Heute werden hohe Genauigkeiten durch den Abgriff von digitalen Tachosignalen erzielt, die denjenigen des ABS-Verfahrens entsprechen.

---

<sup>12</sup> URL: [www.tack-fotografie.de/aktuell\\_telema.htm](http://www.tack-fotografie.de/aktuell_telema.htm)

Bei jeder Radumdrehung werden durch digitale Tachometer mehrere Impulse erfaßt, so daß die Genauigkeit dieses Verfahrens einen Bruchteil des Radumfangs beträgt.

Zur Ermittlung des Gierwinkels (Fahrzeugausrichtung zur Himmelsrichtung) stehen folgende **Sensoren** zur Verfügung:

- Magnetfeldsonde

Mit Hilfe von ferromagnetischen Kernen werden die Feldlinien des Erdmagnetfelds gebündelt. Anschließend wird von einem magnetisch empfindlichem Halbleiterelement die Intensität des Magnetfelds bestimmt. Um die Ausrichtung des Erdmagnetfelds zu ermitteln, werden zwei Sensoren um 90° versetzt angeordnet.

- Spulensensor

Von Spulensensoren wird durch das Magnetfeld der Erde eine elektrische Spannung induziert, die sich bei einer Richtungsänderung des Fahrzeugs verändert. Diese Spannung ist meßbar und erlaubt die Bestimmung der Fahrzeugausrichtung.

Sowohl die Magnetfeldsonde, als auch der Spulensensor werden aufgrund der niedrigen Kosten und der einfachen Integration in die Fahrzeuge in der Verkehrstelematik häufig verwendet, allerdings sind beide Sensoren leicht durch magnetische Störfelder beeinflussbar.

- Gasstromsensor

Ein Gasstromsensor besteht aus einer geschlossenen beheizten Kammer mit Strömungskanälen, in denen ein Gas an zwei Temperaturfühler vorbeigeführt wird. Dadurch werden die Temperatursensoren gleichmäßig gekühlt. Erfolgt eine Richtungsänderung des Gasstroms werden die Temperaturfühler unterschiedlich stark gekühlt. Aus dieser Temperaturdifferenz läßt sich die Winkeländerung bestimmen. Dieses Verfahren ist weitgehend frei von Umwelteinflüssen wird jedoch aufgrund der hohen Kosten in der Straßenverkehrstelematik kaum eingesetzt.

- Gyro/Vibrationsgierwinkelsensor

Hochwertige Gyros sind teurer als Gasstromsensoren und werden überwiegend in Inertialnavigationssystemen der Luftfahrt eingesetzt. Eine preiswerte Variante ist der Vibrationsgierwinkelsensor, der lediglich die Fliehkräfte um die Hochachse ermittelt. Diese Sensoren können problemlos in Fahrzeuge integriert werden. Wird in Zusammenhang mit Fahrzeugnavigationssystemen von einem Gyro gesprochen, handelt es sich in der Regel um einen Vibrationsgiersensor (Schlott, 1997). Bei hohen Stückzahlen liegen die Preise für Gyros momentan bei ca. 10 US\$ (Wood und Mace, 2001). Die Genauigkeit der Winkelmessung beträgt <math><3^\circ</math> ([www.phytec.de](http://www.phytec.de)).

Die durch Koppelnavigation bestimmte Position sollte in regelmäßigen Intervallen durch ein Verfahren der absoluten Positionsbestimmung abgeglichen werden, da sonst auftretende Fehler aufsummiert werden und zu erheblichen Positionsfehlern führen können. Die mit der Koppelnavigation verbundene streckenabhängige Verschlechterung der Positionsgenauigkeit beträgt ca. 2% der zurückgelegten Strecke ([www.ccar.colorado.edu](http://www.ccar.colorado.edu)). Speziell für Radsensoren ist zu beachten, daß nasse oder unebene Fahrbahnen die Ergebnisse der Positionsbestimmung verfälschen können.

### 3.1.2.1.3 Digitale Straßenkarten/Map-Matching

Eine digitale Straßenkarte, die im Fahrzeug als CD-ROM mitgeführt wird, bildet die Grundlage der autonomen Routenführung. Die digitale Straßendatenbank enthält neben der Geometrie und Attributierung des Straßennetzes zusätzliche Informationen wie z.B. Abbiegebeschränkungen, Durchfahrtssperren, Einbahnstraßen, etc.. Der Markt für digitale Straßenkarten wird gegenwärtig von zwei **Herstellern** beherrscht:

- Navigation Technologies (NavTech)

Navigation Technologies ist ein weltweites Unternehmen mit Hauptsitzen in Rosemont, Sunnysvale (USA), Brest (Frankreich), einem Zentrum für technischen Support in Yokohama (Japan) und ca. 100 weiteren Niederlassungen ([www.navtech.com](http://www.navtech.com)).

Seit dem 30.1.2001 arbeitet NavTech im Rahmen eines strategischen Bündnisses mit Webraska zusammen. Webraska ist ein weltweit tätiger Anbieter von Navigationsanwendungen und Verkehrsinformationen. Die Kunden sind vor allem Telekommunikationsunternehmen und Automobilhersteller wie z.B. der ADAC, Orange und SignalSoft. Der Firmensitz ist in Poissy (Frankreich) und weitere Niederlassungen befinden sich in Brüssel, Madrid, Rotterdam, Mailand, Stockholm, Tokyo, Singapur, Melbourne und Montreal. Durch die Festigung der bereits seit 1999 bestehenden Zusammenarbeit wird NavTech zum Hauptlieferanten digitaler Karten für alle Webraska-Kunden ([www.navtech.com](http://www.navtech.com)).

NavTech trat am 26.2.2001 der Mobile and Automotive Geographic Information Core Services (MAGIC Services™) Initiative bei. Die MAGIC Services™ Initiative besteht aus einem Industriekonsortium, das es sich zur Aufgabe gemacht hat, einen offenen Industriestandard für Navigations- und Telematikanwendungen sowie Location Based Services zu entwickeln und zu unterstützen. Ziel ist es, unterschiedliche Endgeräte und Plattformen über verschiedene Netzwerke durch Internetprotokolle anzusprechen und zu verbinden.

([www.navtech.com](http://www.navtech.com))

- Tele Atlas

Tele Atlas wurde 1984 gegründet. Ab 1988 erfolgte eine Expansion innerhalb Europas. Diese wurde mit der Gründung von Tele Atlas Belgien eingeleitet und mit der Gründung von Tele Atlas Italien und Frankreich (1994), Tele Atlas B.V. in den Niederlanden (1995) und Niederlassungen in Spanien und Portugal (1998) fortgesetzt. Anschließend erfolgte eine Ausweitung auf den japanischen, indischen und US-amerikanischen Markt (Aufkauf von Etak). Heute hat Tele Atlas weltweit über 1 200 Mitarbeiter. Am 26.5.2000 erfolgte der Börsengang ([www.teleatlas.com](http://www.teleatlas.com)).

Als **Standard** für digitale Straßenkarten wurde im Rahmen eines EU-Projekts das GDF (Geographic Data Files) Format entwickelt und anschließend von der CEN TC 278 (Comité Européen de Normalisation Technical Committee) übernommen. Derzeit wird unter der Initiative NextMap an einer Erweiterung des GDF unter ISO TC 211 (International Standardisation Organisation Technical Committee) gearbeitet. NextMap ist ein IST (Information Society Technology Programme) -Projekt der EC (European Commission). Unter der Leitung von ERTICO (European Transport Telematics Implementation Co-ordination Organisation) sind folgende Firmen an NextMap beteiligt: NavTech, Tele Atlas, BMW, Daimler Chrysler, Fiat, Jaguar und Renault. Die Hauptziele von NextMap sind:

- die Identifizierung neuer Anforderungen an Datenbanken zur Einführung von ADAS
- Test und Validierung der technischen und ökonomischen Realisierung neuer Kartenformate
- Formulierung der notwendigen Anforderungen für eine Erweiterung des GDF-Formats und der damit verbundenen Kosten

Folgende Zeitplanung zur Realisierung von NextMap ist anvisiert:

- 06/2000: Ermittlung der vorläufigen Anforderungen und Klassifizierung der Datenerfassungsmethoden
- 10/2000: Evaluierungsplan
- 02/2001: Erstellung von zwei Probekartensätzen zu Testzwecken
- 05/2001: Durchführung von Testfahrten mit fünf Fahrzeugen in unterschiedlichen Regionen

- 10/2001: Definition der Anforderungen
- 12/2001: Abschlußbewertung (technisch und ökonomisch)
- Einreichen eines Vorschlags zur Erweiterung von GDF bei der ISO

(www.ertico.com)

Eine weitere Initiative, die sich mit der Standardisierung von digitalen raumbezogenen Daten beschäftigt, ist das Open GIS Consortium Inc. (OGC) (www.opengis.org). Das OGC wurde 1994 gegründet und ist eine nicht gewinnorientierte Vereinigung von ca. 200 Mitgliederorganisationen und –firmen aus dem Bereich GIS. Ziel des OGC ist es, in enger Zusammenarbeit mit dem ISO TC 211 die Interoperabilität zwischen den verschiedenen Systemen, Plattformen und Datenformaten durch geeignete Standards zu fördern und langfristig zu garantieren.

Das **Map-Matching** Verfahren wurde in der Robotik zur Steuerung von beweglichen Robotern entwickelt. Die Funktionsweise dieses Verfahrens wurde in der Verkehrstelematik übernommen und an die speziellen Bedürfnisse angepaßt. Durch Map-Matching wird die aus Informationen der Navigationssensoren (GPS, Koppelnavigationssensoren) berechnete Position mit der digitalen Karte abgeglichen und ggf. kalibriert. Führt das Fahrzeug z.B. eine scharfe Rechtskurve aus und verzeichnet die digitale Straßenkarte in der Umgebung der berechneten Position nur eine Abbiegemöglichkeit wird die Position des Fahrzeugs auf die Koordinaten dieser Straßenkreuzung kalibriert. Dieses Verfahren ist ebenfalls auf den charakteristischen Verlauf einer Straße anwendbar. Durch Map-Matching lassen sich punktuell hohe Genauigkeiten (3-10m) in der Positionsbestimmung erreichen.

Die Funktionsweise des Map-Matching Verfahrens wird in der folgenden Abbildung verdeutlicht.

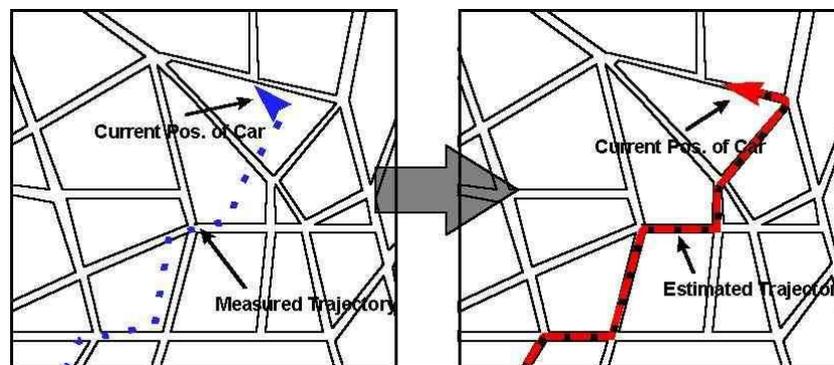


Abbildung 12 Funktionsweise des Map-Matching Verfahrens <sup>13</sup>

#### 3.1.2.1.4 Loran-C/Eurofix

Ein terrestrisches Funknavigationssystem, das zukünftig im Bereich der Verkehrstelematik zum Einsatz kommen könnte, ist Loran-C (Long Range Navigation). Bis zum 31.12.94 wurden die Loran-C Stationen weltweit von der US Coast Guard (USCG) betrieben. Anschließend wurden die Stationen an die jeweiligen Länder übergeben und größtenteils von diesen weiterbetrieben. Diese Entwicklung führte in mehreren Regionen der Welt zu einer Aufwertung und Ausweitung von Loran-C. In Europa wurde 1992 eine Vereinbarung zwischen sechs Ländern (Dänemark, Irland, Frankreich, Norwegen, Holland und Deutschland) zum Aufbau und Betrieb eines zivilen Loran-C Systems **NELS** (Northwest European Loran-C System) für das Gebiet Nordwesteuropas, der Nordsee und des Nordatlantiks getroffen.

<sup>13</sup> URL: [http://asrignc1.snu.ac.kr/~kimwuk/re\\_4.htm](http://asrignc1.snu.ac.kr/~kimwuk/re_4.htm)

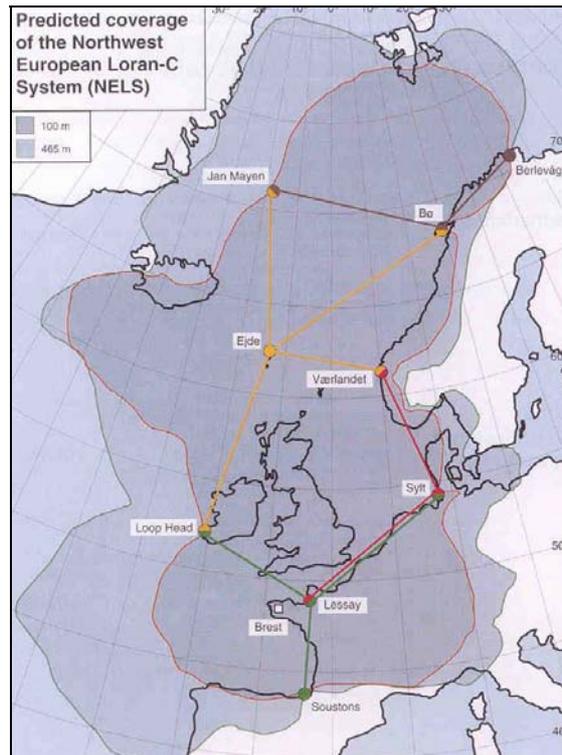


Abbildung 13 Loran-C Abdeckung im NELS-Gebiet <sup>14</sup>

Loran-C ist ein zweidimensionales **Hyperbelnavigationsystem**, dessen Signal im Frequenzbereich von 90-110 kHz. ausgestrahlt wird und über eine Reichweite von ca. 1000 NM um die einzelnen Sendestationen verfügt. Die Sendestationen sind in Ketten mit mindestens drei und maximal sechs Sendern (eine Leitstation und mehrere Nebenstationen) organisiert, deren Abstand zueinander ca. 600 – 800 NM beträgt. Die Positionsbestimmung beruht auf der Messung von Laufzeitdifferenzen zwischen den Signalen der Sender. Die Auswertung der Zeitdifferenzen ergibt Hyperbelstandlinien, in deren Schnittpunkt die zu bestimmende Position liegt.

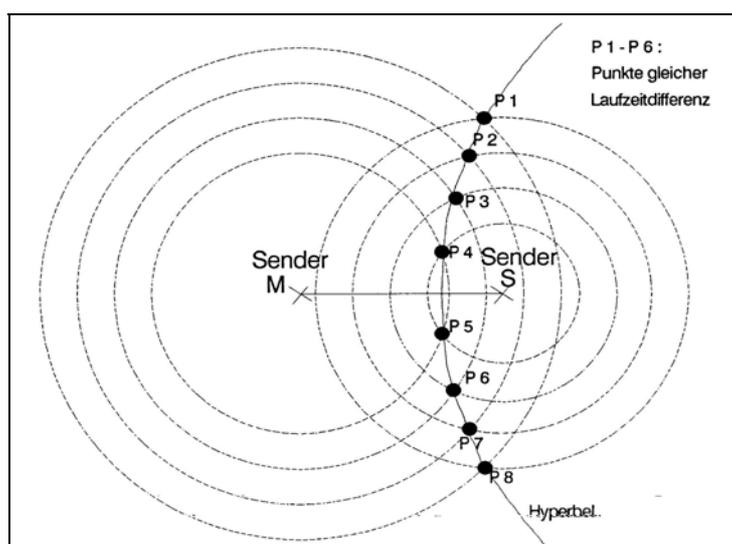


Abbildung 14 Funktionsweise der Hyperbelnavigation <sup>15</sup>

<sup>14</sup> Literatur: NELS, 1998

<sup>15</sup> Literatur: BMVBW, 1999

Die absolute Genauigkeit von Loran-C beträgt ca. 460m, die wiederholbare Genauigkeit liegt im Bereich von 15-90m.

Loran-C bietet unter anderem den Vorteil, daß topographische Erhebungen oder Gebäude nur einen geringen Einfluß auf die Signalausbreitung ausüben. Selbst in Tiefgaragen können mit Magnetfeldantennen teilweise Loran-C Signale empfangen werden. Veränderungen der Bodenleitfähigkeit oder reliefbedingte Laufzeitverlängerungen können hingegen Ausbreitungsanomalien hervorrufen. Die daraus resultierenden Fehler sind jedoch bestimmbar und lassen sich bei der Signalauswertung berücksichtigen. Die Ausbreitungsanomalien werden für die jeweiligen Gebiete in Form von „**Additional Secondary Factors (ASF)**“ beschrieben.

Untersuchungen zum Empfang von Loran-C Signalen im Stadtbereich (Peterson und Mc Kaughan, 1994) haben gezeigt, daß sowohl der Empfang mittels E-Feld Antennen als auch mittels H-Feld Antennen in von Vegetation bedeckten Gebieten wesentlich besser ist als bei GPS. In Testumgebungen mit starken elektrischen Störungen sind E-Feld Antennen in der Regel nicht in der Lage, die Loran-C Signale zu empfangen, mit H-Feld Antennen ist dies meist möglich.

Die Genauigkeit von Loran-C kann durch eine **Kalibrierung** mittels GNSS verbessert werden. Die gleichzeitige Nutzung von Loran-C und GNSS bietet den Vorteil, daß im Falle der Störung eines Signals aufgrund der unterschiedlichen Signalstruktur der Empfang des anderen Systems nicht beeinträchtigt wird.

Seit Inbetriebnahme einer, durch das Kontrollzentrum in Brest synchronisierten, zeitgleichen Ausstrahlung der Loran-C Impulse ist auch eine Positionsbestimmung mittels des „**Time of Emission Control (TOE)**“ Verfahrens möglich. Dies bedeutet, daß nicht nur Laufzeitdifferenzen zwischen den Signalen verschiedener Sendestationen, sondern auch die tatsächlichen Laufzeiten zwischen Sender und Empfängerantenne ermittelt werden können. Damit können (wie bei GPS) „Pseudorange“ gemessen werden (siehe Kapitel 3.1.2.2.1) und die Messungen zu Loran-C Stationen und GPS Satelliten kombiniert werden. Dies bedeutet, daß selbst in Situationen in denen die beiden Einzelsysteme keine Positionslösung ermöglichen, durch eine entsprechende Nutzung der beiden Systeme eine Positionsbestimmung erfolgen kann. Dies ist gerade für Verkehrstelematikanwendungen in bebauten Gebieten interessant. Die verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten der Einzelmessungen sind in der folgenden Tabelle zusammengefaßt.

		Anzahl der Satelliten					
		0	1	2	3	4	5+
Anzahl der Loran-C Stationen	0				2D	3D <sup>17</sup>	3D Integrität
	1				2D	3D <sup>17</sup>	3D Integrität
	2			2D	3D <sup>17</sup>	3D Integrität	3D Integrität
	3	2D	2D	3D <sup>16</sup>	3D Integrität	3D Integrität	3D Integrität
	4+	2D <sup>17</sup> Integrität	2D <sup>17</sup> Integrität	3D Integrität	3D Integrität	3D Integrität	3D Integrität
	4+	2D <sup>17</sup> Integrität	2D <sup>17</sup> Integrität	3D Integrität	3D Integrität	3D Integrität	3D Integrität

Tabelle 5 Kombinationsmöglichkeiten von Loran-C im TOE-Modus mit GPS<sup>18</sup>

<sup>16</sup> Information: 3D oder 2D+Integrität

<sup>17</sup> Information: Loran-C ist nicht zur Höhenbestimmung geeignet

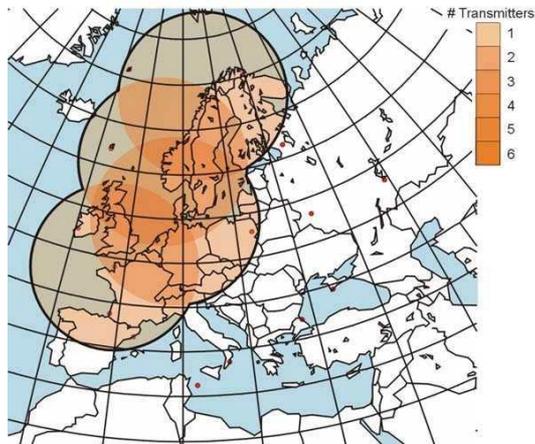
<sup>18</sup> Literatur: Kügler, 1997

Weiterhin bietet Loran-C die Möglichkeit, DGNSS-Daten auszustrahlen. Dieser Dienst wird unter der Bezeichnung **Eurofix** angeboten. Die Entwicklung von Eurofix begann 1994 an der TU Delft und wird derzeit von vier europäischen Loran-C Sendern (Sylt, Bø, Værlandet, Lessay) im Regelbetrieb ausgestrahlt. Die Korrekturdaten werden dem Loran-C Signal aufmoduliert, dabei beträgt die effektive Datenübertragungsrate 19-47 bps und ist abhängig von dem verwendeten Gruppen-Wiederholungsintervall. Eine Erhöhung der Übertragungskapazität mit dem Ziel, die differentiellen Korrektur- und Integritätsinformationen des Wide Area Augmentation System (WAAS) (siehe Kapitel 3.1.2.2.4.2.2) bei 250 bps zu übertragen, ist Gegenstand verschiedener aktueller Forschungsprojekte (Peterson und Dykstra, 2001; Shermann und Enge, 2001).

Mittels Eurofix kann eine absolute Positionierungsgenauigkeit von <5m erreicht werden. Die Verfügbarkeit des Eurofix-Signals pro Sender liegt bei 99,8% pro Monat. In Überlappungsbereichen mehrerer Stationen verbessert sich die Verfügbarkeit auf > 99,9996% pro Monat. Liegen die, mittels Eurofix berechneten, Positionsangaben außerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereichs, wird innerhalb von 10 Sekunden eine Warnmeldung an die Nutzer ausgestrahlt.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt findet im Rahmen des Projekts LOREG (Loran-C /Eurofix/EGNOS Integration Test & Validation Programme) eine umfassende Validierung des Eurofix Dienstes und der Leistungsfähigkeit von Loran-C für eine Vielzahl von Anwendungsbereichen statt (Lechner und Baumann, 2001). Mit Abschluß der Meßkampagne im September 2001 wird die „Feasibility Phase I“ von Eurofix abgeschlossen. Eine **Erweiterung von Eurofix** auf alle NELS-Sender ist in einer Phase II geplant. In einem nächsten Schritt (Phase III) könnten die russischen Chayka-Stationen sowie die Stationen der Mittelmeerkette einbezogen werden. Die jeweiligen Abdeckungen sind in der folgenden Abbildungen wiedergegeben.

**Aktuelle Situation:**



Eurofix Implementierungsstufe I

**Zukünftig?**

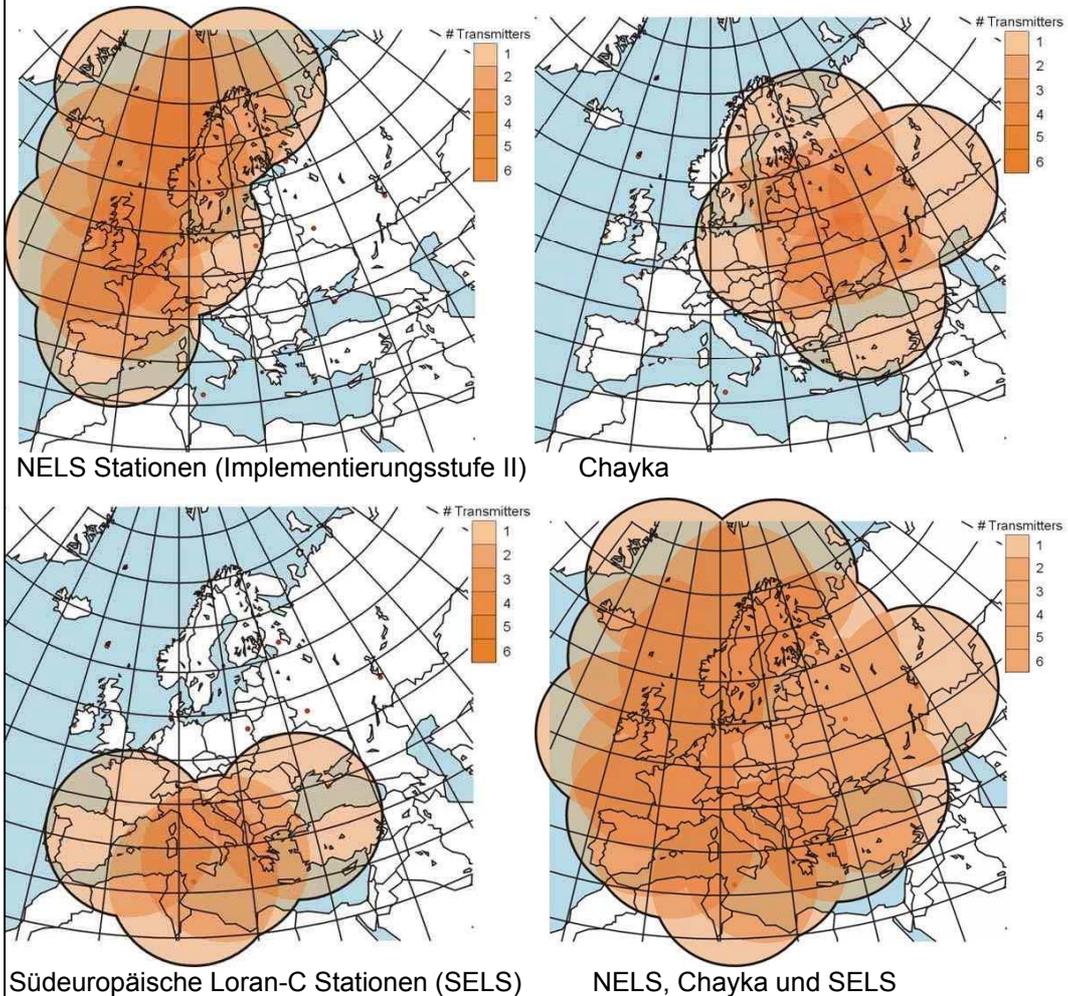


Abbildung 15 Potentielle Ausbaustufen von Eurofix <sup>19</sup>

<sup>19</sup> URL: [www.eurofix.tudelft.nl](http://www.eurofix.tudelft.nl)

### 3.1.2.1.5 Positionsbestimmung durch Mobilfunk

Neben den bereits vorgestellten terrestrischen Positionierungsverfahren wird zukünftig auch eine Positionsbestimmung von mobilen Nutzern durch Mobilfunknetze ermöglicht. Die Untersuchungen zur Nutzung von Mobilfunknetzen zur Positionsbestimmung wurde vor allem durch die Entscheidung der US-amerikanischen FCC (Federal Communications Commission) vorangetrieben, in den USA eine Lokalisierung von Notrufen unter der Nummer 911 (Enhanced-911, E-911) einzuführen. Je nach verwendeter Technologie müssen die Netzanbieter (falls die zuständigen Notrufzentralen es fordern und ein geeignetes Finanzierungskonzept vorlegen können) bis 2003 eine Positionsbestimmung mit folgenden Genauigkeiten zur Verfügung stellen:

- 100m (67%), 300m (95%), Netzwerk-basierte Lösungen
- 50m (67%), 150m (95%), „Handset“-basierte Lösungen

Die verschiedenen technischen Verfahren werden im folgendem kurz vorgestellt.

#### 3.1.2.1.5.1 Zellenortung

GSM, GPRS (General Packed Radio System) und UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) sind zellulare Kommunikationssysteme, in denen die mobilen Endgeräte zu jeder Zeit mit einer oder mehreren ortsfesten Stationen in Funkverbindung stehen. Mittels Zellenortung kann die Zelle, in der sich der Nutzer befindet, ermittelt werden. Die erreichbare Genauigkeit ist von der Zellengröße abhängig, der Radius der Zellen kann zwischen <100m im Stadtgebiet und bis zu 35km in ländlichen Gebieten betragen. Zellenform, -größe und Koordinaten der Basisstation werden in einer Datenbank abgelegt. Der Zugriff auf die Daten erfolgt über einen Server der als Location Manager fungiert. Technisch kann der Zugriff auf die Positionsinformation entweder durch eine entsprechende Software auf der SIM-Karte (SIMToolkit Lösung, siehe Abbildung) oder im Netzwerk durch IN (Intelligent Network) oder WAP (Wireless Application Protocol)-Lösungen erfolgen.

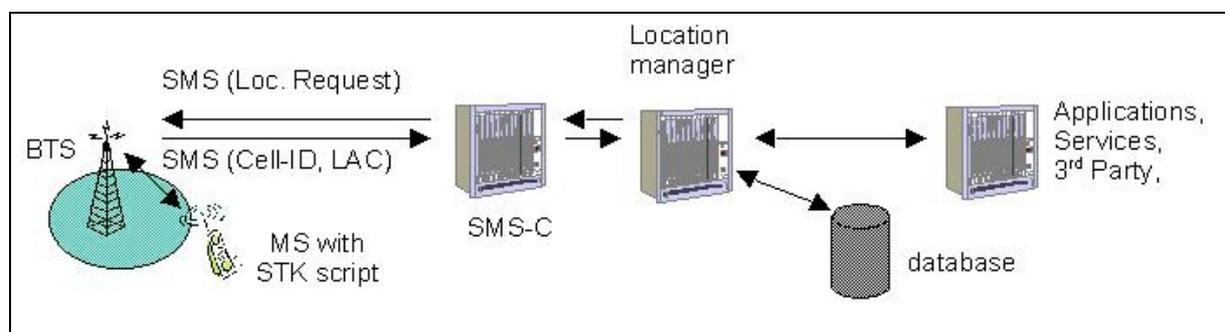


Abbildung 16 Funktionsprinzip der Zellenortung (STK) <sup>20</sup>

Eine Positionsbestimmung durch Zellenortung ist ohne aufwendige Modifikationen der bestehenden Netzwerke möglich. Erste auf Zellenpositionierung basierende Verkehrstelematikdienste sind bereits verfügbar. Seit Anfang 1998 werden z.B. von der Firma Tegaron regionale Verkehrsinformationen, die auf einer automatisierten Zellenortung der Kunden basieren, unter der Nummer 2211 angeboten. Im Rahmen des Projekts TeleTravelSystem (TTS) wurde das Mobilitätsverhalten von Verkehrsteilnehmern mittels zellenbasierter Positionsbestimmungsverfahren aufgezeichnet und ausgewertet (TU Braunschweig, 2000).

Innerhalb einer Zelle kann die Position eines mobilen Nutzers durch **Timing Advance (TA)** näher eingegrenzt werden. Der TA ist eine 6-Bit Information zur Laufzeitverzögerung des Signals, die der Zuordnung eines freien Zeitslots im GSM-Signal dient. Bei einer maximalen

<sup>20</sup> Literatur: EC, 2001(2)

Zellengröße von 35km entspricht dies einem Kreisring von 550m Breite (35km/64), innerhalb dessen sich der Nutzer befindet.

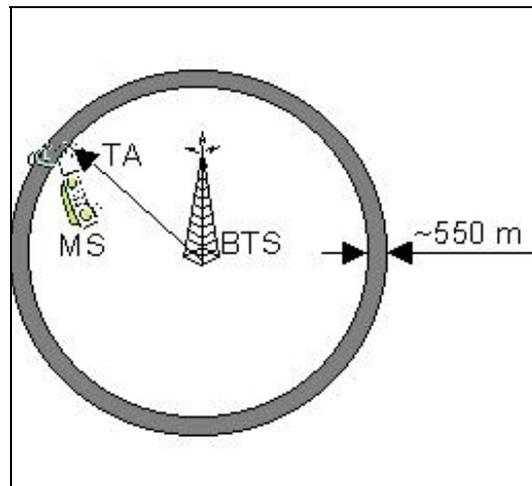


Abbildung 17 Funktionsprinzip des Timing Advance (TA) <sup>21</sup>

### 3.1.2.1.5.2 Time Of Arrival (TOA)

Mit TOA bezeichnet man die Laufzeitmessung eines vom Mobiltelefon ausgesendeten Signals zu mindestens drei Basisstationen. Hierzu wird ein künstlicher Hand-Over zu mindestens zwei Basisstationen initiiert (wobei eine tatsächliche Herstellung der Verbindung nicht beabsichtigt ist und auch nicht realisiert wird). Als Voraussetzungen müssen zum einen die Positionen der Basisstationen bekannt sein, zum anderen müssen die Zeitsysteme der Basisstationen synchronisiert bzw. deren Off-Set durch Location Measurement Units (LMU) ermittelt und aufgezeichnet werden. Die Position des Nutzers wird im Netzwerk durch das Kreisschnittverfahren berechnet. Unter optimalen Bedingungen werden Genauigkeiten von ca. 125m erzielt. Die Geometrie der verwendeten Basisstationen und Multipath-Effekte (Mehrwegeausbreitungen) beeinflussen die Messungen. Dies gilt für fast alle mobilfunkbasierten Positionsbestimmungsverfahren (Ausnahme: Cell ID).

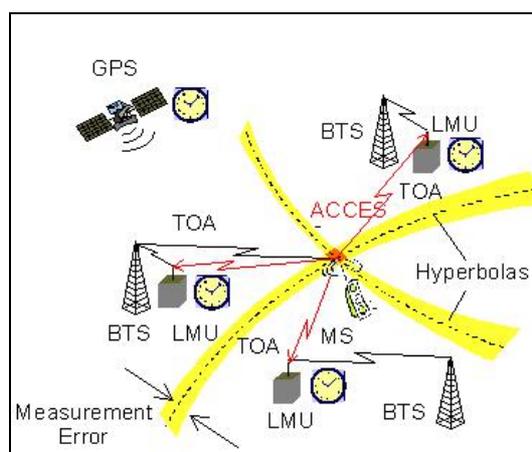


Abbildung 18 Funktionsprinzip des Time of Arrival (TOA) Verfahrens <sup>21</sup>

<sup>21</sup> Literatur: EC, 2001(2)

### 3.1.2.1.5.3 Angle of Arrival (AOA)

Durch die Anordnung von 4-12 Richtantennen (Smart Antennas) an den Basisstationen wird eine Winkelmessung zu den Mobilgeräten ermöglicht. Die Position der Mobilgeräte wird durch das Winkelschnittverfahren mit mindestens zwei Messungen ermittelt. Dieses Verfahren ist zwar für die kontinuierliche Ortung eines Nutzers geeignet, eine kurzfristige Ortung ist jedoch schwierig. Unter optimalen Bedingungen werden mit AOA ebenfalls Genauigkeiten von ca. 125m erzielt. Die Umrüstkosten sind, aufgrund der aufwendigen Antennenanlagen, sehr hoch, so daß die Einführung dieses Verfahrens nur in lokal begrenzten Gebieten zu erwarten ist.

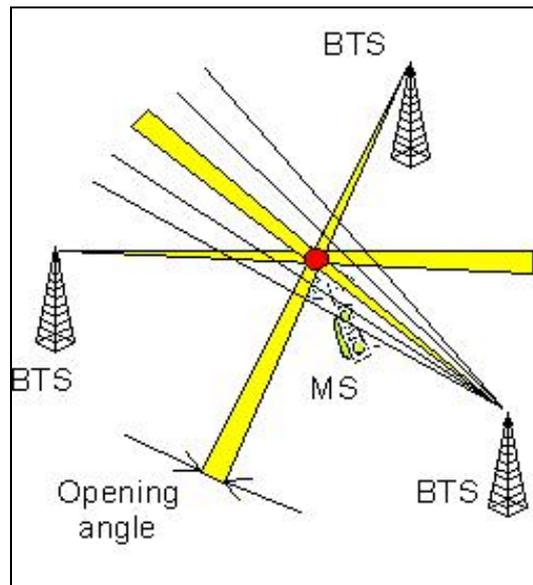


Abbildung 19 Funktionsprinzip des Angle of Arrival (AOA) Verfahrens <sup>22</sup>

### 3.1.2.1.5.4 Enhanced-Observed Time Difference (E-OTD) / Observed Time Difference of Arrival (OTDOA)

Zwei weitere Verfahren zur Positionsbestimmung durch Mobilfunksysteme sind E-OTD und OTDOA. Beide Verfahren basieren auf Messungen von Zeitabständen zwischen der Signalausstrahlung durch verschiedene Basisstationen. Punkte gleicher Zeitdifferenzen bilden eine Hyperbel und aus dem Schnittpunkt von zwei Hyperbeln (mindestens drei Basisstationen) läßt sich die Position des mobilen Nutzers ermitteln (gleiches Funktionsprinzip wie Loran-C). Der Unterschied zwischen E-OTD und OTDOA liegt im verwendeten Telekommunikationsstandard, während E-OTD für GSM entwickelt wurde, basiert OTDOA auf dem zukünftigen UMTS Standard. Die erzielbaren Genauigkeiten liegen zwischen 50 und 150m. Für OTDOA sind Werte im unteren Bereich dieser Spanne anzusetzen.

Bei den E-OTD/OTDOA Verfahren unterscheidet man zwischen „handset-based“- und „network-based“-Methoden. Bei der „handset-based“-Methode erfolgt die Berechnung der Position im mobilen Endgerät unter Einbeziehung von Informationen, die aus dem Netz bezogen werden. Die „network-based“-Methode überträgt die gemessenen E-OTD/OTDOA-Daten an das Netzwerk und die Berechnung erfolgt dort.

<sup>22</sup> Literatur: EC, 2001(2)

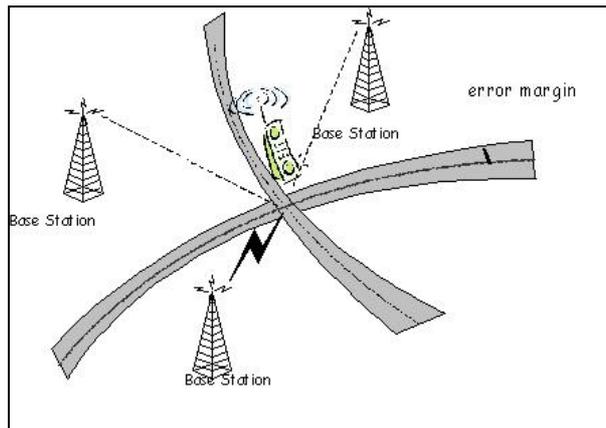


Abbildung 20 Funktionsprinzip des E-OTD/OTDOA Verfahrens<sup>23</sup>

### 3.1.2.1.5.5 Assisted-GPS (A-GPS)

Unter A-GPS versteht man ein Verfahren, bei dem einige der Leistungsparameter von GPS (Genauigkeit, Time to First Fix (TTFF)) durch die Übertragung von GPS-relevanten Informationen über das Mobilfunknetz verbessert werden. Diese Informationen werden dem GPS-Signal entnommen, hierfür werden die Mobilfunkbasisstationen mit GPS-Referenzempfängern ausgestattet. Nach der Initialisierung des mobilen GPS-Empfängers wird eine grobe Positionsangabe sowie Informationen zu den aktuell sichtbaren Satelliten (PRN<sup>24</sup> Code Nummer, Almanachdaten, DGPS-Korrekturdaten) an die mobilen Empfänger gesendet. Dadurch wird eine schnellere und genauere GPS-Positionsbestimmung auch bei schwachem Signalempfang ermöglicht. Speziell die Übertragung der Almanachdaten durch GSM ermöglicht es, bei Empfangsbedingungen unter denen sonst keine Positionsbestimmung mit GPS möglich ist, eine Positionslösung zu berechnen. Die Genauigkeiten liegen in einem Bereich, der für DGPS-Verfahren mit kurzen Basislinien (max. 35km) typisch ist (<5m). Bei A-GPS unterscheidet man wie bei E-OTD/OTDOA zwischen „handset-based“- und „network-based“-Verfahren. Eine ausführliche Beschreibung von A-GPS findet sich bei Syrjärinne (2001).

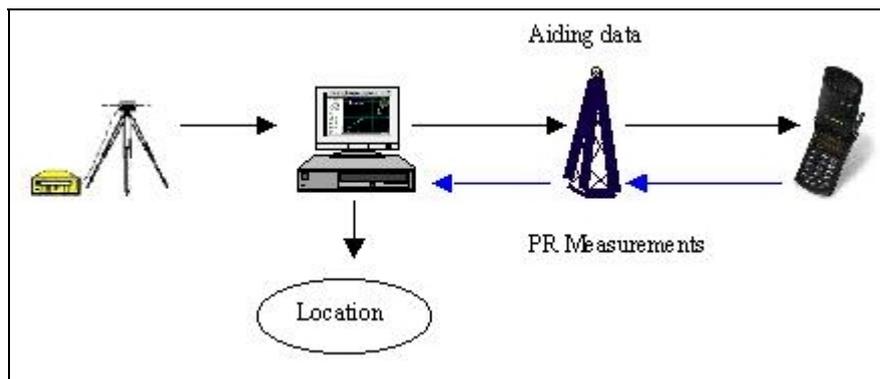


Abbildung 21 Funktionsprinzip von A-GPS<sup>23</sup>

Für eine flächendeckende Verfügbarkeit der beschriebenen mobilfunkbasierten Positionsbestimmungsverfahren ist ein erheblicher Ausbau der bestehenden Infrastruktur erforderlich. Dies ist notwendig, um die gegenwärtige Geometrie der Basisstationen, die für Kommunikationszwecke optimiert ist, den Anforderungen der Positionsbestimmung anzupassen. Auf Si-

<sup>23</sup> Literatur: EC, 2001(2)

<sup>24</sup> Information: Pseudo Random Noise

mulationen basierende Schätzungen (Hein et al., 2001) gehen für die Fläche Deutschlands von Kosten zwischen 2-4 Mrd. US\$ pro Netzbetreiber aus.

### 3.1.2.2 Satellitengestützte Systeme

#### 3.1.2.2.1 GPS

Das Navigation System with Time and Ranging Global Positioning System (NAVSTAR GPS) ist ein weltweit verfügbares, präzises, dreidimensionales Satellitennavigationssystem. Es wird seit 1994 (Initial Operational Capability, IOC) von der US Air Force im Auftrag des DoD betrieben und kann von einer unbeschränkten Anzahl an Nutzern eingesetzt werden.

Das Gesamtsystem besteht aus drei Komponenten:

- Raumsegment
- Kontrollsegment
- Nutzersegment

Das **Raumsegment** besteht aus mindestens 24 Satelliten, die auf sechs kreisförmigen Umlaufbahnen mit einer Inklination von 55° angeordnet sind. Bei einer Orbithöhe von 20 183km beträgt die Umlaufzeit 11 Stunden 56 Minuten. Die Satelliten senden kontinuierlich Signale auf zwei Frequenzen:

- L1 = 1575,42 MHz.
- L2 = 1227,60 MHz.

L1 überträgt den hochgenauen Precision Code (P-Code) und den weniger genauen Coarse/Acquisition Code (C/A-Code). Auf L2 wird lediglich der P-Code ausgestrahlt. Die ausgestrahlten Codes enthalten Informationen über die Systemzeit, die Satellitenposition sowie Informationen über den Health-Status der Satelliten.

Der C/A-Code steht für zivile Nutzer zur Verfügung. Die Nutzung des Signals durch die Zivilluftfahrt wurde von den USA in einer einseitigen Erklärung gegenüber der ICAO freigegeben. Beginnend mit dem Zeitpunkt der IOC im Dezember 1993 ist diese für mindestens 10 Jahre kostenfrei. Die Bereitstellung des C/A-Codes wird als Standard Positioning Service (SPS) bezeichnet.

Der P-Code dient ausschließlich der militärischen Verwendung und wird nur von speziellen Empfängern ausgewertet. Die L2-Frequenz kann jedoch auch von zivilen Zweifrequenzempfängern zur Korrektur des Ionosphärenfehlers verwendet werden. Die Bereitstellung des P-Codes wird als Precise Positioning Service (PPS) bezeichnet. Um eine künstliche Verfälschung der Signale (Spoofing) zu erschweren, kann der P-Code verschlüsselt werden, man spricht dann vom Y-Code. Diese Verschlüsselung (Anti-Spoofing) findet nicht permanent statt. Eine detaillierte technische Beschreibung des GPS findet sich bei Parkinson und Spilker (1996).

Die Abfolge unterschiedlicher Generationen von Satellitentypen verdeutlicht die ständigen Verbesserungen und Weiterentwicklungen des GPS-Raumsegments:

- **Block I:** Die erste Generation von GPS-Satelliten, die der Systemvalidierung diente, umfaßte die Satelliten mit den Satellite Vehicle Numbers (SVNs) 1 bis 11. Die Block I Satelliten wurden in den selben Orbits wie die derzeit operationellen Block II Satelliten plaziert, jedoch mit einer höheren Inklination von 63°. Rockwell International (heute: Boeing) wurde 1974 mit dem Bau von acht Block I Satelliten beauftragt. Dieser Auftrag wurde 1978 um drei weitere Satelliten erweitert.
- **Block II:** SVN 13-21 waren die ersten operationellen GPS-Satelliten. Das Design erlaubte einen ungestörten Systembetrieb selbst wenn innerhalb von 14 Tagen kein Kon-

takt zwischen den Satelliten und dem Kontrollsegment zustande kam. Der Prototyp (SVN 12) wurde nicht in die Umlaufbahn gebracht.

- **Block IIA:** Die Satelliten (SVNs 22-40) stellen die zweite Generation der operationellen GPS-Satelliten dar. Block IIA Satelliten können 180 Tage ohne Kontakt zum Kontrollsegment betrieben werden, dabei ist allerdings mit einer Verschlechterung der erzielbaren Genauigkeit zu rechnen. 1983 wurde Rockwell International mit der Produktion der 28 Block II/IIA Satelliten beauftragt.
- **Block IIR:** Die Satelliten der aktuellen Generation (SVNs 41-62) können ohne Qualitätsverlust 14 Tage ohne Kontakt zum Kontrollsystem betrieben werden. Im AutoNav-Modus (Autonomous Navigation) ist dies sogar 180 Tage lang möglich. Die Satelliten können innerhalb von 60 Tagen in einem beliebigen GPS-Orbit plaziert werden. General Electric AstroSpace (heute: Lockheed Martin) wurde 1989 mit dem Bau der 21 Block IIR-Satelliten beauftragt.
- **Block IIF:** Boeing bekam 1996 den Auftrag zum Bau von sechs Satelliten der nächsten Generation, mit einer Erweiterungsoption um zusätzliche 27 Satelliten. Im März 2000 wurde dieser Auftrag von der US Air Force (USAF) modifiziert. Boeing erhielt den Zuschlag für zwölf Satelliten. Die Produktion der weiteren Satelliten wird ausgeschrieben. Die exakte Anzahl der benötigten Block IIF-Satelliten ist noch nicht definitiv festgelegt. Einige der neuen IIF-Satelliten werden bereits zusätzliche zivile Signale auf den Frequenzen L2 und L5 aussenden. Der erste Start eines IIF-Satelliten ist für 2005 geplant. Die IOC für das zweite zivile Signal (L2) und den neuen militärischen Code (M-Code) ist für 2009 angekündigt. Die Ausstrahlung des dritten zivilen Signals (L5) ist für 2012 anvisiert.
- **GPS III:** Die auf Block IIF folgende Generation von GPS Satelliten ist zur Zeit unter der Bezeichnung GPS III in Vorbereitung. Für die Durchführung von zwei je 12 Monate dauernden „System Architecture and Requirements Definition (SARD)“-Studien vergab das NAVSTAR GPS Joint Program Office (JPO) Aufträge an Boeing und Lockheed Martin in einer Höhe von jeweils 16 Mio. US\$. Dies ist der erste Schritt eines dreistufigen Entwicklungsprogramms. Nach Abschluß der SARD (Ende 2001) wird die USAF 2002 per Ausschreibung zwei Aufträge für die anschließende „Program Definition/Risk Reduction (PDRR)“-Phase mit einer Laufzeit von 26 Monaten vergeben. Aus den beiden Studien wird 2004 ein Anbieter ausgewählt, der anschließend mit der Entwicklung und Produktion der neuen Satellitengeneration sowie aller damit verbundenen Änderungen am existierenden Raum- und Bodensegment beauftragt werden soll (GPS World Newsletter, 29.11.2000). Der Start des ersten GPS III Satelliten ist für 2009 geplant. Der Betrieb der Block III Konstellation soll bis mindestens 2030 erfolgen. GPS III wird unter anderem über ein verbessertes Anti-Jamming durch zwei leistungsstarke Spotbeams für das militärische Signal auf L1 und L2 verfügen.

Das **Kontrollsegment** besteht aus einer Hauptkontrollstation in Colorado Springs und fünf Monitorstationen (Colorado Springs, Hawaii, Ascencion, Diego Garcia, Kwajalein). Eine sechste Monitorstation in Cape Canaveral ist geplant. Die Monitorstationen überwachen alle sichtbaren Satelliten und senden die gesammelten Daten an die Hauptkontrollstation. Dort werden die Daten ausgewertet und anschließend die neu berechneten Bahn- und Uhrenkorrekturen über die Up-Link-Stationen (Colorado Springs, Cape Canaveral, Ascencion, Diego Garcia, Kwajalein) an die Satelliten gesendet. Die derzeit stattfindende Erweiterung des Kontrollsegments im Rahmen der Accuracy Improvement Initiative wird auf Seite 45 beschrieben.

Das **Nutzersegment** besteht aus den Empfängern, Prozessoren, Software und Antennen, die es den Anwendern ermöglichen, die Signale der GPS Satelliten zu empfangen und auszuwerten. Die Wiederholrate der Positionsausgabe wird durch die Eigenschaften des verwendeten Empfängers begrenzt. In der Praxis werden häufig Empfänger mit 1 Hz Aufdatierung verwendet. Für Spezialanwendungen werden Empfänger mit bis zu 20 Hz eingesetzt. Die Zeit bis zur ersten Positionsbestimmung nach Einschalten des Empfängers (TTFF) ist

von der verwendeten Empfängersoftware abhängig. In der Praxis werden Werte zwischen 30 Sekunden und 2 Minuten erreicht. Eine Verkürzung der TTFF ist durch A-GPS Verfahren (siehe Kapitel 3.1.2.1.5.5) möglich.

Die **Funktionsweise** von GPS beruht auf Laufzeitmessungen zwischen den Satelliten und der Empfängerantenne. Da sich die Signale mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, können über die Laufzeitmessungen die Entfernungen zu den jeweiligen Satelliten ermittelt werden. Alle Punkte gleicher Entfernung bilden eine Kugel um den Satelliten. Aus den Kugelschnitten läßt sich die Position der Empfängerantenne berechnen. Die Anzahl der benötigten Entfernungsmessungen wird durch die Anzahl der zu lösenden Unbekannten bestimmt. Neben den unbekannt geozentrischen Koordinaten des Empfängers (X,Y,Z) tritt ein unbekannter Zeit-Off-Set zwischen den hochgenauen Atomuhren der Satelliten und der Quarzuhr im Empfänger auf. Für die Bestimmung einer 2D-Position werden also Messungen zu mindestens drei Satelliten <sup>25</sup>, für die Bestimmung einer 3D-Position Messungen zu mindestens vier Satelliten benötigt. Ist eine zusätzliche Messung möglich, kann eine empfängerinterne Integritätsprüfung „Receiver Autonomous Integrity Monitoring (RAIM)“ durchgeführt werden. Durch eine weitere Messung kann ein fehlerhafter Satellit identifiziert und von der Berechnung ausgeschlossen werden.

Eine Voraussetzung für die Berechnung der Entfernungen zu den Satelliten durch die Laufzeit ist die Kenntnis der aktuellen Position der Satelliten zum Zeitpunkt der Messung. Zu diesem Zweck übermittelt jeder Satellit kontinuierlich seine eigenen Orbitdaten (Ephemeriden) und die Orbitdaten der anderen Satelliten (Almanach). Weiterhin muß der Aussendezeitpunkt des Signals bekannt sein. Dies wird dadurch erreicht, daß im Empfänger zeitgleich (abgesehen von dem bereits erwähnten Off-Set der Uhren) zu den Satelliten ein identischer Code erzeugt wird. Da es sich bei GPS um ein Code Division Multiplex Access (CDMA)-Verfahren handelt, sendet jeder Satellit auf der gleichen Frequenz einen unterschiedliche Code aus. GLONASS, das russische Pendant zu GPS, benutzt den gleichen Code für alle Satelliten, allerdings auf unterschiedlichen Frequenzen. Man spricht in diesem Fall von Frequency Division Multiple Access (FDMA). Der GPS-Code besteht aus einer scheinbar zufälligen Aneinanderreihung von Bits, die einem Rauschsignal ähnelt, deshalb wird dieser auch als Pseudo Random Noise (PRN) bezeichnet. Über eine Kreuzkorrelation wird der empfangene PRN mit dem empfängerintern erzeugten PRN überlagert, bis eine optimale Übereinstimmung erzielt wird. Aus der Verschiebung der beiden Codes zueinander läßt sich die Laufzeit des Signals ermitteln. Neben der Messung des Codes kann auch die Trägerphase des GPS-Signals ausgewertet werden, hierzu müssen jedoch auftretende Phasemehrdeutigkeiten (Ambiguities) durch geeignete Algorithmen gelöst werden. Die Positionsbestimmung durch Trägerphasenauswertung erlaubt höchste Genauigkeiten von einigen Zentimetern bis zu einigen Millimetern.

Wäre das beschriebene System ohne **Fehlereinflüsse**, ließe sich aus der Laufzeit des Signals die tatsächliche Entfernung (Range) zwischen Empfängerantenne und Satellit berechnen. Da das Ergebnis jedoch durch eine Anzahl von Störeinflüssen verfälscht wird, spricht man von Pseudorange.

Bis zum 1.5.2000 wurde die Genauigkeit des zivilen GPS-Signals zusätzlich durch die Selective Availability (SA) verschlechtert. Bei der SA handelte es sich um eine beabsichtigte Verfälschung der Orbit- und Uhrenkorrekturen. Vor allem die Verfälschung der Uhrenkorrekturen trug zu einer Verschlechterung der GPS-Genauigkeit bei, da diese zu kurzfristigen Positionsschwankungen führten. Die verfälschten Orbitdaten würden zu längerfristigen Schwankung des Mittelwerts führen. Die SA wurde mit der Einführung der Block II Satelliten 1990 implementiert, war während des Golfkrieges vom 10.8.1990-1.7.1991 ausgeschaltet, weil es nicht genügend militärische Empfänger gab und wurde am 15.11.1991 wieder im ursprünglichen Umfang aufgeschaltet. Die SA war nicht permanent auf allen Satelliten aktiviert. Die vom DoD spezifizierte Genauigkeit von GPS betrug vor der Abschaltung von SA 100m ( $2\sigma$ ) horizontal und 150m ( $2\sigma$ ) vertikal.

---

<sup>25</sup> Information: bei bekannter Höhe

Die Fehlereinflüsse der Pseudorange und deren Quantifizierung (die Angaben stammen aus zwei Quellen) sind in der folgenden Tabelle zusammengefaßt.

Fehlerquelle	Durchschnittlicher Fehler (in m)	
	Quelle	
Quelle	Krakiwsky <sup>26</sup>	Montana State University <sup>27</sup>
Uhrenfehler der Satelliten	1,5	0-1,5
Fehler in der Bahnbestimmung der Satelliten	2,5	1-5
Fehler durch unterschiedliche Ausbreitungsbedingungen in der Ionosphäre	5,0	0-30
Fehler durch unterschiedliche Ausbreitungsbedingungen in der Troposphäre	0,5	0-30
Fehler durch Mehrwegeausbreitung (Multipath)	0,6	0-1
Fehler durch Meßungenauigkeiten des Empfängers	0,3	0-10
(SA <sup>28</sup> )	(30,0)	(30-100)
<b>Gesamt (mit SA)</b>	<b>40,4</b>	<b>40-120</b>
<b>Gesamt (ohne SA)</b>	<b>10,4</b>	<b>10-20</b>

Tabelle 6 Fehlereinflüsse der Pseudorange-Messung bei GPS

<sup>26</sup> Literatur: Krakiwsky, 1999

<sup>27</sup> URL: [www.montana.edu](http://www.montana.edu)

<sup>28</sup> Information: seit dem 1.5.2000 abgeschalten

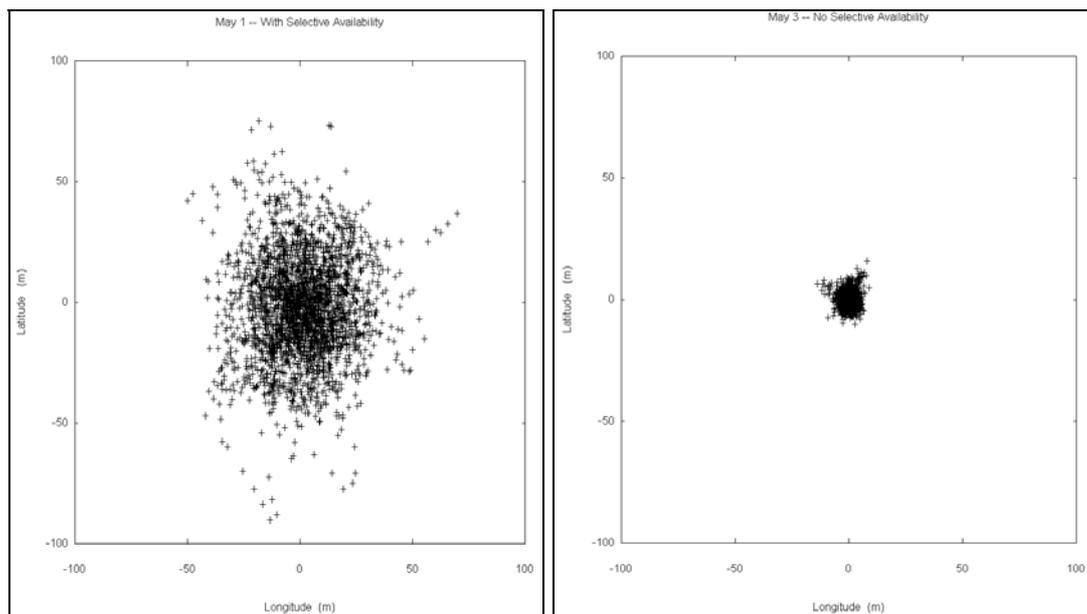
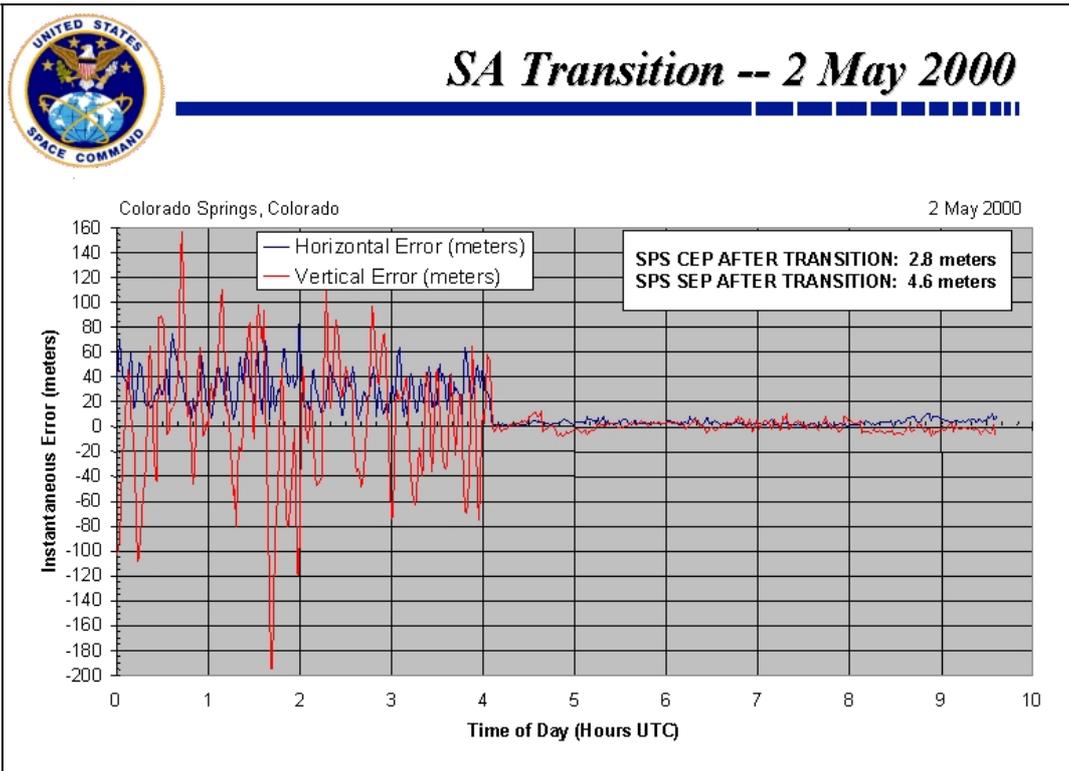


Abbildung 22 Vergleich der GPS-Genauigkeit vor und nach der Abschaltung der SA am 1.5.2000 <sup>29</sup>

Die erzielbare Genauigkeit ist neben den in Tabelle 6 aufgeführten Fehlerquellen auch von der geometrischen Konstellation der Satelliten abhängig. Eine gleichmäßige Verteilung der sichtbaren Satelliten ermöglicht eine höhere Genauigkeit. Eine Meßgröße zur Erfassung dieses Parameters ist die **Position Dilution of Precision (PDOP)**. Die Auswirkung der geometrischen Verteilung der Satelliten auf die horizontale bzw. vertikale Genauigkeit wird durch die Horizontal Dilution of Precision (HDOP) bzw. die Vertical Dilution of Precision (VDOP) beschrieben. Bei gleichen Meßergebnissen werden bei kleinen DOPs bessere Ergebnisse erzielt. Eine ausführliche Beschreibung der verschiedenen DOP-Werte und deren Berechnung findet sich im Anhang 6.5.

<sup>29</sup> URL: [www.igeb.gov/sa/diagram.shtml](http://www.igeb.gov/sa/diagram.shtml)

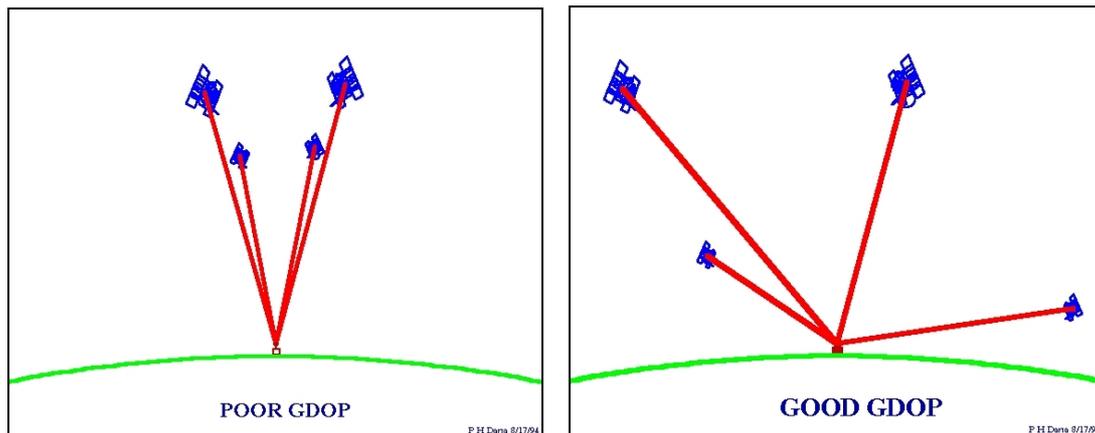


Abbildung 23 GDOP: Schlechte Geometrie (links) – Gute Geometrie (rechts)<sup>30</sup>

Ein weiterer wichtiger Leistungsparameter eines Navigationssystems ist neben der Genauigkeit die **Integrität**. Die GPS Satelliten werden in mehr als 95 % der Zeit von den Monitoringstationen beobachtet. Unter Berücksichtigung der spezifizierten Verfügbarkeit und des Bedeckungsbereichs beträgt die Wahrscheinlichkeit, daß ein horizontaler Positionsfehler von 500m nicht überschritten wird, mindestens 99,7 %. Eine Servicegarantie hinsichtlich der Integrität wird vom Systembetreiber jedoch nicht gegeben. GPS kann daher für sicherheitskritische Anwendungen wie z.B. in der Luftfahrt gegenwärtig nur eingesetzt werden, wenn durch geeignete Maßnahmen die Systemintegrität (z.B. durch Vergleich mit anderen Navigationssystemen, RAIM) geprüft und sichergestellt wird.

GPS ist ein global verfügbares System, wobei die **Verfügbarkeit** folgendermaßen definiert ist: Die Wahrscheinlichkeit, daß vier oder mehr Satelliten in einem 24-Stunden-Intervall mit einem PDOP von  $\leq 6$  bei einem Elevationswinkel von  $\geq 5^\circ$  sichtbar sind, beträgt im globalen Durchschnitt mindestens 99,9 %. Dabei muß beachtet werden, daß es sich bei dieser Angabe um einen globalen Mittelwert über 24 Stunden handelt, der keine unmittelbare Aussage darüber zuläßt, wie groß die tatsächliche Verfügbarkeit für einen Nutzer zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort der Erde ist.

Mit den Signalen der GPS Satelliten wird auch eine **Zeitinformation** mit einer Genauigkeit von 340 ns (95%) übertragen. Diese Information wird unter anderem für die Synchronisation von Kommunikations- und Stromnetzen genutzt.

Die **Geschwindigkeit** einer GPS-Antenne kann ebenfalls gemessen werden. Dies geschieht durch die Auswertung der Dopplerverschiebung der einzelnen Satellitensignale. Hierbei ist eine Genauigkeit von 0,3m/s erreichbar.

Das bestehende GPS-System unterliegt permanenten Verbesserungen. Dabei lassen sich zwei Programme unterscheiden, die parallel zur ständigen **Weiterentwicklung** der Satellitengenerationen stattfinden. Diese sind:

- Accuracy Improvement Initiative (All)
- Autonomous Navigation (AutoNav)

Die **All** besteht aus drei verschiedenen Maßnahmen zur Verbesserungen des Kontrollsegmentes, die der Reduzierung des Signal in Space Range Error (SISRE) dienen:

<sup>30</sup> URL: [www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps\\_f.html](http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html)

### 1) Einbindung zusätzlicher Monitorstationen

Aufgrund der geringen Anzahl und der nicht optimalen geographischen Verteilung (alle Stationen befinden sich zwischen 30°N und 30°S) der fünf GPS-Monitorstationen können die Satelliten teilweise nur von einer Station bzw. für einige Zeit überhaupt nicht beobachtet werden. Abhilfe schafft die Einbindung von sechs automatisierten Trackingstationen der National Imagery and Mapping Agency (NIMA) in Washington (USA), Quito (Ecuador), Buenos Aires (Argentinien), Hermitage (England), Bahrain und Salisbury (Australien). Von diesen sechs Stationen werden zukünftig die „1,5-Sekunden-Messungen“ sowie die geglätteten „15-Minuten-Mittelwerte“ in den Kalman-Filter zur Berechnung der Ephemeriden und Uhrkorrekturen eingehen. Die Anzahl der, in den Kalman-Filter eingehenden, Messungen wird damit verdoppelt und die bestehenden Beobachtungslücken können geschlossen werden.

### 2) Verbesserung des Kalman-Filters

Der derzeit verwendete Kalman-Filter besteht aus mehreren Teilfiltern, die jeweils die Uhren- und Troposphären Daten einer Monitorstation sowie die Ephemeriden, ionosphärischen Einflüsse und den Uhrenstatus für bis zu sechs Satelliten berechnen. Dieses „Teilfilter-Konzept“ beruht auf der limitierten Prozessorleistung in den 80er Jahren und einer einfacheren Eingrenzung möglicher Fehler. Die Leistungsfähigkeit moderner Computer ermöglicht mittlerweile eine Integration der Einzelberechnungen in einen einzigen Kalman-Filter. Untersuchungen durch die NIMA, Lockheed Martin, das Naval Surface Warfare Center und die Aerospace Corporation haben gezeigt, daß eine Umstrukturierung des Filters eine Verbesserung der Genauigkeit der prozessierten Daten von 10-15% bewirkt.

### 3) Erhöhung der Up-Loads

Nach der Kalman Berechnung in der Master Control Station werden die aktualisierten Ephemeriden und Uhrendaten an die Satelliten gesendet und in die Subframes 1-3 der Navigation Message aufgenommen. Diese werden bis zu einem erneuten Up-Load an die Nutzer ausgestrahlt. Häufigere Up-Loads tragen dazu bei die Aktualität der Daten zu erhöhen und somit die Genauigkeit des Systems zu verbessern. Heute finden täglich durchschnittlich 1,3 Up-Loads pro Satellit statt. Eine Verbesserung der Up-Loads wird durch zwei Maßnahmen erreicht:

- a) Zum einen werden Satelliten ausgewählt, bei denen eine besonders starke Drift der Atomuhr festgestellt wurde. Damit werden die zur Verfügung stehenden Up-Link-Ressourcen effektiver genutzt
- b) Zum anderen wird die Anzahl der Up-Link-Stationen erhöht. Dies wird durch die Einbindung des Air Force Satellite Control Network (AFSCN) realisiert

Während vor dem 1.5.2000 die Verbesserungen der All vor allem den militärischen Nutzern des PPS zu Gute gekommen wären, können seit der Abschaltung der SA auch zivile SPS-Nutzer profitieren. Die All soll bis 2005 abgeschlossen werden.

Unter **AutoNav** versteht man die Implementierung von Inter-Satellite-Links (ISL), die den Austausch von Informationen nicht nur über die Bodenstationen, sondern auch direkt zwischen den Satelliten ermöglichen. Die neuen Block IIR und IIF Satelliten sind mit dieser Option ausgestattet. Durch die Verwendung von AutoNav kann theoretisch die Update-Rate durch die Bodenstationen von 1x täglich auf Abstände von 60-180 Tage reduziert werden, ohne daß eine kritische Verschlechterung der Positionierungsgenauigkeit zu befürchten ist. Zur Inbetriebnahme des Verfahrens sind mindestens sechs Block IIR/IIF-Satelliten erforderlich. Eine Modifizierung des Nutzersegments ist nicht erforderlich. Die Full Operational Capability (FOC) von AutoNav wird für 2002 erwartet (Shaw et al., 2000).

### 3.1.2.2.2 GLONASS

GLONASS ist die Abkürzung für Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (Global Navigation Satellite System) und ist das russische Pendant zu GPS. GLONASS wird von den Raumstreitkräften der Russischen Föderation betrieben. Das **Raumsegment** bestand ursprünglich aus 24 Satelliten, die in drei Umlaufbahnen in einer Höhe von 19 133km angeordnet waren. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind, nach einem erfolgreichen Start von drei Satelliten im Dezember 2001, sieben operationelle Satelliten im Orbit (<http://gibs.leipzig.ifag.de>). Die Umlaufzeit beträgt 11 Stunden 16 Minuten, die Inklination der Satellitenbahnen  $64,3^\circ$ . GLONASS wird im FDMA-Verfahren betrieben. Die L1-Frequenzen von GLONASS liegen im Bereich 1602-1615 MHz. mit einem Abstand von jeweils 562,5 kHz. Die L2-Frequenzen liegen im Bereich 1246-1256 MHz. mit einem Abstand von jeweils 437,5 kHz.

Das **Kontrollsegment** von GLONASS besteht aus:

- einem Systemkontrollzentrum (Moskau)
- fünf Meß- und Kommandostationen
- drei Monitorstationen
- zwei Hauptmeßstationen
- vier Lasermeßstationen

Da sich das gesamte Kontrollsegment auf dem Gebiet der ehemaligen UdSSR befindet, ergeben sich Nachteile bei der Überwachung der Satelliten, teilweise besteht bis zu 16 Stunden keine LoS zu einer der Monitorstationen.

Das GLONASS **Nutzersegment** besteht, wie bei GPS, aus Empfängern, Prozessoren, Software und Antennen, die es den Anwendern ermöglichen, die Signale der GLONASS-Satelliten zu empfangen und ihre genaue Position, Geschwindigkeit und Zeit zu bestimmen. Neben reinen GPS und GLONASS Empfängern sind auch kombinierte Empfänger auf dem Markt erhältlich.

Die kostenlose Nutzung der GLONASS-Signale wurde im Jahr 1996 von der Russischen Föderation in einer einseitigen Erklärung gegenüber der ICAO und der IMO (International Maritime Organization) für 15 Jahre angeboten.

Weitere **Unterschiede zwischen GPS und GLONASS** liegen im verwendeten geographischen Bezugssystem und im verwendeten Zeitsystem. Die von GLONASS gelieferten Positionsdaten werden im Parametry Zemli 90-System (PZ) angegeben, GPS Positionsinformationen hingegen im World Geodetic System 1984 (WGS 84). Eine Transformation zwischen den beiden Systemen ist möglich und der damit verbundene Aufwand ist vom erwünschten Genauigkeitsniveau abhängig. GLONASS verwendet als Zeitreferenz die Universal Time Coordinated–Soviet Union (UTC-SU) während die GPS-Systemzeit aus der UTC-USNO (US Naval Observatory) abgeleitet wird (die GPS-Systemzeit enthält im Gegensatz zur UTC-USNO keine Schaltsekunden). Eine Umrechnung zwischen beiden Zeitsystemen ist ebenfalls möglich.

Wie GPS bietet GLONASS einen militärischen Service (Channel of High Accuracy, CHA) und einen zivilen Service (Channel of Standard Accuracy, CSA) an.

Die von russischer Seite bekanntgegebenen Genauigkeiten für den CSA sind:

- Horizontal: 60m (99,7 %)
- Vertikal: 75m (99,7 %)
- Geschwindigkeit: 0,15m/s (95 %)

Die praktischen Erfahrungen mit GLONASS zeigten, daß diese Werte bei guter Satellitenkonstellation (1996, als das GLONASS-Raumsegment noch aus 24 operationellen Satelliten

bestand) deutlich übertroffen wurden. Typische Genauigkeitswerte lagen in der Größenordnung von 20m (horizontal).

### 3.1.2.2.3 Galileo

Basierend auf den beiden heute verfügbaren Satellitennavigationssystemen GPS und GLONASS hat die Satellitennavigation Einzug in eine Vielzahl von Anwendungsbereichen gefunden. Für einige Einsatzbereiche wie z.B. Präzisionsanflüge und Zugleit- und Überwachungssysteme reichen jedoch die Leistungsparameter der heutigen Systeme nicht aus, um die hohen technischen Anforderungen zu erfüllen. Außerdem werden sowohl GPS als auch GLONASS von ausländischem Militär betrieben und können somit auch die institutionellen Anforderungen, die bei dem Einsatz für sicherheitskritische Anwendungen notwendig sind, nicht erfüllen.

Aus diesen Gründen hat die EU per Ratsentschließung vom 19.12.1994 zum einen die Entwicklung und Implementierung eines europäischen zivilen Ergänzungssystems unter der Bezeichnung European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS), zum anderen Validierungen zum Aufbau eines autonomen zivilen Satellitennavigationssystems beschlossen. In einer Mitteilung vom 10.2.1999 schlägt die Europäische Kommission den Aufbau eines globalen, dem neuesten Stand der Technik entsprechenden Satellitennavigationssystems einschließlich terrestrischer Infrastruktur unter der Bezeichnung „Galileo“ vor.

Unter **GNSS-1** versteht man die heute verfügbaren Satellitennavigationssysteme GPS und GLONASS einschließlich der satellitenbasierten Ergänzungssysteme EGNOS, WAAS und MSAS (MTSAT<sup>31</sup> based Satellite Augmentation System) (siehe Kapitel 3.1.2.2.4.2). Der Begriff **GNSS-2** definiert die zukünftigen integrierten Satellitennavigationssysteme unter Beteiligung des autonomen europäischen Systems Galileo.

Am 17.6.1999 forderte der Verkehrsministerrat unter deutscher Ratspräsidentschaft die Kommission auf, eine **Definitionsphase** für Galileo bis Ende des Jahres 2000 durchzuführen. Die Ratsentschließung hierzu wurde am 19. Juli 1999 verabschiedet.

Während der Definitionsphase wurden folgende Studien durchgeführt:

- GALA (Galileo Overall Architecture Definition)
- GalileoSat (Galileo Space Segment and related Ground Segment)
- GEMINUS (Galileo European Multi-Modal Integration Navigation Service)
- INTEG (Integration of EGNOS into Galileo)
- SAGA (Standardisation Activities for Galileo)
- Begleitende Aktivitäten:
  - GENESIS (Galileo European Network of Experts to Support the European Commission)
  - GAST (Galileo Architecture Support Team)
  - SARGAL (Study for Search and Rescue in Galileo)
  - GUST (Galileo Use Support Transport)
  - verschiedene Arbeitsgruppen

Hinsichtlich der Systemauslegung soll Galileo folgende **Anforderungen** erfüllen:

- Globale Verfügbarkeit
- Kompatibilität/Interoperabilität zu GPS und GLONASS

---

<sup>31</sup> Information: Multi Transport Satellite

- Medium Earth Orbit (MEO) Konstellation  
(Diese Lösung ist mit dem geringsten technischen Risiko verbunden, da für diese Technologie bereits Erfahrungen durch GPS und GLONASS vorliegen)

Die Kosten für Galileo werden derzeit mit 2,2-2,95 Mrd. Euro beziffert. Aufgrund der gegenwärtig bestehenden Wettbewerbsverzerrung durch das kostenlos verfügbare GPS Signal hält die Kommission eine anteilige öffentliche **Finanzierung** der Basisinfrastruktur für unverzichtbar. Die Definitionsphase wurde mit je 40 Mio. Euro von ESA (European Space Agency) und EC finanziert. Für die anschließende Test und Validierungsphase ist der Einsatz von je 550 Mio. Euro aus EU-Programmen<sup>32</sup> und dem ESA-Etat vorgesehen. Die weitere Finanzierung (Deployment and Operation) soll durch privatwirtschaftliche Beteiligungen im Rahmen einer Public Private Partnership (PPP) erfolgen. Als **Zeitraumen** für den operationellen Betrieb von Galileo wird 2008 angepeilt (EC, 1999).

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Definition Phase	█								
Preliminary Design		█	█						
Development and Validation			█	█	█	█			
Full Deployment							█	█	█
Operations							█	█	█
Technology Support	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Test Bed	█	█	█	█	█	█	█	█	█

Abbildung 24 Zeitplan Galileo<sup>33</sup>

Während der Definitionsphase wurden folgende Nutzeranforderungen ermittelt:

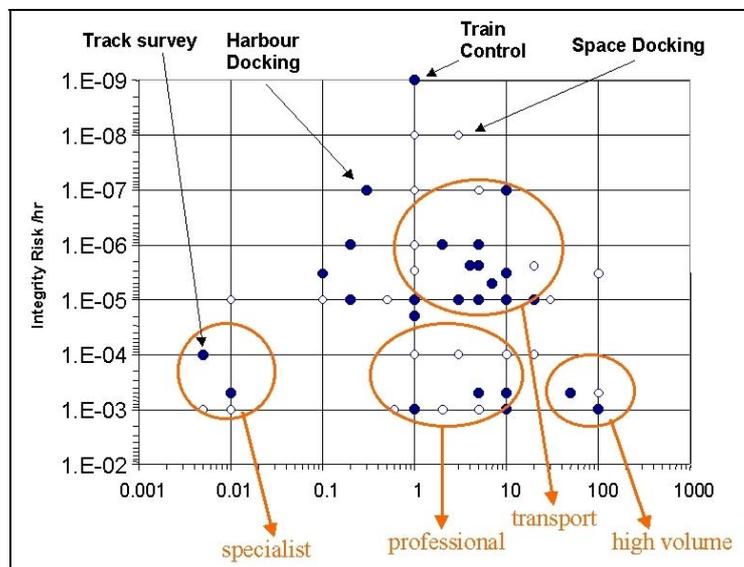


Abbildung 25 Ergebnis der Anforderungsanalyse für Galileo<sup>34</sup>

<sup>32</sup> Information: TransEuropean Networks (TEN), 5. und 6. Forschungsrahmenprogramm

<sup>33</sup> Literatur: EC, 2001(1)

<sup>34</sup> Literatur: EC, 2001(3)

Folgende Galileo **Service**stufen sind in der Diskussion:

- Open Service (OS): ein kostenfreier Dienst für alle Nutzer, der Positions- und Zeitinformationen in vergleichbarer Qualität zu anderen existierenden Systemen bietet (unter Berücksichtigung der Weiterentwicklung bestehender Systeme bis 2008)
- Commercial Service (CS): ein auf dem OS basierender kostenpflichtiger Dienst, der zusätzlich Integritätsinformationen ausstrahlt
- Safety Of Life (SOL)/Public Regulated Service (PRS): ein Dienst der auf die Bedürfnisse sicherheitskritischer Anwendungen, Search and Rescue und BOS ausgerichtet ist

Auf der Tagung des Verkehrsministerrats vom 21.12.2000 konnte hinsichtlich der Finanzierung von Galileo keine Einigung erzielt werden. Obwohl sich die Kommission und die Mehrzahl der Mitgliedsstaaten für einen sofortigen Beginn der erforderliche Maßnahmen aussprachen, verhinderten die Bedenken einiger Mitgliedsstaaten bezüglich der noch ungeklärten Einbeziehung öffentlicher Dienste, der ungeklärten militärischen Nutzung und der finanziellen Beteiligung seitens der Privatwirtschaft eine Einigung. (BMVBW (4), 2000).

Im März 2001 erfolgt eine Zusage verschiedener Firmen und Organisationen (Alcatel, Thales, Enav, Telespazio und Aena) sich bis 2005 mit 200 Mio. Euro an der Entwicklung von Galileo zu beteiligen. Am 5.4.2001 beschloß der Ministerrat der Verkehrsminister das Galileo-Programm fortzusetzen und weitere 100 Mio. Euro bereit zu stellen. Der gleiche Betrag wird von der ESA für die nächste Phase der Galileo Entwicklung zur Verfügung gestellt. Um eine Kostenexplosion für den öffentlichen Sektor zu vermeiden, wurde beschlossen, bei der nächsten Tagung des Verkehrsministerrats im Dezember 2001 eine Obergrenze für die Förderung von Galileo festzulegen (<http://dailynews.yahoo.com>, Reuters). Der ESA-Ministerrat gab die benötigten Finanzmittel in Höhe von 550 Mio. Euro im November 2001 frei, der EU-Verkehrsministerrat konnte auch bei der Tagung im Dezember keine Einigung erzielen und die Entscheidung wurde auf März 2002 verschoben.

### 3.1.2.2.4 Ergänzungssysteme

Zur Verbesserung der Genauigkeit, Verfügbarkeit und Integrität werden satellitengestützte Positionierungs- und Navigationssysteme durch Ergänzungssysteme unterstützt. Diese basieren auf folgendem Prinzip:

Die GNSS-Signale werden von einer oder mehreren Referenzstationen, deren Position bekannt ist, empfangen. Aus dem Vergleich zwischen berechneter und tatsächlicher Position der Referenzstation lassen sich differentielle Korrekturwerte zur Genauigkeitssteigerung und Integritätsinformationen berechnen. Diese Informationen werden an die mobilen Nutzer übertragen. Erfolgt die Datenübertragung durch terrestrische Kommunikationsinfrastruktur, spricht man von Ground Based Augmentation Systems (GBAS), wird hierzu ein Satellit verwendet, spricht man von Space Based Augmentation Systems (SBAS). Von den Satelliten der SBAS wird zusätzlich ein Ranging-Signal ausgestrahlt, um die Verfügbarkeit zu erhöhen.

#### 3.1.2.2.4.1 Ground based Augmentation Systems (GBAS)

Bodengestützte Ergänzungssysteme werden vor allem zur Steigerung der Genauigkeit eingesetzt. Man spricht in diesem Fall von DGNSS bzw. von DGPS oder DGLONASS. Je nach Reichweite des DGNSS unterteilt man diese in:

- lokales DGNSS („local area differential“)
- regionales DGNSS („regional area differential“)
- Weitbereichs-DGNSS („wide area differential“)

Die Genauigkeit von DGNSS nimmt mit zunehmender Länge der Basislinie zwischen Empfänger und Referenzstation ab. Bei regionalem DGNSS bzw. Weitbereichs-DGNSS werden nicht Korrekturdaten einer Referenzstation, sondern Mittelwerte aus einem Netz von Referenzstationen berechnet.

Man unterscheidet drei Arten von differentiellen Korrekturdaten:

1) Korrekturdatenberechnung auf Positionsbasis

Die Korrekturwerte werden in Form einer Transformationsanweisung für die Positionskordinaten übermittelt. Diese Transformation wird anschließend im Nutzerempfänger durchgeführt. Die zu übertragende Datenmenge ist klein, so daß auch Kommunikationsmedien mit einer geringen Datenübertragungskapazität verwendet werden können. Ein Nachteil liegt darin, daß Nutzer und Referenzstation die gleichen Satelliten verwenden müssen. Dieses Verfahren beschränkt sich hauptsächlich auf kurze Basislinien.

2) Korrekturdatenberechnung auf Schrägentfernungsbasis

Bei diesem Verfahren werden die Differenzen zwischen gemessenen und tatsächlichen Schrägentfernungen zu den Satelliten berechnet und an den Nutzer gesendet. Da die Referenzstation in der Regel so positioniert ist, daß möglichst viele Satelliten empfangen werden, kann der Nutzerempfänger die Korrekturwerte der von ihm empfangenen Satelliten auswählen. Damit ist eine gewisse Flexibilität hinsichtlich der verwendeten Satellitenkonstellation und somit auch eine Anwendung bei längeren Basislinien möglich, allerdings werden auch höhere Datenraten zur Übertragung der Informationen benötigt.

3) Korrekturdatenberechnung auf Rohdatenbasis

Beim Rohdatenverfahren werden die vom Referenzempfänger gemessenen Daten an den mobilen Empfänger übermittelt. Dadurch wird eine höhere Genauigkeit ermöglicht. Allerdings werden bei dieser Technik empfängerspezifische Daten übertragen, so daß Referenzstation und Mobilempfänger vom gleichen Hersteller stammen müssen.

In der Regel werden zur Übertragung der Korrekturdaten der Methode 2) folgende standardisierten Datenformate verwendet:

- RTCM SC 104 (Radio Technical Commission for Maritime – Special Committee 104)
- RTCA SC 159 (Radio Technical Commission for Aviation – Special Committee 159)

Eine Gegenüberstellung der mit DGPS erreichbaren Genauigkeiten gegenüber stand-alone GPS ist (aufgeschlüsselt nach Fehlerquelle) in der folgenden Tabelle wiedergegeben.

Fehlerquelle	Durchschnittlicher Fehler (in m)	
	GPS	DGPS
Uhrenfehler der Satelliten	1,5	0
Fehler in der Bahnbestimmung der Satelliten	2,5	0
Fehler durch unterschiedliche Ausbreitungsbedingungen in der Ionosphäre	5,0	0,4
Fehler durch unterschiedliche Ausbreitungsbedingungen in der Troposphäre	0,5	0,2
Fehler durch Mehrwegeausbreitung (Multipath)	0,6	0,6
Fehler durch Meßungenauigkeiten des Empfängers	0,3	0,3
(SA <sup>35</sup> )	(30,0)	(0)
<b>Gesamt (ohne SA)</b>	<b>10,4</b>	<b>1,5</b>

Tabelle 7 Fehlerquellen und -größen für GPS und DGPS <sup>36</sup>

Erfolgt der Update der Korrekturinformationen im Nutzerempfänger in sehr kurzen Zeitintervallen (2-3 Sekunden), spricht man von Real Time Kinematic (RTK). Die erzielbaren Genauigkeiten im Vergleich zu GPS bzw. konventionellen DGPS sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

<sup>35</sup> Information: Seit 1.5.2000 abgeschaltet

<sup>36</sup> Literatur: Krakiwsky, 1999

Typische Positionsgenauigkeit (m)	GPS (mit SA) <sup>37</sup>	GPS (ohne SA) <sup>38</sup>	DGPS <sup>39</sup>	RTK <sup>39</sup>
Horizontal	100	7,6	1,0	0,01
Vertikal	156	9,2	2,0	0,02

Tabelle 8 Typische Positionsgenauigkeiten für GPS, DGPS und RTK

#### 3.1.2.2.4.2 Space based Augmentation Systems (SBAS)

Satellitengestützte Ergänzungssysteme werden eingesetzt, um differentielle Korrekturdaten, Integritätsinformationen und Ranging-Signale über ein größeres Gebiet (z.B. Europa, Nordamerika, Asien) zu übertragen. Ein Netzwerk von Bodenstationen mißt die Signale der Navigationssatelliten, diese Messungen werden über ein Kommunikationsnetzwerk an ein Kontrollzentrum übertragen. Aus Redundanzgründen werden zum Teil mehrere Kontrollzentren genutzt. Dort werden die differentiellen Korrekturdaten und die Integritätsinformationen berechnet und über Up-Link Stationen an die Satelliten des Ergänzungssystems gesendet. Diese wiederum strahlen diese Informationen und ein Ranging-Signal an die mobilen Nutzer aus. Derzeit werden zur Übertragung der SBAS-Signale ausschließlich geostationäre Satelliten verwendet. Zur Nutzung der Signale ist eine LoS zu den geostationären Satelliten erforderlich. Dies bedingt eine limitierte Anwendbarkeit in Gebieten mit ungünstigen Abschattungsbedingungen durch Hindernisse bzw. in höheren geographischen Breiten.

Folgende SBASs sind im Aufbau:

- European Geostationary Navigation Overlay System (EGNOS) für Europa
- Wide Area Augmentation System (WAAS) für Nordamerika
- MTSAT based Satellite Augmentation System (MSAS) für Asien

##### 3.1.2.2.4.2.1 EGNOS

EGNOS wird von der European Tripartite Group (ETG), bestehend aus der Europäischen Kommission, Eurocontrol und der ESA entwickelt und implementiert. Das Funktionsprinzip von EGNOS ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

---

<sup>37</sup> Literatur: DoD/DoT, 1999

<sup>38</sup> Literatur: Farine, 2001

<sup>39</sup> Literatur: Krakiwsky, 1999

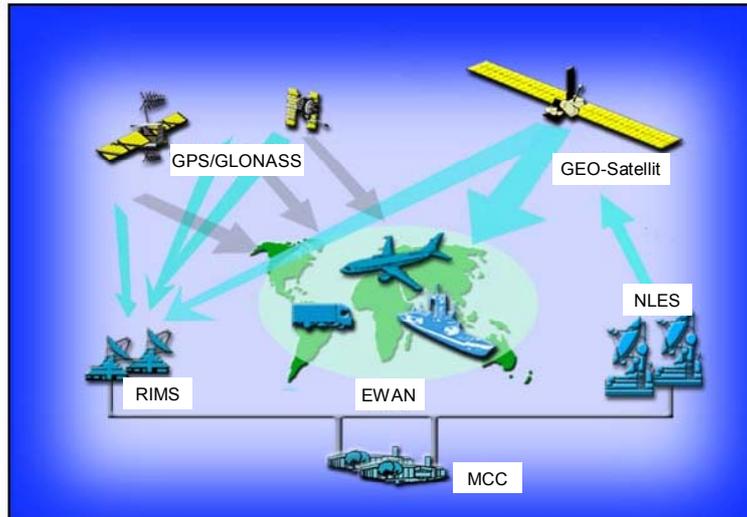


Abbildung 26 EGNOS Funktionsprinzip <sup>40</sup>

Die Signale der GPS- und GLONASS-Satelliten werden im **Endausbau** von EGNOS von 34 Ranging and Integrity Monitoring Station (RIMS) empfangen und über das EGNOS Wide Area Network (EWAN) an eines der vier Master Control Centres (MCC) übertragen. Dort werden die differentiellen Korrekturwerte und Integritätsinformationen berechnet und über EWAN zu den sechs Navigation Land Earth Stations (NLES) gesendet. Diese übertragen die Informationen zu den Geostationary Earth Orbit (GEO)-Satelliten, die anschließend die EGNOS-Daten an die Nutzer ausstrahlen. Durch Verwendung der differentiellen EGNOS-Korrekturdaten sollen Genauigkeiten von 2-3m erreicht werden.

Seit dem Frühjahr 2000 wird durch das **EGNOS Test Bed (ESTB)** ein Testsignal über den INMARSAT (International Maritime Satellite Organization)-Satelliten AOR-E (Atlantic Ocean Region-East) ausgestrahlt. Seit Herbst 2000 wird das Testsignal täglich 24 Stunden an 7 Tagen der Woche ausgestrahlt und seit Anfang 2001 wird das ESTB-Signal auch von dem INMARSAT-Satelliten IOR (Indian Ocean Region) übertragen.

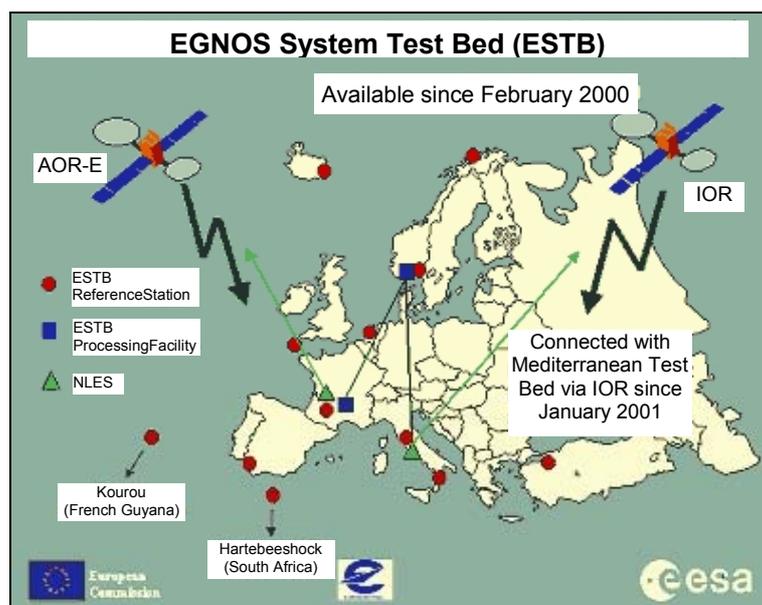


Abbildung 27 EGNOS Systemarchitektur <sup>41</sup>

<sup>40</sup> URL: [www.esa.int/EGNOS/pages/indexEGN.htm](http://www.esa.int/EGNOS/pages/indexEGN.htm)

<sup>41</sup> URL: [www.esa.int/export/esaSA/GGGE3A50NDC\\_navigation\\_1.html](http://www.esa.int/export/esaSA/GGGE3A50NDC_navigation_1.html)

Der dritte EGNOS Satellite (Artemis) wurde am 12.7.2001 mit einer Ariane 5 Rakete gestartet, aufgrund einer Panne wurde lediglich eine Orbithöhe von 17 500 km erreicht. Derzeit wird versucht den Satelliten in seinem geplanten Orbit zu positionieren. Dies geschieht in mehreren Phasen und soll voraussichtlich bis Ende 2001 abgeschlossen sein.

Die AOC von EGNOS soll bis 2004 erreicht werden.

#### 3.1.2.2.4.2.2 WAAS

Das Wide Area Augmentation System (WAAS) ist das US-amerikanischen Pendant zu EGNOS. Aufgrund diverser Verzögerungen und unzufriedenstellend verlaufenden Tests wurde das Budget für die WAAS-Aktivitäten der FAA (Federal Aviation Administration) in den letzten Jahren erheblich gekürzt. Der aktuelle Zeitplan sieht die (ursprünglich für Ende 2000 geplante) IOC für 2003 vor. Die technische Abnahme ist für September 2003 und die operationelle Bereitstellung für die Nutzer für Dezember 2003 geplant. Offizielle Angaben zur ursprünglich für 2006 geplanten FOC sind derzeit nicht verfügbar. Das Erreichen der FOC ist wesentlich von der Bewilligung weiterer Finanzmittel abhängig.

#### 3.1.2.2.4.2.3 MSAS

Das japanische MTSAT (Multi Transport Satellite) based Satellite Augmentation System (MSAS) ist ähnlich wie EGNOS und WAAS konzipiert. Verantwortlich für die Entwicklung und Implementierung von MSAS ist das Japanese Civil Aviation Bureau (JCAB). Nachdem 1999 der Start von MTSAT-1 (140°E) mißlang, ist für das erste Quartal 2003 der Start eines Nachfolgesatelliten geplant. IOC soll mit einem weiteren Satellitenstart Mitte 2004 erreicht werden und NPA (Non Precision Approach)-Anflüge ermöglichen.

MSAS soll einen Großteil des asiatisch/pazifischen Luftraums abdecken. Die Bodeninfrastruktur ist weitgehend fertiggestellt (allerdings noch nicht auf Redundanz ausgelegt) und besteht aus zwei Kontrollzentren und sechs Monitorstationen, von denen sich vier in Japan befinden.

### 3.1.3 Derzeitiger Einsatz in der Verkehrstelematik

Heute wird fast ausschließlich **GPS** zur Positionsbestimmung und Navigation der Fahrzeuge eingesetzt. Stand-alone GPS ist hinsichtlich der Genauigkeit und Verfügbarkeit für einige Anwendungen ausreichend (z.B. Flottenmanagement im internationalen Speditionswesen). Die meisten Anwendungen erfordern jedoch, vor allem in bebauten Gebieten, eine bessere Verfügbarkeit. Hierzu werden in der Regel die in Kapitel 3.1.2.1.2 und 3.1.2.1.3 beschriebenen Sensoren und Verfahren eingesetzt. Zur Steigerung der Genauigkeit werden von einigen Anwendern differentielle Korrekturverfahren eingesetzt. Für Anwendungen mit einem begrenzten räumlichen Einsatzgebiet (z.B. ÖPNV) werden hierzu oft eigene Referenzstationen mit einer geeigneten Kommunikationsanbindung verwendet. Anwendungen, die eine größere räumliche Flexibilität erfordern, nutzen in Deutschland meist den öffentlichen, von der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen (AdV) angebotenen, DGPS-Dienst SAPOS (Satellitenpositionierungsdienst der AdV).

Kombinierte GPS/GLONASS Empfänger werden hauptsächlich in der Schifffahrt, für landwirtschaftliche Anwendungen und zur Steuerung schwerer Baumaschinen eingesetzt. Aufgrund der höheren Preise (ca. 9 000 Euro) gegenüber stand-alone GPS Empfängern (komplette Navigationssysteme ca. 500-1500 Euro) und der geringen Anzahl an operationellen GLONASS Satelliten spielen kombinierte Empfänger im Massenmarkt des Straßenverkehrs keine Rolle. Auf eine Simulation der GLONASS-Verfügbarkeit im praktischen Teil dieser Arbeit wurde deshalb verzichtet.

Terrestrische Infrastruktur wie **Baken** werden nur teilweise für Anwendungen des ÖPNV zur Positionsbestimmung der Fahrzeuge verwendet, da diese meist an festgelegte Fahrtrouten gebunden sind. Im Rahmen von Pilotprojekten (STORM, Euroscout) wurden Bakensysteme auch zur Positionsbestimmung im individualisierten Verkehr erprobt. Ein operationeller Einsatz im Massenmarkt findet gegenwärtig nicht statt.

### 3.1.4 Zukünftige Entwicklungen

Das satellitenbasierte Ergänzungssystem **EGNOS** wird seit der Verfügbarkeit des Testsignals im Frühjahr 2000 für unterschiedliche Anwendungsbereiche unter anderem auch für den Straßenverkehr getestet. Aufgrund der in Kapitel 3.1.2.4.2 aufgezeigten Probleme beim Einsatz von SBAS (erforderliche LoS) bedarf der Einsatz von EGNOS in Stadtgebieten einer näheren Untersuchung. Entsprechende Simulationen sind im Kapitel 4.4.3.6 zu finden.

Die verschiedenen Servicestufen des geplanten zivilen Satellitennavigationssystems **Galileo** werden folgende Anwendungsbereiche innerhalb des Straßenverkehrs unterstützen:

- OS: Erhöhung der Signalverfügbarkeit im Massenmarkt, z.B. Zielführungssysteme
- CS: Garantierter Service und Verfügbarkeit für kommerzielle Anwendungen, z.B. Just-in-Time Delivery
- SOL/PRS: unterschiedliche Anwendungen im Bereich BOS, z.B. Polizei, Feuerwehr, Rettungsdienste

Welche konkreten Verbesserungen hinsichtlich der Signalverfügbarkeit in Stadtgebieten durch den Einsatz von Galileo bzw. einer kombinierten Nutzung mit GPS zu erwarten sind, wird in Kapitel 4.4.3.4 untersucht.

Das terrestrische Langwellennavigationssystem **Loran-C** bietet in Verbindung mit dem integrierten DGNSS-Dienst Eurofix ein geeignetes komplementäres Ergänzungssystem zu GNSS. Der Nutzen von Loran-C/Eurofix für Straßenverkehrsanwendungen wird im Rahmen eines aktuellen Test- und Validierungsprogramms (LOREG) untersucht. Folgende Vorteile ergeben sich aus einer kombinierten Nutzung:

- gute Signalverfügbarkeit in bebauten Gebieten oder in stark abgeschatteten Umgebungen
- geringe Störanfälligkeit gegen Jamming aufgrund der hoher Sendeleistung von ca. 250 kW
- geringe Betriebskosten (<< 5% der geschätzten Galileo Betriebskosten)
- Ausstrahlung von DGNSS-Daten
- Ausstrahlung von DGNSS-Integritätsinformationen
- Zivile Systemkontrolle
- im TOE-Modus: kombinierte Nutzung mit GNSS

Aufgrund der guten Verfügbarkeit in Umgebungen, in denen die GNSS-Signale nicht oder nur unzureichend empfangen werden können (z.B. in Straßenschluchten), bieten **mobil-funkbasierte Positionsbestimmungsverfahren** ein interessantes Nutzungspotential für Verkehrstelematikanwendungen. Erste Systeme, die auf Zellenortung basieren, werden derzeit für kundenspezifische Verkehrsinformationen eingesetzt. Die Einführung von genaueren aber auch kostenintensiveren Verfahren hängt unter anderem von einer zukünftigen gesetzlich reglementierten Einführung einer Positionsbestimmung für mobile Notrufe ab. Die Implementierung eines derartigen Systems bis 2003 wurde in den USA durch die FCC beschlossen (siehe Kapitel 3.1.2.1.5). In Europa wird momentan die Einführung einer ähnlichen Reglementierung für die einheitliche europäische Notrufnummer 112 diskutiert ([www.telematica.de/locus](http://www.telematica.de/locus), [www.telematica.de/cgalies](http://www.telematica.de/cgalies)).

## 3.2 Kommunikation

Bis auf wenige Ausnahmen (z.B. autonome, nicht-dynamische Zielführung) benötigen alle Verkehrstelematikanwendungen eine Kommunikationsverbindung. Das folgende Kapitel beschreibt die Kommunikationsverfahren, die in der Verkehrstelematik verwendet werden bzw. deren Einsatz zukünftig denkbar ist.

### 3.2.1 Anforderungen

Die Kommunikationsverfahren lassen sich nach der Richtung des Informationsflusses (uni-direktional, bidirektional), der Art der übermittelten Informationen (Daten, Sprache) und der Platzierung der Sender (terrestrisch, satellitengestützt) unterscheiden. Die folgende Tabelle faßt die Anforderungen der in Kapitel 2.2.1 beschriebenen Anwendungen zusammen.

Anwendung	Richtung		Art		Plazierung	
	unidirektional	bidirektional	Daten	Sprache	terrestrisch	Satellit
Autonome Zielführung		O <sup>42</sup>	O		O	
Zentrale Zielführung		X	X	O	X	
FCD	X	O <sup>43</sup>	X		X	(X) <sup>44</sup>
Unfallnotruf		X	X	X	X	(X) <sup>45</sup>
Pannennotruf		X	X	O	X	
Diebstahlschutz	X <sup>46</sup>	X <sup>47</sup>	X		X	(X) <sup>48</sup>
Flottenmanagement		X	X	O	X	(X) <sup>49</sup>
Road Pricing	konzeptabhängig		X			
ÖPNV		X	X	O	X	
Parkraummanagement		X	X		X	
X = erforderlich, (X) = mit Einschränkungen, O = optional						

Tabelle 9 Anforderungen der Straßenverkehrstelematikanwendungen an das Kommunikationssystem <sup>50</sup>

Heute werden überwiegend terrestrische Kommunikationsverfahren zur Übermittlung der benötigten Informationen eingesetzt. Ein Nachteil dieser Methoden ist die Abhängigkeit von terrestrischer Infrastruktur. Die Verfügbarkeit ist vom jeweiligen Netzbetreiber abhängig und selbst in gut versorgten Industriestaaten hauptsächlich auf hohe Bevölkerungsanteile und nicht auf Flächendeckung ausgerichtet.

<sup>42</sup> Information: für Dynamische Zielführung

<sup>43</sup> Information: FCD-Steuerung

<sup>44</sup> Information: in Entwicklung (TrafficEye, siehe Kapitel 2.2.1)

<sup>45</sup> Information: Einsatz für SAR in der Schifffahrt und einige wenige Fahrzeugflotten. Noch nicht im Massenmarkt.

<sup>46</sup> Information: permanent aktive Systeme, die einen Alarm bei Verlassen eines definierten Bereichs auslösen

<sup>47</sup> Information: Systeme, die im Falle eines Diebstahls aktiviert werden

<sup>48</sup> Information: satellitengestützte Flottenmanagementsysteme z.B. Orbcomm werden bei Bedarf zur Ortung gestohlener Fahrzeuge eingesetzt. Derzeit kein Massenmarkt

<sup>49</sup> Information: einige wenige Systeme z.B. Orbcomm. Derzeit kein Massenmarkt

<sup>50</sup> Information: abgeleitet aus Kapitel 2.2.1



tomatisch in den RDS/TMC-Code konvertiert. Anschließend werden sie an die Landesmeldestellen der Polizei übermittelt, wo sie weiter ergänzt werden. Die aufbereiteten und ergänzten Meldungen werden dann an die Rundfunkanstalten weitergeleitet und ausgestrahlt. Für die europaweite Einführung wurden internationale Standards und Richtlinien entwickelt. RDS ist in Deutschland bundesweit bei allen öffentlich-rechtlichen und den meisten privaten Rundfunkanstalten eingeführt ([www.telematik.de](http://www.telematik.de)).

#### 3.2.2.2.2 DAB

DAB (Digital Audio Broadcasting) ist ein im Rahmen eines EUREKA-Projekts (Eigenname: Europewide Network for Industrial R&D) entwickelter digitaler Standard für die Verbreitung von Audioprogrammen. Zusätzlich zu den digital codierten Audiosignalen kann programmbegleitend oder programmunabhängig ein digitaler Datenstrom übertragen werden. Dabei ist innerhalb einer festgeschriebenen Gesamtdatenrate ein Austausch von Audio- gegen Datenübertragung möglich. Jeder Stereo-Audiokanal wird mit 192 kbps übertragen, für die Datenübertragung sind 64 kbps geplant, die in acht Kanäle mit jeweils 8 kBit aufgeteilt werden. Jeder 8 kBit-Kanal selbst kann im 'Stream-Modus' oder im 'Packet-Modus' betrieben werden. Bei letzterem wird der Kanal im Zeitmultiplex-Verfahren von verschiedenen Anwendungen genutzt, die einzelne Datenpakete fest definierter Größe über ihn versenden. Die Datendienste können im CA-Modus (Conditional Access) verbreitet werden, d.h. eine Begrenzung des Zugriffs für Nutzergruppen und auch eine Adressierung für einzelne Empfänger ist technisch möglich. Für DAB-Übertragungen sind Frequenzen im VHF-Bereich sowie im L-Band vorgesehen (47 MHz bis 68 MHz, 174 MHz bis 240 MHz und 1452 MHz bis 1467,5 MHz).

Die technischen Entwicklungen für den DAB-Betrieb sind weitgehend abgeschlossen, in der Bundesrepublik laufen zur Zeit in mehreren Regionen Pilotaussendungen mit einer unterschiedlichen Anzahl von mobilen und stationären Endgeräten. Für diese Pilotprojekte sind (regional unterschiedlich) DAB-Sender errichtet worden und die Industrie hat die Pilotteilnehmer mit Endgeräten verschiedener Leistungsklassen ausgestattet. Neben Deutschland haben auch die meisten westeuropäischen Länder eine Absichtserklärung für die Einführung von DAB abgegeben. Der Regelbetrieb ist bisher in Belgien, Großbritannien und Schweden aufgenommen worden.

### 3.2.2.3 Bidirektionale Kommunikationssysteme

Bidirektionale Kommunikationssysteme dienen in der Regel dem Informationsaustausch zwischen mobilen Fahrzeugen und einer ortsfesten Zentrale. Zweck der Kommunikation ist die Übermittlung der Fahrzeugposition und ggf. von Zusatzinformationen (z.B. Zustand der Ladung, Zielführungsanfrage, Detailinformationen zum Unfall/Panne, etc.) an eine anwendungsspezifische Verkehrsstelematikzentrale, sowie die Übertragung von Informationen (z.B. Umdisponierung der Fahrtstrecke, Zielführungsanweisungen, Telefonverbindung zum Rettungs/Pannendienst) von der Zentrale (oder dritten) zum Fahrzeug. Die Informationen werden entweder als Daten oder per Sprachkanal übertragen. In einigen Fällen werden die Kommunikationssysteme auch zum direkten Informationsaustausch zwischen den Fahrzeugen verwendet (z.B. ÖPNV-Funkverkehr).

#### 3.2.2.3.1 Baken

Der Einsatz von Baken dient nicht nur der Positionsbestimmung von Fahrzeugen (siehe Kapitel 3.1.2.1.1) sondern auch der Übertragung von Daten zwischen Fahrzeugen und Baken. Der Einsatz von Baken-Technologie zu Kommunikationszwecken wurde unter anderem in den Programmen Euroscout und STORM getestet. Bei Euroscout wurden die Baken mit einer Zentrale verbunden und von dort aus verwaltet, so daß die übermittelten Informationen zentral aktualisiert werden konnten. Mit einer Übertragungsrate von 500 kbps wurden die Daten an die Fahrzeuge übertragen und die Fahrer über Streckensperrungen, Umleitungen etc. informiert. In Stuttgart wurden im Rahmen des Projekts STORM die Baken mit RDS/TMC kombiniert. Sobald vom Fahrzeug die vorhandene Baken-Infrastruktur erkannt

wurde, schaltete der Bordrechner auf Bakenkommunikation um und führte eine neue Positionierung und ein Kartenupdate aus. Befand sich das Fahrzeug außerhalb des mit Baken ausgestatteten Gebietes, wurden die durch RDS/TMC ausgestrahlten Verkehrsinformationen verarbeitet.

In Japan werden Bakensysteme eingesetzt, um im Rahmen des „Vehicle Information and Communication Systems (VICS)“ zusätzlich zur Radioübertragung aktuelle Verkehrs-, Wetter-, Unfall- und Parkplatzinformationen an die Fahrzeuge auszusenden. Dazu werden Mikrowellen-Baken mit einer Datenübertragungsrate von 64 kbps und einer Reichweite von 60-70m sowie Infrarot-Baken mit einer Datenübertragungsrate von 1 Mbps und einer Reichweite von ca. 3,5m verwendet. VICS wurde 1996 in Tokyo und entlang der Autobahn zwischen Tokyo und Osaka eingeführt. Eine Abdeckung für ganz Japan wird bis 2009 angestrebt. Ende 1998 waren 896 000 Fahrzeuge mit VICS-Empfängern ausgestattet (Krakivsky, 1999).

Weitere Einsatzgebiete der Bakenkommunikation sind Busleitsysteme, ÖPNV Ampelvorrangschaltungen und die Übermittlung lokaler Warnmeldungen.

### 3.2.2.3.2 Datenfunknetze

Datenfunknetze dienen ausschließlich der Übertragung von Daten. In Deutschland wurde der Markt von einem Anbieter (T-Mobil) durch das System Modacom bedient. Modacom nahm den Betrieb 1993 auf und wurde zum 31.12.2000 eingestellt. Andere Datenfunknetze werden derzeit in Deutschland nicht betrieben. Modacom nutzte den Organisationskanal des C-Netzes. Die Informationen wurden durch paketorientierte Datenkommunikation im Frequenzbereich von 417-437 MHz. übermittelt. Lediglich das übertragene Datenvolumen war gebührenpflichtig. Die Abdeckung betrug für das Gebiet der Bundesrepublik 85%, in Ballungsgebieten wurden 100% erreicht. Als Geräte wurden spezielle Modacom Terminals und Laptops mit Funkmodem verwendet. Die ehemaligen Nutzer von Modacom verwenden heute GSM.

### 3.2.2.3.3 Bündelfunknetze

Bündelfunknetze sind aus dem Betriebsfunk entstanden. Im Gegensatz zum Betriebsfunk mit wenigen Frequenzen ist im Bündelfunk durch eine effiziente Nutzung eines ganzen Frequenzbündels bei Überlastung einzelner Frequenzbereiche ein Ausweichen auf andere Frequenzbereiche möglich. Dadurch kann eine Steigerung der Kapazität um das 4-5fache erreicht werden. Der öffentliche Bündelfunk wird in Deutschland im Frequenzband von 410-418 MHz und 420-428 MHz. betrieben. Der Bereich von 418-420 MHz. ist lokalen privaten Mobilfunknetzbetreibern vorbehalten. Bündelfunk ist kein Vollduplex-Verfahren, sondern ein Semiduplex-Verfahren, d.h. ein gleichzeitiges Sprechen und Hören ist nicht möglich. Der Informationsaustausch erfolgt durch Wechselsprechen bei einer begrenzten Verbindungsdauer von ca. drei Minuten. Neben der Sprachverbindung bieten Bündelfunknetze auch die Möglichkeit der Datenübertragung, dabei werden zwei Formate unterschieden:

- Short Data Messages mit max. 176 Bit
- Extended Data Messages mit max. 4x176 Bit

In Deutschland wurden bis vor einigen Jahren Bündelfunknetze von folgenden Betreibern angeboten:

- T-Mobil
- Quickfunk
- Terrafon
- Chekker

Heute konzentriert sich die Nutzung der Bündelfunkfrequenzen beim Anbieter Dolphin. Das Nachfolgesystem wird unter der Bezeichnung TETRA PMR (Trans European Trunked Radio

– Professional Mobile Radio) eingeführt. Die Infrastruktur-Technik wird von den Firmen Motorola und Nokia vertrieben. Neben TETRA PMR, das in einem Frequenzband von 420-430 MHz. arbeitet und zivilen Nutzern zugänglich ist, wird in Europa auf einem niedrigeren Frequenzband (380-390 MHz. = NATO-Band) das militärische Tetrapol betrieben. In Ländern, in denen die Polizei dem Militär zugeordnet ist (z.B. Frankreich, Italien, Spanien), wird Tetrapol für Polizeiaufgaben genutzt. Die polizeiliche Nutzung von Tetrapol in Deutschland ist gegenwärtig im Gespräch.

Momentan nimmt laut Aussage von Dolphin die Nutzung von Bündelfunk für Sprechverbindungen ab (Abwanderung zu GSM) und die Datenübertragung zu. Flottenmanagementanwendungen spielen hierbei eine wichtige Rolle. Bündelfunk erlaubt eine Verschlüsselung der Daten. Dies ist aus Gründen des Datenschutzes für eine Reihe von Verkehrstelematikanwendungen (z.B. FCD) von Bedeutung.

Als Geräte werden entweder datenübertragungsfähige Funkgeräte oder Laptops mit Funkmodem verwendet. Die Reichweite für Bündelfunk-Anwendungen liegt unter 50km.

#### 3.2.2.3.4 GSM/SMS

GSM (Global System for Mobile Communication) ist ein zellenbasierter Vollduplex-Funkkommunikationsdienst. Ursprünglich mit einer speziellen Datenkompressionstechnik für die Übertragung von Sprache optimiert, kann auch eine Datenübertragung und ein Short Message Service (SMS) mit Datenpaketen von 160 Byte durchgeführt werden. Beim SMS kann die Zentrale sowohl einzelne Benutzer wie auch Benutzergruppen adressieren. GSM-Dienste arbeiten in Deutschland in den Frequenzbereichen 900 MHz und 1800 MHz. Die Bedeckung wird von den Netzbetreibern für Deutschland mit >98% der Bevölkerung angegeben. Dies bedeutet, daß die flächenmäßige Abdeckung in ländlichen Gebieten für verkehrstelematische Anwendungen wie z.B. Unfallnotruf unter Umständen unzureichend ist (siehe Abbildung 28).

GSM-Netze werden in fast allen europäischen und in vielen außereuropäischen Ländern betrieben. Systeme mit abweichenden Standards findet man unter anderem in den USA, Kanada und Japan. Die jeweiligen Netzbetreiber bzw. Serviceprovider haben teilweise untereinander Roaming-Abkommen geschlossen, die die Mobilität und Erreichbarkeit der einzelnen Teilnehmer ohne spezielles Einbuchen oder vorherige Anmeldung ermöglichen.

GSM ist heute das in der Verkehrstelematik am häufigsten verwendete bidirektionale Kommunikationssystem.

#### 3.2.2.3.5 GPRS

Eine Erweiterung und Ergänzung von GSM bietet seit Frühjahr 2001 der General Packet Radio Service (GPRS). GPRS ermöglicht Datenübertragungsraten von bis zu 115-200 kbps, Damit wird vor allem der mobile Internetzugang (zunächst über WAP) wesentlich beschleunigt. Die erzielbare Datenkapazität ist auch vom verwendeten Mobilgerät abhängig, so werden von den aktuell verfügbaren Geräten lediglich ca. 40 kbps unterstützt. In Deutschland bietet z.B. D2 Vodafone seit März 2001 seinen Kunden auf dem GPRS-Standard basierende Telefon- und Datendienste an. Im Basispreis von ca. 20 Mark ist ein MByte Datenvolumen enthalten (dies entspricht entweder bis zu 1000 WAP-Seiten oder 500 kurzen E-Mails). Über dieses Freikontingent hinaus kosten 10 KBytes 19 Pfennig (Stand März 2001). Ein auf GPRS basierender Verkehrstelematikdienst wird z.B. von Ericsson und ViaSat entwickelt. Der Dienst soll den Kunden einen mobilen, kostengünstigen Echtzeitzugriff auf das Internet in Verbindung mit Fahrerunterstützung, Verkehrsinformationen, touristischen Hinweisen und Notrufdiensten bieten. ViaSat geht davon aus, daß in 2003 ca. 25% aller Fahrzeuge mit Online-Diensten versorgt werden.

### 3.2.2.3.6 UMTS

UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) wird zukünftig die derzeitigen Mobilkommunikationssysteme GSM und GPRS ergänzen und langfristig vermutlich ablösen. Basierend auf der GPRS Kernarchitektur wird mittels UMTS eine Erhöhung der Datenrate bis zu 2 Mbps erreicht. Damit wird die Übertragung von Graphiken, Audiodateien, Videos oder die Realisierung sonstiger hochwertiger Breitband-Dienste zu mobilen Nutzern ermöglicht. Bis zum Jahr 2010 wird mit weltweit 2 Milliarden UMTS Nutzern gerechnet. Die Einführung der ersten kommerziellen UMTS-Dienste ist in Japan für Ende 2001 und in Europa für Ende 2002 angekündigt. Realistischere Einschätzungen gehen eher von Ende 2003 aus. Aufgrund der aufwendigen Umrüstung der Infrastruktur werden zunächst die wirtschaftlich interessanten Ballungsgebiete mit UMTS Sendeanlagen ausgestattet.

Zur Entwicklung der benötigten Standards und zur Vorbereitung der UMTS Markteinführung wurde 1996 das UMTS-Forum, ein internationaler Zusammenschluß der wichtigsten Netzbetreiber, Endgerätehersteller, Diensteanbieter und Regulierungsbehörden ins Leben gerufen. Das UMTS-Forum setzt sich aus über 240 Mitgliederorganisationen aus über 40 Ländern zusammen (Stand März 2001) und arbeitet eng mit den zuständigen Standardisierungsgremien wie z.B. ITU (International Telecommunication Union), ETSI (European Telecommunication Standardization Institute) und CEPT (Conférence Européenne des Administrations des Postes et Télécommunications) zusammen ([www.umts-forum.org](http://www.umts-forum.org)).

### 3.2.2.4 Satellitenkommunikation

Die Satellitenkommunikationssysteme lassen sich nach der Art der verwendeten Satelliten in GEO-, MEO- und LEO-Systeme unterteilen.

#### 3.2.2.4.1 GEO-Systeme

Geostationäre Satelliten befinden sich in einer Höhe von ca. 36 000km über der Erde. Ihre Umlaufzeit ist der Erddrehung derart angepaßt, daß sie sich quasi stationär über einem bestimmten Punkt auf der Erdoberfläche befinden. Der Spotbeam von GEOs erstreckt sich über ein Areal von kontinentaler Ausdehnung. Zur Kommunikation mittels GEO werden seit Mitte der 80er Jahre kleine Endgeräte, sogenannte Very Small Aperture Terminals (VSAT), verwendet (siehe auch Kapitel 3.2.2.4.1.3). VSATs ermöglichen eine verschlüsselte interaktive Daten-, Text-, Sprach-, und Bildkommunikation über eine zentrale Erdfunkstelle (Hub). VSAT-Anwendungen nutzen verschiedene GEO Systeme wie z.B. Eutelsat und Intelsat. 1997 wurden in Europa 30 000 VSAT-Systeme betrieben, 1998 waren es bereits 40 000. Weltweit sind ca. 500 000 Systeme in über 120 Ländern im Einsatz. Prognosen gehen davon aus, daß 2010 der europäische Markt den heute dominierenden US-Markt übertreffen wird. Die Preisentwicklung der VSAT-Endgeräte seit 1985 ist in dem folgenden Diagramm dargestellt.

### Preisentwicklung VSAT

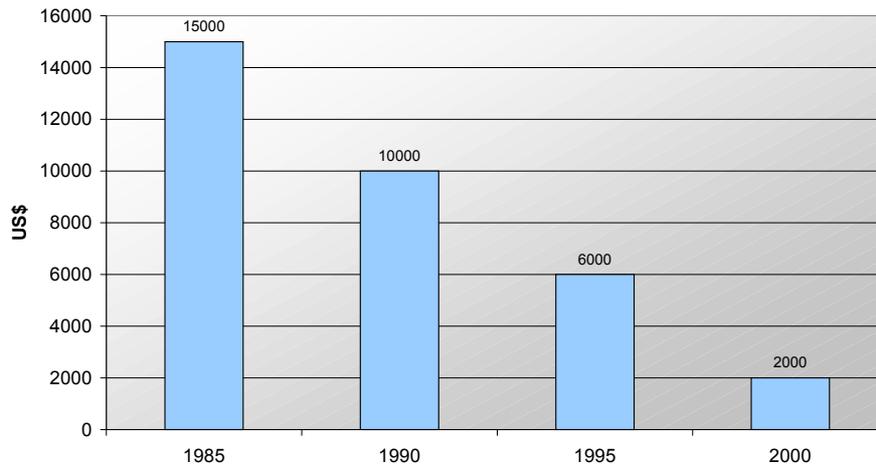


Abbildung 29 Preisentwicklung für VSAT-Geräte (1985 –2000) <sup>52</sup>

VSATs arbeiten in Europa und Nordamerika vorwiegend im Ku-Band und in Asien, Afrika und Lateinamerika vorwiegend im C-Band. Die Datenraten liegen bei 40 Mbps für den Down-Link und 76,8 kbps für den Up-Link. Zur Koordinierung der VSAT Aktivitäten wurde das Global VSAT Forum gegründet ([www.gvf.org](http://www.gvf.org)). Für einen operationellen Einsatz auf mobilen Fahrzeugen sind VSATs aufgrund der Antennengröße (Durchmesser ca. 20 cm) zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht geeignet, allerdings ist eine Miniaturisierung der Antenne prinzipiell möglich. Ein weiterer potentieller Einsatzbereich in der Verkehrstelematik wäre z.B. die Übertragung von Massendaten zwischen Dienstzentralen.

#### 3.2.2.4.1.1 INMARSAT

Die International Maritime Satellite Organization (INMARSAT) ist eine nicht gewinnorientierte Gesellschaft mit Hauptsitz in London und einer weiteren Niederlassung in Dubai. INMARSAT entstand 1979 aus der damaligen International Maritime Consultative Organization (heute: International Maritime Organization, IMO). Seit 1982 betreibt INMARSAT Kommunikations- und Search and Rescue-Dienste für maritime Nutzer. Mittlerweile hat sich der Kundenkreis dieser Dienste von der Schifffahrt auf den Landverkehr und die Luftfahrt ausgeweitet. Weltweit werden heute ca. 150 000 INMARSAT Geräte betrieben. Die Dienste von INMARSAT beinhalten:

- Telefon
- Datenübertragung
- Fax
- Telex
- E-Mail
- Audioübertragungen hoher Qualität
- Komprimierte Videoübertragung
- Video Standbilder
- Telephoto-Übertragungen
- Fernsehübertragung mit reduzierter Qualität
- Videokonferenzen

<sup>52</sup> Literatur: Stanford et al., 1995

Durch entsprechende Roaming-Abkommen können INMARSAT-Nutzer über terrestrische Kommunikationssysteme auf die INMARSAT-Dienste zugreifen. Weltweit bieten ca. 100 Service Provider INMARSAT-Dienste an.

Das Raumsegment besteht aus elf GEO Satelliten in einer Höhe von 35 786km. Jeder Satellit deckt etwa ein Drittel der Erdoberfläche ab. Für eine globale Abdeckung zwischen 75°N-75°S werden vier Satelliten benötigt, die restlichen Satelliten dienen als Ersatz im Falle eines Satellitenausfalls. Jeder INMARSAT-3 Satellit (aktuelle Generation) kann neben dem flächendeckenden Service auch eine Reihe von Spotbeams mit einer erhöhten Leistung versorgen. Dies ermöglicht bei Bedarf eine Erhöhung der Kommunikationskapazität innerhalb bestimmter Gebiete und den Einsatz kleiner Handgeräte. Die ca. 2t schweren INMARSAT-3 Satelliten wurden von Lockheed Martin (USA) gebaut, die Kommunikationsnutzlast (C- und L-Band) stammt von Matra Marconi Space (UK). Das INMARSAT-Bodensegment besteht aus 40 Land Earth Stations (LES) in 31 Ländern. In der Verkehrstelematik wird der INMARSAT-C Dienst mit einer Übertragungskapazität von 600 bps zur Datenübermittlung und der INMARSAT Phone-Dienst mit einer Übertragungskapazität von 2,4 kbps eingesetzt. Die Empfänger sind ca. 2-3kg schwer, von der Größe eines Laptops und die Antennen sind teilweise im Kofferraum integriert ([www.inmarsat.org](http://www.inmarsat.org)).



Abbildung 30 INMARSAT-Antenne für Landverkehrsanwendungen <sup>53</sup>

#### 3.2.2.4.1.2 Eutelsat

Das Eutelsat-System besteht aus 18 Satelliten. Eutelsat bietet neben der Übertragung von Rundfunk- und Fernsehprogrammen auch folgende Dienste an:

- Telefon
- Datenübertragung
- Internet
- Positionierungsdienste

Eutelsat setzt sich aus mehreren Einzelsystemen zusammen:

- Hot Bird
- W Series
- Sesat

---

<sup>53</sup> URL: [www.inmarsat.org](http://www.inmarsat.org)

- Euro Bird
- Atlantic Bird
- Eutelsat II

Die folgende Abbildungen zeigen die Eutelsat-Konstellation sowie beispielhaft die Down-Link Kapazität eines Eutelsat Satelliten über Mitteleuropa.



Abbildung 31 Eutelsat-Konstellation <sup>54</sup>

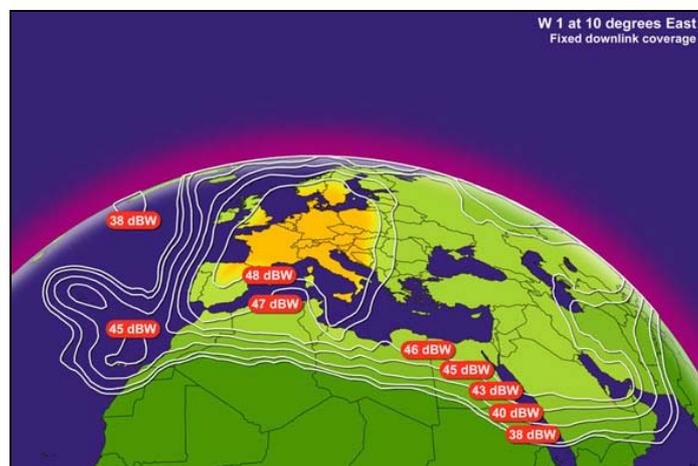


Abbildung 32 Down-Link Leistung des Eutelsat-Satelliten über 10°E <sup>54</sup>

EUTELSAT bietet seinen Kunden die beiden Mobilkommunikationsdienste Euteltracs und Emsat an:

### 1) Euteltracs

Zum Zeitpunkt seiner Einführung vor ca. 10 Jahren war Euteltracs der erste Mobilkommunikationsdienst, der speziell für die Bedürfnisse des Flottenmanagements und der Güterüberwachung konzipiert wurde. Heute nutzen weltweit ca. 500 Expeditionen und Schiffbesitzer mit insgesamt 20 000 Lkws und Schiffen den Datenübertragungsdienst von Euteltracs. Das

<sup>54</sup> URL: [www.eutelsat.org](http://www.eutelsat.org)

Raumsegment besteht aus zwei Satelliten, die West- und Osteuropa, den Mittelmeerraum und den nahen Osten abdecken. Euteltracs wird auch von der UNO und der NATO zur Koordination ihrer Einsätze verwendet. Weiterhin nutzen einige europäische Staaten das System zur Überwachung des Fischfangs innerhalb der EU-Gewässer.

## 2) Emsat

Emsat kann innerhalb Europas für folgende Dienste verwendet werden:

- Telefongesprächen
- Fax
- SMS

Auch Emsat wurde für den Einsatz im Bereich Flottenmanagement in Gebieten mit unzureichender GSM-Infrastruktur konzipiert ([www.eutelsat.org](http://www.eutelsat.org)).

### 3.2.2.4.1.3 Intelsat

Intelsat wurde 1964 gegründet und nahm 1965 mit dem Satelliten Early Bird (keine Gemeinsamkeit mit dem gleichnamigen Fernerkundungssatelliten, siehe Kapitel 3.3.2.3.9) den operationellen Betrieb auf. Das Raumsegment wurde später ergänzt und 1969 stellte Intelsat als erster Diensteanbieter ein globales Satellitenkommunikationssystem zur Verfügung. fünf Jahre später wurde der erste digitale Sprachdienst über Satellit angeboten. Mit den Starts der Intelsat V und VI Satellitengenerationen wurde in den 80er Jahren erstmals der Einsatz von VSATs ermöglicht.

Das Raumsegment besteht derzeit aus 19 Satelliten, weitere 22 sind geplant. Für neun der geplanten Satelliten sind bereits Termine für den Start mit einer Ariane bzw. Proton Rakete zwischen 2001 und 2003 festgelegt.

Intelsat sendet und empfängt im C- und Ku-Band. Die Datenkapazitäten liegen bei 64 kbps bzw. 45 Mbps. Eine Erhöhung auf bis zu 155 Mbps ist geplant. Es werden folgende Dienste angeboten:

- Telefon
- Breitband Übertragung mittels VSAT
- Internet
- Video
- Class (Commercial Launch Support Service): Unterstützung anderer Satellitenbetreiber, z.B. bei der Überwachung von Satelliten während des Starts durch Intelsat Bodenstationen

([www.intelsat.com](http://www.intelsat.com))

1998 wurden sechs Satelliten (57°E, 95°E, 183°E, 319,5°E, 2x338,5°E) an die Intelsat New Company (INC) mit Hauptsitz in den Niederlanden verkauft. Bestehende Verträge wurden von INC übernommen ([www.spacer.com](http://www.spacer.com)).

### 3.2.2.4.2 MEO

Medium Earth Orbit (MEO) Satelliten befinden sich in einer Höhe von ca. 3 200-16 000km. Die Umlaufzeiten betragen dabei ca. 6 Stunden. Gegenwärtig wird ICO als einziges MEO System für Kommunikationszwecke genutzt. ICO besteht aus fünf Satelliten und einem Ersatzsatelliten, die sich in zwei Umlaufbahnen mit einer Inklination von 45° in einer Höhe von 10 390km befinden. Im November 1999 investierte Craig McCaw (Teledesic) 1,2 Mrd. US\$ um ICO vor dem Konkurs zu retten. Nach weiteren Investitionen verschmelzen ICO und Teledesic zu ICO-Teledesic Global (siehe Kapitel 3.2.2.4.3.4). Eine Erweiterung des Systems unter der Bezeichnung „New ICO“ ist derzeit in Vorbereitung. New ICO beabsichtigt den Service 2003 nach einer Testphase im Vorjahr aufzunehmen und folgende Dienste anzubieten:

- Sprachdienste
- Datenübertragung
- Fax
- Internet

Das Raumsegment von New ICO soll aus zwölf MEO-Satelliten bestehen. Orbithöhe und Umlaufbahnen entsprechen der bekannten ICO-Konstellation. Von diesen zwölf Satelliten, bilden zehn die Basiskonstellation, die restlichen sind Ersatzsatelliten. Zwei weitere Ersatzsatelliten werden am Boden für den Fall weiterer Satellitenausfälle bereit gehalten.

Die Übertragungsprotokolle orientieren sich an Standards der terrestrischen Telekommunikation, dies vereinfacht zukünftig eine kombinierte Nutzung beider Systeme, so daß zukünftige Generationen von terrestrischen Mobilfunksystemen bei Bedarf New ICO mit einer Datenrate von bis zu 144 kbps nutzen können.

Die Sicherung der Finanzierung und die Umorganisation von New ICO wurde im Mai 2000 abgeschlossen. Das Kontrollzentrum, sowie elf der zwölf Satellite Access Nodes (SANs) sind fertiggestellt. Das Bodensegment wird momentan getestet und Roaming-Abkommen mit über 70 Mobilfunkanbietern wurden unterzeichnet. New ICO Lizenzen wurden in mehr als zehn Ländern vergeben ([www.ico.com](http://www.ico.com)).

### 3.2.2.4.3 LEO-Systeme

Low Earth Orbit (LEO)-Systeme bestehen aus Satelliten in einer Höhe von <1 600km. Die Umlaufzeiten betragen ca. 105 Minuten. Der Spotbeam von LEO-Satelliten deckt eine Fläche von ca. 400-600km Durchmesser ab. Gegenüber GEO- und MEO-Systemen ermöglichen LEOs aufgrund der niedrigen Umlaufbahnen eine geringere Sendeleistung der Satelliten und die Verwendung kleiner Endgeräte. Derzeit sind zwei LEO-Systeme in Betrieb (Iridium und Globalstar). Mehrere auf LEOs basierende Systeme sind in der Planung bzw. Einführung. Die folgenden Kapitel geben einen Auszug des aktuellen Sachstands.

#### 3.2.2.4.3.1 Iridium

Iridium hat unter der Leitung des Motorola-Konzerns im November 1998 den operationellen Betrieb aufgenommen. Das Raumsegment besteht aus 66 Satelliten (plus 6 Ersatzsatelliten im Orbit) in einer Höhe von 780km. Es befinden sich jeweils elf operationelle und ein Ersatzsatellit auf einer der sechs polaren Umlaufbahnen.

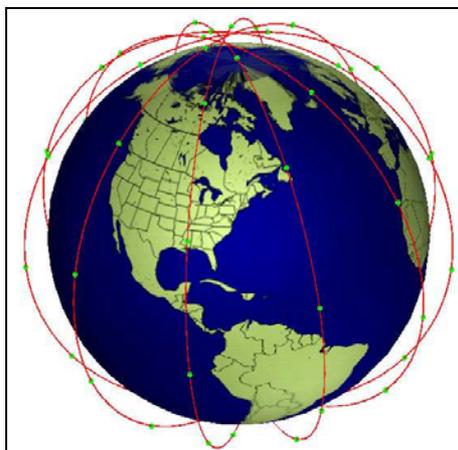


Abbildung 33 Iridium Satellitenkonstellation <sup>55</sup>

<sup>55</sup> URL: [www.ee.surrey.ac.uk/Personal/L.Wood/constellations/orbcomm.html](http://www.ee.surrey.ac.uk/Personal/L.Wood/constellations/orbcomm.html)

Die 689kg schweren Satelliten sind durch ISL miteinander vernetzt. Die ISLs (23,18-23,38 GHz.) und die Kommunikation zwischen den Satelliten und den Bodenstationen (Down-Link 19,4-19,6 GHz. / Up-Link 29,1-29,3 GHz.) finden im Ka-Band statt. Für die Kommunikationsverbindungen wird das L-Band (1616-1626,5 MHz.) genutzt.

Seit Mai 1998 befinden sich alle Satelliten auf ihren Umlaufbahnen. Ende März 1999 hatte Iridium 10 300 Kunden, davon nutzen 7 188 die Sprachübertragung ausschließlich per Satellit, 1 031 die Sprachübertragung in Kombination mit terrestrischen Mobilfunknetzen und 2 075 den Pagerdienst. Die Einnahmen durch diesen begrenzten Kundenkreis reichte zur Finanzierung des aufwendigen Raum- und Bodensegments nicht aus, so daß die Betreiber-gesellschaft von Iridium aufgrund finanzieller Schwierigkeiten den Service beenden und das System zum Verkauf anbieten mußte. Nachdem sich zunächst kein Käufer fand, plante Motorola im August 2000 den gezielten Absturz der Satelliten im Wert ca. 5 Mrd. US\$. Im November 2000 fand sich überraschend ein Käufer. Die neu gegründete Iridium Satellite LLC, eine Investorengruppe um den ehemaligen Pan Am Manager Dan Colussy, erklärt sich bereit, die Aktiva zu übernehmen. Der Hauptkunde von Iridium LLC ist jetzt die Defense Information Systems Agency. Das Pentagon bot Iridium LLC einen Vertrag über 72 Mio. US\$ für die Aufrechterhaltung des Dienstes innerhalb der nächsten zwei Jahren an. Der Vertrag enthält weiterhin eine Verlängerungsoption bis 2007 für 252 Mio. US\$. Das System wird derzeit von ca. 20 000 Mitarbeitern genutzt. Vor allem die US Navy hat Bedarf an einem weltweiten, von terrestrischer Infrastruktur unabhängigen Satellitenkommunikationssystem ([www.intern.de](http://www.intern.de)). Der Betrieb soll jedoch nicht auf den militärischen Großkunden begrenzt bleiben. Zukünftig sollen auch private Kunden aus den Bereichen Exploration, Holzabbau, Off-Shore, Notrufdienste und Freizeitanwendungen gewonnen werden. Für den Betrieb des Raumsegments ist Boeing verantwortlich. Endgeräte für die Luftfahrt, Schifffahrt und stationäre Anwendungen werden von Motorola produziert. Ende März 2001 wurde der Telefonbetrieb und ein reduzierter Datenübertragungsdienst für zivile Nutzer wieder aufgenommen und die Preise auf 1 US\$/Minute gesenkt. Die Datenübertragungskapazität soll innerhalb von 6 Monaten auf 10 kbps ausgebaut werden. Für Juni 2002 sind zusätzliche Dienste wie E-Mail und Internetzugang geplant ([www.aviationnow.com](http://www.aviationnow.com), [www.iridium.com](http://www.iridium.com)).

#### 3.2.2.4.3.2 Globalstar

Der Globalstar-Konzern wurde 1991 von Qualcomm und Space Systems Loral gegründet. Das Raumsegment von Globalstar besteht aus 48 LEO und vier Ersatzsatelliten. Die 450kg schweren Satelliten haben eine Lebensdauer von ca. 7,5 Jahren und befinden sich auf Orbits in 1414km Höhe. Die Konstellation ist auf acht Umlaufbahnen zu je sechs Satelliten verteilt. Bei einer Inklination von 52° wird ein Gebiet von 70°N bis 70°S abgedeckt.

Die ersten vier Satelliten wurden am 14.2.1998 gestartet und der operationelle Betrieb im August 1998 aufgenommen. Am 8.2.2000 wurde durch den Start der letzten vier Satelliten auf einer Boeing Delta II Rakete die vollständige Globalstar-Konstellation erreicht.

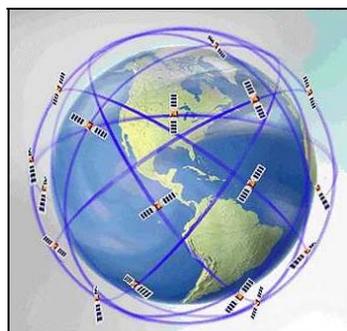


Abbildung 34 Globalstar Satellitenkonstellation <sup>56</sup>

<sup>56</sup> URL: [www.globalstar.com](http://www.globalstar.com)

Globalstar erlaubt die weltweite Übertragung von:

- Telefon
- Daten
- Fax

Terrestrische Mobilfunknetze können in den Betrieb eingebunden werden. Roaming-Abkommen mit verschiedenen Mobil- und Festnetzbetreibern bestehen in ca. 100 Ländern. Endgeräte werden in Form mobiler Handgeräte, festinstallierter Fahrzeuggeräte und stationärer Empfangsgeräte angeboten ([www.globalstar.com](http://www.globalstar.com)).

Die Globalstar-Dienste sind heute in fast 40 Ländern verfügbar. Die entsprechenden Mobilgeräte werden von Ericsson, Qualcomm und Telit produziert, die Festgeräte werden von Ericsson und Qualcomm hergestellt.

Auch Globalstar befindet sich in finanziellen Schwierigkeiten. Laut einer dpa-Meldung vom 3.4.2001 mußte Globalstar im vergangenen Jahr mit lediglich 3,7 Mio. US\$ Umsatz einen Verlust von 3,8 Mrd. US\$ verbuchen. Die Globalstar-Aktien haben in den letzten zwölf Monaten 96% an Wert verloren. Globalstar verfügt nach eigenen Angaben noch über Rücklagen von 197 Mio. US\$. Dies sollte ausreichen, um den Betrieb bis Ende 2001 weiterzuführen. Falls bis dahin nicht zusätzliche Gelder aufgebracht werden können, droht das Ende von Globalstar. Das Unternehmen hat zum gegenwärtigen Zeitpunkt ca. 40 000 Kunden.

Die Signalverfügbarkeit von Globalstar in bebauten Gebieten wird in Kapitel 4.4.3.7 simuliert.

#### 3.2.2.4.3.3 Orbcomm

Orbcomm wurde im Februar 1990 von Orbital Sciences Corporation und Teleglobe Inc. gegründet und nahm 1995 mit zwei Satelliten den Betrieb auf. Die Konstellation wurde auf 36 Satelliten in sieben Umlaufbahnen ausgebaut und weitere Starts sind geplant, um die Abdeckung in Äquatornähe zu verbessern. Die Satelliten befinden sich in einer Höhe von 825km.

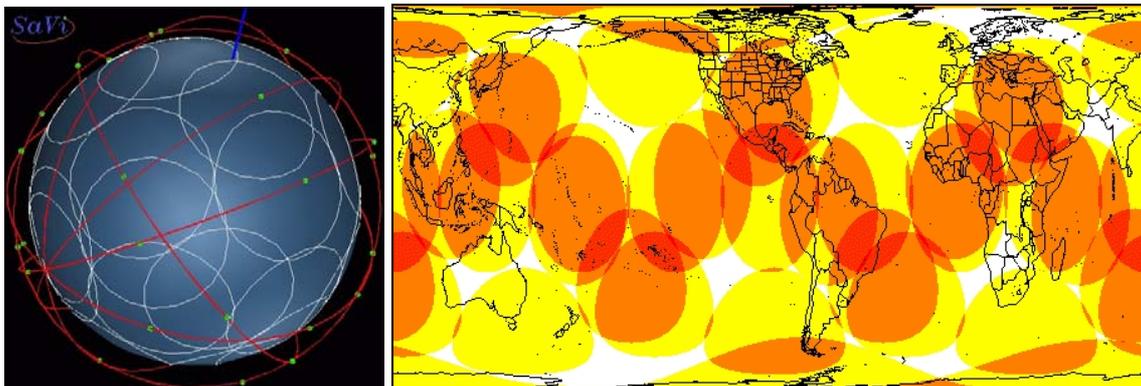


Abbildung 35 Orbcomm-Konstellation and Spotbeams <sup>57</sup>

Orbcomm bietet keine Sprachübertragung, sondern ist auf Datenübertragung beschränkt. Für den Down-Link werden die Frequenzen 137-138 MHz und 400 MHz, für den Up-Link die Frequenzen 148-150 MHz verwendet. Dabei werden folgende Datenraten erreicht:

- 2400 bps Up-Link
- 4800 bps Down-Link (heute)
- 9600 bps Down-Link (zukünftig)

<sup>57</sup> URL: [www.ee.surrey.ac.uk/Personal/L.Wood/constellations/orbcomm.html](http://www.ee.surrey.ac.uk/Personal/L.Wood/constellations/orbcomm.html)

Die Größe eines typischen Datenpakets beträgt 6-250 Bytes. In der Verkehrstelematik wird Orbcomm für Flottenmanagementanwendungen eingesetzt. Endgeräte werden unter anderem von den Firmen ARINC (Dominium™ Trailer Tracker) und Corp Ten International (TracLEO™) angeboten.

Im September 2000 eröffnete Orbcomm das Insolvenzverfahren und wurde bei einer Auktion von Advanced Communications Technologies aufgekauft. Advanced Communications Technologies konnte jedoch mit Orbcomm keine Einigung über die weitere Nutzung der FCC-Lizenzen erreichen. Orbcomm gründete daraufhin ein neues Konsortium unter der Bezeichnung International Licensees und übernahm Orbcomm erneut (Stand 26.4.2001, [www.orbcomm.com](http://www.orbcomm.com)).

#### 3.2.2.4.3.4 Teledesic

Craig McCaw (McCaw Cellular Communications) und Ed Tuck gründeten im Juni 1990 die Firma Calling Communications. Im März 1994 beteiligte sich Microsoft Gründer Bill Gates und die Firma wurde in Teledesic umbenannt. 1997 erhielt Teledesic von der FCC die Lizenz zum Bau, Start und Betrieb eines auf LEOs basierenden Kommunikationssystems. Boeing beteiligte sich im April 1997 mit einer Summe von 100 Mio. US\$. Im November 1997 wurde auf der World Radiocommunication Conference (WRC) der ITU eine wichtige Hürde hinsichtlich der Frequenzuteilung für Non-Geostationary Fixed Satellite Services (NGSO FSS) genommen. Zwei weitere Beteiligungen erfolgten 1998 zum einen durch den saudi-arabischen Prinz Alwaleed Bin Talal in Höhe von 200 Mio. US\$ und zum anderen durch Motorola in Höhe von 750 Mio. US\$. Im Juli 1999 wurde Lockheed Martin mit dem Satellitenstart beauftragt und im November investierte Craig McCaw über seine Firmen Eagle River Investments LLC und Teledesic LLC die Summe von 1,2 Mrd. US\$ zur Rettung von ICO Global Communications. Im Februar 2000 wurden weitere 275 Mio. US\$ in ICO investiert und die beiden Firmen verschmelzen zu ICO-Teledesic Global (siehe Kapitel 3.2.2.4.2). Die Firmensitze befinden sich in Bellevue und Washington, weitere Niederlassungen sind in Brüssel, London, Madrid, München, und Ottawa.

Teledesic sollte ursprünglich aus 840 Satelliten bestehen. Diese Planung wurde im folgenden Projektverlauf auf 288 reduziert. Der operationelle Betrieb soll 2005 aufgenommen werden. Am 25.2.1998 wurde der erste experimentelle Teledesic-Satellit in den Orbit gebracht. Die Satelliten werden in einer Höhe von 1400km, verteilt auf zwölf Bahnen zu je 24 Satelliten platziert.

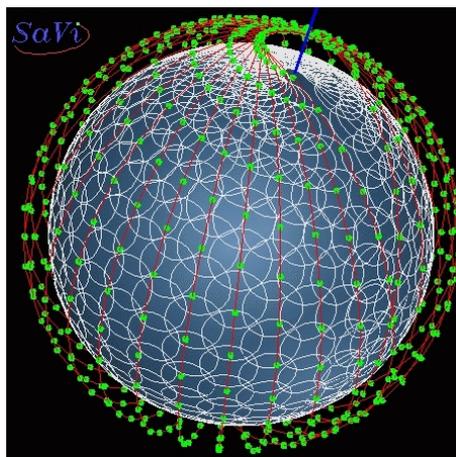


Abbildung 36 Teledesic Satellitenkonstellation (ältere Variante mit 840 Satelliten) <sup>58</sup>

<sup>58</sup> URL: [www.ee.surrey.ac.uk/Personal/L.Wood/constellations/orbcomm.html](http://www.ee.surrey.ac.uk/Personal/L.Wood/constellations/orbcomm.html)

Der Durchmesser eines Spotbeams beträgt 53km. Innerhalb einer Zelle können 1800 Sprachkanäle zu je 16 kbps, oder 14 Kanäle zu je 2 Mbps verarbeitet werden. In Spitzenzeiten können von den 288 Satelliten 1 Mio. Vollduplex-Verbindungen hergestellt werden. Die Systemkapazität kann bei Bedarf durch eine Erweiterung des Raumsegments weiter ausgebaut werden. Die Bandbreite der Datenkanäle wird bedarfsorientiert variiert (Bandwidth-On-Demand) und bewegt sich zwischen 0,016–2 Mbps für den Up-Link und 28-64 Mbps für den Down-Link. Teledesic ist in der Lage, eine kleinere Anzahl von High-Rate Kanälen mit 0,155–1,2 Gbps für Gateway-Verbindungen und spezielle Nutzergruppen zur Verfügung zu stellen. Der niedrige Satelliten-Orbit erlaubt, in Verbindung mit einer hochfrequenten Datenübermittlung (Up-Link 28,6-29,1 GHz., Down-Link 18,8-19,3 GHz.), die Verwendung von kleinen Endgeräten und Antennen bei einem geringen Energieverbrauch.

Die wesentlichen Merkmale der LEO-Kommunikationssatelliten sind in der folgenden Tabelle zusammengefaßt:

System	Status	Anzahl der Satelliten	Orbithöhe (km)	Kommunikation
Iridium	operationell	66	780	Daten/Sprache
Globalstar	operationell	48	1414	Daten/Sprache
Orbcomm	operationell	36	825	Daten
Teledesic	geplant	288	1400	Daten/Sprache

Tabelle 10 Übersicht der LEO-Kommunikationssysteme<sup>59</sup>

### 3.2.3 Derzeitiger Einsatz in der Verkehrstelematik

Terrestrische Broadcastverfahren werden heute vor allem zur Ausstrahlung von Verkehrsinformationen genutzt, aufgrund der geringen Datenraten der verwendeten Systeme sind die Verkehrsmeldungen auf Autobahnen und höherrangige Bundesstraßen begrenzt. Zur Erfassung von Verkehrsinformationen werden in einigen Bundesländern (z.B. Nordrhein-Westfalen) Bakensysteme eingesetzt. Eine flächendeckende Erfassung wie sie z.B. in Japan geplant ist, ist für Deutschland nicht zu erwarten. Neben dem in Kapitel 3.1.3 angesprochenen Einsatz von Bakensystemen zur Positionsbestimmung im ÖPNV werden die Systeme auch zur Übertragung von Daten genutzt.

Einige wenige Unternehmen, vor allem im Bereich des Flottenmanagements, verwenden satellitengestützte Kommunikationsdienste. Dies ist vorwiegend durch die derzeit noch hohen Kommunikationsgebühren und Anschaffungskosten der Endgeräte bedingt. Ein Vergleich der Kommunikationskosten für Flottenmanagementanwendungen findet sich bei Poschadel (1997). Die Kosten wurden unter folgenden Annahmen berechnet:

- die Flottengröße beträgt acht Fahrzeuge
- der Betrieb erfolgt an 22 Tagen/Monat
- die Fahrzeuge sind 8 Stunden/Tag im Einsatz
- eine Datenübertragung findet alle 10 Minuten statt, daraus ergeben sich:  
⇒ 8448 Meldungen/Monat
- anfallende Grundgebühren werden nicht berücksichtigt
- der Einsatz von GSM erfolgt per SMS (160 Zeichen)
- der Einsatz von Bündelfunk erfolgt per Short Data Message (25 Zeichen)
- der Einsatz von Satellitenkommunikation erfolgt mittels INMARSAT-C mit drei Datenpaketen zu insgesamt 32 Zeichen

<sup>59</sup> Information: abgeleitet aus Kapitel 3.2.2.4.3

Das Ergebnis ist in der folgenden Tabelle zusammengefaßt und mit aktuellen Angaben ergänzt.

Dienst	Kosten	Einsatzbereich	Ergänzungen (Stand Mai 2001)
D1	8448 x 0,075 Euro = <b>633,60 Euro</b>	Europaweit (eingeschränkt)	
D2	100 x 0,12 Euro + 8348 x 0,017 Euro = <b>153,91 Euro</b>	Europaweit (eingeschränkt)	
E-Plus	8448 x 0,075 Euro = <b>633,60 Euro</b>	Europaweit (eingeschränkt)	
			8448 x 0,017-0,025 Euro = <b>143,61 – 211,20 Euro</b> <sup>60</sup>
Bündelfunk (Chekker)	266 Übertragungen frei 8182 x 0,011 Euro = <b>90,00 Euro</b>	Regional	
Dolphin			Tarifstaffelung: Paket 1: 950 Einheiten/Monat/Gerät ⇒ 4 Euro Paket 2: 3000 Einheiten/Monat/Gerät ⇒ 10 Euro Paket 3: 8000 Einheiten/Monat/Gerät ⇒ <b>20 Euro</b>
Satellitenfunk (INMARSAT-C) <sup>61</sup>	Inland: 8448 x (0,05 Euro x 3) = <b>1267,20 Euro</b> Ausland: 8448 x (0,058 Euro x 3) = <b>1469,95 Euro</b>	Weltweit	

Tabelle 11 Kostenvergleich verschiedener Kommunikationssysteme<sup>62</sup>

Der Vergleich der Daten von 1997 mit der aktuellen Recherche zeigt, daß aufgrund der allgemeinen Preisentwicklung im GSM-Bereich heute bei allen Anbietern ein Preisniveau erreicht wird, das vor vier Jahren lediglich ein Provider anbieten konnte. Auch im Bereich Bündelfunk ist ein erheblicher Preisverfall zu verzeichnen, während die Gebühren für Satellitenkommunikation noch immer dem Stand von 1997 entsprechen.

Bündelfunk stellt gegenwärtig die preisgünstigste Lösung dar, ist allerdings nur in Deutschland bzw. regional verfügbar. Mobilfunksysteme haben den Vorteil, daß sie in einem größeren Gebiet (Europa) verfügbar sind, liegen allerdings preislich um den Faktor 10 höher. Satellitengestützte Kommunikationssysteme mit globaler Verfügbarkeit sind gegenüber den GSM Systemen ca. um den Faktor 8 teurer. Aus diesem Grund setzen derzeit nur wenige Anwender Satellitenkommunikationsdienste ein (z.B. für Spezialanwendungen in Gebieten mit unzureichender GSM-Infrastruktur).

Die verwendeten GEO Satelliten bieten zwar den Vorteil, daß mit einigen wenigen Satelliten (ca. 4) große Bereiche der Erdoberfläche abgedeckt werden können, allerdings ist eine hohe

<sup>60</sup> Information: laut Angaben von BLIC, Beratungsgesellschaft für Leit-, Informations- und Computertechnik mbH werden für vergleichbare Flottengrößen und Häufigkeit der Kommunikationverbindungen derzeit SMS-Dienste für 0,017 – 0,025 Euro angeboten.

<sup>61</sup> Information: laut Angaben von DTSat keine Preisänderungen seit 1997

<sup>62</sup> Literatur: Poschadel, 1997 und Ergänzungen aus eigener Recherche

Sendeleistung und die Verwendung von Richtantennen erforderlich. Bei MEO Satelliten sind die genannten Nachteile weniger gravierend, allerdings werden mehr Satelliten (ca. 10) für eine globale Abdeckung benötigt. LEO Satelliten erlauben die Verwendung kleiner Endgeräte, allerdings ist eine sehr hohe Anzahl von Satelliten (ca. 50) nötig, um einen weltweiten Service anzubieten. Die Verfügbarkeit von GEO- und LEO-Systemen in bebauten Gebiet wird in Kapitel 4.4.3.6 (EGNOS) bzw. 4.4.3.7 (Globalstar) simuliert.

### **3.2.4 Zukünftige Entwicklungen**

Die bisherigen Versuche, LEO-basierte Kommunikationssysteme auf dem Markt zu etablieren, waren mit erheblichen wirtschaftlichen Schwierigkeiten verbunden. Diese sind vor allem durch eine mangelnde Akzeptanz der Kunden bezüglich der (heute noch) hohen Preise für Endgeräte und Kommunikationsgebühren bedingt. Aufgrund dieser Problematik scheiterte der Geschäftsplan des ersten Anbieters auf diesem Markt (Iridium) und auch Globalstar und Orbcomm haben mit diesen Schwierigkeiten zu kämpfen. Die Implementierung der geplanten Systeme ist durch permanente Verzögerungen gekennzeichnet. Aus den genannten Gründen ist eine kurzfristige Integration von satellitengestützten Kommunikationstechnologien im Massenmarkt der Verkehrstelematik derzeit nicht zu erwarten. Jedoch sollte die Entwicklung aufmerksam verfolgt werden, da die Satellitenkommunikation unter günstigen Abschattungsbedingungen eine nahezu ideale Lösung für Verkehrstelematikanwendungen darstellt. Die Vorteile liegen zum einen in der Unabhängigkeit von terrestrischer Infrastruktur und zum anderen in der globalen Verfügbarkeit eines einheitlichen Systems. Im Rahmen dieser Arbeit werden Simulationen durchgeführt (siehe Kapitel 4.4.3), die die Verfügbarkeit von Satellitenkommunikationssystemen in bebauten Gebieten untersuchen.

Durch Roaming-Abkommen zwischen Satellitenkommunikations- und GSM-Anbietern (siehe z.B. Kapitel 3.2.2.4.3.2) wird eine kombinierte Nutzung beider Systeme unterstützt, somit lassen sich die Vorteile beider Technologien sinnvoll ergänzen. Terrestrische Systeme weisen vor allem in Stadtgebieten eine hohe Dichte an Basisstationen auf und in ländlichen Gebieten ist meist eine LoS zu den Satelliten gewährleistet. Ein weiterer Vorteil satellitengestützter Kommunikationsverfahren ist die Möglichkeit, bedingt durch eine wesentlich höhere Datenrate, komplexere Informationen an das Fahrzeug zu übertragen. Dies kann dazu genutzt werden, um ein Update digitaler Straßenkarten (Vektorformat), detaillierte Verkehrsinformation, Video- und Audiodateien, etc. in Verkehrstelematikanwendungen einzubinden. Voraussetzung für diese Szenarien ist allerdings, daß Endgeräte und Kommunikationsgebühren zu Preisen angeboten werden, die im Vergleich zu terrestrischen Systemen ein lukratives Geschäftsfeld für Diensteanbieter bzw. ein attraktives Angebot für die Endkunden darstellen.

Solange satellitengestützte Systeme zu den genannten Konditionen nicht verfügbar sind, ist zu erwarten, daß für Anwendungen, die geringe Datenraten benötigen, wie z.B. Flottenmanagement die heutigen preisgünstigen Lösungen (SMS) beibehalten werden. Gleichzeitig werden, basierend auf den neuen terrestrischen Übertragungsprotokollen und Technologien (GPRS und UMTS), neue Dienste entwickelt werden, die vor allem in Richtung Mobile Multimedia und Infotainment gehen.

## **3.3 Erfassung verkehrsrelevanter Objekte**

Neben der Positionsbestimmung und Kommunikation spielen auch aktuelle und zuverlässige Informationen über verkehrsrelevante Objekte eine wesentliche Rolle in der Verkehrstelematik. Das folgende Kapitel gibt einen Überblick der benötigten Informationen, der konventionellen terrestrischen Erfassungsmethoden, sowie des zukünftigen Potentials satellitenbasierter Verfahren zur Erfassung dieser Daten.

Eine Vielzahl verschiedener verkehrsrelevanter Objekte kann von satellitengestützten Sensoren erfaßt werden. Der größte Bedarf besteht für die Erfassung des Straßennetzes und von Verkehrsinformationen. Darüber hinaus könnten zukünftig eine Reihe weiterer POI durch satellitengestützte Verfahren erfaßt werden. Die folgende Aufzählung ist an den POI-Katalog

der Firma Tele Atlas angelehnt und veranschaulicht anhand eines Luftbildbeispiels (die räumliche Auflösung moderner hochauflösender Fernerkundungssatelliten entspricht nahezu der Qualität eines Luftbildes, siehe Abbildung 64 und Abbildung 65) das Anwendungspotential satellitenbasierter Fernerkundungsdaten.

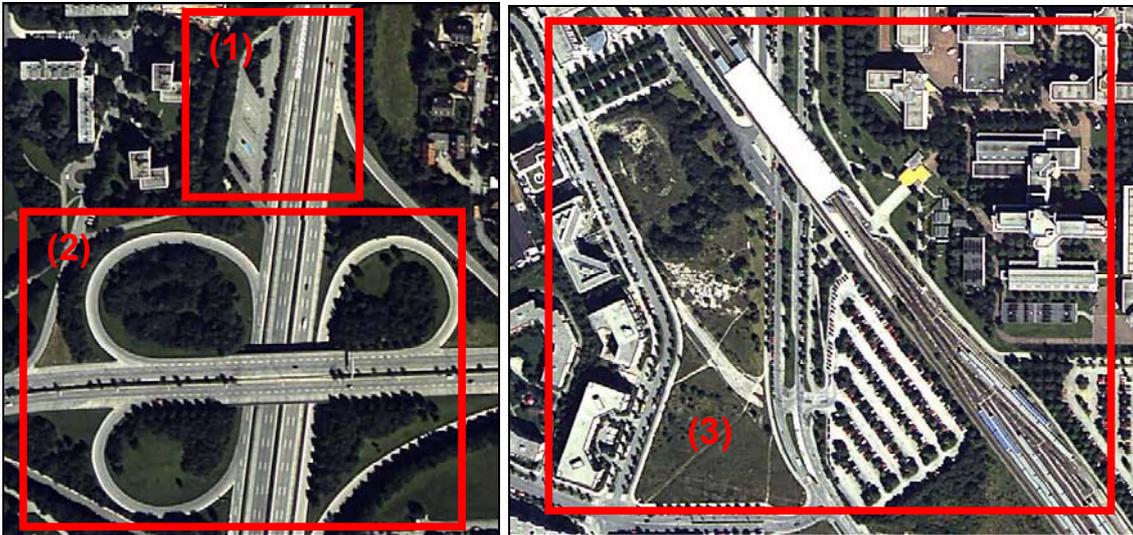


Abbildung 37 Autobahnrastplatz (1) und –auffahrten (2), Park and Ride Stationen (3) <sup>63</sup>



Abbildung 38 Tankstellen <sup>63</sup>



Abbildung 39 Flughafen (Stuttgart), Bahnhof (München) <sup>63</sup>

<sup>63</sup> Information: D-Sat, Satellitenatlas Deutschland, Scout Systems

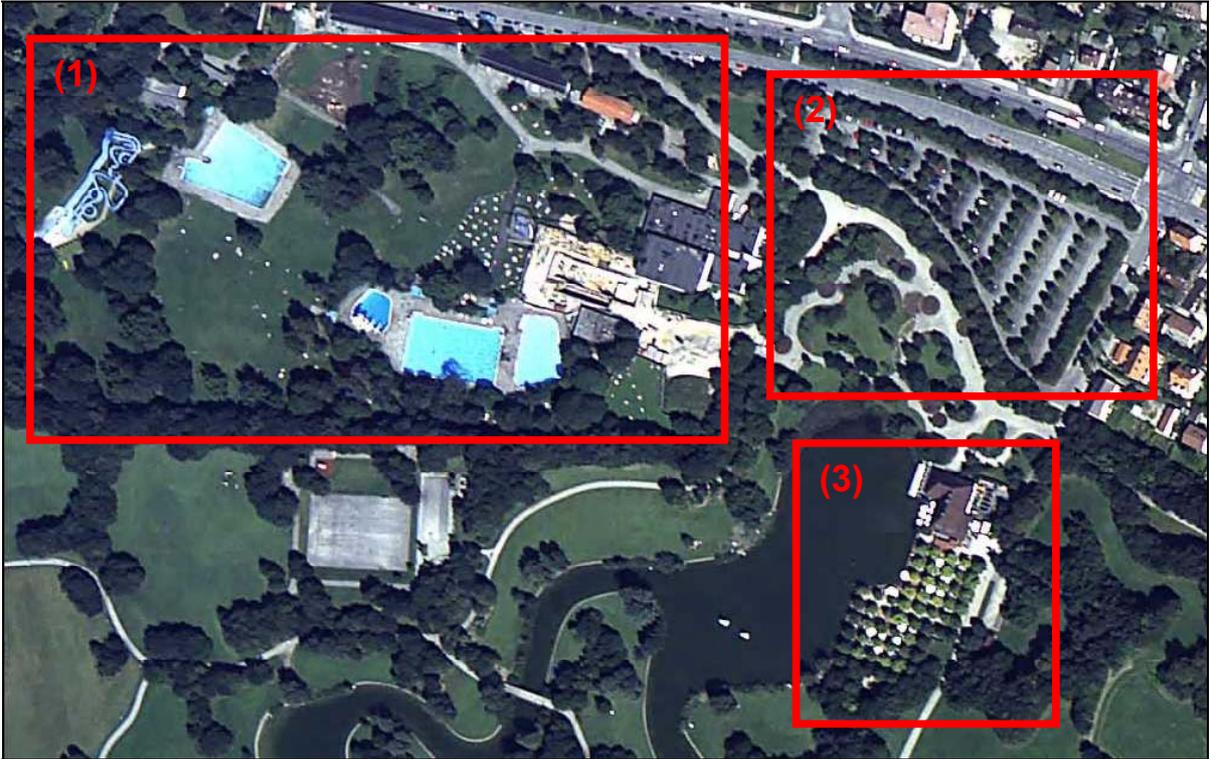


Abbildung 40 Freibad (1), Parkplatz (2), Biergarten (3) (München, Ostpark) <sup>64</sup>

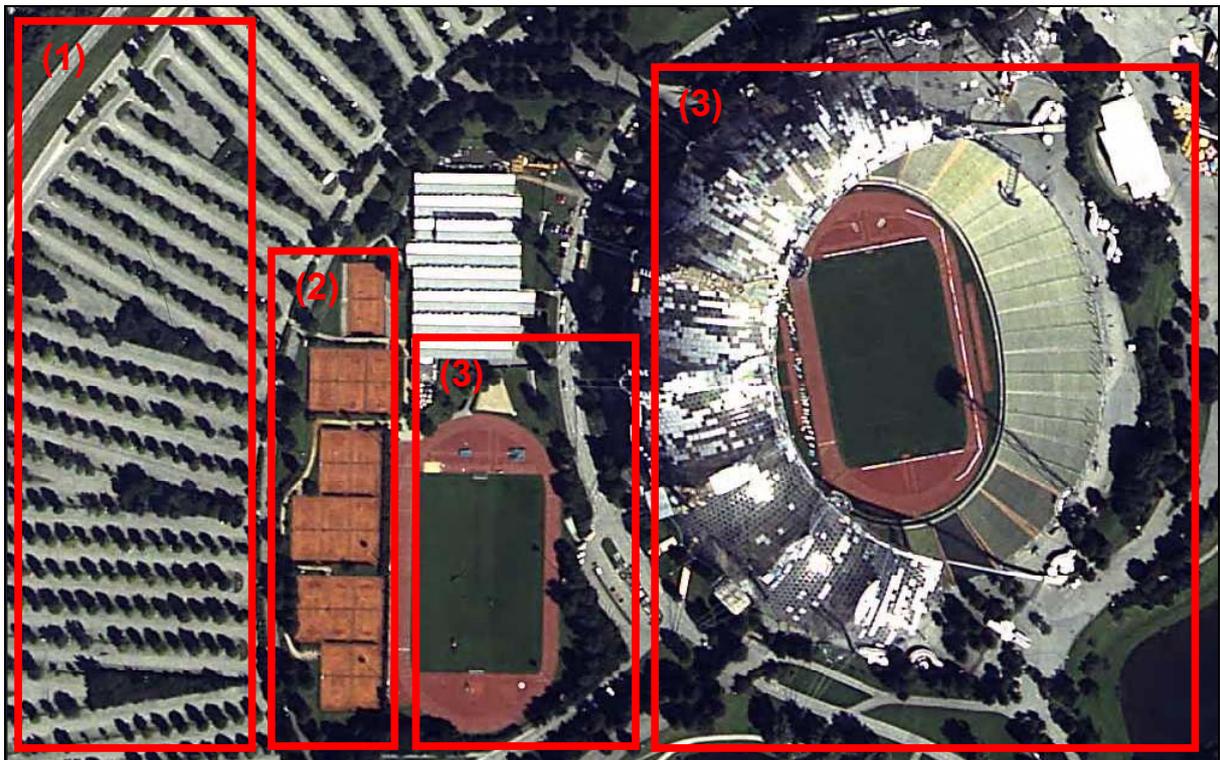


Abbildung 41 Park- (1), Tennis- (2), Sportplätze (3), Stadium (4) (München) <sup>64</sup>

<sup>64</sup> Information: D-Sat, Satellitenatlas Deutschland, Scout Systems



Abbildung 42 Campingplatz (Hamburg-Schnelsen), Golfplatz (Ahrensberg) <sup>65</sup>

Einige verkehrsrelevante Objekte können anhand der Fernerkundungsaufnahmen eindeutig identifiziert werden (z.B. Parkplätze, Rastplätze, Sportstadien, Freibäder, etc.), andere Objekte (z.B. Tankstellen) weisen zwar Gemeinsamkeiten auf (Gebäudegröße, Lagen an der Straße, asphaltierte Zufahrten), sind jedoch nicht eindeutig von ähnlichen Objekten zu unterscheiden.

Eine weitere indirekte Anwendungsmöglichkeit der Fernerkundung ist die Erfassung von Witterungserscheinungen wie z.B. Wolken, Regen, Nebel, Schneefallgrenze etc.. Diese Möglichkeit wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht näher untersucht, da das Verkehrsgeschehen zwar durch bestimmte Witterungszustände beeinflusst wird, aber zunächst eine primäre Nachfrage nach Informationen zur Geometrie des Straßennetzes und Verkehrsinformationen besteht und die benötigte Verfügbarkeit der Informationen zum Witterungsgeschehen in Nahe-Echtzeit zur Zeit nicht erfüllt werden kann.

### 3.3.1 Anforderungen

Im Rahmen dieser Arbeit werden zwei Hauptanwendungsbereiche für den Einsatz von satellitenbasierten Systemen zur Erfassung von verkehrsrelevanten Objekten untersucht:

- **Erfassung des Straßennetzes**
- **Erfassung von Fahrzeugen bzw. Verkehrsströmen**

Die Erfassung des **Straßennetzes** läßt sich in folgende Teilaufgaben gliedern:

- Ersterfassung
- Identifizierung von Gebieten, in denen eine Veränderung stattgefunden hat
- Aktualisierung der bestehenden Datensätze (durchschnittlich ändern sich jährlich ca. 5% der Straßengeometrie und 10% des Informationsgehalts)

Die Produktion digitaler Straßenkarten erfolgt heute durch folgende Verfahren:

- Die Grundlage für die Erfassung der Geometrie des Straßennetzes bilden Karten in den Maßstäben 1:5 000 bzw. 1:10 000. In Deutschland werden überwiegend die amtlichen Karten Deutsche Grundkarte 1:5 000 (DGK5) bzw. Topographische Karte 1:10 000 (TK10) verwendet
- Diese Grunddaten werden anschließend durch Befahrungen und zum Teil durch eigene Vermessungsarbeiten, Orthophotos und Satellitendaten ergänzt. Momentan verfügt z.B.

<sup>65</sup> Information: D-Sat, Satellitenatlas Deutschland, Scout Systems

Tele Atlas über ein mit DGPS ausgestattetes Erfassungsfahrzeug. Zukünftig ist der Einsatz von 30 Fahrzeugen geplant

- Die Erfassung von POIs wie z.B. Tankstellen, Werkstätten, Restaurants, etc. erfolgt häufig durch Einbeziehung externer Quellen

(Auskunft Tele Atlas)

Die Erfassung von **Fahrzeugen bzw. Verkehrsströmen** läßt sich in folgende Teilaufgaben gliedern:

- Erfassung flächendeckender Verkehrsinformationen überregionaler Abdeckung (z.B. Autobahnen, übergeordnete Bundesstraßen)
- Erfassung flächendeckender Verkehrsinformationen regionaler/lokaler Abdeckung (z.B. Städte, Ballungsräume, beliebte Ausflugsziele, etc.)
- Erfassung an neuralgischen Verkehrsknotenpunkten (z.B. Autobahnkreuze, staugefährdete innerstädtische Kreuzungsbereiche)
- Punktuelle Erfassungen zur Kalibrierung von FCD

Folgende Verfahren zur Verkehrsmessungen werden unterschieden:

- an einem Ort
- innerhalb eines kurzen Streckenabschnitts (<10m)
- innerhalb eines langen Streckenabschnitts (<500m)
- durch einen mitbewegten Beobachter (einzelnes Meßfahrzeug)
- durch mehrere Beobachtungsfahrzeuge (FCD)

Beide Anwendungsbereiche (Erfassung von Straßennetz und Verkehrsdaten) sind mit einem direkten Nutzen für die Verkehrstelematik verbunden, da sowohl digitale Straßendatenbanken als auch Verkehrsinformationen ein Grundelement zahlreicher Verkehrstelematik-anwendungen darstellen.

Die **Anforderungen** an die Erfassung verkehrsrelevanter Objekte lassen sich in folgende Parameter aufschlüsseln:

- 1) Größe des Erfassungsgebietes
- 2) räumliche Auflösung der Datenerfassung
- 3) Wiederholrate der Datenerfassung
- 4) Zeitintervall zwischen Aufnahme und deren Verfügbarkeit beim Endkunden
- 5) Preis

Die Anforderungen bezüglich der einzelnen Parameter werden im folgenden für die Erfassung des Straßennetzes und von Verkehrsinformationen diskutiert:

- 1) Erfassungsgebiet

Die Ermittlung von **Straßendaten** sollte am besten flächendeckend erfolgen, teilweise ist eine Beschränkung auf lokale Gebiete mit starker Bautätigkeit ausreichend.

Die Erfassung von **Fahrzeugen** kann in einem ersten Schritt auf Ballungszentren bzw. neuralgische Straßenabschnitte konzentriert werden. Laut Angaben des Fachbereichs 10 „Physik von Transport und Verkehr“ der Gerhard Mercator Universität Duisburg ist jedoch langfristig eine flächendeckende Erfassung für eine hochwertige Simulation der Verkehrsabläufe erforderlich.

## 2) Räumliche Auflösung

Die räumliche Auflösung eines Sensors bestimmt, ob dieser grundsätzlich zur Erfassung verkehrsrelevanter Objekte wie Straßenverlauf und Fahrzeugen geeignet ist. Die folgende Abbildung veranschaulicht die Bedeutung der räumliche Auflösung für die Interpretation von Fernerkundungsdaten.

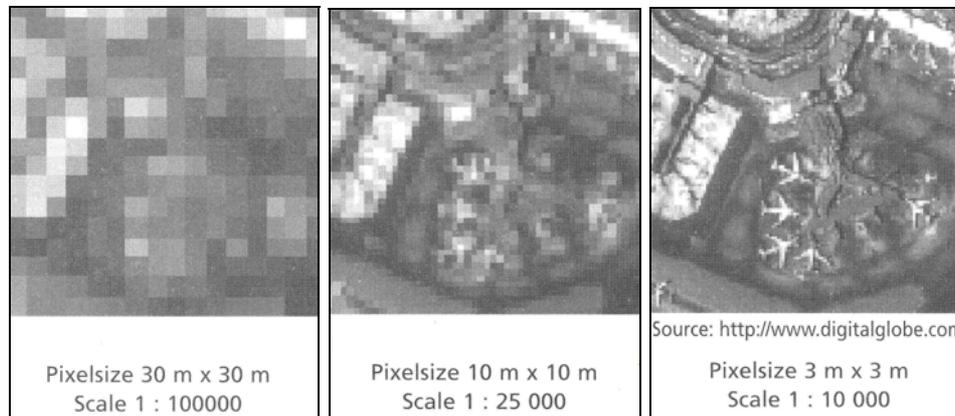


Abbildung 43 Identifizierbarkeit von Objekten bei unterschiedlichen räumlichen Auflösungen <sup>66</sup>

Eine Auflösung von 30m Pixelbreite ist zur Identifizierung von **Straßen**verläufen in der Regel nicht geeignet (evtl. können Straßen, die sich innerhalb einer homogenen Umgebungstextur befinden, erkannt werden). Bereits eine räumliche Auflösung von 10m ermöglicht die Erfassung von breiten Straßen. Die Identifizierung von schmalen Straßen ist ab einer Auflösung von 3m möglich (Konecny und Schiewe, 1997).

Eine Auflösung von 10m Pixelbreite und darüber ist zur Identifizierung von **Fahrzeugen** nicht geeignet. Teilweise ist eine Erfassung von Fahrzeugen bei einer Auflösung von 3m möglich (abhängig von Fahrzeuggröße und Kontrast zur Umgebung). Sehr gute Ergebnisse lassen sich mit einer Auflösung von 1m erzielen (siehe IKONOS-Szene, Abbildung 64).

Die zur Identifizierung von Straßennetz und Fahrzeugen erforderlichen räumlichen Auflösungen sind in der folgenden Tabelle zusammengefaßt.

Räumliche Auflösung	Straßennetz	Verkehrsinformationen
30m	nicht geeignet	nicht geeignet
10m	bedingt geeignet	nicht geeignet
3m	geeignet	bedingt geeignet
1m	geeignet	geeignet

Tabelle 12 Anforderungen zur Erfassung verkehrsrelevanter Objekte hinsichtlich der räumlichen Auflösung <sup>67</sup>

## 3) Wiederholrate der Datenerfassung

Digitale **Straßendaten** werden ca. 1-2mal jährlich aktualisiert. Die Repetitionsrate der Fernerkundungssysteme sollte demnach zwei qualitativ ausreichende Aufnahmen (Einfluß der Wolkenbedeckung bei passiven Fernerkundungssystemen, siehe Kapitel 3.3.2.3) pro Jahr ermöglichen. Eine weitere Verkürzung der Aktualisierungsrate wird aufgrund der aufwendigen Weiterverarbeitung der Daten zu digitalen Straßenkarten (Befahrungen zur Ermittlung von Attributen wie z.B. Einbahnstraßenregelungen, Abbiegebeschränkungen, etc.) und dem Bedarf seitens der Kunden als nicht notwendig erachtet. Ausnahmen stellen Speziallösungen

<sup>66</sup> Literatur: Nagler und Rott, 1998

<sup>67</sup> Information: abgeleitet aus Kapitel 3.3.1

für lokal/regional begrenzte Gebiete mit starker Straßenbautätigkeit dar (z.B. Neubaugebiete, Verkehrserschließung der neuen Bundesländer, etc.). Um diese Informationen kurzfristig an die Kunden weiterzuleiten, sind jedoch geeignete Verfahren (siehe Kapitel 3.2.4) zu entwickeln und zu implementieren.

Für die Erfassung von **Fahrzeugen** sind hohe zeitliche Auflösungen erforderlich. Das durchschnittliche Meßintervall bei Verkehrsmessungen beträgt fünf Minuten. Bei der Auswertung von Verkehrsinformationen läßt sich eine systematische Abhängigkeit hinsichtlich des Auftretens von Verkehrsbehinderungen erkennen:

- die Erfassung innerstädtischer Verkehrsströme sollte an Werktagen schwerpunktmäßig zu den Hauptverkehrszeiten des Pendel- und Berufsverkehrs (7.00-9.00 und 17.00-19.00) erfolgen
- die Erfassung des Wochenendverkehr sollte zweimal wöchentlich zu den relevanten Reisezeiten (Freitag Nachmittag/Abend und Sonntag abend/Montag morgen) erfolgen
- die Erfassung des Fernreiseverkehrs zu Ferienzeiten sollte mehrmals jährlich zu kritischen Zeitpunkten (Beginn/Ende der Schulferien, Werksurlaub) erfolgen

(Auskunft des Fachbereichs Physik von Transport und Verkehr der Gerhard Mercator Universität, Duisburg)

#### 4) Zeitintervall zwischen Aufnahme und Verfügbarkeit beim Endkunden

Der Zeitraum zwischen der Erfassung der Informationen und dem Eintreffen beim Endkunden setzt sich aus der Übermittlung der Daten zur Bodenstation, der Aufbereitung der Daten und dem Versand bzw. der Datenübertragung zum Kunden zusammen. Für die beiden Anwendungsgebiete gilt:

- bei der Erfassung des **Straßennetzes** ist dieser Parameter weniger kritisch. Aufgrund der langen Aufbereitungszeiten der Informationen zu digitalen Straßenkarten kann der Zeitraum zwischen Erfassung und Verfügbarkeit beim Endkunden einige Wochen betragen.
- bei der Erfassung von **Fahrzeugen** ist die Verfügbarkeit der Informationen in Nahe-Echtzeit eine wesentliche Voraussetzung für eine effektive Nutzung der Daten. Die Informationen sollten innerhalb einiger Minuten beim Kunden vorliegen.

#### 5) Preis

Zur Herstellung und Aktualisierung digitaler **Straßenkarten** ist eine aufwendige und kostenintensive Datenrecherche für regional begrenzte Datensätze erforderlich. Daher werden in diesem Bereich eher höhere Preise für großflächige, einheitliche und aktuelle Informationen erzielt werden können.

Verkehrsinformationen basieren auf kostenfrei verfügbaren Quellen (z.B. Landesmeldestellen, Staumelder) und auf den Daten kommerzieller Anbieter (z.B. DDG Gesellschaft für Verkehrsdaten mbH). Eine Abschätzung eines akzeptablen Preisniveaus für Fernerkundungsdaten als Basis einer **Fahrzeug**erfassung ist zum derzeitigen Zeitpunkt nicht möglich. Dies liegt zum einen daran, daß der finanzielle Nutzen aus einem derartigen System bzw. die Bereitschaft der Endnutzer für einen derartigen Dienst zu bezahlen zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht ausreichend bekannt ist, zum anderen daran, daß die Preise für die heute verfügbaren kommerziellen Daten von den kommerziellen Anbietern nicht öffentlich bekannt gegeben werden.

Die Anforderungen für die Erfassung verkehrsrelevanter Objekte läßt sich wie folgt zusammenfassen.

	Parameter	Straßennetz	Verkehrsinformationen
1	Erfassungsgebiet	flächendeckend	lokal, flächendeckend <sup>68</sup>
2	Räumliche Auflösung	<10m	<3m
3	Wiederholrate der Datenerfassung	2x jährlich	ca. 5 Minuten
4	Verfügbarkeit beim Endkunden	einige Wochen	einige Minuten
5	Preise	Weniger kritisch	kritisch

Tabelle 13 Zusammenstellung der Anforderungen zur Erfassung verkehrsrelevanter Objekte<sup>69</sup>

### 3.3.2 Systeme

Im folgenden Kapitel werden zunächst die konventionellen terrestrischen und luftgestützten Verfahren, die heute zur Erfassung von verkehrsrelevanten Objekten eingesetzt werden, vorgestellt, anschließend werden satellitenbasierte Systeme, die aufgrund der räumlichen Auflösung ihrer Sensoren, für eine zukünftige Erfassung geeignet sind, beschrieben.

#### 3.3.2.1 Terrestrische Systeme

Die Herstellung digitaler Straßenkarten wurde im Kapitel 3.3.1 beschrieben, die verwendeten Karten der Maßstäbe 1:5 000 und 1:10 000 basieren sowohl auf terrestrischen Vermessungsverfahren (Tachymeteraufnahmen) als auch auf Verfahren der Luftbildauswertung. Weiterhin werden von den Herstellern digitaler Straßenkarten eigene terrestrische Vermessungsarbeiten durchgeführt. Diese Arbeiten entsprechen den üblichen Verfahren der Ingenieurvermessung und werden daher nicht näher erläutert, eine Beschreibung gibt Kahmen (1997). Weiterhin dienen Befahrungen durch Fahrzeuge, die mit einem DGPS-System zur Positionsbestimmung ausgestattet sind, der Erfassung der Straßengeometrie und von Zusatzattributen wie z.B. Einbahnstraßenregelungen, Abbiegebeschränkungen, etc.. Informationen zu POI werden meist aus externen Quellen hinzugekauft, der Raumbezug wird in der Regel über eine Koordinatenliste der jeweiligen POIs hergestellt.

Zur Erfassung von Verkehrsinformationen werden folgende terrestrischen Verfahren eingesetzt:

- Baken und Induktionsschleifen

Die Funktionsweise von Baken und Induktionsschleifen zur Positionsbestimmung und Kommunikation wurde bereits in den Kapiteln 3.1.2.1.1 bzw. 3.2.2.3.1 behandelt. Die Anwendungen von Baken und Induktionsschleifen zur Generierung von Verkehrsinformationen ist jedoch mit hohen Implementierungs- und Unterhaltskosten verbunden und daher auf lokale/regionale Bereiche begrenzt. Weiterhin ist die Erfassung des Verkehrs auf ausgewählte Meßpunkte beschränkt.

- Brückensensoren

In größerem Umfang kommen straßenseitige Sensoren im Rahmen des Stationären Erfassungssystems (SES) der Firma DDG zum Einsatz. Dabei handelt es sich um ca. 4000 solarbetriebene Sensoren, die entlang der Autobahnen (ca. alle 4 Kilometer) meist an Brücken installiert sind. Die Sensoren messen die mittlere Geschwindigkeit der Fahrzeuge, die jeweiligen Fahrzeugklassen (Pkw oder Lkw) und melden diese Daten über ein Mobilfunknetz an einen Zentralrechner. Das System sendet nur Meßdaten, wenn eine Veränderung der Verkehrssituation stattgefunden hat ([www.ddg.de](http://www.ddg.de)).

<sup>68</sup> Information: langfristig

<sup>69</sup> Information: abgeleitet aus Kapitel 3.3.1



Abbildung 44 DDG-Brückensensor zur Erfassung von Verkehrsinformationen <sup>70</sup>

- Staumelder

Informationen von Staumeldern, d.h. von Fahrern, die sich im Verkehr befinden und per Mobiltelefon Verkehrsinformationen weitergeben, werden von Rundfunkstationen und dem ADAC ausgewertet. Während die Informationen der Rundfunksender auf Meldungen der Hörer basieren, handelt es sich bei den ca. 50 000 Staumeldern des ADAC um registrierte Mitglieder, die sich freiwillig für diese Aufgabe zur Verfügung gestellt haben.

- Flugzeug/Hubschraubereinsatz

Neben dem ADAC und der Polizei, die über eigene Flugzeuge bzw. Hubschrauber verfügen, setzen auch Rundfunkanstalten private Flugunternehmen wie z.B. die Air Service Berlin zur Erfassung von Verkehrsinformationen ein. Diese Einsätze finden zum Teil täglich statt.

- Verkehrszählungen

Verkehrszählungen dienen zwar nicht der Erfassung aktueller Verkehrsmeldungen, die Ergebnisse geben jedoch Hilfestellung bei städteplanerischen Maßnahmen, der Beurteilung von Anwohnerbeschwerden, etc.. Für Verkehrszählungen werden hauptsächlich Mitarbeiter eingesetzt, die Strichlisten führen oder mit einfachen Zählgeräten arbeiten. Eine moderne Methode stellt die Erfassung per Video dar.

- Videokameras



Abbildung 45 Videosystem zur Erfassung von Verkehrsinformationen <sup>71</sup>

<sup>70</sup> URL: [www.ddg.de/3\\_leist\\_5\\_datenerf\\_ses.html](http://www.ddg.de/3_leist_5_datenerf_ses.html)

<sup>71</sup> URL: [www.hoehr.de](http://www.hoehr.de)

Videokameras zeichnen den Verkehrsfluß an ausgewählten Knotenpunkten auf. Langzeitvideorekorder erlauben Aufzeichnungen mit einer Länge von bis zu 24 Stunden. Die Videobänder können teilweise automatisiert ausgewertet werden. Dadurch kann eine automatische Echtzeit-Erfassung des Verkehrs erfolgen. Es werden Parameter wie z.B. Geschwindigkeit, Verkehrsdichte, Fahrtrichtung, etc. bestimmt. Die Daten werden per SMS an eine Zentrale übertragen ([www.hoehr.de](http://www.hoehr.de)).

### 3.3.2.2 Luftgestützte Systeme

Produkte luftgestützter Systeme wie z.B. Luftbilder und Orthophotos kommen in der Verkehrstelematik einerseits indirekt (als Verfahren zur Herstellung von Karten, die dann eine der Grundlagen zur Herstellung digitaler Straßenkarten bilden) andererseits direkt (Erstellung digitaler Straßenkarten aus der Luftbildinformation) zum Einsatz. Auf den Einsatz von Helikoptern und Kleinflugzeugen zur Gewinnung von Verkehrsinformationen wurde bereits hingewiesen.

Die Hauptbezugsquelle für Luftbilder in Deutschland sind die Landesvermessungsämter (LVA). Die Verfügbarkeit und Preise analoger und digitaler Luftbilder werden am Beispiel Bayerns erläutert. Die Situation in den anderen Bundesländern weicht ggf. von der geschilderten Situation ab.

Luftbilder liegen für Bayern flächendeckend vor. Seit 1994 werden die einzelnen Regierungsbezirke im 5-Jahresturnus befliegen. Werden Luftbilder mit einer höheren Aktualität benötigt, beauftragen die Kunden Privatfirmen mit einer Befliegung (z.B. Photogrammetrie GmbH, Hansa Luftbild, Aero West, etc.). In Ausnahmefällen (z.B. für Großkunden) führt die Bayerische Landesvermessung vom Befliegungsturnus abweichende Bildflüge durch. Für die Befliegung muß ein geeigneter Zeitpunkt gewählt werden, dieser wird durch folgende Kriterien bestimmt:

- Schattenwurf (jahres- und tageszeitenabhängig)
- Vegetationsbedeckung
- Wolkenbedeckung
- Dunst/Smog

Private Firmen benötigen ca. zwei Wochen für die Kalkulation eines Angebots und die Vorbereitung des Bildflugs. Analoges Bildmaterial wird meist innerhalb von 2-4 Wochen geliefert, für digitale Produkte müssen längere Zeiträume eingeplant werden.

Seit 2000 werden vom Bayerischen LVA neu aufgenommene Luftbilder in digitaler Form angeboten. Ältere Luftbilder werden auf Wunsch eingescannt. Analoge S/W-Luftbilder im Format 23x23cm sind zu einem Preis von 15 Euro/Stück erhältlich. Die Preise sind entsprechend der bestellten Menge gestaffelt (z.B. ab fünf Bildern 13 Euro). Digitale Luftbilder sind zu 50 Euro pro Stück erhältlich (ebenfalls eine Preisstaffelung bei höheren Abnahmezahlen), zusätzlich fallen pro Bildflugserie 51 Euro an. Die Luftbilder sind in einem Maßstab von 1:15 000 erhältlich. Ortholuftbilder im Maßstab 1:5 000 sind für Bayern ab Mai 2001 ebenfalls flächendeckend erhältlich. Die Preise liegen bei 41 Euro für digitale und 92 Euro für analoge Produkte.

Ältere Luftbilder werden auch von privaten Firmen als CD-ROM angeboten. Das folgende Beispiel stammt aus dem Satellitenatlas Deutschland D-Sat von Scout Systems.



Abbildung 46 Luftbildbeispiel – Düsseldorf <sup>72</sup>

### 3.3.2.3 Satellitengestützte Systeme

Die ersten Fernerkundungssatelliten waren die Lunar Orbiter 1-5. Die Aufgabe dieser Satelliten war die Kartierung der Mondoberfläche zur Vorbereitung der Apollo-Landung. Das erste Satellitenprogramm zur Erkundung der Erdoberfläche war Landsat (1972). Mitte der 70er Jahre folgten der russischen Kosmos Satellit, die Raumstation Mir und 1986 das französische SPOT-Programm (Konecny und Schiewe, 1997). Von den insgesamt ca. 3000 Satelliten, die derzeit betrieben werden, dienen ca. 100 der Erderkundung. Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über die aktuellen operationellen Systeme und zukünftigen Erdbeobachtungsmissionen, die potentiell für eine Erfassung verkehrsrelevanter Objekte geeignet sind.

Grundvoraussetzung zur Erfassung verkehrsrelevanter Informationen ist eine **hohe räumliche Auflösung**. Zunächst werden deshalb die relevanten Fernerkundungssensoren:

- 1) **Meßkamera**
- 2) **Abtastsysteme (Scanner)**
- 3) **aktive Mikrowellensensoren**

kurz vorgestellt und die wesentlichen Parameter, die die räumliche Auflösung dieser Sensoren bestimmen, erläutert.

#### 1) **Meßkamera**

Photographische Kameras waren die ersten Sensoren, die für Fernerkundungszwecke eingesetzt wurden. Da sie der quantitativen Ermittlung geometrischer Parameter auf der Erdoberfläche dienen, werden diese auch als Meßkameras bezeichnet. Der wesentliche Unterschied einer Meßkamera zu einer Amateurkamera ist, daß die Elemente der inneren Orientierung (Kammerkonstante und Bildhauptpunkt) bekannt sind. Sie werden vom Hersteller der Kamera mit einer Genauigkeit von  $<10\mu\text{m}$  bestimmt. Ist die innere Orientierung bekannt, kann basierend auf den geometrischen Gesetzmäßigkeiten der Zentralprojektion und der Verwendung von Paßpunkten das Luft/Satellitenbild georeferenziert und quantitative Messungen der erfaßten Objekte vorgenommen werden.

---

<sup>72</sup> Information: D-Sat, Satellitenatlas Deutschland, Scout Systems

Das räumliche Auflösungsvermögen (AV) einer Meßkamera gibt an, wie schmal dunkle Striche und gleich große helle Zwischenräume sein dürfen, um auf dem Photo noch erkannt zu werden. Das Auflösungsvermögen wird in Linienpaaren pro Millimeter (lp/mm) angegeben und ist von einer Vielzahl von Parametern abhängig (z.B. Blendenzahl, Lage im Bezug zum Bildmittelpunkt, Kontrast des abgebildeten Objekts). In der Regel beträgt das Auflösungsvermögen einer Meßkamera 150 lp/mm, spezielle militärische Aufklärungskameras verfügen über höhere räumliche Auflösungen. Die Größe eines Objektes, das gerade noch erkannt werden kann, errechnet sich aus dem räumliche Auflösungsvermögen der Kamera, der Kammerkonstante (c), der Flughöhe und der Bewegungsunschärfe, die durch die Bewegung der Plattform verursacht wird.

Ein Zahlenbeispiel soll das räumliche Auflösungsvermögen einer Meßkamera verdeutlichen:

Ausgangsdaten:

- Meßkamera: Reihenmeßkamera (RMK) 15/23 der Firma Zeiss  
(AV = 150 lp/mm, c = 15 cm)
- Flughöhe (h): 1 500m

Die Breite eines noch erkennbaren Linienpaares beträgt  $1\text{mm}/150 = 0,007\text{mm}$

⇒ eine Linie hat die Breite: 0,0035mm

Die Größe eines erkennbaren Objekts (x) errechnet sich aus der Formel:

$$x = 0,0035\text{mm} \frac{c}{h} = 0,0035\text{mm} \frac{1500\text{m}}{0,15\text{m}} = 35\text{mm}$$

Dies entspricht der räumlichen Auflösung einer unbewegten Meßkamera. Zur Berücksichtigung der Fluggeschwindigkeit wird die Bildwanderung (w) berechnet. Diese setzt sich aus der Geschwindigkeit der Plattform (v), der Belichtungszeit (t) und der Bildmaßstabszahl ( $m_b$ ) zusammen:

$$w = \frac{vt}{m_b}$$

$$\text{wobei } m_b = \frac{h}{c}$$

bei einer Geschwindigkeit von 300km/h und einer Belichtungszeit von 1/250 s errechnet sich:

$$\text{bei einem Bildmaßstab von } m_b = \frac{1500\text{m}}{0,15\text{m}} = 10\,000$$

und einem Umrechnungsfaktor (f) der Einheiten (km ⇒ mm und Sekunden ⇒ Stunden) von:

$$f = \frac{10000}{3,6}$$

$$w = \frac{300}{10\,000} \frac{10000}{250 \cdot 3,6} = 0,033\text{mm}$$

Aus der Bildwanderung berechnet sich das Auflösungsvermögen, das durch die Bewegungsunschärfe verursacht wird zu:

$$AV = \frac{1}{w} = \frac{1}{0,033} = 30\text{ lp/mm}$$

Das gesamte Auflösungsvermögen ( $AV_{ges}$ ) berechnet sich aus dem Auflösungsvermögen der Kamera ( $AV_k$ ) und dem Auflösungsvermögen der Bewegungsunschärfe ( $AV_w$ ):

$$\frac{1}{AV_{ges}^2} = \frac{1}{AV_k^2} + \frac{1}{AV_w^2}$$

$$\frac{1}{AV_{ges}^2} = \frac{1}{150^2} + \frac{1}{30^2} \Rightarrow AV_{ges} = 29 \text{ lp/mm}$$

Unter Berücksichtigung der Gesamtauflösung von 29 lp/mm errechnet sich für das oben genannte Beispiel folgende Detailauflösung:

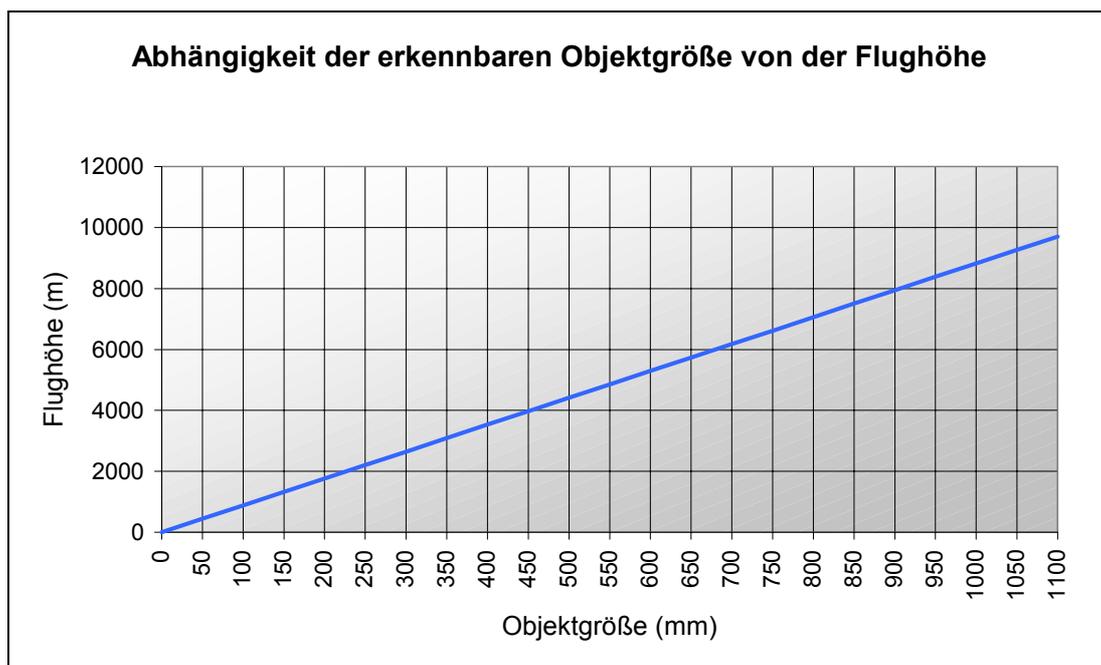
Breite eines noch erkennbaren Linienpaares beträgt  $1\text{mm}/29 = 0,034\text{mm}$

$\Rightarrow$  eine Linie hat die Breite:  $0,017\text{mm}$

Die Größe eines erkennbaren Objekts (O) ist:

$$O = 0,017\text{mm} \frac{c}{h} = 0,017\text{mm} \frac{1500\text{m}}{0,15\text{m}} = 170\text{mm}$$

Das folgende Diagramm zeigt den Einfluß der Flughöhe auf die räumliche Auflösung.



( $c = 15\text{cm}$ ,  $29 \text{ lp/mm}$ )

Abbildung 47 Abhängigkeit der erkennbaren Objektgröße von der Flughöhe

In der Luftbildbefliegung werden Meßkameras mit Kammerkonstanten von 150mm und 300mm eingesetzt. Für Spezialaufnahmen werden Kammerkonstanten von 600mm eingesetzt. Eine typische Aufnahmehöhe liegt bei 4,5km. Der satellitengestützte Einsatz von Meßkameras erfolgt meist aus einer Höhe von ca. 300km unter Verwendung von Meßkameras mit Kammerkonstanten von 300mm (MK-4), 350mm (TK-350) und 1000mm (KFA-1000, KVR-1000).

Die folgende Tabelle zeigt die erkennbaren Objektgrößen für die genannten Parameter (bei 29lp/mm).

Luftbildbefliegung		Satellitensysteme	
Kammerkonstante	Erkennbare Objektgröße	Kammerkonstante	Erkennbare Objektgröße
150mm	0,51m	300mm	17,00m
300mm	0,25m	350mm	14,57m
600mm	0,12m	1000mm	5,10m

Tabelle 14 Abhängigkeit der erkennbaren Objektgröße von der Kammerkonstanten

## 2) Abtastsysteme (Scanner)

Abtastsysteme besitzen gegenüber photographischen Aufnahmeverfahren unter anderem die Vorteile, daß ein breiterer Spektralbereich erfaßt werden kann und die Daten fast unmittelbar (bei Überflug einer Bodenstation) von Satelliten an eine Bodenstation gesendet werden können (photographisch erfaßte Daten werden meist durch Abwurf von Filmkapseln über den Ozeanen zur Erde transportiert).

Scanner tasten die Erdoberfläche während des Flugs zeilenweise senkrecht zur Flugrichtung ab. Dies ist mittels eines rotierenden Prismas realisiert. Die empfangene Strahlung wird über mehrere Spiegel und Linsen auf ein weiteres Prisma gelenkt und dort in seine spektralen Bestandteile zerlegt. Nach der Dispersion können einzelne Spektralbereiche (Kanäle) durch Detektoren erfaßt und in elektrische Signale umgewandelt, diese werden anschließend verstärkt und aufgezeichnet.

Die räumliche Auflösung eines Scanners wird durch die Größe der erfaßten Bildelemente (Pixel) bestimmt. Die Größe der Pixel im Gelände ergibt sich aus der Projektion der Detektorfläche auf die Erdoberfläche. Diese wird durch den Öffnungswinkel des Scanners ( $\Delta\alpha$ ), Flughöhe ( $h$ ) und Beobachtungswinkel des Sensors ( $\alpha$ ) bestimmt.

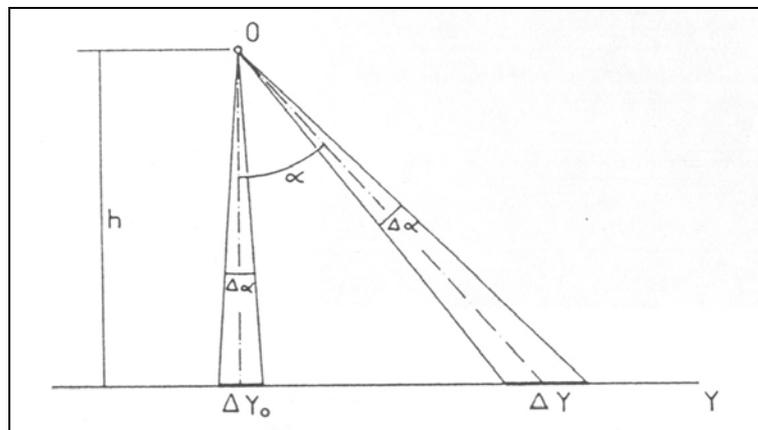


Abbildung 48 Skizze: Abhängigkeit der räumlichen Auflösung von Orbithöhe und Schwenkwinkel (Scanner)<sup>73</sup>

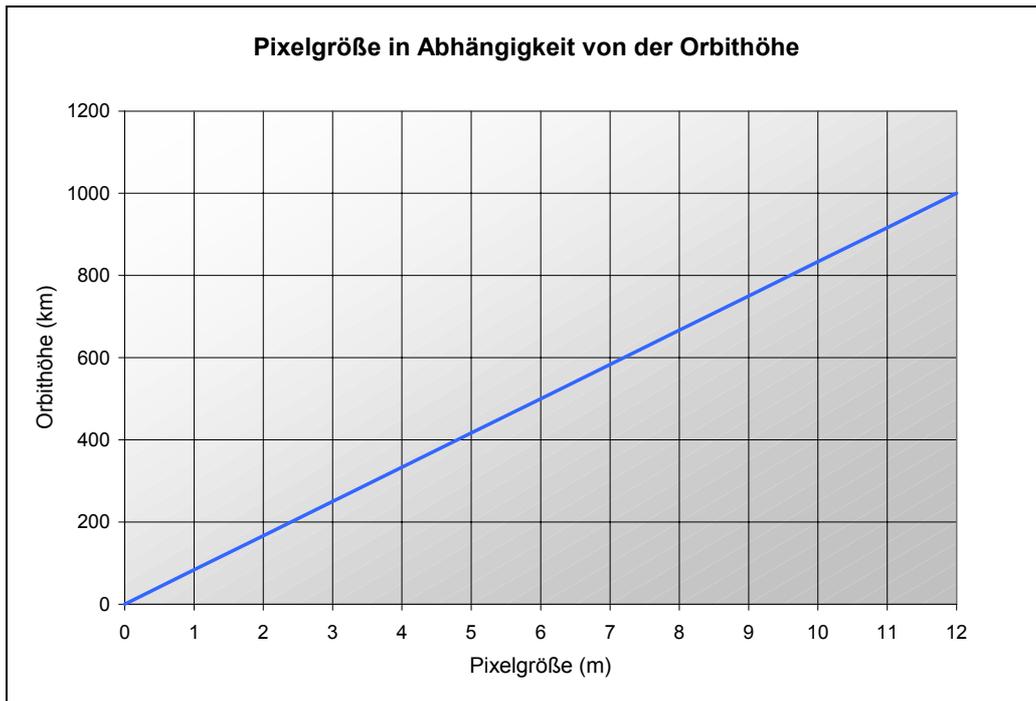
$\Delta X_0$  und  $\Delta Y_0$  berechnen sich aus:  $h \Delta\alpha$

Für den HRV (High Resolution Visible Scanner) der SPOT-Satelliten mit Öffnungswinkeln von 0,024 mrad im Multispektralmodus und 0,012 mrad im panchromatischen (PAN)-Bereich ergibt sich aus der Orbithöhe von 822km folgende Pixelgröße im Nadir (Bildmittelpunkt):

Multispektral:  $\Delta X_0 = \Delta Y_0 = 0,000024 \times 822\,000\text{m} = 19,728\text{m}$

PAN:  $\Delta X_0 = \Delta Y_0 = 0,000012 \times 822\,000\text{m} = 9,864\text{m}$

<sup>73</sup> Literatur: Kraus, 1988



(Öffnungswinkel: 0,012 mrad)

Abbildung 49 Abhängigkeit der räumlichen Auflösung (PAN) von der Orbithöhe

Die Formeln zur Berechnung der Pixelgröße in Abhängigkeit des Beobachtungswinkels  $\alpha$  lauten:

$$\Delta X = \frac{h \cdot \Delta\alpha}{\cos\alpha}$$

$$\Delta Y = \frac{h \cdot \Delta\alpha}{\cos\alpha^2}$$

Bei einem Beobachtungswinkel von  $30^\circ$  ergeben sich folgende Pixelgrößen:

- Multispektral:

$$\Delta X = \frac{h \cdot \Delta\alpha}{\cos\alpha} = \frac{822000m \cdot 0,000024}{\cos 30^\circ} = 22,14m$$

$$\Delta Y = \frac{822000m \cdot 0,000024}{\cos 30^\circ^2} = 24,85m$$

- PAN:

$$\Delta X = \frac{h \cdot \Delta\alpha}{\cos\alpha} = \frac{822000m \cdot 0,000012}{\cos 30^\circ} = 11,07m$$

$$\Delta Y = \frac{822000m \cdot 0,000012}{\cos 30^\circ^2} = 12,42m$$

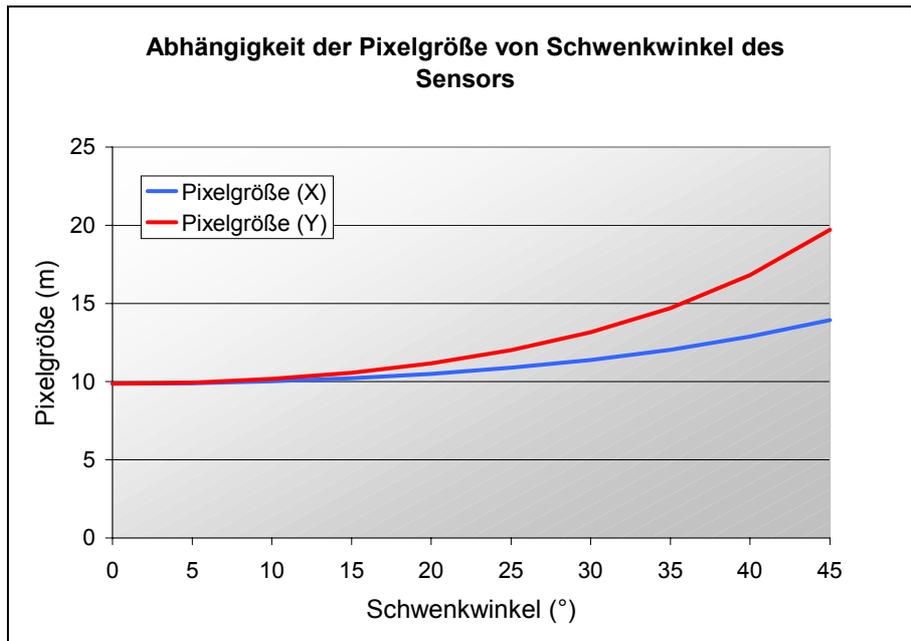


Abbildung 50 Abhängigkeit der räumlichen Auflösung (PAN) vom Schwenkwinkel des Sensors

### 3) aktive Mikrowellensensoren

Mikrowellensensoren weisen gegenüber Meßkameras und Scannern folgende Vorteile auf:

- aufgrund des hohen Transmissionsgrads der Atmosphäre im Spektralbereich der Mikrowellen werden die Aufnahmen nicht durch die Bewölkung beeinträchtigt
- die Aufnahme ist von der Sonnenstrahlung unabhängig und erlaubt eine Datenerfassung über 24 Stunden täglich
- die Eindringtiefe von Mikrowellen in die Geländeoberfläche reicht von einigen Millimetern bis zu einigen Metern und erlaubt Aussagen über die Oberflächenschicht (vor allem für Vegetationsbestände)
- die Emission und Reflexion der Mikrowellen ist vor allem durch die relative Dielektrizitätskonstante der Oberfläche bestimmt, dies erlaubt Aussagen zum Feuchtegehalt eines Bodens

Die Mikrowellen werden von einer stabförmigen, seitlich am Flugkörper in Flugrichtung montierten, Antenne ausgestrahlt und empfangen. Die Winkelauflösung der Antenne in Flugrichtung ist durch deren Länge bestimmt. Aus technischen Gründen ist die Länge der Antenne an Bord eines Satelliten limitiert. Durch die Anwendung des SAR (Synthetic Aperture Radar)-Verfahrens wird dieses Problem umgangen. Dabei wird die Phase der reflektierten Mikrowellen aufgezeichnet. Mit Hilfe dieser Information kann eine „lange Antenne“ entlang der zeitlich versetzten Flugbahn einer kurzen Antenne simuliert werden. In die Berechnung der räumlichen Auflösung seitlich zur Flugrichtung (Y) geht die Antennenlänge nicht ein und ist damit unerheblich.

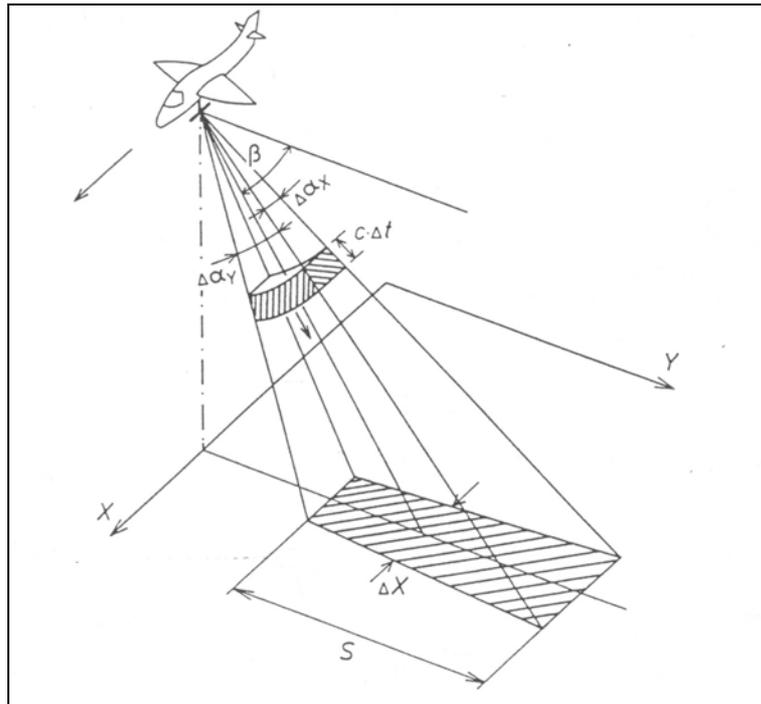


Abbildung 51 Skizze: Abhängigkeit der räumlichen Auflösung von Orbithöhe und Schwenkwinkel (SAR) <sup>74</sup>

Die räumliche Auflösung in X-Richtung berechnet sich aus Orbithöhe ( $h$ ), Wellenlänge ( $\lambda$ ) (bzw. Lichtgeschwindigkeit ( $c$ ) und Frequenz ( $\nu$ )), Antennenlänge ( $l$ ) und Schwenkwinkel ( $\beta$ ) nach der Formel:

$$\Delta X = \frac{h \cdot \lambda}{l \cdot \sin \beta}$$

wobei:  $\lambda = \frac{c}{\nu}$

Die räumliche Auflösung in Y-Richtung berechnet sich aus Lichtgeschwindigkeit ( $c$ ), Impulsdauer ( $\Delta t$ ) und Depressionswinkel ( $\beta$ ) nach der Formel:

$$\Delta Y = \frac{c \cdot \Delta t}{2 \cdot \cos \beta}$$

Für Mikrowellen mit einer Frequenz von 5 GHz. (C-Band), einer simulierten Antennenlänge in Flugrichtung von 4,8km, einer Impulsdauer von 100 ns, einem Depressionswinkel von 30° und einer Flughöhe von 800km lassen sich folgende räumliche Auflösungen berechnen:

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^{10}}{5 \cdot 10^9} = 6 \text{ cm}$$

$$\Delta X = \frac{800 \cdot 0,06}{4800 \cdot \sin 30^\circ} = 22 \text{ m}$$

$$\Delta Y = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot \cos 30^\circ} = 17,3 \text{ m}$$

(Kraus, 1988)

<sup>74</sup> Literatur: Kraus, 1988

Für das in Kapitel 3.3.2.3.13 beschriebene System TerraSAR mit Sensoren in den Frequenzbereichen 2,5 GHz (L-Band) und 9,5 GHz. (X-Band) berechnen sich unter Berücksichtigung der Orbithöhe von 660km und Annahme der gleichen Werte wie oben eine räumliche Auflösung in X-Richtung von:

- 3,6m im L-Band
- 0,8m im X-Band

Der Einfluß der Orbithöhe auf die räumliche Auflösung in X-Richtung ist in der folgenden Abbildung für das X-Band dargestellt (auf die Auflösung in Y-Richtung übt die Orbithöhe keinen Einfluß aus).

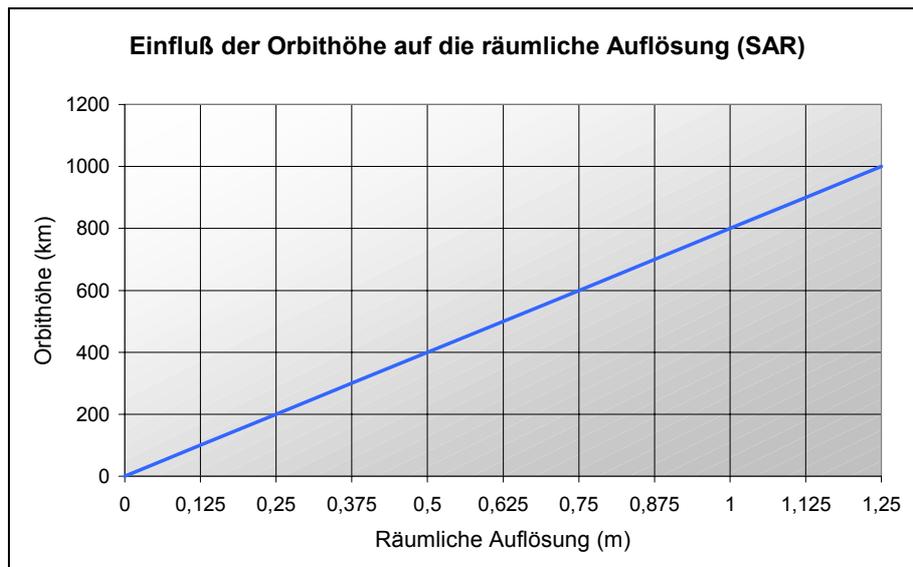


Abbildung 52 Einfluß der Orbithöhe auf die räumliche Auflösung bei SAR

Der Schwenkwinkel des Sensors beeinflusst die räumliche Auflösung sowohl in X als auch in Y-Richtung. Die Abhängigkeit ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

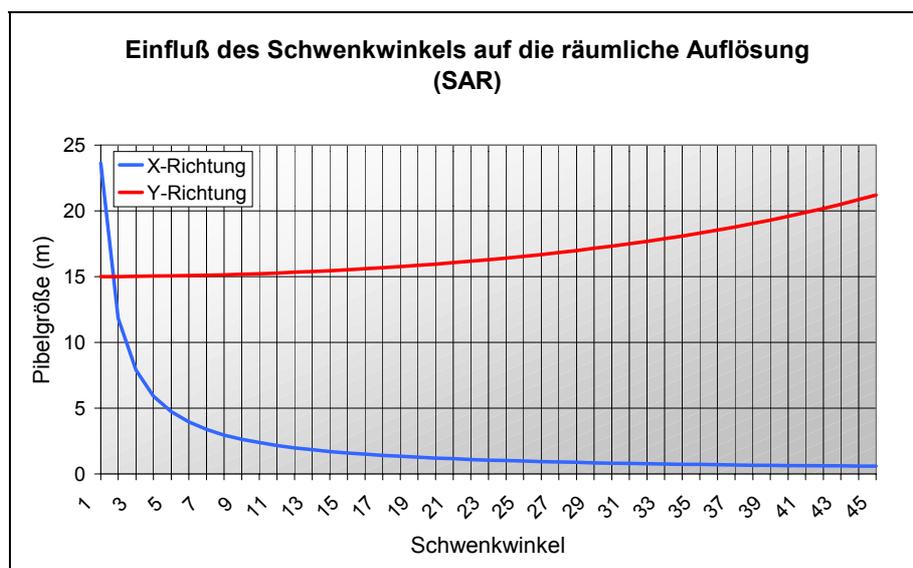


Abbildung 53 Einfluß des Schwenkwinkels auf die räumliche Auflösung bei SAR

Neben der räumlichen Auflösung spielt auch die **spektrale Auflösung** der Sensoren eine wesentliche Rolle. Darunter versteht man die Fähigkeit eines Fernerkundungssensors einzelne Spektralbereiche voneinander zu unterscheiden. In der Erdbeobachtung werden elektromagnetische Wellen vom UV- bis zum Mikrowellenbereich zur Erfassung der Erdoberfläche verwendet. Für die Erfassung von Straßendaten und Verkehrsströmen wird der Wellenlängenbereich des sichtbaren Spektrums genutzt.

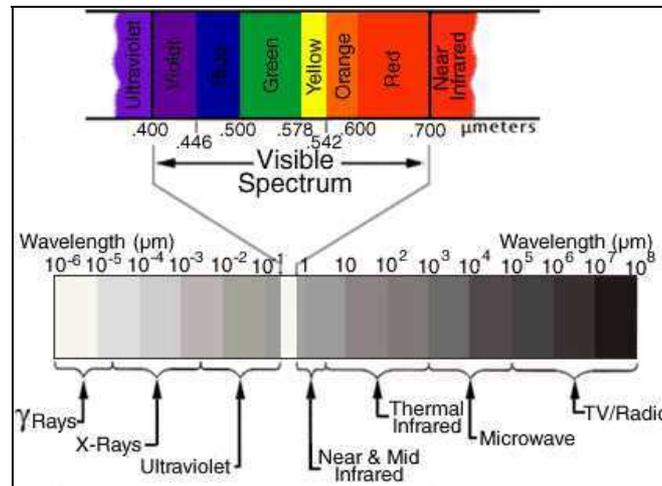


Abbildung 54 Spektralbereiche elektromagnetischer Wellen <sup>75</sup>

Neben der räumlichen und spektralen Auflösung der Sensoren spielen auch Charakteristika der jeweiligen **Missionen** wie z.B. Wiederholraten, Abdeckung, Dauer des operationellen Betriebs, Vermarktungsstrategie der Datenanbieter, etc. eine wichtige Rolle für eine Nutzung von Fernerkundungsdaten in der Verkehrstelematik.

Bei Nagler und Rott (1998) finden sich tabellarische Übersichten aktueller und geplanter **zivilen Erdbeobachtungsmissionen**. Die folgende Tabelle basiert weitgehend auf dieser Zusammenstellung und wurde durch aktuelle Recherchen ergänzt. Sie gibt die Missionen wieder, auf denen ein Sensor mit einer räumlichen Auflösung von  $\leq 10\text{m}$  geflogen wurde. Dies entspricht der in Kapitel 3.3.1 ermittelten Mindestanforderung zur Erfassung verkehrsrelevanter Informationen.

Die aufgelisteten Missionen werden in den darauffolgenden Kapiteln vorgestellt, dabei werden (soweit verfügbar) auch Angaben zu den aktuellen Preisen der verschiedenen Produkte gemacht. Beispielhaft werden einige Abbildungen von Satellitenszenen wiedergegeben. Diese Abbildungen stammen aus kostenfrei per Internet zugänglichen Beispieldatensätzen der jeweiligen Anbieter. Durch Einfügen der Abbildungen mittels eines gängigen Graphikformats entspricht die Auflösung der Satellitenszenen nicht der Qualität, die bei Verwendung einer professionellen Software zur Verarbeitung von Satellitendaten erzielt werden kann. Die Bilder vermitteln jedoch einen Eindruck der räumlichen Auflösung.

<sup>75</sup> URL: <http://observe.ivv.nasa.gov/nasa/education/reference/reflect/ir.html>

Plattform	Sensor	Spektralbereich	Anzahl der Kanäle	Räumliche Auflösung (m)	Orbithöhe (km)	Aufnahmestreifen, - gebiet	Umlauf (in Tagen)	Wiederholrate (in Tagen)	Start/Betrieb
Resurs F1	KFA-1000	PAN	1	6-8	275	ca. 80			periodisch seit 1979
Kosmos	TK-350	PAN	1	10	190-270	200x300			1981-1998 <sup>76</sup>
Kosmos	KVR-1000	PAN	1	2-3	190-270	40x40			1984-1998
SPOT 1-3	HRV-P	PAN	1	10	822	60	26	2,4 <sup>77</sup>	1986
Resurs F2	MK-4	PAN, VIS, NIR,		6-8	235				1988
Mir	MK-4	PAN, VIS, NIR,		6-8	400				1990
IRS-1C	PC	VIS	1	5,8	817	70,5	24	5	1995
IRS-1D									1997
ADEOS	AVNIR	PAN	1	8	797	80	41	3	8/1996-7/1997
Mir	MOMS-02	PAN	1	5	360	105x50			1996-1998
IKONOS-2	Carterra	PAN	1	1	680	11x11		1-3	9/1999
		VIS, NIR	4	4					
Orbview-4		PAN	1	1	470	8		<3	Fehlstart 21.9.2001
		VIS, NIR	4	4					
		VIS, NIR, SWIR	200	8					
QuickBird-2	QBP	PAN	1	0,8	474-600	22x22		1-4	Start 18.10.2001
	QBM	VIS, NIR	4	3,2					
ADEOS II									2/2002
IRS-P5 (Cartosat-1)	HR-PC	PAN	1	2,5	617	10-30		26	2002
	LISS-IV	VIS, NIR, SWIR	7	6-23		40		22	
Radarsat-2	SAR	C-Band	1	3-100	798	20-500	24	2-5 <sup>79</sup> 1-1,5 <sup>80</sup>	2003
Resource 21	M10	VIS, NIR	4	10	743	205		3-4	2004
TerraSAR	SAR	SAR X		1	660	5x10		2	2005
		SAR L		5		10x10			2005

Tabelle 15 Zusammenstellung von Erdbeobachtungsmissionen mit einer räumlicher Auflösung von  $\leq 10\text{m}$  <sup>81</sup>

<sup>76</sup> Information: in den nächsten 5 Jahren sind 2 Missionen/Jahr geplant

<sup>77</sup> Information: mittlere Breiten

<sup>78</sup> Information: bei 2 operationellen Satelliten

<sup>79</sup> Information: Äquator

<sup>80</sup> Information: 60° geogr. Breite

<sup>81</sup> Literatur: Nagler und Rott, 1998 und Ergänzungen aus eigener Recherche

Bei Konecny und Schiewe (1997) findet sich eine Aufstellung der öffentlich bekanntgegebenen Leistungsparameter hochauflösender **militärischer Satellitensysteme**. Es gibt Hinweise, daß militärische Satellitensysteme über eine wesentlich höhere räumliche Auflösung verfügen. Die Systeme werden aus Gründen der Vollständigkeit in der folgenden Tabelle zusammengefaßt, jedoch sind die Daten für zivile Nutzer nicht zugänglich.

Nation	Programm	Auflösung	Streifenbreite	Start
USA	KH 11, KH 12	< 1m	10km	1970er
Frankreich	Helios 1	3m	10km	1990er
China	Panorama Kamera	ca. 10m		1985
Rußland	KFA-3000 KVR-1000	0,7-1,5m 0,5m		1990 1992
Frankreich	Helios 2, 3 Osiris	1m	10km	
USA	8 X	<1m	150km	
Israel	Offeq 3	2-3m		2002

Tabelle 16 Übersicht militärischer Erdbeobachtungssatelliten <sup>82</sup>

### 3.3.2.3.1 Resurs F1 und F2

- Mission

Die russischen Resurs F Satelliten fliegen 2-3mal pro Jahr für 10-30 Tage in einem nicht sonnensynchronen, fast polaren (82,3°Inklination) Orbit in einer Höhe von 275km (Resurs F1) bzw. 235km (Resurs F2).

- Sensor

An Bord der Resurs F1 befinden sich eine KFA-200 und zwei KFA-1000 Kameras. Die räumliche Auflösung der KFA-1000 beträgt 6-8m.

Der Nachfolgesatellit Resurs F2 ist seit 1988 in Betrieb und ist mit der MK-4 Kamera ausgestattet. Die MK-4 besitzt eine Brennweite von 300mm und nimmt in folgenden Spektralbereichen auf.

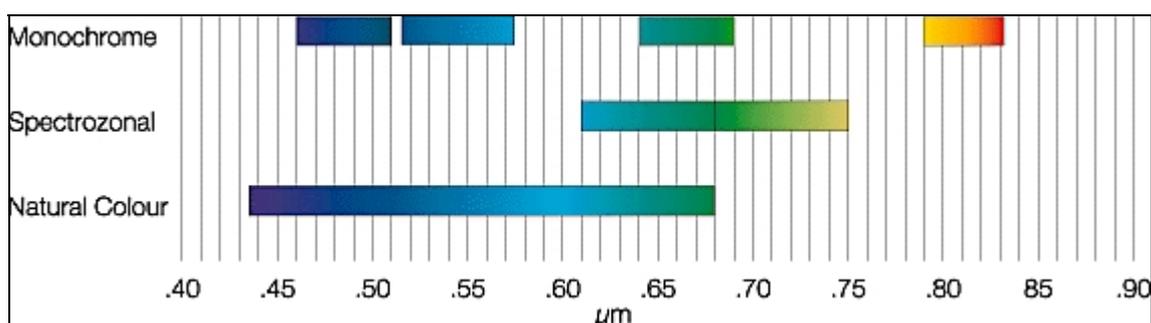


Abbildung 55 Spektralauflösung der MK-4 <sup>83</sup>

Die räumliche Auflösung der MK-4 liegt ebenfalls zwischen 6-8m. Archivbilder liegen seit 1988 vor und sind teilweise auch in digitaler Form erhältlich.

<sup>82</sup> Literatur: Konecny und Schiewe, 1997

<sup>83</sup> URL: [http://www.eurimage.com/Products/MK\\_4.html#ts](http://www.eurimage.com/Products/MK_4.html#ts)

Die MK-4 wurde seit 1990 auch auf der Mir (Höhe 400km, Inklination 51,6°) geflogen. Aufgrund der starken Variationen des Mir-Orbits schwanken die Auflösungen, die Maßstäbe und die Bildgrößen dieser Aufnahmen.

- Daten

Die Mir deckte ein Gebiet zwischen 52,6°N und 52,6°S ab, wobei die Aufzeichnungen sich vor allem auf Südeuropa, den Mittleren Osten und den Süden der ehemaligen UdSSR konzentrierten. Weitere Aufnahme liegen aus Südamerika, Afrika, Indien, dem Fernen Osten und Australien vor. Die Bilder können bei Eurimage bestellt werden ([www.eurimage.com](http://www.eurimage.com)).

### 3.3.2.3.2 Kosmos

- Mission

Die erste Generation der Kosmos Satelliten wurde im Februar 1981 gestartet. Die bisher letzte Mission fand zwischen 17.2.1998 und 3.4.1998 statt. Die durchschnittliche Dauer eines Kosmos Fluges liegt bei 40-45 Tagen. Für die nächsten fünf Jahre sind zwei Kosmos Flüge pro Jahr geplant. Die Orbithöhe von Kosmos beträgt 190-270km, die Inklination liegt zwischen 65°-70° (abhängig von Aufgabe und Dauer der Mission).

- Sensor

Als Sensoren werden die beiden hochauflösenden Kameras TK-350 und KVR-1000 geflogen. Die TK-350 wird seit 1981 und die KVR-1000 seit 1984 eingesetzt.

Die TK-350 hat eine Brennweite von 350mm und deckt mit einer Aufnahme ein Gebiet von 200x300km<sup>2</sup> ab. Der erfaßte Spektralbereich liegt zwischen 0,51-0,76µm bei einer räumlichen Auflösung von 10m. Die Lagegenauigkeit beträgt 20-25m (RMS<sup>84</sup>) bzw. 7-10m (RMS) bei Verwendung von Paßpunkten. Zur Vermessung der Paßpunkte wird in der Regel GPS eingesetzt.

Die KVR-1000 ist eine photographische Kamera mit einer Brennweite von 1000mm. Die räumliche Auflösung erreicht im Nadir eine Pixelgröße von 1,56m, die durchschnittliche Auflösung liegt bei 2-3m ([www.eurimage.com](http://www.eurimage.com)). Eine Aufnahme deckt ein Gebiet von 40x40km<sup>2</sup> ab. Der radiometrische Aufnahmebereich liegt zwischen 0,52-0,76µm, die Lagegenauigkeit beträgt 10m (RMS) und kann bei Verwendung von Kontrollpunkten auf 3-4m (RMS) verbessert werden.



Abbildung 56 KVR-1000 Aufnahme - Dublin<sup>85</sup>

<sup>84</sup> Information: Root Mean Square

<sup>85</sup> URL: [www.eurimage.com/Products/images/kvr\\_1000/Dublin.jpg](http://www.eurimage.com/Products/images/kvr_1000/Dublin.jpg)

- Daten

Die ursprünglich zur militärischen Verwendung bestimmten Aufnahmen werden von SPIN-2, einer Tochterfirma von Sovinform Sputnik, Aerial Images Inc. und Central Trading Systems Inc. an zivile Kunden vertrieben. Die Lieferzeiten für archiviertes Bildmaterial liegen bei 15 Tagen, digitale Produkte von kürzlich aufgenommenen Szenen werden innerhalb von 60 Tagen zugestellt. Gegen Aufpreis kann die Lieferzeit verkürzt werden. Die Orthobilder sind georeferenziert und werden im Tiff-Format geliefert (www.eurimage.com).

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick der Kosmos-Produkte und deren Preise.

Produkt	Aufnahmedatum	Größe des Gebietes	Preis (US\$/km <sup>2</sup> )
2m	vor 1993	min. 100km <sup>2</sup>	30
	nach 1993	min. 100km <sup>2</sup>	40
	Spezial Aufnahme	min. 100km <sup>2</sup>	nach Anfrage
10m		< 2 500km <sup>2</sup>	1
		2 500-15 000km <sup>2</sup>	0,60
		> 15 000km <sup>2</sup>	0,50

Tabelle 17 Produkte und Preise der Kosmosdaten <sup>86</sup>



Abbildung 57 Kosmos - Düsseldorf <sup>87</sup>

### 3.3.2.3.3 SPOT

- Mission

Das französische Programm Satellite Pour l'Observation de la Terre (SPOT) wurde 1977 gestartet, seither kamen folgende Satellitengenerationen zum Einsatz bzw. sind geplant:

- SPOT 1: nach dem Start am 22.2.1986 war SPOT 1 bis zum 30.12.1990 im operativen Betrieb. Nach einer Fehlfunktion von SPOT 3 wurde SPOT 1 am 9.1.1997 erneut aktiviert
- SPOT 2: am 22.1.90 gestartet

<sup>86</sup> Literatur: Nagler und Rott, 1998

<sup>87</sup> Information: D-Sat, Satellitenatlas Deutschland, Scout Systems

- SPOT 3: am 26.9.1993 gestartet, zwischen 1994 und November 1996 operationell
- SPOT 4: am 24.3.1998 gestartet
- SPOT 5: für Anfang 2002 geplant

Die SPOT Satelliten befinden sich in 822km Höhe bei einer Inklination von 98°. Eine Erdumkreisung dauert 101 Minuten, ein Umlaufzyklus 26 Tage.

- Sensor

Auf den SPOT 1-3 Satelliten wurde unter anderem der High Resolution Visible - Panchromatic (HRV-P) Sensor mit einer räumlichen Auflösung von 10m im Spektralbereich 0,51-0,73µm geflogen. Der Sensor deckt einen Streifen von 60km Breite ab. Diese überlappen sich um 3km, so daß insgesamt ein Gebiet von 117km Breite erfaßt wird. Durch eine maximale Schenkung von 27° kann ein Gebiet innerhalb eines 900km breiten Aufnahmestreifens ausgewählt werden, dadurch wird eine (von der geographischen Breite abhängige) Verkürzung des Aufnahmezyklus auf maximal einen Tag und durchschnittlich 2,4 Tage (in 45° geogr. Breite) erzielt.

Die Sensoren von SPOT 4 wurden gegenüber SPOT 1-3 hinsichtlich der radiometrischen Auflösung verbessert, die räumliche Auflösung blieb unverändert.

- Daten

Folgende SPOT-Produkte sind erhältlich:

- **Level 1**
  - Level 1A  
Rohdaten mit einer minimalen radiometrischen Korrektur  
keine geometrische Korrekturen
  - Level 1AP  
standardmäßige radiometrische Korrekturen  
keine geometrischen Korrekturen
  - Level 1B  
vorprozessiertes Basisprodukt mit radiometrischen und geometrischen Standardkorrekturen
- **Level 2**
  - Level 2A  
Verwendung von Paßpunkten für geometrische Korrekturen  
zur kartographischen Auswertung und Überlagerung mit anderen Satellitenszenen  
geeignet
  - Level 2B  
wie 2A mit einer verbesserten radiometrischen Korrektur
- **Level Ortho**  
wie 2B mit der Möglichkeit zur DGM Auswertung
- **Spezialprodukt: StereoSPOT**
- **Stereopaar in Level 1A/1B**

SPOT Szenen können auf CD-ROM, CCT (Computer Compatible Tape) und als Film oder Papiausdruck bezogen werden.

Die Preise für SPOT-Daten sind in der folgenden Tabelle wiedergegeben.

	<b>Aufnahme nach 1990</b>	<b>Aufnahme vor 1990</b>
PAN Vollszene	2580 Euro	1350 Euro
XS Vollszene	1995 Euro	1050 Euro

Tabelle 18 Preise der SPOT-Daten<sup>88</sup>

Die Lieferzeiten liegen bei ca. 10 Tagen, archivierte Daten können per Express-Dienst innerhalb von 24 Stunden geliefert werden.



Abbildung 58 SPOT PAN - Windsor<sup>89</sup>

#### 3.3.2.3.4 IRS

- Mission

Der erste Indian Remote Sensing Satellite IRS-1C wurde am 28.12.1995 gestartet. Ein weiterer Satellit (IRS-1D) folgte am 29.9.1997. Die Satelliten befinden sich auf einem sonnensynchronen Orbit in einer Höhe von 817km bei einer Inklination von 98,69°. Ein Erdumlauf erfolgt in 101,35 Minuten, in 24 Tagen ist ein Erdumlaufzyklus beendet.

Der Start der nächsten Satellitengeneration IRS-P5 (Cartosat-1) ist für 2002 geplant. Der IRS-P5 soll in einer Höhe von 617km bei einer Inklination von 97,87° fliegen und neben dem bereits angesprochenen LISS-IV über eine Panchromatic Camera mit einer räumlichen Auflösung von 2,5m verfügen. Dadurch werden Kartierungsarbeiten im Maßstab 1:5 000 ermöglicht. Dies entspricht den Anforderungen für die Herstellung digitaler Straßenkarten. Die Aufnahmebreite beträgt 10-30km.

---

<sup>88</sup> URL: <http://infoterra-global.com>

<sup>89</sup> URL: <http://infoterra-global.com/SPOT%20Panchromatic%20.html>

Weitere Satellitengenerationen sind geplant:

- IRS-P6 (RESOURCESAT-1) für 2002
- IRS 2A (Cartosat-2) mit 1m Auflösung bei 10km Aufnahmebreite für 2003
- IRS P7 für 2003
- IRS P8 für 2003
- Sensor

Für einen Einsatz in der Verkehrstelematik kommt von den verfügbaren Sensoren lediglich die Panchromatic Camera mit einer räumlichen Auflösung von 5,8m im Spektralbereich von 0,5-0,75 $\mu$ m in Betracht. Durch Schwenken der Kamera wird eine Aufnahmewiederholrate von bis zu fünf Tagen erreicht.

Ein weiterer IRS-Sensor, der zukünftig für einen Einsatz in der Verkehrstelematik in Frage kommt, ist der LISS (Linear Imaging Self Scanning Sensor). Die räumliche Auflösung des heute verfügbaren LISS-III-Sensors beträgt 23,5m, die nächste Generation LISS-IV, die für 2002 geplant ist, soll in den Spektralbereichen VIS (Visible), NIR (Near Infrared) und SWIR (Short Wave Infrared) eine räumliche Auflösung von 6-23m liefern.

- Daten

Die IRS-Produkte werden in folgenden Qualitätsstufen angeboten:

- Data Level 1: Browse Product
- Data Level 2: Standard Product
- Data Level 3: Special Product (Precision, Geocoded, Special Enhanced)

Es werden auch kundenspezifische Sonderprodukte hergestellt, die auch für verkehrstelematische Anwendungen interessant sind, z.B. georeferenzierte Aufnahmen von Stadtbereichen oder Szenen entlang von definierten Wegstrecken (Straßen) und Stereoauswertungen (Gebäude-DGM). Die Daten werden auf den üblichen Datenträgern bereitgestellt.

Die Preise liegen für eine PAN-Vollszene (70x70km<sup>2</sup>) bei ca. 2500 Euro und für eine Teilzene (23x23km<sup>2</sup>) bei ca. 750 Euro.

Die Fernerkundungsdaten verschiedener Sensoren werden häufig zu einem sogenannten **Merge** (Verschmelzung, Fusion) verarbeitet. Ein solcher Merge aus Aufnahmen im Multispektral- und PAN-Bereich vereint den multispektralen Informationsgehalt mit panchromatischer räumlicher Auflösung und erleichtert somit die Bildinterpretation. Die folgenden Abbildungen zeigen zwei IRS PAN-Szenen und einen Merge.



Abbildung 59 Abbildung IRS-1C PAN - Hamburg <sup>90</sup>

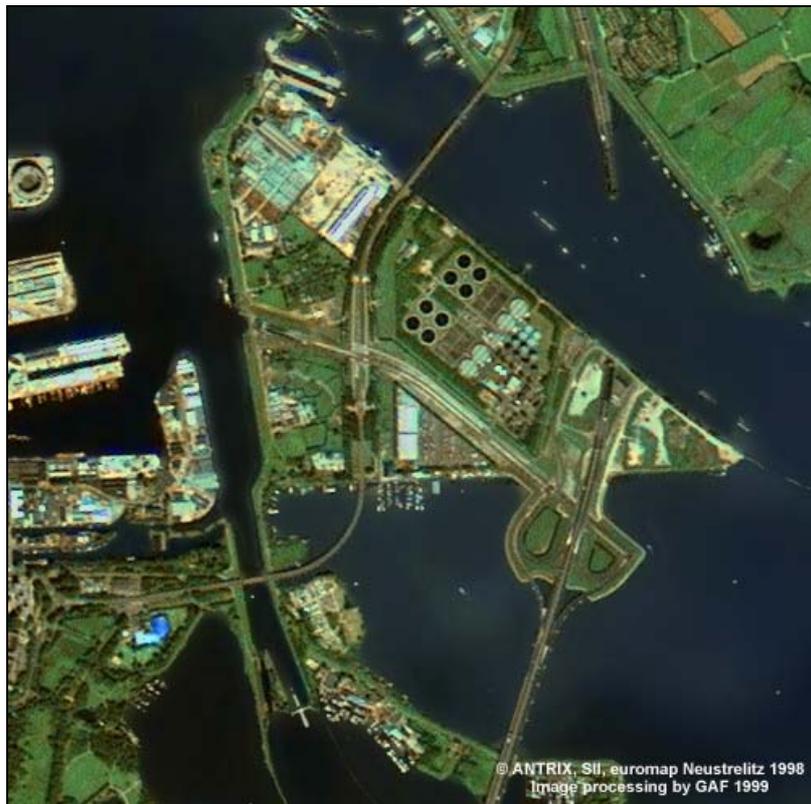


Abbildung 60 Abbildung IRS-1C LISS-III-PAN Merge - Amsterdam <sup>91</sup>

<sup>90</sup> URL: [www.euromap.de/exam\\_036.htm](http://www.euromap.de/exam_036.htm)

<sup>91</sup> URL: [www.euromap.de/emimg/plmamst1.jpg](http://www.euromap.de/emimg/plmamst1.jpg)



Abbildung 61 Abbildung IRS-1D PAN - Lissabon <sup>92</sup>

### 3.3.2.3.5 ADEOS

- Mission

Der Advanced Earth Observing Satellite (ADEOS) wurde am 17.8.1996 vom Tanegashima Weltraumzentrum (Japan) gestartet. Der Satellit befand sich auf einem sonnensynchronen Orbit in einer Höhe von 797km mit einer Inklination von 98,6°. Die Umlaufzeit betrug 101 Minuten und ein vollständiger Erdumlauf wurde nach 41 Tagen erreicht. Am 30.6.1997 versagte die Steuerung des Satelliten, so daß ein weiterer Betrieb nicht mehr möglich war. Die Datenerfassung erfolgte über einen Zeitraum von ca. 7 Monaten. Der Start eines Nachfolgesatelliten ADEOS II ist für 2002 geplant ([www.eorc.nasda.go.jp](http://www.eorc.nasda.go.jp), [www.itc.nl](http://www.itc.nl)).

- Sensor

Auf ADEOS wurde unter anderem das AVNIR (Advanced Visible and Near Infrared Radiometer) mit einer räumlichen Auflösung von 8m (0,52-0,69µm) geflogen. Durch Schwenken des AVNIR um 40° kann eine Wiederholung der Aufnahme des gleichen Gebietes innerhalb von drei Tagen erreicht werden.

- Daten

AVNIR-Daten sind in drei Prozessierungs-Levels und in mehreren unterschiedlich genauen geometrischen Entzerrungsstufen erhältlich. Die Daten liegen im CEOS- (Committee on Earth Observation Satellites), HDF- (Hierarchical Data Format) und SKINNY-Format vor und werden per CD-ROM, CCT oder 8mm Tape versandt. Sie können entweder beim japanischen Earth Observation Centre (EOC) oder der japanischen National Space Development Agency (NASDA) bestellt werden. Die Preise bei einer Verwendung zu Forschungszwecken liegen zwischen 40-70 US\$.

---

<sup>92</sup> URL: [www.euromap.de/download/p\\_lisbo1.jpg](http://www.euromap.de/download/p_lisbo1.jpg)



Abbildung 62 ADEOS Szene - Ishikari, Japan <sup>93</sup>

### 3.3.2.3.6 Mir (MOMS-2P)

- Mission

Das Fernerkundungsmodul Priroda (russ. Natur) wurde zwischen 1996-1998 auf der russischen Raumstation Mir in einer Höhe von 360km bei einer Inklination von 51,7° geflogen.

- Sensor

Als hochauflösender Sensor von Priroda wurde der MOMS-2P (Modularer Optoelektronischer Multispektral Scanner) verwendet. MOMS-2P ist eine Weiterentwicklung von MOMS-01 (Space Shuttle Missionen: 1983, 1984) und MOMS-02 (Space Shuttle Mission: 1993). MOMS-2P arbeitet im Pushbroom-Aufnahmeprinzip bei dem mehrere tausend CCD-Detektoren (Charge Coupled Device) in einer Reihe senkrecht zur Flugrichtung angeordnet sind. Die Aufnahmebreite des High Resolution Kanals beträgt ca. 50km. Das Aufnahmesystem besteht aus fünf Linsen (drei stereoskopisch, zwei multispektral) und erfasst Daten im VIS und NIR. Dabei verfügen vier Kanäle über eine räumliche Auflösung von 18m und ein Kanal (panchromatisch) über eine räumliche Auflösung von 5m bzw. 18m (panchromatisch-stereo).

- Daten

Aufgrund der hohen Datenmengen können nicht alle Kanäle gleichzeitig aufgezeichnet werden, deshalb wurden verschiedene Arbeitsmodi definiert, in denen unterschiedliche Kanal-Kombinationen für spezielle Fragestellungen zusammengefaßt wurden.

- Modus A: Stereo Kanäle + hochauflösender Kanal (hochauflösende digitale Geländemodelle)
- Modus B: Multispektrale Kanäle (Erfassung von Parametern der Erdoberfläche)
- Modus C: Hochauflösender Kanal + multispektrale Kanäle (Landnutzung, Stadtplanung)

<sup>93</sup> URL: [www.eorc.nasda.go.jp/ADEOS/WorldNow/images/ishikr11.gif](http://www.eorc.nasda.go.jp/ADEOS/WorldNow/images/ishikr11.gif)

- Modus D: Stereo Kanäle + multispektrale Kanälen

([www.iaag.geo.uni-muenchen.de](http://www.iaag.geo.uni-muenchen.de))

Der Vertrieb der Daten erfolgt durch das DLR (Oberpfaffenhofen). Der Preis für eine MOMS-Szene (105kmx50km) beträgt 3000 Euro. In 2002 ist laut Auskunft des DLR eine erhebliche Reduzierung der Preise zu erwarten.

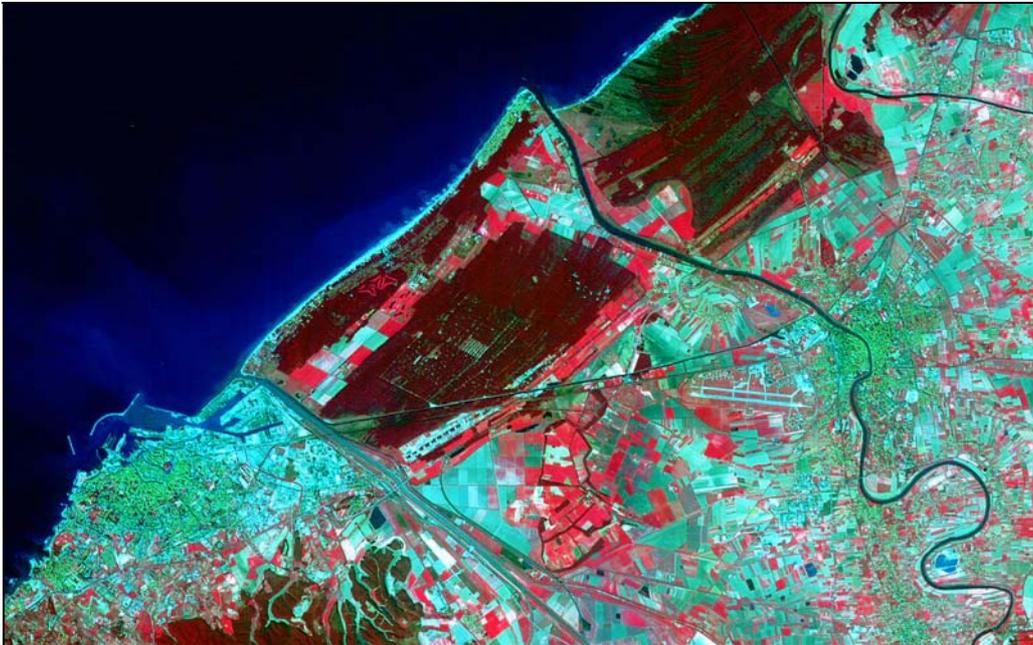


Abbildung 63 MOMS-2P Szene - Livorno und Pisa <sup>94</sup>

### 3.3.2.3.7 IKONOS

- Mission

IKONOS ist ein kommerzielles Erderkundungssystem der Space Imaging Inc.. Der erste Satellit (IKONOS-1) ging am 27.4.1999 beim Start verloren. Der Nachfolgesatellit (IKONOS-2) konnte am 24.9.1999 erfolgreich in den Umlauf gebracht werden und ist seither in Betrieb ([www.geog.umd.edu](http://www.geog.umd.edu)). Die Flughöhe beträgt 680km. Die Aufnahme eines Gebietes kann innerhalb von 1-3 Tagen wiederholt werden.

- Sensor

IKONOS-2 zeichnet Daten mit einer räumlichen Auflösung von 1m im panchromatischen Spektralbereich (0,45-0,90 $\mu$ m) und 4m im multispektralen Spektralbereich (blau: 0,45-0,53 $\mu$ m, grün: 0,52-0,61 $\mu$ m, rot: 0,64-0,72 $\mu$ m, nahes Infrarot: 0,77-0,88 $\mu$ m) auf. Eine IKONOS Szene deckt ein Gebiet von 11x11km<sup>2</sup> ab.

- Daten

Der Vertrieb der europäischen IKONOS Produkte erfolgte zunächst durch Space Imaging Europe (SIE) in Athen. Der Betrieb der europäischen Bodenstation wurde mittlerweile jedoch eingestellt. Die IKONOS-Daten müssen daher zu höheren Preisen in den USA bestellt werden.

<sup>94</sup> URL: [www.iaag.geo.uni-muenchen.de/agf/moms/m\\_pis.html](http://www.iaag.geo.uni-muenchen.de/agf/moms/m_pis.html)

Folgende Produkte werden angeboten:

- CARTERRA™ GEO

Die Daten werden geometrisch korrigiert, auf das WGS 84-Ellipsoid umgerechnet und in eine von vier angebotenen Kartenprojektionen transformiert. Die horizontale Genauigkeit beträgt  $\pm 25\text{m}$  (RMS).

- CARTERRA™ Orthorectified Products

Bei der Bearbeitung der Satellitenszenen wird die Entzerrung mit Hilfe von Digitalen Geländemodellen (DGM) durchgeführt. Innerhalb dieser Produktreihe sind folgende Aufnahmen erhältlich:

- CARTERRA™ Reference

Mit einer horizontalen Genauigkeit von  $\pm 12\text{m}$  (RMS) liegen die Hauptanwendungsbereiche vor allem bei der großräumigen Kartierung und GIS Applikationen. CARTERRA™ Reference entspricht einem Kartenmaßstab von 1:50 000.

- CARTERRA™ Map

Die horizontale Genauigkeit beträgt  $\pm 6\text{m}$  (RMS), damit werden vor allem Anwendungen wie Planung, Umwelt und Landwirtschaft unterstützt. Der entsprechende Kartenmaßstab ist 1:25 000.

- CARTERRA™ Pro

Bei einer horizontalen Genauigkeit von  $\pm 5\text{m}$  (RMS) und der Entsprechung zu einem Kartenmaßstab von 1:10 000 ist CARTERRA™ Pro vor allem für den Einsatz in der Stadtplanung, Landwirtschaft, Telekommunikationsplanung und dem Transportwesen geeignet.

- CARTERRA™ Precision

CARTERRA™ Precision bietet eine horizontale Genauigkeit von  $\pm 2\text{m}$  (RMS) und entspricht Karten des Maßstabs 1: 5000. Die Anwendungsfelder liegen in den Bereichen Stadtkartierung, Katasterwesen und hochgenauen GIS Applikationen. Bei der Erstellung der CARTERRA™ Precision-Szenen werden Ground Control Points (GCP) verwendet.

- CARTERRA™ Precision Plus

Das am höchsten aufgelöste IKONOS-Produkt verfügt über eine horizontale Genauigkeit von  $\pm 1\text{m}$  (RMS). Dies entspricht einem Kartenmaßstab von 1:2500.<sup>95</sup>

Standardmäßig beträgt die Wolkenbedeckung der IKONOS-Szenen max. 20%. Auf Anfrage und gegen Aufpreis sind auch Aufnahmen mit bis zu 95% wolkenfreien Bereichen erhältlich.

Die Produkte werden in Form von Einzellizenzen, die zur Nutzung an drei Arbeitsplätzen innerhalb einer Firma oder Organisation berechtigen, und Mehrfachlizenzen, die eine Nutzung an mehreren Arbeitsplätzen erlauben, angeboten. Die bestellten Datensätze müssen eine Mindestfläche von  $121\text{km}^2$  besitzen und der Wert der gesamten Bestellung muß mindestens 3000 US\$ betragen. Die Preise pro  $\text{km}^2$  in US\$ sind in der folgenden Tabelle angegeben.

---

<sup>95</sup> Information: Angaben Space Imaging

<b>IKONOS Preise in US\$/km<sup>2</sup></b>	<b>Geo</b>	<b>Reference</b>	<b>Map</b>	<b>Pro</b>	<b>Precision</b>	<b>Precision Plus</b>
<b>Einzellizenzen</b>						
1m-PAN	29	73	98	122	149	96
4m-MS	29	73	98	122	149	96
1m-PSM <sup>97</sup> (3 Bänder-Merge)	38	95	127	158	194	96
1m-PSM (4 Bänder getrennt)	46	114	153	190	233	96
<b>Mehrfachlizenzen</b>						
1m-PAN	34	84	112	140	172	96
4m-MS	34	84	112	140	172	96
1m-PSM (3 Bänder-Merge)	44	109	146	182	223	96
1m-PSM (4 Bänder getrennt)	53	131	175	218	268	96

Tabelle 19 Preise für IKONOS-Produkte <sup>96</sup>

Auf die Bedeutung der IKONOS-Daten in Kombination mit GPS-Messungen zur Generierung einer geeigneten georeferenzierten Kartenbasis für das lokalisierbare mobile Notrufsystem, das in den USA ab 2003 geplant ist (siehe Kapitel 3.1.2.1.5), wurde in Imaging Notes (2000) hingewiesen. Dabei spielt unter anderem die Digitalisierung von Straßenmittellinien eine wichtige Rolle.



Abbildung 64 IKONOS - Luzern <sup>99</sup>

<sup>96</sup> Information: derzeit keine Angaben

<sup>97</sup> Information: Pan Sharpened Merge

<sup>98</sup> Literatur: Space Imaging Europe, 2001

<sup>99</sup> URL: <http://npoc.ee.ethz.ch/Archive/IKONOS/Samples.html>



Abbildung 65 IKONOS – Washington <sup>100</sup>

### 3.3.2.3.8 OrbView

- Mission

Derzeit befinden sich folgende OrbView-Satelliten der Firma OrbImage im Einsatz:

- OrbView-1

wurde im April 1995 erfolgreich gestartet. Die Einsatzgebiete sind Aufnahme der Wolkenbedeckung, Erfassung von Blitzen und Wettervorhersage. OrbView-1 liefert täglich Daten mit einer räumlichen Auflösung von 10km ([www.orbimage.com](http://www.orbimage.com)).

- OrbView-2

wurde am 1.8.1997 gestartet. Orbview-2 fliegt in einer Höhe von 705km, bei einer Inklination von 97,3° auf einem sonnensynchronen Orbit. Die räumliche Auflösung beträgt 1,1km ([www.orbimage.com](http://www.orbimage.com)).

Beide Satellitengenerationen sind für einen Einsatz in der Verkehrstelematik nicht geeignet. Die zukünftigen Orbview-Missionen werden jedoch über Sensoren verfügen, deren räumliches Auflösungsvermögen den in Kapitel 3.3.1 identifizierten Anforderungen entspricht:

- OrbView-3/4

Der Start von Orbview-4 ist am 21.9.2001 mißlungen ([www.itc.nl](http://www.itc.nl)).

- Sensor

Die Sensoren werden im PAN-Bereich Daten mit einer räumlichen Auflösung von 1m und im Multispektralbereich von 4m aufnehmen. Die Orbithöhe beträgt 470km. Orbview-4 wird zusätzlich über einen Multispektralsensor mit 200 Aufnahmekanälen verfügen und die Spektralbereiche 0,45-2,5µm mit einer Auflösung von 8m abdecken ([www.orbimage.com](http://www.orbimage.com)).

- Daten

Derzeit noch keine Daten für die hochauflösenden Satellitengenerationen vorhanden.

---

<sup>100</sup> Literatur: Space Imaging Inc., 1999

### 3.3.2.3.9 EarlyBird

- Mission

EarthWatch Inc. startete am 24.12.1997 den Satelliten EarlyBird-1. Nach erfolgreichem Start von einer russischen Trägerrakete wurde der geplante Orbit erreicht. Vier Tage später traten Probleme bei der Energieversorgung auf, die sich nicht beheben ließen und zum Verlust des Satelliten führten. EarlyBird hätte Aufnahmen mit einer räumlichen Auflösung von 3m im panchromatischen Spektralbereich liefern sollen. EarthWatch setzte daraufhin das Programm mit QuickBird fort ([www.icg.tu-graz.ac.at](http://www.icg.tu-graz.ac.at)).

### 3.3.2.3.10 QuickBird

- Mission

Der erste Satellit Quickbird-1 ging am 20.11.2000 bereits beim Start verloren. Der Start des Nachfolgesatelliten Quickbird-2 ist am 18.10.2001 gelungen ([www.itc.nl](http://www.itc.nl)). Quickbird-2 fliegt in einer Höhe zwischen 474-600km, bei einer Inklination von 50-52° und einer Repetitionsrate von 1-4 Tage (abhängig von der geographischer Breite). Die Repetitionsrate von QuickBird wird sich bei Verfügbarkeit eines zweiten Satelliten auf 0,5-2,5 Tage verkürzen.

- Sensor

An Bord befinden sich zwei Aufnahmesysteme:

- 1) QuickBird Panchromatisch (QBP)

Die räumliche Auflösung beträgt 0,82m im Nadir. Der erfaßte Spektralbereich erstreckt sich über 0,45-0,90µm.

- 2) QuickBird Multispektral (QBM)

Im Multispektralbereich (0,45-0,52µm, 0,52-0,60µm, 0,63-0,69µm, 0,76-0,90µm) beträgt die räumliche Auflösung 3,28m im Nadir.

Die Sensoren sind in einem Winkel von 30° schwenkbar, und eine Aufnahme deckt ein Gebiet von 22x22km<sup>2</sup> ab.

- Daten

Die Produkte werden in drei Qualitätsstufen angeboten:

- Basic Imagery
- Standard Imagery
- Orthorectified Imagery

Die Daten beider Sensoren werden zu einem "Pan-Sharpened" Merge verarbeitet. Quick-Bird-Daten sind stereofähig. Entsprechend den Kundenbedürfnissen werden Orthoprodukte mit einer Positionsgenauigkeit zwischen 0,9-7m (RMS) hergestellt ([www.digitalglobe.com](http://www.digitalglobe.com)).

### 3.3.2.3.11 Radarsat-2

- Mission

Radarsat ist ein Gemeinschaftsunternehmen der Canadian Space Agency (CSA) und der National Aeronautic and Space Agency (NASA). Radarsat-2 soll in einer Höhe von 798km, bei einer Inklination von 98,6° in einem sonnensynchronen Orbit fliegen. Ein Erdumlauf benötigt 100,7 Minuten und eine komplette Erfassung der Erdoberfläche dauert 24 Tage. Die Breite der Aufnahmestreifen variiert zwischen 20-500km.

- Sensor

Der erste Radarsat-Satellit Radarsat-1 verfügte über eine räumliche Auflösung von 25m ([www.earth.nasa.gov](http://www.earth.nasa.gov)) und wurde unter anderem zur Erstellung des ersten hochauflösenden Radarmosaiks der Antarktis und zur Generierung eines DGMS für den Süden Kolumbiens eingesetzt. Ein Nachfolgesatellit (Radarsat-2) mit einer für Verkehrstelematikanwendungen geeigneten räumlichen Auflösung von 3–100m ist für 2003 geplant.

- Daten

Folgende Satelliten-Programmierungen zur Steuerung der Datenaufzeichnung sind vorgesehen:

- Urgent (Emergency Acquisition)

Die Datenaufzeichnung erfolgt bei der nächsten sich bietenden Gelegenheit. Der Antrag muß mindestens zwei Arbeitstage vorher gestellt werden. Anwendungen sind z.B. die Erfassung von Überschwemmungen oder der Auswirkungen von Erdbeben.

- Priority (Priority Acquisition)

Der Antrag muß sieben Tage vorher erfolgen. Einsatzgebiete sind unter anderem maritime und landwirtschaftliche Anwendungen.

- Basic (Routine Acquisition)

Die Datenaufzeichnung erfolgt 14 Tage nach Antragstellung und ggf. erhält ein anderer Kunde den Zuschlag. Dieser Programmierungsmodus wird unter anderem für geologische Auswertungen und in der Forstwirtschaft verwendet.

Folgende Produkte sind erhältlich:

- 1) Path Image

Aufnahmemodus: Fine, Standard, Wide ScanSAR

Korrekturen der systematischen Fehler (Satellitenbewegung) und des SAR Sensor (unter Berücksichtigung der vorhergesagten Satellitenbahnen)

- 2) Path Image Plus

wie 1), allerdings werden genauere Vorhersagen der Satellitenorbits für die Korrekturen verwendet

- 3) Map Image

wie 1), unter Berücksichtigung einer kartenbasierten systematischen Korrektur

- 4) Precision Map Image

wie 1), unter Verwendung von Paßpunkten und ggf. eines DGMS für rauhes Gelände

- 5) Single Look Complex

Schrägsicht-Aufnahme mit Korrektur von Empfangsfehlern und einer absoluten Kalibrierung der geogr. Länge und Breite

- 6) Signal Data

kein Bild sondern eine unprozessierte Rohdatenmatrix der Zeitverzögerungen im CEOS-Format; für die Datenauswertung ist eine spezielle Software erforderlich

Die Lieferung der Produkte erfolgt ca. zwei Wochen nach der Aufnahme per Post/Boten und teilweise elektronisch auf Magnetband oder CD-ROM. Analoge Ausdrücke werden lediglich auf Anfrage hergestellt.

Die Preise betragen pro Szene:

- Standard Mode: 3000 US\$

- Wide Mode: 3500 US\$

- Fine Mode: 4000 US\$

### 3.3.2.3.12 Resource 21

- Mission

Resource 21 ist ein US-amerikanisches Unternehmen, das Satellitensensoren überwiegend für landwirtschaftliche Anwendungen entwickelt. Die Sensoren wurden bisher lediglich auf Flugzeugen eingesetzt. Ein eigenes Satellitensystem ist seit längerem geplant. Der für 1999/2000 vorgesehene Start wurde verschoben, ein neuer Termin wird für 2004 angekündigt ([www.itc.nl](http://www.itc.nl)). Die Resource 21-Konstellation soll aus vier Satelliten in einem sonnensynchronen Orbit (Inklination 98,6°) in 743km Höhe bestehen.

- Sensor

In den Spektralbereichen VIS/NIR (0,45-0,52 $\mu$ m, 0,53-0,59 $\mu$ m, 0,63-0,69 $\mu$ m, 0,16-0,90 $\mu$ m) sollen Daten mit einer räumlichen Auflösung von 10m aufgezeichnet werden.

- Daten

Derzeit liegen noch keine Daten aus Satellitenmissionen vor.

([www.boeing.com](http://www.boeing.com))

### 3.3.2.3.13 TerraSAR

- Mission

Die Firma Infoterra wurde im Januar 2001 als hundertprozentiges Tochterunternehmen der Astrium GmbH gegründet. Astrium ist ein Gemeinschaftsunternehmen der EADS (European Aeronautic Defence and Space Company) und BAE Systems (British Aerospace Systems). Infoterra besteht aus Infoterra Ltd. (UK) und Infoterra GmbH (Deutschland) (<http://infoterra-global.com>). Nachdem zunächst der Vertrieb von verschiedenen Fernerkundungsdaten und veredelter Fernerkundungsprodukte (z.B. SPOT, Landsat) aufgenommen wurde, ist zukünftig ein eigenes satellitengestütztes Fernerkundungssystem unter der Bezeichnung TerraSAR geplant. Die TerraSAR Konstellation wird aus zwei Satelliten in einer Höhe von 660km bestehen. Die Repetitionsrate beträgt ca. zwei Tage ([www.spacedaily.com](http://www.spacedaily.com)).

- Sensor

Die SAR-Sensoren zeichnen Daten im L- (2,5 GHz.) und X-Band (9,5 GHz.) auf. Der SAR-Sensor wird momentan in Zusammenarbeit mit der ESA entwickelt (Burbidge 1999).

- Daten

Der Start des ersten Satelliten (X-Band SAR) ist für 2005 geplant. Der Sensor wird für Aufnahmegebiete von 5x10km<sup>2</sup> eine räumliche Auflösung von 1m liefern, für größere Gebiete verringert sich die räumliche Auflösung (siehe Kapitel 3.3.2.3). Bei einer Breite des Aufnahmegebietes von 40-60km werden Auflösungen von 3-15m und bei einer Breite von 200km 15-30m erzielt. Der zweite Satellit (L-Band SAR) ist für 2006 anvisiert und wird für Aufnahmegebiete von 10x10km<sup>2</sup> eine räumliche Auflösung von ca. 5m liefern. Die Satelliten verfügen über einen Datenspeicher von 500 GBit und über zwei High-Speed Down-Link Kanäle von je 130 Mbps (Auskunft Infoterra, 15.3.2001).

Infoterra bietet auch 3D-Stadtmodelle an, dabei wird überwiegend der englische und süd-afrikanische Markt bedient.

## 3.3.3 Derzeitiger Einsatz in der Verkehrstelematik

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt findet eine Nutzung von Fernerkundungsprodukten in der Verkehrstelematik lediglich in sehr geringem Umfang statt. Bei der Herstellung digitaler **Straßenkarten** werden Satellitenaufnahmen zur Erfassung der Geometrie des Straßennetzes in dünn besiedelten Regionen wie z.B. Portugal und Skandinavien eingesetzt. Zur Erstellung der digitalen Straßenkarte Deutschlands wurden satellitengestützte Systeme nicht verwendet, da zum Zeitpunkt der Ersterfassung keine geeigneten Fernerkundungsdaten vorlagen.

Bezüglich der Eignung von Fernerkundungsprodukten zur Generierung digitaler Straßenkarten werden von den Herstellern folgende Anforderungen gestellt:

- Die räumliche Auflösung sollte so hoch wie möglich sein, da mit der Verfügbarkeit hochauflösender Daten auch die Ansprüche steigen (z.B. zur Erfassung zusätzlicher Informationen wie Fahrbahnbereich, d.h. Unterscheidung zwischen Fahrbahn und Bürgersteig, Verkehrsinseln, Grünstreifen zwischen den Fahrbahnen, etc.)
- Die Lagegenauigkeit der Daten sollte 5-10m betragen, dies entspricht der Lagegenauigkeit von digitalen Straßenkarten
- Eine flächenhafte Erfassung Deutschlands/Europas sollte zweimal jährlich gewährleistet sein

Derzeit wird der Einsatz von Fernerkundungsdaten (IKONOS) zur Generierung digitaler Straßenkarten getestet. Die dabei erzielten Ergebnisse sind positiv (auf die Vorteile von Fernerkundungsdaten wird in Kapitel 3.3.4 näher eingegangen). Zukünftig könnten ca. 50% der Geometrieerfassung durch Fernerkundungsverfahren erfolgen, dabei ist der Anteil für Länder mit unzureichender Kartengrundlage (z.B. Osteuropa) wesentlich höher anzusetzen<sup>101</sup>. Eine automatisierte Bildauswertung ist gegenwärtig noch mit zahlreichen Schwierigkeiten verbunden und der manuelle Nachbearbeitungsaufwand entspricht dem zur Ersterfassung notwendigen Arbeitsumfang. Die Preise für die derzeit eingesetzten konventionellen Datenquellen liegen bei ca. 2,5-5 Euro für Luftbilder und 7,5-10 Euro für Orthophotos (ein Luftbild im Format 23cmx23cm im Maßstab 1:15 000 deckt eine Fläche von 11,9km<sup>2</sup> ab). Diese Werte können als Richtlinie für die zu erzielenden Preise für Fernerkundungsdaten herangezogen werden.

Zur Gewinnung von **Verkehrsinformationen** werden Fernerkundungssysteme derzeit noch nicht operationell eingesetzt, allerdings ist diese Anwendungsmöglichkeit Gegenstand aktueller Forschungsprojekte wie z.B. TrafficEye.

### 3.3.4 Zukünftige Entwicklungen

Satellitengestützte Systeme weisen gegenüber konventionellen Verfahren zur Erfassung verkehrsrelevanter Informationen folgende **Vorteile** auf:

- höhere Aktualität
- globale Erfassung homogener Datenbestände
- einheitliche Georeferenzierung
- einheitliche Bezugsquelle
- preisgünstiger (im Vergleich zur großflächigen Beschaffung analoger oder digitaler Kartensätze<sup>102</sup>)

Allerdings ist der Einsatz von Fernerkundungssystemen für die Zwecke der Verkehrs telematik auch mit einigen **Nachteilen** behaftet:

Vor einigen Jahren reichte die räumliche Auflösung der verfügbaren Sensoren zur Erfüllung der Anforderungen der Verkehrstelematik nicht aus. Dieses Problem ist heute gelöst.

Noch nicht gelöst ist das Problem der benötigten **zeitlichen Auflösung** (siehe ebenfalls Kapitel 3.3.2.3). Um dieses Hindernis zu beseitigen, sind teilweise verschiedene Lösungsansätze vorhanden, so können z.B. zukünftig die Lieferfristen für Fernerkundungsprodukte, die zum Teil bis zu 60 Tage (Kosmos) betragen, durch Internet-Zugriff in Nahe-Echtzeit erfolgen. Entsprechende Konzepte werden unter anderem durch das Projekt

---

<sup>101</sup> Information: Angaben Tele Atlas

<sup>102</sup> Information: unter Einbeziehung der Kosten für Datenrecherche und Beschaffung (Auskunft Tele Atlas)

TrafficEye erarbeitet. Eine derartige Verkürzung der Zugriffszeiten ist zwar für die Herstellung digitaler Straßenkarten nicht relevant, sie ist jedoch eine Grundvoraussetzung für die Weiterverarbeitung von Fernerkundungsinformationen zu aktuellen Verkehrsinformationen.

Eine ausreichend hohe räumliche Auflösung läßt sich nur durch den Einsatz von LEO-Systemen erzielen (Einfluß der Orbithöhe auf die räumliche Auflösung siehe Kapitel 3.3.2.3). Verbunden mit dem Einsatz von LEOs ist jedoch ein kleiner Spotbeam der Satelliten und Repetitionsraten, die nicht den Anforderungen einiger potentieller Anwendungen (z.B. Verkehrserfassung) entsprechen. Eine Verbesserung der Repetitionsraten ließe sich durch den, allerdings extrem kostenintensiven, Einsatz einer größeren Anzahl von Satelliten realisieren. Der Vergleich mit LEO-basierten Kommunikationssystemen erlaubt Rückschlüsse auf die benötigte Anzahl von Satelliten. Die in Kapitel 3.2.2.4.3 beschriebenen Systeme verfügen über Konstellationen von 35 (Orbcomm, weitere Satelliten geplant), 48 (Globalstar), 66 (Iridium) und 288 Satelliten (Teledesic). Für Teledesic war ursprünglich sogar eine Konstellation von 840 Satelliten geplant. Weiterhin ist zu berücksichtigen, daß der Aufnahmestreifen nur einen Ausschnitt des Spotbeams darstellt. Diese Zahlen belegen, daß eine Verkürzung der Aufnahmeintervalle mit einer erheblichen Aufstockung des Raumsegments verbunden wäre, die die Größenordnung der Erdbeobachtungssysteme mit meist 1-4 Satelliten um ein Vielfaches übersteigen würde. Derartige Investitionen erfordern einen detaillierten Business-Plan, der aufgrund der noch weitgehend ungeklärten Marktaussichten nicht vorliegt.

Ein weiteres Problem stellt sich hinsichtlich der verwendeten **Sensorik**. Passive Sensoren wie z.B. Meßkameras und Scanner können nur auf der sonnenbeschienenen Erdseite eingesetzt werden und werden erheblich vom aktuellen Bewölkungsgrad der Atmosphäre beeinflusst. Aktive Systeme wie z.B. aktive Mikrowellen Sensoren erlauben zwar Aufnahmen auf der sonnenabgewandten Erdseite und durchdringen die Bewölkung, allerdings ist deren Einsatz mit einem hohen Energieverbrauch verbunden.

Die anfallende **Datenmenge** stellt ein weiteres Problem beim Einsatz satellitengestützter Verfahren dar. Die aktuellen Entwicklungen in Bereich der Computerhard- und -software mit immer höheren Prozessor- und Speicherleistungen tragen jedoch zu einer Lösung dieser Problematik bei. Weiterhin werden derzeit geeignete Verfahren entwickelt, um z.B. die Bildinhalte mittels bordautonomer Selektionsverfahren auf die tatsächlich benötigten Bereiche zu reduzieren und somit die anfallende Datenmenge der vorhandenen Kommunikationskapazität anzupassen (z.B. TrafficEye).

Ein wichtiges Kriterium für den Einsatz satellitenbasierter Erfassungssysteme in der Verkehrstelematik ist der **Preis** der Fernerkundungsprodukte. Hochauflösende Datenbestände wie sie z.B. von IKONOS geliefert werden sind zum gegenwärtigen Zeitpunkt teuer. Analysiert man die in Kapitel 3.3.2.3 aufgeführten Preise, läßt sich ein Preissprung zwischen Auflösungen von ca. 10m zu dem Bereich 1-2m feststellen. Als Beispiel sei Kosmos genannt, hier findet von Produkten der Auflösung 10m zu Produkten mit einer Auflösung von 2m ein Preisanstieg von 0,5-1 US\$ auf 30-40 US\$ statt. Allerdings hat die Preisentwicklung im Bereich der Fernerkundungsdaten in der Vergangenheit gezeigt, daß nach einigen Jahren des operationellen Betriebs dramatische Preisreduktionen möglich sind. Als Beispiel sei die zum 1.7.2000 wirksam gewordene Preisänderung des NRSA<sup>103</sup> Data Centre (NDC) für IRS-1C/D und Landsat TM Daten aufgeführt. Folgende Preissenkungen traten in Kraft, um dem internationalen Wettbewerb standzuhalten.

---

<sup>103</sup> Information: National Remote Sensing Agency

Produkte	Alter Preis (US\$)	Neuer Preis (US\$)
LISS-III (Vollszene)	2000	470
PAN Stereo (Teilszene, digital)	1050	440
PAN (Vollszene, digital)	2000	890
WiFS (Vollszene)	450	300
P4-OCM (Vollszene)	700	120
TM (Vollszene, 7 Band, digital)	2500	1250

Tabelle 20 Preisentwicklung für IRS-1C/D und Landsat TM Daten <sup>104</sup>

Der allgemeine Preisverfall für Erdbeobachtungsdaten wurde auch von der GAF (Gesellschaft für Angewandte Fernerkundung, München), die seit 1985 in diesem Bereich tätig ist, bestätigt. Laut GAF ist ein derartiger Preisverfall zukünftig auch für die gegenwärtig teuren hochaufgelösten Datensätze zu erwarten, zumal in naher Zukunft eine Reihe von weiteren Satelliten mit einem hohen räumlichen Auflösungsvermögen geplant sind (siehe Kapitel 3.3.2.3).

Die Kostenproblematik ist für die Herstellung digitaler Straßenkarten nicht so kritisch einzuschätzen, da lediglich einige wenige Aufnahmen pro Jahr benötigt werden und die Kosten im Vergleich zur Recherche, Beschaffung und Auswertung analoger Karten eher gering sind. Auf das Interesse der Hersteller digitaler Straßenkarten aufgrund positiver Testergebnisse wurde in Kapitel 3.3.3 hingewiesen, inwieweit sich der Einsatz satellitengestützter Verfahren wirtschaftlich rechnet ist vom jeweiligen Anwendungsfall (Größe des Erfassungsgebietes, Aufwand für Datenrecherche, Diversität des Kartenmaterials, etc.) abhängig.

Für die Generierung von Verkehrsinformationen aus Fernerkundungsdaten stellt der Preis ein wichtiges Kriterium dar. Sollen die Daten nicht nur in größeren zeitlichen Abständen zur Kalibrierung von FCD-Daten, sondern für eine operationelle flächendeckende Erfassung von Verkehrsinformationen eingesetzt werden, sind Aufnahmen mit einer hohen zeitlichen Auflösung und den damit verbundenen Kosten erforderlich.

Nachdem in den Kapiteln 2 und 3 die theoretischen Grundlagen des Einsatzes der Satellitentechnologie in der Verkehrstelematik dargelegt wurden beschäftigt sich das folgende Kapitel mit einer ausgewählten Problematik innerhalb dieser Thematik. Einige Verkehrstelematikanwendungen wie z.B. Anwendungen im ÖPNV und Parkraummanagement werden hauptsächlich im Stadtbereich eingesetzt. Aufgrund der Tatsache, daß Satellitensignale Hindernisse wie Gebäude nicht durchdringen können ist die Kenntnis der Satellitenverfügbarkeit in bebauten Gebieten von Bedeutung. Simulationen zu dieser Fragestellung werden im folgenden Kapitel vorgestellt.

<sup>104</sup> URL: <http://202.54.32.164/test/uiw/foreign.html>

## 4 VERFÜGBARKEIT VON SATELLITENSIGNALEN IN BEBAUTEN GEBIETEN

Auf den Hintergrund der im folgenden beschriebenen Simulation wurde bereits im Kapitel 1.4 ausführlich eingegangen. Die Grundidee ist die Einbindung eines 3D-Stadtmodells in eine Satellitensimulation, um realitätsnahe Aussagen zur Verfügbarkeit von Satellitensignalen in bebauten Gebieten treffen zu können. In diesem Kapitel wird zunächst ein Überblick über den Ablauf der Simulation gegeben. Anschließend werden die einzelnen Teilschritte erläutert und die Ergebnisse vorgestellt.

### 4.1 Ablauf der Simulation

Eine Übersicht des Simulationsablaufs ist im folgendem Flußdiagramm veranschaulicht.

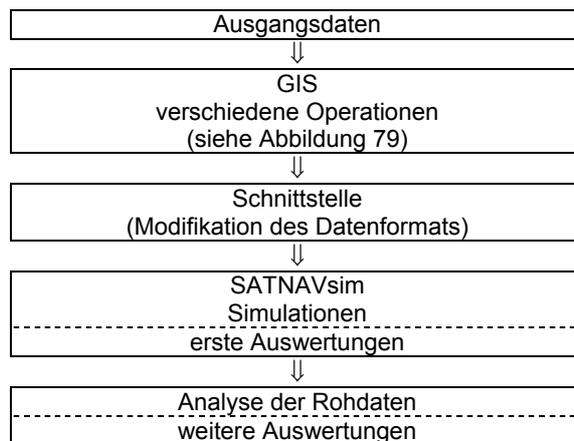


Abbildung 66 Übersicht des Ablaufs der durchgeführten Simulationen

Die Ausgangsdaten stammen auszugsweise aus einem dreidimensionalen Stadtmodell der Stadt München und wurden von der Firma T-Mobil zur Verfügung gestellt. Dabei handelt es sich um sechs Testgebiete mit unterschiedlichen Bebauungsmustern. Diese Ausgangsdaten wurden in einem geeigneten Format in das GIS LISA importiert.

Mit Hilfe des GIS wurden die Daten aufbereitet, die Abschattungswinkel für acht Azimutrichtungen (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW) entlang verschiedener Fahrtrouten berechnet und das Ergebnis in dBASE-Dateien (Eigenname: Datenbankformat der Firma Ashton-Tate ) abgelegt.

Diese Daten wurden in Excel eingelesen und weiterverarbeitet. Nach verschiedenen Bearbeitungsschritten wurde ein Datenformat generiert, das in die Satellitensimulationssoftware SATNAVsim eingelesen werden konnte.

Mit SATNAVsim wurde die Verfügbarkeit folgender Navigations- und Kommunikationssatelliten simuliert:

- GPS  
Originalkonstellation mit 24 Satelliten
- EGNOS  
Endausbau mit drei Satelliten
- Galileo  
Konstellation Stand März 2001: 30 Satelliten, Höhe 23 616km, 56° Inklination  
(Salgado et al., 2001)
- Globalstar (48 Satelliten)
- Kombination: GPS und Galileo

Weiterhin wurde ein Vergleich zwischen DGM-basierten Simulationen und konventionellen Simulationen, die lediglich einen einheitlichen Abschattungswinkel für alle Azimutrichtungen berücksichtigen, gezogen. Erste Auswertungen wurden direkt mit SATNAVsim durchgeführt. Für eine detailliertere Analyse wurden die Rohdaten der Simulation ausgelesen und anschließend mit Excel weiterverarbeitet.

## **4.2 Ausgangsdaten**

In der Telekommunikation werden seit ca. 10 Jahren raumbezogene Daten zur Planung und Simulation der Signalausbreitung bzw. Visualisierung der Leistung und Abdeckung von Mobilfunknetzen genutzt. Das Ziel dieser Verfahren ist es, eine flächendeckende Verfügbarkeit der Kommunikationsdienste bei einer möglichst geringen Anzahl an Basisstationen zu erzielen. Für den Einsatz in Stadtgebieten spielen hierbei in zunehmenden Maße großmaßstäbige 3D-Modelle eine wichtige Rolle, da diese die benötigte Planungsgrundlage für eine detaillierte Netzarchitektur liefern können. Die Beschaffung geeigneter Geodaten stellt hierbei eine zentrale Aufgabe dar. Zur Evaluierung unterschiedlicher Methoden zur Erfassung von 3D-Daten im Stadtbereich wurde deshalb von T-Mobil eine Reihe von Studien initiiert. Dabei wurden unter anderem folgende Verfahren auf ihre Eignung getestet:

- Klassische stereophotogrammetrische Auswertung
- Digitale Bildauswertung auf der Basis automatischer Bildzuordnungsverfahren
- Laserscanner Verfahren
- Fahrzeuggestützte photogrammetrische Aufnahmeverfahren
- Verfahren der semiautomatischen Gebäudeerfassung
- Verfahren auf der Basis von Aktenrecherchen

Nach einer Beurteilung der genannten Verfahren hinsichtlich technischer, wirtschaftlicher, rechtlicher und zeitlicher Aspekte kamen die drei erstgenannten Verfahren in die engere Wahl. Diese wurden in einem Praxistest näher untersucht.

Besonderer Wert wurde hierbei auf folgende Kriterien gelegt:

- Erreichte Genauigkeit in Lage und Höhe
- Operationalität der eingesetzten Verfahren hinsichtlich Grad der Automation und Zuverlässigkeit
- Kosten-, Zeit und Personalaufwand
- Aktualität und Fortführungsmöglichkeiten
- Eignung der Verfahren zur Gewinnung semantischer Zusatzinformationen

Als Testgebiet diente ein 25km<sup>2</sup> großes Areal im Stadtbereich von Bonn. Bei diesem Praxistest kristallisierte sich das erstgenannte Verfahren als die einzige derzeit praktikable Lösung heraus.

Die operationelle Erfassung der Stadtmodelle verlief in mehreren Phasen. In der Phase I wurden zwischen 1996-1997 folgende Stadtgebiete befliegen:

- Essen (77km<sup>2</sup>)
- Frankfurt/Main (84km<sup>2</sup>)
- Stuttgart (104km<sup>2</sup>)
- Köln (109km<sup>2</sup>)
- Hamburg (146km<sup>2</sup>)
- München (200km<sup>2</sup>)

In der Phase II wurden zwischen 1997-1998 insgesamt 14 Städte im Ballungsraum Ruhrgebiet erfaßt. Die Gebiete aus Phase I und II umfassen eine Fläche von mehr als 1 500km<sup>2</sup>, dabei wurden mehr als 800 000 Einzelgebäude erfaßt.

Eine Befliegung des Raums Wiesbaden-Mainz-Frankfurt-Offenbach-Darmstadt, sowie der Städte Trier, Aachen, Bremen und Kiel wurde in Phase III realisiert. Die Auswertung der hierbei erfaßten 2 500km<sup>2</sup> erfolgte ab Herbst 1998 und wurde im Frühjahr 2000 abgeschlossen.

Weitere Befliegungen fanden 2000 statt. Dabei wurden zwölf Stadtgebiete (860km<sup>2</sup>) erfaßt, deren photogrammetrische Auswertung momentan vorgenommen wird.

Insgesamt liegen bei T-Mobil für 35 Stadtgebiete Deutschlands 3D-Stadtmodelle vor.

Die Bildflüge wurden in einer Höhe von 4 500m durchgeführt. Aus der Verwendung eines Objektivs mit einer Brennweite von 30cm leitet sich ein Bildmaßstab von 1:15 000 ab (siehe Kapitel 3.3.2.3). Die Lagegenauigkeit beträgt  $\pm 1$ m, die Höhengenaugigkeit für Gebäude mit einer Höhe von  $< 5$ m liegt bei  $\pm 0,5$ m und für Gebäude mit einer Höhe von  $> 5$ m bei 10% der Gebäudehöhe (bei Gebäuden über 20m wird ein maximaler Fehler von  $\pm 2,0$ m nicht überschritten).

Die Kosten der photogrammetrische Stereoauswertung lagen zu Beginn der Untersuchungen (1994) bei 1500-2100 Euro/km<sup>2</sup>. Vier Jahre später sanken diese auf 750 Euro/km<sup>2</sup> (Laing und Ruff, 1998). Die Nutzungsrechte von 3D-Stadtdateien werden von T-Mobil zu einem Preis von unter 500 Euro/km<sup>2</sup> angeboten. Enthalten sind das digitale Stadtmodell (3D-Gebäudedaten, DGM, digitales Orthophoto, Mauern und Vegetation). Einzeldatensätze werden auch zu reduzierten Preisen abgegeben (Anfrage, März 2001).

Die Gebäudedaten liegen in drei Dateiformaten vor:

- **\*.geb**
  - Gebäude-ID
  - X,Y,Z-Koordinaten (Gauß-Krüger, Höhenangabe in dm)
  - Erfassungsebene (z.B. Grundrißpunkt, Traufhöhe, Firsthöhe)

Beispieldatensatz:

```
1264
465400,492 337715,736 5092 G
465400,719 337724,433 5092 G
465387,718 337724,513 5092 G
465387,667 337716,215 5092 G
465400,492 337715,736 5136 T
465400,719 337724,433 5136 T
465387,718 337724,513 5136 T
465387,667 337716,215 5136 T
END
```

- **\*.lag**
  - Gebäude-ID
  - X,Y (Grundrißkoordinaten)

Beispieldatensatz:

```
78852
471033,808 331486,718
471004,270 331491,958
471004,691 331480,679
471065,127 331481,364
471064,999 331492,646
471004,270 331491,958
END
```

- **\*.tab**

- Gebäude-ID
- Dachform (Flachdach, Firstdach)
- Firstrichtung (Azimutwinkel in Grad)
- relative Gebäudehöhe (dm)
- Höhe des Gebäudegrundriß (dm)

Beispieldatensatz:

1264, FI, 25, 44, 5136

Die Daten des Oberflächen-DGMs für das Testgebiet der Vorbereitungsphase<sup>105</sup> wurden von T-Mobil mit einer Pixelauflösung von 0,7m bereitgestellt. Dies entspricht der Auflösung, die vom Interpolationsmodul des GIS basierend auf der Größe des Gebietes als optimale Auflösung vorgeschlagen und übernommen wurde. Die Daten wurden im ASCII-Format (American Standard Code for Information Interchange) in LISA eingelesen und lagen in folgender Form vor:

Beispieldatensatz:

- Gauß-Krüger Koordinaten
- Geländehöhe in dm

4470785,00	5331522,80	5358
4470785,70	5331522,80	5358
4470786,40	5331522,80	5358
4470787,10	5331522,80	5358
4470787,80	5331522,80	5358
4470788,50	5331522,80	5358

Für das Testgebiet der Vorbereitungsphase wurden die Daten aus den Dateien \*.lag und \*.tab manuell in das für den Datenimport in LISA benötigte Format editiert:

- Gebäude ID
- Punktnummer (900 000 entspricht einer Bruchkante)
- X,Y,Z-Koordinaten
- Endpunkt = Startpunkt
- -99 -99 -99 -99 (Ende des Polygons)

Beispieldatensatz:

81641			
900000	4472614,666	5331195,471	4,200
900000	4472626,343	5331195,506	4,200
900000	4472626,752	5331198,909	4,200
900000	4472652,850	5331197,835	4,200
900000	4472654,050	5331207,821	4,200
900000	4472614,666	5331195,471	4,200
-99	-99	-99	-99

Die Daten für die Simulationen der sechs Testgebiete wurden von T-Mobil bereits in der erforderlichen Form zur Verfügung gestellt. Der Datenimport und weitere notwendige Umstrukturierungen der Ausgangsdaten werden im Kapitel 4.3.3.1 beschrieben.

---

<sup>105</sup> Information: Zu Beginn der Arbeit wurde für einen kleinen Probedatensatz nahezu der gesamte Simulationsablauf durchlaufen, um die Durchführbarkeit der Methodik zu testen. Dieser Datensatz ist nicht Bestandteil der Testgebiete, ist jedoch in Kapitel 4.3.3.4 zur Veranschaulichung der Überlagerung von Oberflächen-DGM und Gebäude-DGM, die nur für diesen Probedatensatz durchgeführt wurde, abgebildet

Die Auswahl der Testgebiete spiegelt verschiedene typische Bebauungstypen einer mitteleuropäischen Großstadt wieder:

- Wohngebiete:
  - niedrige Bebauung (Einfamilienhäuser) im Stadtrandgebiet: Ramersdorf
  - mittlere Gebäudehöhen im Altstadtbereich: Schwabing und Lehel
  - Hochhausbebauung in Trabantsiedlungen: Neuperlach
- Gewerbegebiet:
  - niedrige-mittlere Gebäudehöhe bei aufgelockerter Bebauung: Moosfeld

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick der typischen Gebäudehöhe und des Abstands zwischen den Gebäuden.

<b>Testgebiet</b>	<b>Typische Gebäudehöhe</b>	<b>Typischer Abstand zwischen den Gebäuden</b>
Ramersdorf	10m	20-25m
Schwabing	20m	20-25m
Lehel	20-30m	20-25m
Neuperlach 1	25-50m	40-75m
Neuperlach 2	25-50m	40-75m
Moosfeld	10-15m	40m

Tabelle 21 Übersicht der Bauungsmerkmale in den verschiedenen Testgebieten

Die folgenden Abbildungen sollen einen Eindruck der verschiedenen Bauungsstrukturen und der jeweiligen Abschattungsbedingungen vermitteln.

- Ramersdorf: Wohnviertel mit hohem Einfamilienhausanteil



Abbildung 67 Testgebiet Ramersdorf



Abbildung 68 Luftbild Ramersdorf (nördlicher Ausschnitt) <sup>106</sup>

<sup>106</sup> Information: D-Sat, Satellitenatlas Deutschland, Scout Systems

- Schwabing: Wohn- und Geschäftsviertel (Altstadt)



Abbildung 69 Testgebiet Schwabing



Abbildung 70 Luftbild Schwabing (nördlicher Ausschnitt)<sup>107</sup>

- Lehel: Wohn- und Geschäftsviertel (Altstadt)

---

<sup>107</sup> Information: D-Sat, Satellitenatlas Deutschland, Scout Systems



Abbildung 71 Testgebiet Lehel



Abbildung 72 Luftbild Lehel<sup>108</sup>

<sup>108</sup> Information: D-Sat, Satellitenatlas Deutschland, Scout Systems

- Neuperlach 1: Trabantenstadt mit Hochhausbebauung und großen Abständen zwischen den Gebäuden



Abbildung 73 Testgebiet Neuperlach 1



Abbildung 74 Luftbild Neuperlach 1 (nördlicher Ausschnitt)<sup>109</sup>

<sup>109</sup> Information: D-Sat, Satellitenatlas Deutschland, Scout Systems

- Neuperlach 2: Gleiches Bebauungsmuster wie im Testgebiet Neuperlach 1 (da die Hochhausbebauung in Neuperlach teilweise durch Bereiche mit niedrigerer Bebauung unterbrochen ist (siehe linker unterer Bildausschnitt in Abbildung 74), wurden zwei Testgebiete ausgewählt, um ein größeres Testgebiet auswerten zu können)



Abbildung 75 Luftbild Neuperlach 2 (nördlicher Ausschnitt) <sup>110</sup>

<sup>110</sup> Information: D-Sat, Satellitenatlas Deutschland, Scout Systems

- Moosfeld: Gewerbegebiet



Abbildung 76 Testgebiet Moosfeld

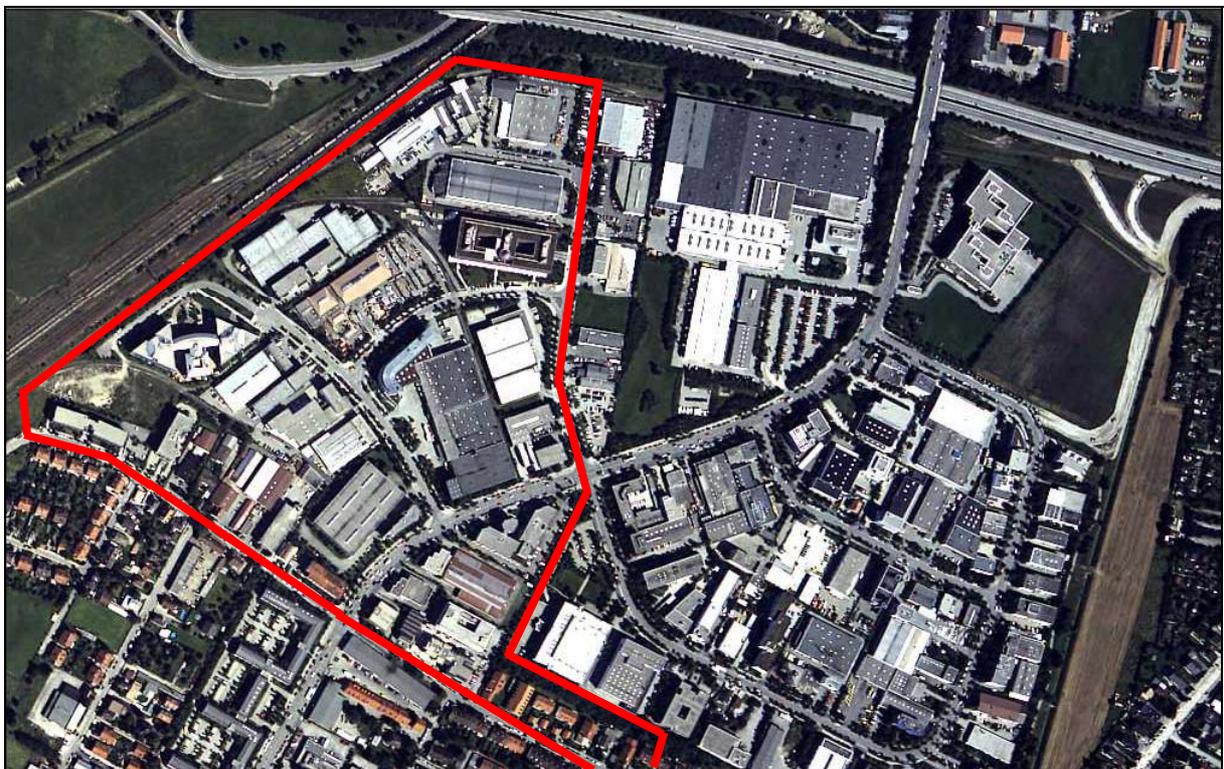


Abbildung 77 Luftbild Moosfeld <sup>111</sup>

<sup>111</sup> Information: D-Sat, Satellitenatlas Deutschland, Scout Systems

### 4.3 Geographische Informationssysteme (GIS)

Nach einer kurzen Einführung in die Thematik GIS werden das verwendete Programm LISA und die verwendeten Module beschrieben.

#### 4.3.1 GIS - Ein Überblick

Geographische Informationssysteme werden seit über 10 Jahren verstärkt zur Verarbeitung raumbezogener Daten eingesetzt. Die GIS-Anwendungen gliedern sich nach Bill (1991(1)) in vier Komponenten.

E	Eingabe	Input	I
V	Verwaltung	Management	M
A	Analyse	Analysis	A
P	Präsentation	Presentation	P

Tabelle 22 Das Vierkomponenten-Modell eines GIS <sup>112</sup>

Auf dem Markt für deutschsprachige GIS-Produkte sind mittlerweile über 200 Anbieter tätig. Ein Überblick zum aktuellen Sachstand im GIS-Bereich und den zu erwartenden Entwicklungen findet sich bei Bill (1999(2)). Die GIS-Entwicklung in den 90er Jahren kennzeichnet Bill mit dem Übergang von Spezialistensystemen über Systeme für die Sachbearbeiterebene hin zu GIS-Anwendungen des Massenmarktes.

Die angebotenen GIS klassifiziert er nach folgenden Kategorien:

- **Universelle bzw. High-End GIS**

verfügen über eine volle Funktionalität, Multi-User-Performance und sind zur Bearbeitung großer Datenmengen geeignet. Die Kosten liegen bei einigen 50 000 Euro. Beispiele sind unter anderem ArcInfo, Sicad open und Smallworld.

- **Low Cost-, PC GIS**

besitzen ähnliche Funktionalitäten wie High-End GIS, werden allerdings meist im Single-User-Modus zur Bearbeitung mittlerer Datenmengen betrieben. Die Kosten liegen bei ca. 10 000 Euro. Beispiele sind unter anderem PC ArcInfo, Atlas GIS und Mapinfo.

- **Desktop GIS**

eignen sich bei eingeschränktem Funktionalitätsumfang vor allem zur Bearbeitung kleiner Datenmengen und sind nach geringer Einarbeitungszeit leicht zu bedienen. Die Preise liegen in der Regel weit unter 5 000 Euro. Beispiele sind unter anderem ArcView, Sicad Spatial Desktop und GeoMedia.

- **Internet GIS bzw. WebGIS**

die Funktionalität beschränkt sich meist auf die Visualisierung geographischer Daten in Verbindung mit einigen einfachen GIS-Operationen. Die Systeme werden teilweise kostenfrei oder für einige 500 Euro angeboten. Beispiele sind unter anderem ArcView Internet Map Server, Map Guide und GeoMedia.

- **Auskunftssysteme**

erlauben nur in Ausnahmefällen eine Manipulation der Daten und beschränken sich auf die Präsentation der Geodaten. Produkte wie z.B. DAVID-Auskunft, AKSYS und visor sind für einige 500 Euro erhältlich.

---

<sup>112</sup> Literatur: Bill, 1991(1)

- **Geodatenpool bzw. Geodaten- oder Mapserver**

Der Begriff „Geodatenwarenhause“ wird für Spezialistensysteme im Wechselspiel von Datenadministratoren, Datenlieferanten und qualifizierten Datenbearbeitern verwendet. Die Systeme ermöglichen die Bearbeitung größerer Datenbeständen, die Preise liegen bei einigen 5 000 Euro. Beispiele sind unter anderem ArcView Internet Map Server, GeoMedia Web Server und Spatial Database Engine.

- **Spezialisierte GIS**

bieten Funktionalitäten, die speziellen Bedürfnissen angepaßt sind z.B. Kanalinformationssystem (Sicad-KANDIS), Straßendatenbanken (CardyTSP) oder Entwicklungswerkzeuge (TellusVision). Die Produkte sind bereits den spezifischen Kundenanforderungen angepaßt (customized) oder lassen sich entsprechend zusammenstellen (customizable). Die Preise reichen von einigen 50 Euro bis zu einigen 5 000 Euro.

Bezüglich der **Hardware-Ausstattung** profitieren die GIS-Anwender von der allgemeinen Entwicklung in der IT-Branche. Die Trennlinie zwischen Workstations und PC-Systemen verschwimmt immer mehr, hohe Rechenleistung ist zu akzeptablen Preisen verfügbar und zahlreiche Peripheriegeräte, wie z.B. GPS, digitale photogrammetrische Auswertesysteme, etc. und mobile Feldcomputer sind verfügbar.

Hinsichtlich der verwendeten **Software** ist ein Trend zur Standardisierung zu verzeichnen. Windows NT und Unix sind die überwiegend verwendeten Betriebssysteme, C und C++ die am häufigsten verwendeten Programmiersprachen und als Datenbanksprache wird überwiegend SQL (Structured Query Language) genutzt. Der Softwaremarkt wird von einigen wenigen Anbietern beherrscht (90% des GIS-Marktes werden von weniger als zehn Anbietern bedient).

Der kostenintensivste Bestandteil eines GIS sind die **Geodaten**. Bei der Erfassung von GIS-Daten und Pflege bestehender Datenbanken werden zunehmend neue Erfassungsmethoden wie z.B. GPS, digitale Photogrammetrie und Fernerkundung eingesetzt.

Die folgende Abbildung zeigt die „Lebenszyklen“ der verschiedenen Bestandteile eines GIS.

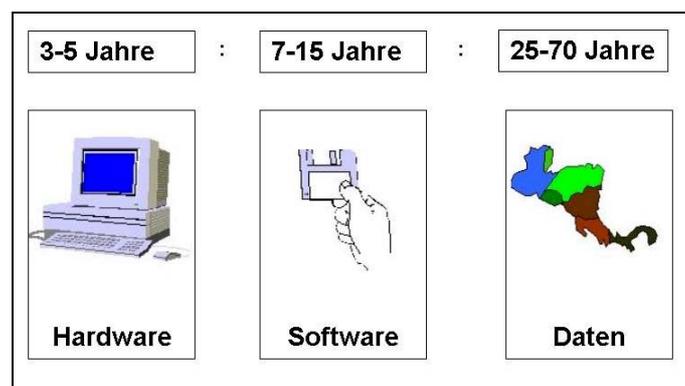


Abbildung 78 Aktualität der GIS Komponenten <sup>113</sup>

Zusätzliche Medien wie z.B. Graphiken und Videos werden zukünftig in GIS eingebunden und das Internet wird zunehmend als neues Medium auch im GIS-Bereich genutzt. Neben einfachen Auskunftssystemen werden verstärkt komplexere GIS-Operationen und der Vertrieb von Geodaten über das Internet abgewickelt. Aktuelle Entwicklungen in der Telekommunikation, die durch immer leistungsfähigere Übertragungsverfahren (GPRS, UMTS, Satellitenkommunikation) die Übertragung von GIS-Anwendungen und –Daten auf mobile Endgeräte (z.B. PDAs) ermöglichen, werden zukünftig völlig neue Anwendungsbereiche und

<sup>113</sup> Literatur: Bill, 1999(1)

Nutzergruppen für GIS erschließen. Ein Beispiel hierfür sind „Location Based Services“ wie z.B. „Wo finde ich das nächste Restaurant, die nächste Apotheke, etc.“ (Caspary, Reinhardt, 2000).

Typische Einsatzfelder von GIS sind:

- Vermessungswesen
- Ver- und Entsorgung
- Umwelt
- Planung
- Marketing und Vertrieb
- Land- und Forstwirtschaft
- Transport, Logistik und Verkehr
- Amtliche Statistik
- Telekommunikation
- Verkehrstelematik

Jede der genannten Anwendung stellt spezifische Anforderungen an das zu verwendende GIS. Eine Darstellung der GIS-Anwendungen in der Verkehrstelematik gibt Kreft (1999).

Für die im Rahmen dieser Arbeit benötigten Funktionalitäten wurde das GIS LISA ausgewählt. Ausschlaggebend für diese Entscheidung war unter anderem die Notwendigkeit, azimutabhängige Abschattungswinkel aus einem DGM zu berechnen. Dies stellt eine Spezialanwendung im GIS-Bereich dar, die mit anderen Produkten nicht realisierbar ist. LISA konnte diese Funktionalität, die Bestandteil der Dissertation „Abschätzung der Energiebilanz an der Oberfläche des Nevado Santa Isabel, Kolumbien“ (Arbeitstitel) von Michael Braitmeier am Geographischen Institut der Universität Düsseldorf ist, zur Verfügung stellen. Weiterhin verfügt LISA über ein leistungsfähiges DGM-Modul, das aufgrund seiner schnellen Prozessierungszeiten unter anderem vom DLR für vielfältige Aufgaben genutzt wird.

#### 4.3.2 LISA

LISA dient der Verarbeitung und Verwaltung raumbezogener Informationen auf Rasterbasis, wobei Vektor- und Sachdaten in vielfältiger Weise integriert werden können. LISA ist eine projektorientierte Software und zeichnet sich vor allem durch hohe Leistungsfähigkeit und Geschwindigkeit bei geringen Hardwareanforderungen aus.

Das Programmpaket von LISA gliedert sich in drei Komponenten:

- 1) **BASIS**: Grundprogramm mit allen wesentlichen GIS-Standardfunktionen
- 2) **FOTO**: digitale photogrammetrische Arbeitsstation
- 3) **GIDB**: Datenbank für geokodierte Rasterbilder bzw. DGMs aus BASIS bzw. FOTO

Das BASIS-Modul bietet folgende Funktionalitäten:

- **Dateibearbeitung**
  - Import/Export für verschiedene Vektor- und Rasterformate (z.B. BMP, PCX, RAW, HP-GL, DXF, DBF, IDRISI) und Farbpaletten
  - grafischer Editor für Vektordaten
  - Datenreduktion (Tunneling)

- Transformation zwischen verschiedenen Projektionen (Geogr., Gauß-Krüger, UTM<sup>114</sup>)
- Wandlung 8 ⇔ 16 Bit für Rasterbilder
- **Datenaufnahme mit Digitalisiertablett**
  - Entzerrung von Karten und Luftbildern über Paßpunkte unter Verwendung verschiedener Transformationsansätze
  - Registrierung von Punkt- und Linienkoordinaten
  - Flächen- und Entfernungsbestimmung
  - alle Funktionen sind auch für das Digitalisieren am Bildschirm verfügbar
- **Digitale Bildverarbeitung**
  - Vektor-Raster-Wandlung
  - radiometrische Bildbearbeitung (Histogramme, Lichtabfallkorrektur, Umrechnung nach Tabellen, Filter, Gradienten etc.)
  - Kombination mehrerer Bilder (Überlagerung/Verschneidung)
  - Klassifikation (Clusteranalyse; Quader, Minimalabstand)
  - geometrische Bearbeitung (Drehen, Spiegeln, Entzerrung über Paßpunkte nach verschiedenen Ansätzen, Mosaik, Bildmontage)
  - Flächenfüllungen und -signaturen
- **Digitale Geländemodelle**
  - Lageübersicht
  - Interpolation (gleitender Mittelwert, Flächenpolynome oder Dreiecksvermaschung)
  - Höhenstufen
  - Höhenlinien
  - Hangneigungen
  - Expositionen
  - Schummerung
  - Profile
  - verschiedene 3D-Ansichten
  - Flächen- und Volumenberechnungen
  - Alle oben genannten Funktionen auch für Differenz-DGMs
  - Berücksichtigung von Bruchkanten und Aussparungsflächen
- **Datenverwaltung und Analyse**
  - Projektorganisation
  - Attributdatenverwaltung über dBASE-Schnittstelle
  - komplexe Verschneidung von bis zu fünf Bildern über frei definierbare Formeln
  - Maskengenerierung
  - Grauwertstatistik und -analyse
  - logische Verknüpfung von Bildern

---

<sup>114</sup> Information: Universal Transverse Mercator

- Umgebungsanalysen (Entfernungsbild, Thiessenpolygone, Nächster-Nachbar-Zuordnung)

- **Ausgabe**

- Bildschirm  
(umfangreiche Funktionen wie Zoom/Verschieben, Farbpalettenmanipulationen, Koordinatenmessung und -registrierung, Vektor-, Attribut- und Photo-Overlay etc.)
- Erstellung von Legenden und Farbpaletten
- Ausgabe auf Drucker bzw. Plotter

([www.uni-duesseldorf.de/WWW/MathNat/Geo/Lisa](http://www.uni-duesseldorf.de/WWW/MathNat/Geo/Lisa))

Weitere Informationen zu LISA finden sich bei Linder (1999).

### 4.3.3 Berechnungen

In LISA wurden folgende Operationen durchgeführt:

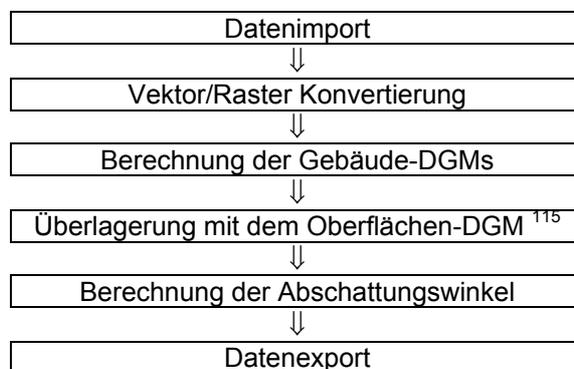


Abbildung 79 Übersicht der durchgeführten GIS-Operationen

Die von T-Mobil zur Verfügung gestellten Vektordaten der Gebäude und das Oberflächen-DGM wurden zunächst in LISA importiert. Anschließend wurde für die Gebäudedaten eine Vektor-Raster-Wandlung vorgenommen und das Gebäude-DGM berechnet. Exemplarisch wurde eine Addition von Gebäude- und Oberflächen-DGM durchgeführt. Aus den Gebäude-DGMs der sechs Testgebiete wurden die azimutabhängigen Abschattungswinkel berechnet und diese anschließend über eine dBASE-Datei in Excel eingelesen.

#### 4.3.3.1 Datenimport

Die in Kapitel 4.2 beschriebenen Ausgangsdaten wurden in LISA importiert. Hierzu wurde für jeden Punkt die Punktnummer 900 000, die eine Bruchkante definiert, eingeführt und die Abschlußzeile der Polygone von „End“ in „-99 -99 -99 -99“ umgewandelt (dieser Zeichenstring kennzeichnet in LISA das Ende eines geschlossenen Polygons). Anschließend wurden die Datensätze innerhalb der Eingabedatei dupliziert und in der duplizierten Version die Punktnummer 800 000 (Aussparungsfläche) eingeführt.

Folgendes Datenformat wurde dabei erzeugt:

---

<sup>115</sup> Information: Vorbereitungsphase

```

900000    (Bruchkante)      x    y    z
...
Endpunkt  = Startpunkt
-99                      -99 -99 -99
...
800000    (Aussparungspolygon) x    y    z
...
Endpunkt  = Startpunkt
-99                      -99 -99 -99
...

```

#### Beispieldatensatz:

```

900000    471213,286    331090,227    21,300
900000    471204,602    331082,696    21,300
900000    471216,041    331067,343    21,300
...
900000    471213,286    331090,227    21,300
-99      -99          -99          -99
...
800000    471213,286    331090,227    21,300
800000    471204,602    331082,696    21,300
800000    471216,041    331067,343    21,300
...
800000    471213,286    331090,227    21,300
-99      -99          -99          -99
...

```

Für diese Datei wurden im graphischen Editor von LISA Löschpunkte, die durch die Punktnummer 700 000 definiert sind, mit einem Z-Wert von 0 digitalisiert.

Dieses Verfahren bewirkt, daß im Gegensatz zu Oberflächen-DGMs mit einem fließenden Verlauf der Höheninformationen, ein scharfes „Abschneiden“ des DGMs an den Gebäudegrenzen erfolgt, wobei die Geländeoberfläche den Höhenwert 0m erhält.

Für die Addition von Gebäude-DGM und Oberflächen-DGM wird es später erforderlich, daß beide DGMs den identischen geographischen Bedeckungsbereich und eine identische Bildauflösung aufweisen, deshalb wurden bei der Erstellung der Eingabedatei zwei Paßpunkte, die den gewünschten geographischen Bereich definieren (X,Y minimal und X,Y maximal) in die Eingabedatei geschrieben. Die Paßpunkte sind mit Punktnummern aus dem Bereich 1-200 (Einzelpunkte) kodiert.

Die, in dieser Form vorbereitete Eingabedatei, wurde mit dem LISA Modul **Import-Vektordaten-ASCII beliebige Sequenz** eingelesen.

Das Oberflächen-DGM konnte in dem, in Kapitel 4.2 beschriebenen Format (nach Einfügen der Paßpunkte) direkt über das LISA-Modul **Vektor-Raster Wandlung** importiert werden.

### **4.3.3.2 Vektor-Raster-Wandlung**

Um die vorbereitete Vektordatei in ein DGM zu überführen, ist zunächst eine Vektor-Raster-Wandlung nötig. Dabei laufen folgende Berechnungen ab:

„Die Vektor-Raster-Wandlung berechnet Koordinatenbereiche und erstellt optional ein Lageübersichtsbild der Eingabepunkte. Polylinienpunkte werden dabei verbunden. Erzeugt wird ferner die Datei IMAGE\_.PRD, die Angaben zur Bilddimension und -position enthält und Voraussetzung für die Interpolation ist. Unabhängig davon, ob ein Lageübersichtsbild erstellt wird oder nicht, muß diese Option vor der ersten Interpolation eines neuen Datensatzes gestartet werden.“ (Linder 2000).

Entsprechend des Charakters eines Gebäude-DGMs (kein fließender Verlauf der Höheninformationen, sondern scharfe Bruchkanten) wurde bei der Vektor-Raster-Wandlung die Option **Aussparungsflächen** gewählt.

#### **4.3.3.3 DGM**

Im nächsten Schritt erfolgte die Berechnung des Gebäude-DGMs. Das Interpolationsmodul erstellt aus den Eingabepunkten ein digitales Geländemodell in Form eines Rasterbildes, skaliert auf den Bereich 0-32 767 (15 Bit), dabei stehen folgende mathematische Verfahren zur Auswahl:

##### **1) Gleitender Mittelwert**

Dies ist ein schnelles Verfahren mit dem beste Ergebnisse bei gleichmäßig verteilten, dicht liegenden Stützpunkten erzielt werden. Es eignet sich vor allem zur schnellen Visualisierung. Insbesondere in der Nähe von linienhaften Elementen (Bruchkanten) neigt das Verfahren zur Plateaubildung.

##### **2) Gleitende Flächen**

Erzeugt einen ruhigerem Höhenlinienverlauf in flachen Gebieten mit meist höherer Genauigkeit und einer geringeren Neigung zur Plateaubildung bei langsamerer Prozessierung.

##### **3) Dreiecksvermaschung**

Anwendbar bei gleichmäßig verteilten, aber relativ weit auseinander liegenden Stützpunkten. Die Geländeoberfläche wird aus Dreiecken zusammengesetzt und neigt daher zu etwas „kantigem“ Höhenlinienverlauf, der aber durch Mittelwertfilter geglättet werden kann.

##### **4) Digitalisierte Höhenlinien**

Für Eingabedaten, die ganz oder überwiegend aus digitalisierten Höhenlinien stammen. Das Verfahren führt zu weitgehend "glatten" Hängen zwischen benachbarten Höhenlinien.

(Linder 2000)

Zur Berechnung der Gebäude DGMs wurde die Option 1 (Gleitender Mittelwert) gewählt, da diese optimal den spezifischen Anforderungen dieses DGM-Typs entspricht. Die Berechnung des Oberflächen-DGMs erfolgte ebenfalls durch die Option 1, da aufgrund einer ausreichenden Anzahl an Stützpunkten und deren gleichmäßiger Verteilung ein Ausweichen auf die langsamere Option 2 nicht erforderlich war.

#### **4.3.3.4 Addition von Gebäude- und Oberflächen-DGM**

In der Vorbereitungsphase der Arbeit wurde für ein Testgebiet exemplarisch eine Überlagerung der Gebäudedaten mit dem entsprechenden Oberflächen-DGM durchgeführt.

Nach dem Einfügen der Paßpunkte und der Auswahl einer übereinstimmenden Bildauflösung für die Interpolation konnten Gebäude-DGM und Oberflächen-DGM mit dem Modul **Geländemodelle–Verschneidung–Addition** problemlos zusammengefügt werden. Eine graphische Darstellung der DGM-Addition ist in der folgenden Abbildung wiedergegeben.

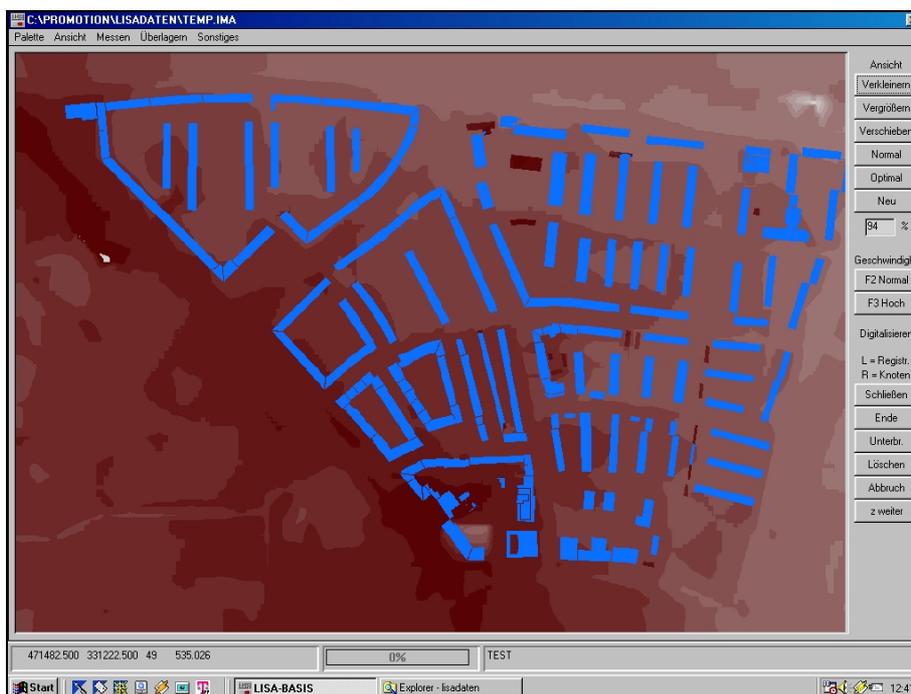
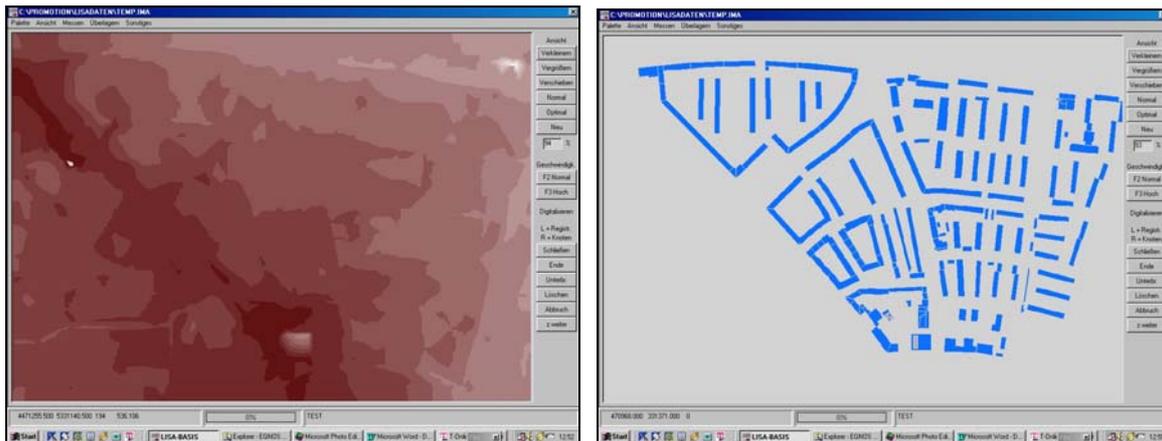


Abbildung 80 Überlagerung des Oberflächen- und Gebäude-DGMs

Das Oberflächen-DGM hat für die ausgewählten Testgebiete in München hinsichtlich der Berechnung von Abschattungswinkeln aufgrund der spezifischen Geomorphologie Münchens (Münchner Schotterebene) keinen Einfluß. Aus Gründen der schnelleren Datenprozessierung wurde deshalb auf die Einbindung weiterer Oberflächen-DGMs im Verlauf der Arbeit verzichtet. Die Einbindung eines Oberflächen-DGMs wurde demonstriert und somit ist eine Übertragbarkeit der vorgestellten Methodik auf andere Stadtmodelle, bei denen die Geomorphologie einen Einfluß auf die Berechnung der Abschattungswinkel im Stadtgebiet ausübt (z.B. Stuttgart, Innsbruck, etc.), gewährleistet.

#### 4.3.3.5 Berechnung der Abschattungswinkel

Für jedes Gebäude-DGM der sechs Testgebiete wurden jeweils acht Rasterkarten berechnet, die für alle Bildpixel den Abschattungswinkel in den Azimutrichtungen N, NE, E, SE, S, SW, W und NW enthalten. Die Winkelwerte sind im Bogenmaß angegeben und beziehen sich auf den Winkel zwischen Gebäudeoberkante und Zenit. Die Umrechnung in Gradangaben und dem gewünschten Winkel zwischen Gebäudeoberkante und der Ebene erfolgte später (siehe Kapitel 4.3.3.8).

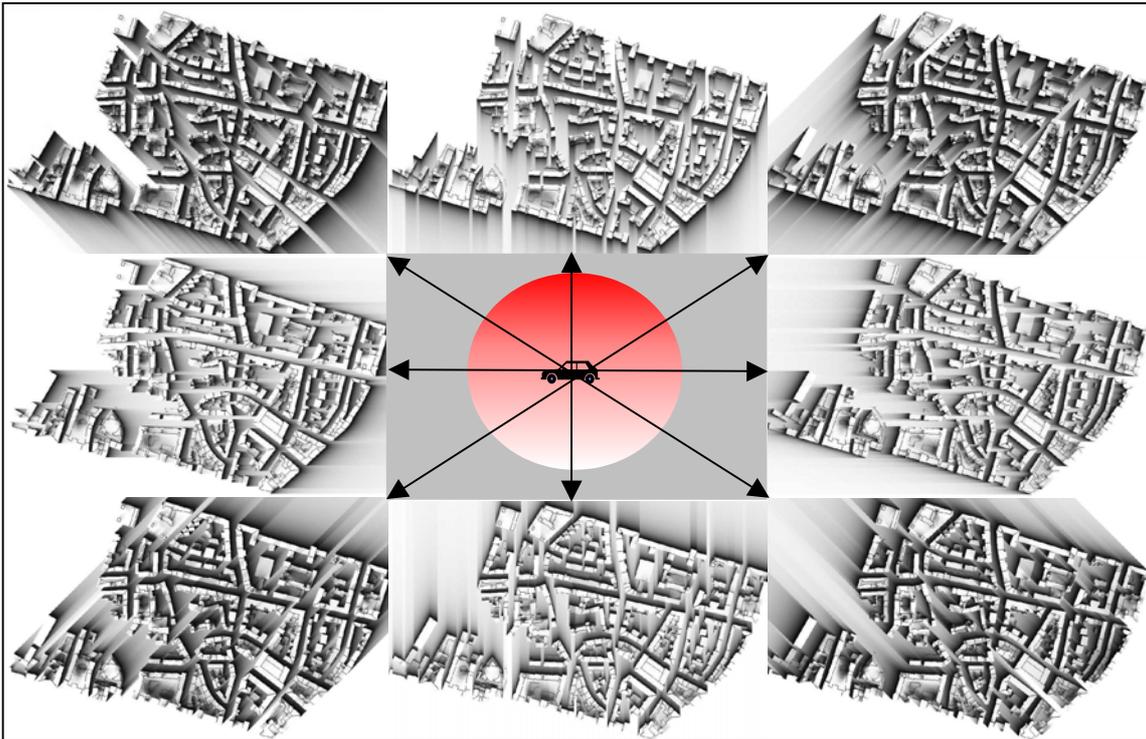


Abbildung 81 Abschattungskarten für acht Azimutrichtungen (Lehel)

#### 4.3.3.6 Digitalisierung der Fahrtrouten

In jedem Testgebiet wurde eine „Fahrtroute“ digitalisiert und die Einzelpunkte in einer Datei gespeichert. Die Abstände zwischen den digitalisierten Punkten betragen ca. 20-30m. Insgesamt wurden 944 Einzelpunkte erfasst. Die folgenden Abbildungen zeigen die Größe der Testgebiete und die Verteilung der digitalisierten Einzelpunkte auf die Testgebiete.

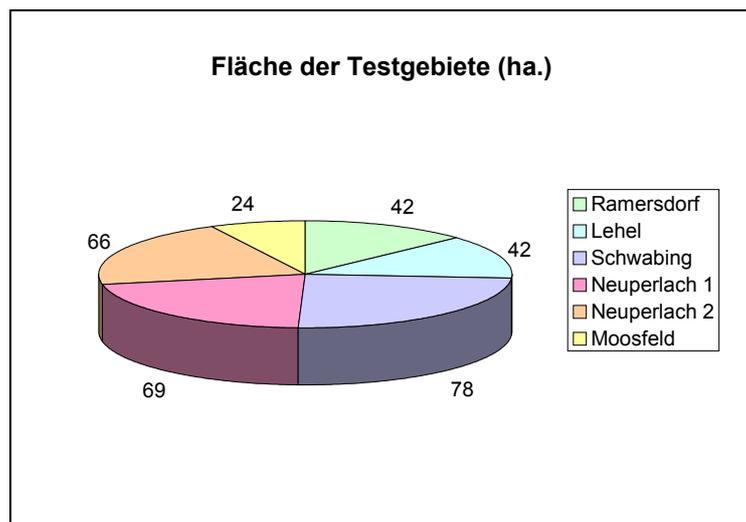


Abbildung 82 Fläche der Testgebiete

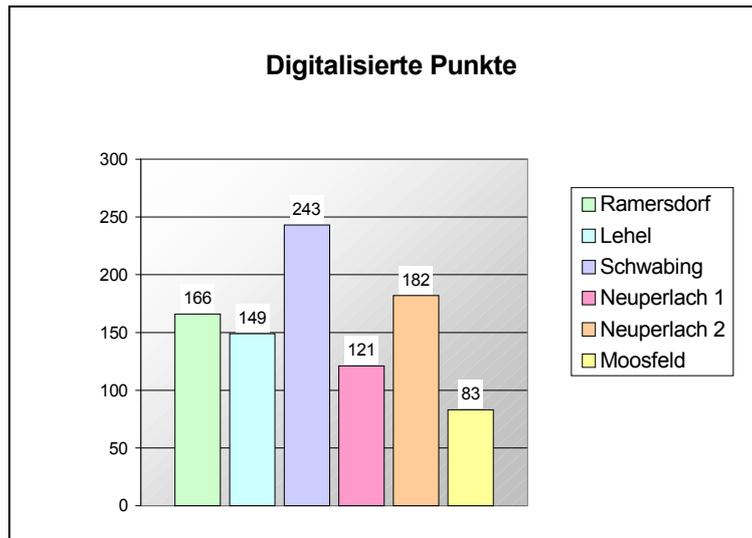


Abbildung 83 Verteilung der digitalisierten Punkte auf die Testgebiete

Die Kartendarstellungen der Testgebiete und der entsprechenden Fahrtrouten sind im Anhang 6.8 abgebildet.

#### 4.3.3.7 Übernahme der Abschattungswinkel in die dBASE Datei

Die Abschattungswerte für die digitalisierten Punkte wurden durch folgendes Verfahren aus den jeweils acht Rasterkarten pro Testgebiet extrahiert:

- 1) Eine Abschattungskarte (z.B. Schwabing-N.ima) wurde im Modul **Raster Export-Option ASCII-Daten** geöffnet, die Einzelpunktdatei der entsprechenden Fahrtroute geladen und das Ausgabeformat **ASCII** gewählt. Das Ergebnis ist eine LISA-Datei, die für alle digitalisierten Einzelpunkte die Abschattungswinkel in Nordrichtung, eine Punktnummer und die Gauß-Krüger Koordinaten enthält (z.B. Schwabing-N.dat). Derartige Datenfiles wurden für alle Azimutrichtungen und für alle Testgebiete erzeugt.

##### Beispieldatensatz:

1	4469216,000	5333873,000	1,288
2	4469212,000	5333853,000	0,937
3	4469205,000	5333834,000	0,755
4	4469204,000	5333815,000	1,046
5	4469211,000	5333804,000	1,308
6	4469229,000	5333794,000	0,565
7	4469248,000	5333792,000	0,613
8	4469265,000	5333793,000	0,587
...	...	...	...

- 2) Ein LISA-Datenfile (z.B. Schwabing-N.dat) wurde mit dem Modul **Export Vektordaten-Option: dBASE** in eine dBASE-Datei konvertiert (Schwabing.dbf) und entsprechende Spaltenbezeichnungen eingeführt.

##### Beispieldatensatz:

Pkt.-Nr.	X-Wert (Gauß-Krüger)	Y-Wert (Gauß-Krüger)	Abschattungswinkel Nord (Bogenmaß)
1	4469216,000	5333873,000	1,288
2	4469212,000	5333853,000	0,937
3	4469205,000	5333834,000	0,755
4	4469204,000	5333815,000	1,046
5	4469211,000	5333804,000	1,308
6	4469229,000	5333794,000	0,565
7	4469248,000	5333792,000	0,613
8	4469265,000	5333793,000	0,587
9	4469277,000	5333796,000	0,673
...	...	...	...

- 3) Die dBASE-Datei (z.B. Schwabing.dbf) wurde mit dem Modul **LISA Dateien–Sachdaten–Option: Felder hinzufügen** um weitere Spalten für die restlichen Azimutrichtungen erweitert.

**Beispieldatensatz:**

Pkt.-Nr.	X-Wert (Gauß-Krüger)	Y-Wert (Gauß-Krüger)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	4469216,000	5333873,000	1,288							
2	4469212,000	5333853,000	0,937							
3	4469205,000	5333834,000	0,755							
4	4469204,000	5333815,000	1,046							
5	4469211,000	5333804,000	1,308							
6	4469229,000	5333794,000	0,565							
7	4469248,000	5333792,000	0,613							
8	4469265,000	5333793,000	0,587							
9	4469277,000	5333796,000	0,673							
10	4469299,000	5333800,000	0,675							
...	...	...	...							

- 4) In die erweiterte dBASE-Datei wurden über das Modul **LISA Daten–Sachdaten–Daten aus ASCII Dateien** die unter Punkt 1) erzeugten LISA-Datenfiles (z.B. Schwabing-NE.dat, Schwabing-E.dat, etc.) in die entsprechenden Spalten nachgeladen. Das Ergebnis ist eine dBASE-Datei, die nun alle Abschattungswinkel der digitalisierten Einzelpunkte enthält. Dies wurde entsprechend für alle Testgebiete durchgeführt.

**Beispieldatensatz:**

Pkt.-Nr.	X-Wert (Gauß-Krüger)	Y-Wert (Gauß-Krüger)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	4469216,000	5333873,000	1,288	0,538	0,554	0,344	1,389	0,288	0,304	0,183
2	4469212,000	5333853,000	0,937	0,508	0,703	0,307	1,445	0,321	0,351	0,218
3	4469205,000	5333834,000	0,755	0,498	0,575	0,430	1,439	0,253	0,255	0,147
4	4469204,000	5333815,000	1,046	0,458	0,609	0,714	1,420	0,317	1,571	0,320
5	4469211,000	5333804,000	1,308	0,369	1,437	0,502	1,395	0,551	0,716	0,627
6	4469229,000	5333794,000	0,565	0,384	1,238	0,254	0,391	0,887	1,089	0,853
7	4469248,000	5333792,000	0,613	0,465	1,076	0,202	0,317	0,200	1,251	0,462
8	4469265,000	5333793,000	0,587	0,816	0,882	0,224	0,391	0,256	1,326	0,437
9	4469277,000	5333796,000	0,673	0,640	1,404	0,210	0,434	0,313	1,361	0,360
10	4469299,000	5333800,000	0,675	0,445	1,306	0,900	0,410	0,239	1,405	0,580
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

- 5) Die erzeugte dBASE-Datei läßt sich in Excel importieren und weiterverarbeiten.

**4.3.3.8 Export**

Die Abschattungswerte wurden in der Excel-Datei vom Bogenmaß in Gradangaben umgerechnet, gleichzeitig wurde dabei der Winkel zwischen Gebäudeoberkante und Zenit ( $\alpha$ ) in den Winkel zwischen Gebäudeoberkante und Geländebene ( $\beta$ ) umgerechnet.

Die Antennen der Fahrzeugnavigationssysteme sind meist am Dach, Kofferraum oder am Armaturenbrett der Fahrzeuge befestigt. Aufgrund dieser verschiedenen Installationsmöglichkeiten und unterschiedlicher Fahrzeugtypen kann keine einheitliche Antennenhöhe angenommen werden. Die Abschattungswinkel beziehen daher sich auf das Straßenniveau und stellen somit den „Worst-Case“ der Abschattungsbedingungen dar.

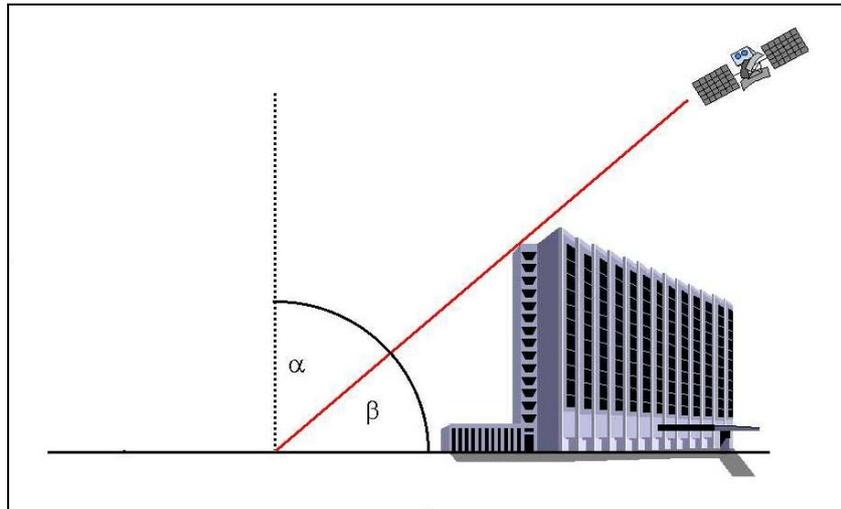


Abbildung 84 Skizze: Umrechnung der Abschattungswinkel

Die dabei verwendete Formel lautet:

$$\beta = 90 - (\alpha \times 180/\pi)$$

Die Gauß-Krüger Koordinaten wurden mit der Software MathLab in geographische Koordinaten (WGS 84) transformiert. Für die Transformation wird eine absolute Höhenangabe benötigt. Die Höhengenaugkeit für die Geländeoberfläche beträgt bei den T-Mobil Daten  $\pm 1\text{m}$ . Für die Transformation wurden Höhenangaben mit einer höheren Genauigkeit (einige cm), die vom Höhenbüro des Straßenbauamts der Stadt München zur Verfügung gestellt wurden, verwendet. Die Angaben in Tabelle 23 beziehen sich auf die Kreuzungen der jeweiligen Straßenachsen.

Testgebiet	Straßenachsen	Höhe NN <sup>116</sup> (m)
Ramersdorf	Führich-/Ayingerstraße	534,58
Schwabing	Akademie-/Amalienstraße	512,44
Lehel	10m östl. der Kirche am St. Anna Platz	511,05
Neuperlach 1	Thomas Dehler-/Hans Seidl Straße	539,78
Neuperlach 2	Quidde-/Ständlerstraße	533,77
Moosfeld	Stahlgruberring/Karl Schmidt Straße	523,58

Tabelle 23 Höhen der Testgebiete <sup>117</sup>

Nach der Umrechnung der Abschattungswinkel und der Koordinaten-Transformation lagen die Daten in folgendem Format vor:

Punkt Nr.	Gauß-Krüger	WGS 84	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	4469216 5333873	11,584911 48,1421373	16,2	59,2	58,3	70,3	10,4	73,5	72,6	79,5
2	4469212 5333853	11,5848587 48,1419572	36,3	60,9	49,7	72,4	7,2	71,6	69,9	77,5
3	4469205 5333834	11,584766 48,141786	46,7	61,5	57,1	65,4	7,6	75,5	75,4	81,6
4	4469204 5333815	11,5847539 48,1416151	30,1	63,8	55,1	49,1	8,6	71,8	0	71,7
5	4469211 5333804	11,5848488 48,1415165	15,1	68,9	7,7	61,2	10,1	58,4	49	54,1
6	4469229 5333794	11,5850914 48,1414275	57,6	68	19,1	75,4	67,6	39,2	27,6	41,1
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

<sup>116</sup> Information: Normal Null - für Deutschland gültige Höhenbezugsfläche, die sich auf den Amsterdamer Pegel bezieht.

<sup>117</sup> Information: Straßenbauamt der Stadt München

Dieses Format bildete die Basis für die weiteren Bearbeitungen, die für den Datenimport in die Satellitensimulationssoftware SATNAVsim erforderlich waren (siehe Kapitel 4.4.2).

## 4.4 Satellitensimulation

Nach einer kurzen Vorstellung des verwendeten Satellitensimulationsprogramms SATNAVsim wird der Datenimport beschrieben, die verschiedenen Szenarien erläutert und die jeweiligen Simulationsparameter dargelegt.

### 4.4.1 SATNAVsim

Das Programm SATNAVsim ist Bestandteil des Softwarepakets SBSTools (SpaceBorne Systems simulation Tools) und wurde von der Astrium GmbH im Rahmen eines vom DLR geförderten Projekts entwickelt. Ziel des Vorhabens war es, ein Simulationswerkzeug zur Unterstützung der europäischen Aktivitäten im Bereich zukünftiger Satellitennavigationssysteme (EGNOS, Galileo) zur Verfügung zu stellen. Neben SATNAVsim werden noch weitere Module aus dem Eurocontrol-Programm SAPHIRE DUAU (Satellite and Aircraft Database Programme for System Integrity Research, Data Base Update and Access Unit) und dem ESA Projekt ECUREV (EC User Requirements and EGNOS Validation) in die SBSTools-Umgebung integriert. SBSTools ist in einer Netzwerkumgebung implementiert und die einzelnen Module sind durch eine CORBA (Common Object Request Broker Architecture)-Plattform miteinander verbunden. Der Simulator gliedert sich im wesentlichen in die Komponenten Raum-, Boden- und Nutzersegment. Die Ergebnisse können entweder online visualisiert oder im Post-Processing ausgewertet werden. Die Systemarchitektur ist in der folgenden Abbildung wiedergegeben.

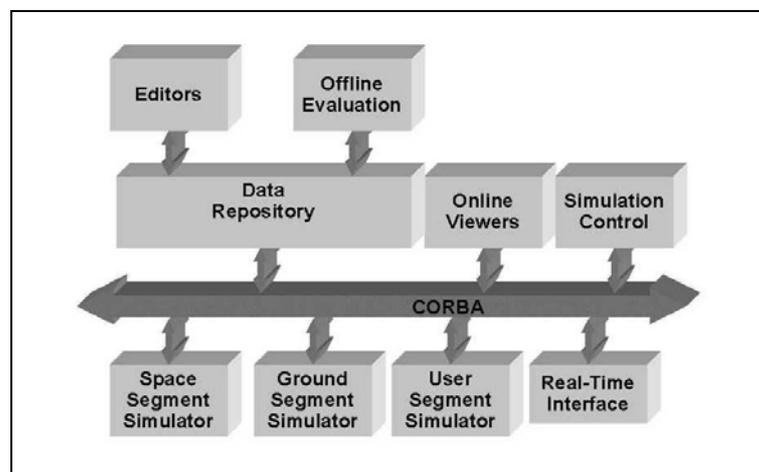


Abbildung 85 SBSTools Architektur <sup>118</sup>

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde der „Space Segment Simulator“ benutzt. Die Satellitenorbits sind durch Kepler-Parameter definiert und die Almanachdaten können zum größten Teil per Internet bezogen werden.

Eine Simulation wird durch folgende Parameter definiert:

- Satellitenkonstellation
- Definition eines Festpunktes, einer Strecke oder einer auszuwertenden Fläche
- Startzeitpunkt

<sup>118</sup> Literatur: Herpel, 2000

- Zeitintervall der Berechnungen und Anzahl der Rechenoperationen
  - ⇒ Simulationsdauer
  - ⇒ Anzahl der aufgezeichneten Datenzeilen

SATNAVsim bietet eine Vielzahl visueller Auswertetools. Die folgenden Abbildungen zeigen einige Beispiele.

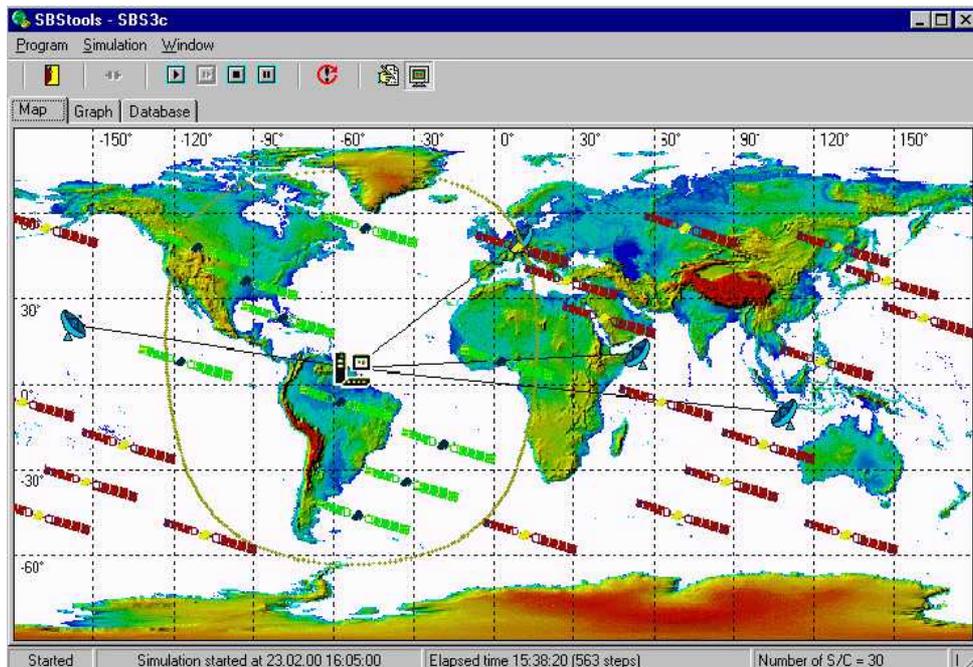


Abbildung 86 Online Visualisierung der Satelliten-Ground-Tracks <sup>119</sup>

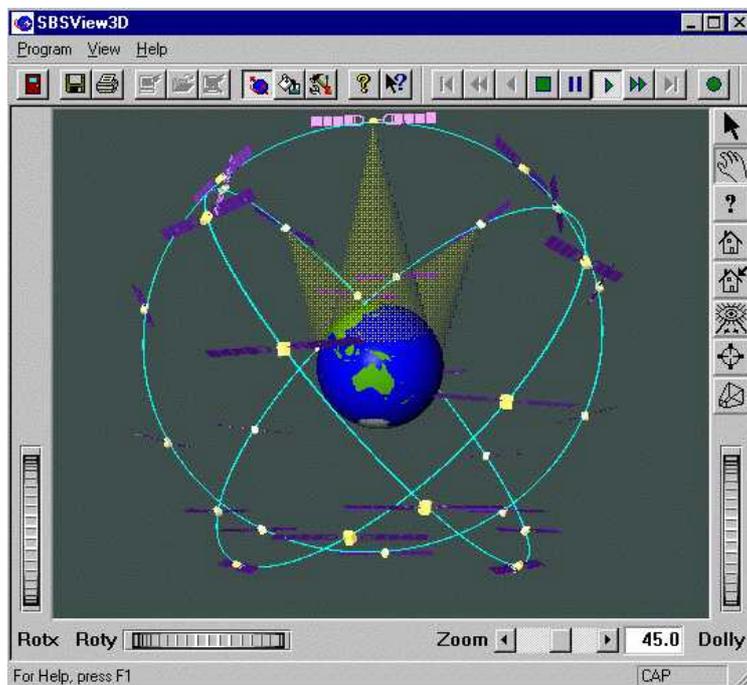


Abbildung 87 Online Visualisierung der Satellitenorbits <sup>119</sup>

<sup>119</sup> Literatur: Herpel, 2000

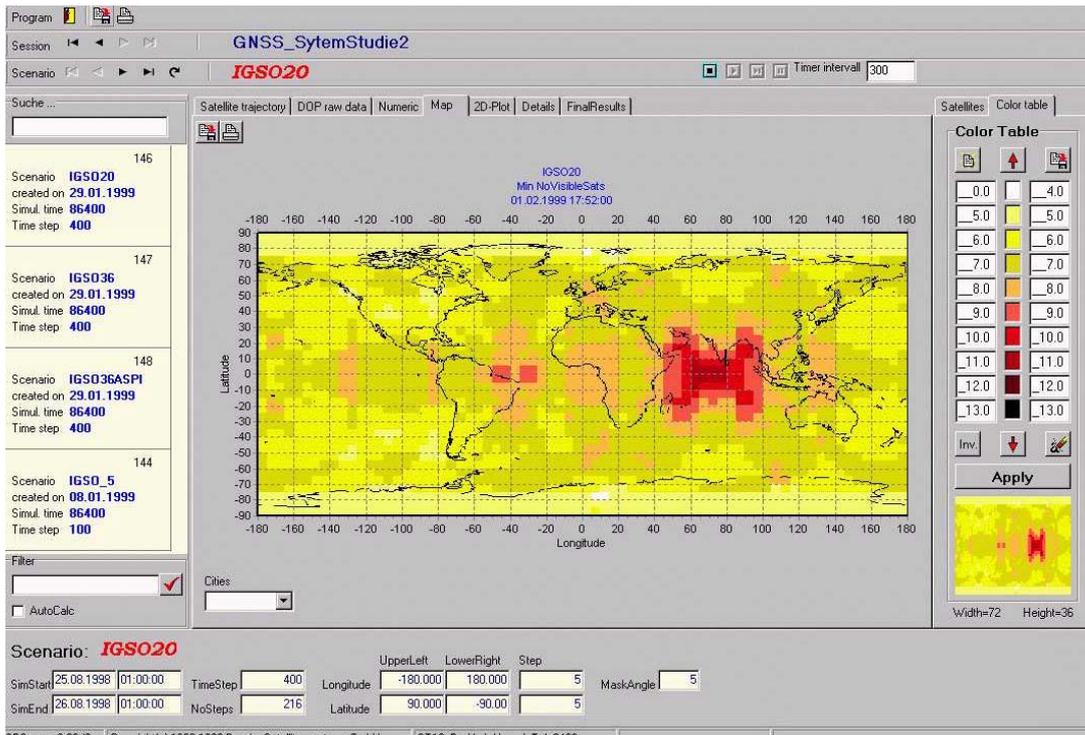


Abbildung 88 Globale Satellitensichtbarkeit <sup>120</sup>

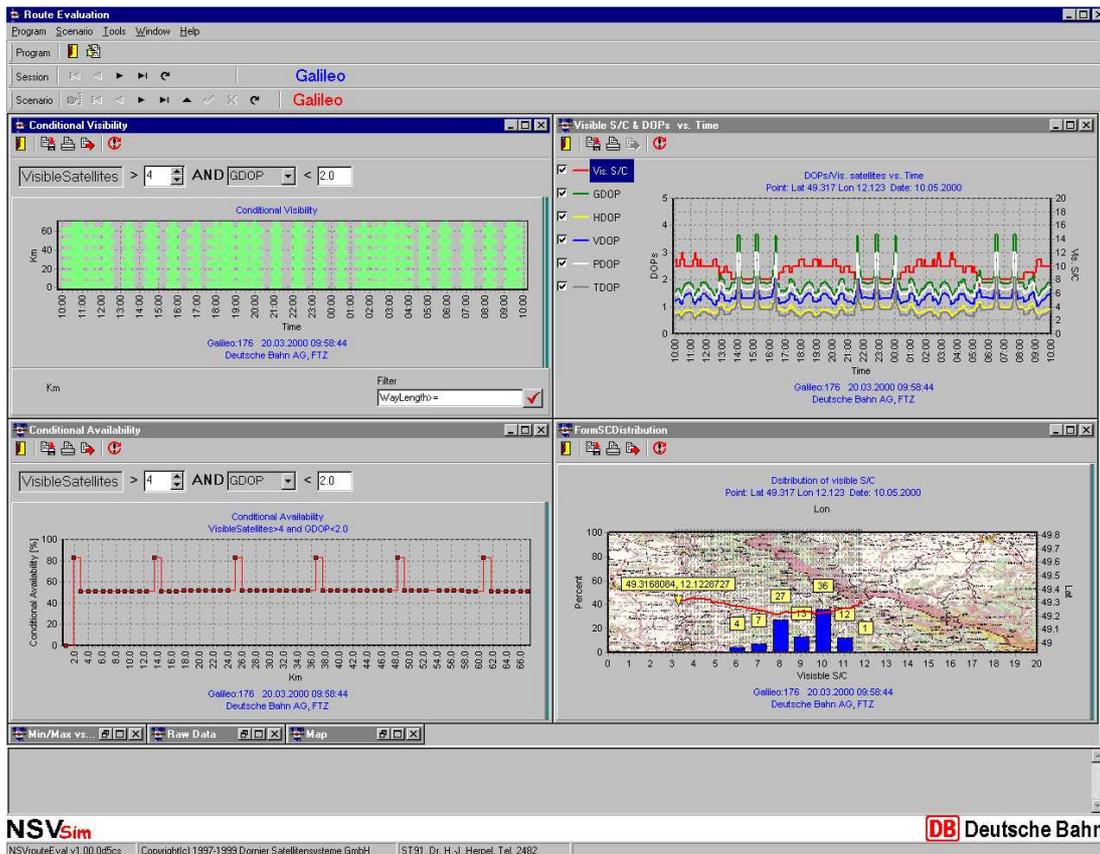


Abbildung 89 Auswertemenü Fahrtstrecken/Einzelpunkte <sup>120</sup>

<sup>120</sup> Literatur: Herpel, 2000

Neben der Auswertung mit SATNAVsim-Tools können Rohdaten als ASCII-Format gespeichert und in anderen Programmen (z.B. Excel) weiterverarbeitet werden. Die Rohdaten enthalten folgende Informationen:

- Szenario-ID
- Punkt-Typ
- Punkt-ID
- Zeitpunkt der Simulation, Numerierung der Simulationsschritte
- GDOP, HDOP, PDOP, TDOP, VDOP
- Anzahl der sichtbaren Satelliten

Sind weniger als vier Satelliten sichtbar, kann kein DOP berechnet werden und die Werte werden auf 10 000 gesetzt.

#### Beispieldatensatz:

Scenario ID	Point Type	Point ID	Time	Step	GDOP	HDOP	PDOP	TDOP	VDOP	Visible Sat.
19	1007	226	16.07.00 00:10	206	10000	10000	10000	10000	10000	3
19	1007	226	16.07.00 00:15	207	10000	10000	10000	10000	10000	3
19	1007	226	16.07.00 00:20	208	4,027026	2,605841	3,67205	1,653176	2,587188	4
19	1007	226	16.07.00 00:25	209	4,706016	2,261039	3,913571	2,613532	3,194329	4
19	1007	226	16.07.00 00:30	210	2,188072	1,485163	2,026102	0,826178	1,378179	6
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Für die durchgeführten Simulationen wurden aus Gründen der Datenreduktion nur die benötigten Informationen gespeichert:

- Punkt-ID
- Zeitpunkt der Simulation und Numerierung der Simulationsschritte  
(zur Rekonstruktion der Fahrtstrecke)
- HDOP
- Anzahl der sichtbaren Satelliten

SBSTools wurde bisher für folgende Anwendungen eingesetzt:

In der Anfangsphase der Planungen zu **Galileo** wurde SATNAVsim zur Optimierung des Raum- und Bodensegments verwendet. Dabei wurde zunächst die Konstellation der Satelliten entsprechend den Nutzeranforderungen (Genauigkeit, Abdeckung, Verfügbarkeit, etc.) festgelegt. Anschließend wurden mögliche Standortkombinationen für das Bodensegment bewertet sowie die Beobachtungszeit der Satelliten durch die Monitorstationen und die Up-Link Intervalle zu den Satelliten optimiert.

Weiterhin wurde eine Simulation der GPS-Performance entlang von Bahnstrecken für die **DB AG** durchgeführt. Die Berechnungen dienten als Entscheidungsgrundlage für die Bewertung des zukünftigen Einsatz von GPS im Rahmen von Fahrgastinformationssystemen. Schwerpunkt des Projekts war die Entwicklung eines Moduls zur Berücksichtigung azimutabhängiger Abschattungswinkel. Dabei wurden zunächst lediglich verschiedene Abschattungswinkel in Richtung der Zugachse bzw. seitlich zu dieser berücksichtigt. Diese Funktionalität wurde erweitert und erlaubt nun eine beliebige Definition der Abschattungswinkel in Azimutrichtung und Elevationshöhe. SATNAVsim ist nach vorliegendem Kenntnisstand das einzige Satellitensimulationsprogramm, das diese Funktionalität unterstützt.

Im Projekt **SAPHIRE** wird, basierend auf Datenaufzeichnungen im Rahmen von Routineflügen der Lufthansa und British Airways, eine Bewertung der GPS-Leistungsfähigkeit für verschiedene Flugphasen vorgenommen (Herpel, 2000).

#### 4.4.2 Datenimport

Für den Datenimport in SATNAVsim werden folgende Informationen benötigt:

- Punkt-ID
- Koordinaten (WGS 84)
- Begrenzungen der Azimutsektoren
- Begrenzungen der Abschattungswinkel

Diese Angaben sollten bevorzugt in einem definierten Format vorliegen. Hierzu wurden die LISA-Ausgabedateien (Kapitel 4.3.3.8) in Excel entsprechend formatiert. Die Umstrukturierung der Datensätze ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

X_WERT	Y_WERT	Punkt_Nr.	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
4469216	5333873	1	6,2	50,2	58,3	70,3	10,4	73,5	72,6	79,5
4469212	5333853		36,3	60,9	49,7	72,4	7,2	71,6	69,9	77,5
4469205	5333834	3	46,7	61,5	57,1	65,4	7,6	75,5	75,4	81,6

X_WERT	Y_WERT	Punkt Nr.	Azimut Winkel Untergrenze	Azimut Winkel Obergrenze	Abschattungs-W Untergrenze	Abschattungs W Obergrenze
4469216	5333873	1	338	22	0	16,2
4469216	5333873	1	23	67	0	59,2
4469216	5333873	1	68	112	0	58,3
4469216	5333873	1	113	157	0	70,3
4469216	5333873	1	158	202	0	10,4
4469216	5333873	1	203	247	0	73,5
4469216	5333873	1	248	292	0	72,6
4469216	5333873	1	293	337	0	79,5
4469212	5333853	2	338	22	0	36,3

Tabelle 24 Datenformatierung in das SATNAVsim-Format

Für den Datenimport in SATNAVsim wird eine Datei benötigt, die für alle Einzelpunkte der Fahrtstrecke jeweils eine Zeile mit der Punktnummer, Definition des Azimutsektors (z.B. 338°-22°) und Unter- und Obergrenze des Abschattungswinkels (z.B. 0°-16,2°) enthält. Diese Umwandlung wurde mittels eines Excel-Makros automatisiert durchgeführt. Die erzeugte Datei konnte problemlos in SATNAVsim eingelesen werden.

#### 4.4.3 Simulation

Den Schwerpunkt dieser Arbeit bilden Anwendungen des Straßenverkehrs. Da die benötigten Positionsinformationen in zwei Dimensionen als X,Y-Koordinaten bestimmt werden müssen, konzentrieren sich die durchgeführten Simulationen weitgehend auf die Verfügbarkeit von mindestens drei Satelliten, die zur Berechnung einer 2D-Position notwendig sind. Hinsichtlich der DOP-Werte beschränken sich die Simulationen auf den HDOP.

Um eine Auswertung der großen Datenmengen, die aus den Simulationen über 944 Wegpunkte resultieren, mit anderen Programmen zu gewährleisten, wurden zunächst **Simulationsparameter** bestimmt, die einerseits aussagekräftig sind und andererseits eine handhabbare Datenmenge nicht überschreiten.

Zuerst wurden für die Konstellationen von GPS und Galileo **Langzeitsimulationen** durchgeführt. Anschließend wurden verschiedene Reduktionsverfahren getestet, ein geeignetes Verfahren identifiziert und Datensätze für GPS und Galileo erzeugt, die den Langzeitsimu-

lationen entsprechen und aufgrund der reduzierten Datenmenge auch mit anderen Programmen weiterverarbeitet werden konnten.

Ein Vergleich der DGM-basierten Simulationen mit konventionellen Simulationsmodellen wurde anhand eines ausgewählten **Einzelpunkts** durchgeführt. Da eine Simulation der kombinierten Konstellation aus GPS und Galileo über eine Wegstrecke vom verfügbaren Arbeitsspeicher nicht unterstützt wurde, wurde dieses Szenario gleichzeitig für die Simulation einer kombinierten GPS/Galileo-Konstellation genutzt.

Realitätsnahe Empfangsbedingungen für eine Fahrt in den jeweiligen Testgebieten wurden durch **Kurzzeitsimulationen** geprüft.

Als nächster Schritt wurden die Simulationen zur Verfügbarkeit von **EGNOS** und **Globalstar**, die sich aufgrund der zugrundeliegenden Satellitenkonstellationen von den Simulationen zu GPS und Galileo unterscheiden, berechnet.

Für eine detaillierte Analyse ausgewählter Problemstellungen wurde eine vertiefte **Auswertung der Rohdaten** aus den Langzeitmessungen vorgenommen. Hierbei wurde auch durch die Addition der Satellitensichtbarkeiten aus den Einzelsimulationen die Daten für eine kombinierte Nutzung von GPS und Galileo entlang einer Fahrtstrecke generiert und ausgewertet. Dieses Verfahren läßt sich jedoch nur für die Anzahl der sichtbaren Satelliten anwenden, eine Auswertung der HDOPs ist hiermit nicht möglich.

#### 4.4.3.1 Langzeitsimulationen

Um eine repräsentative Aussage über die Qualität des Satellitenempfangs für die einzelnen Punkte der digitalisierten Wegstrecken treffen zu können, wurde zunächst für die GPS-Konstellation eine zeitlich hochaufgelöste Langzeitsimulation durchgeführt. Dabei wurden für alle 944 Punkte über 24 Stunden in Zeitintervallen von 5 Minuten der HDOP und die Anzahl der sichtbaren Satelliten berechnet.

Durch diese Simulationsparameter ergeben sich 271 872 Einzelberechnungen. Die entsprechenden Rohdaten im ASCII-Format belegen über 27 MB Speicherkapazität. Da in einer Excel-Datei maximal 65 536 Zeilen zugelassen sind und lediglich 32 768 Zeilen ohne Funktionseinschränkungen weiterverarbeitet werden können, wurden die Daten zur Weiterverarbeitung in fünf Excel-Dateien mit insgesamt über 42 MB gesplittet. Die Berechnung und das Speichern der Daten dauerte mehrere Stunden. Um die Prozessierungszeit und die Datenmenge für die 24h-Simulation der Galileo-Konstellation zu reduzieren, wurde die zeitliche Auflösung von 5 Minuten auf 15 Minuten herabgesetzt.

Die Ergebnisse der Langzeitsimulation sind in der folgenden Tabelle zusammengefaßt. Die Werte geben die prozentuale Verfügbarkeit zu den jeweiligen Bedingungen (Satellitenanzahl und HDOP) an.

Konstellation	GPS	Galileo
	24 h, 5min Verfügbarkeit (%)	24 h, 15min Verfügbarkeit (%)
<b>&gt;2 Satelliten</b>	<b>80,43</b>	<b>83,82</b>
<b>&gt;3 Satelliten</b>		
HDOP 2	32,73	41,13
HDOP 4	52,70	61,27
HDOP 10	60,69	69,04
HDOP 20	62,66	70,31
HDOP 50	63,72	71,69
HDOP 100	64,20	72,09
<b>&gt;4 Satelliten</b>		
HDOP 2	31,81	41,95
HDOP 4	44,82	57,07
HDOP 10	46,77	59,03
HDOP 20	46,97	59,12
HDOP 50	47,07	59,20
HDOP 100	47,09	59,21
<b>&gt;6 Satelliten</b>		
HDOP 2	12,25	25,97
HDOP 4	12,50	26,28
HDOP 10	12,50	26,28
HDOP 20	12,50	26,28
HDOP 50	12,50	26,28
HDOP 100	12,50	26,28

Tabelle 25 Langzeitsimulationen für GPS und Galileo

Die Ergebnisse zeigen, daß die Verfügbarkeit von mindestens drei Satelliten für beide Systeme bei über 80% liegt. Die Verfügbarkeit von mehr als drei Satelliten bei niedrigen HDOP-Werten ist bei beiden Systemen wesentlich geringer. Bei höheren HDOP-Werten steigt die Verfügbarkeit zunächst an, erreicht jedoch bald einen Wert, der sich dann nur noch unwesentlich verbessert. Der Grund hierfür ist, daß bedingt durch die Abschattung der Gebäude diejenigen Satelliten, die auch bei schlechteren HDOPs eine Verbesserung der Verfügbarkeit bewirken würden, nicht sichtbar sind.

Ein Vergleich zwischen beiden Systemen unter gleichen Simulationsbedingungen wird in Kapitel 4.4.3.3 vorgenommen.

#### 4.4.3.2 Datenreduktion

Das Ziel der Datenreduktion war es, einen Datensatz zu erzeugen, der einerseits möglichst exakt die Ergebnisse der Langzeitsimulation widerspiegelt, andererseits weniger als 32 768 Zeilen enthält, um anschließend mit Excel weiterverarbeitet werden zu können.

Zunächst wurde, bei gleichbleibender zeitlicher Auflösung, die Beobachtungszeit von 24 Stunden auf 2 Stunden 40 Minuten verkürzt. Der Wert für die Verfügbarkeit von drei Satelliten weist nur einen geringen Unterschied zur Langzeitsimulation auf (siehe folgende Tabelle), jedoch weichen z.B. die Verfügbarkeitswerte unter der Annahme von mindestens vier bzw. fünf Satelliten bei HDOP-Werten von 2 um mehr als 10% von denjenigen der Langzeitsimulation ab.

Das dritte Szenario wurde mit einer zeitlichen Auflösung von 15 Minuten über einen Beobachtungszeitraum von 8 Stunden berechnet. Bei dieser Simulation wurden Ergebnisse erzielt, die nur geringfügig von der Langzeitsimulation abweichen.

Die folgende Tabelle faßt die Simulationsergebnisse aller drei Szenarien zusammen. Die Spalten rechts verdeutlichen die Unterschiede der beiden reduzierten Datensätze (GPS2

und 3) zur Langzeitsimulation (GPS1), bzw. die Verbesserung der zweiten reduzierten Variante mit 8h a 15min. gegenüber der Simulation mit 2h 40min a 5min ( $\Delta$  GPS2/GPS3).

Konstellation	GPS1	GPS2	GPS3	$\Delta$ GPS1 GPS2	$\Delta$ GPS1 GPS3	$\Delta$ GPS2 GPS3
	24h, 5min Verfügbarkeit (%)	2h 40m, 5min Verfügbarkeit (%)	8h, 15min Verfügbarkeit (%)			
<b>&gt;2 Satelliten</b>	<b>80,43</b>	<b>80,64</b>	<b>78,00</b>	<b>-0,21</b>	<b>2,43</b>	<b>-2,22</b>
<b>&gt;3 Satelliten</b>						
HDOP 2	32,73	44,44	29,74	-11,71	2,99	8,72
HDOP 4	52,70	59,68	48,95	-6,98	3,75	3,23
HDOP 10	60,69	66,02	57,99	-5,33	2,70	2,63
HDOP 20	62,66	66,99	59,52	-4,33	3,14	1,19
HDOP 50	63,72	67,44	60,57	-3,72	3,15	0,57
HDOP 100	64,20	67,44	60,62	-3,24	3,58	-0,34
<b>&gt;4 Satelliten</b>						
HDOP 2	31,81	43,42	28,72	-11,61	3,09	8,52
HDOP 4	44,82	52,09	41,58	-7,27	3,24	4,03
HDOP 10	46,77	53,86	43,36	-7,09	3,41	3,68
HDOP 20	46,97	53,90	43,38	-6,93	3,59	3,34
HDOP 50	47,07	54,02	43,50	-6,95	3,57	3,38
HDOP 100	47,09	54,02	43,50	-6,93	3,59	3,34
<b>&gt;6 Satelliten</b>						
HDOP 2	12,25	18,54	10,78	-6,29	1,47	7,76
HDOP 4	12,50	18,70	10,89	-6,20	1,61	7,81
HDOP 10	12,50	18,70	10,93	-6,20	1,57	7,77
HDOP 20	12,50	18,70	10,93	-6,20	1,57	7,77
HDOP 50	12,50	18,70	10,93	-6,20	1,57	7,77
HDOP 100	12,50	18,70	10,93	-6,20	1,57	7,77

Tabelle 26 Datenreduktion für GPS-Simulation

Tabelle 26 zeigt, daß die Werte der Variante GPS3 nur geringfügig von der Langzeitsimulation abweichen. Die resultierende Datenmenge war für eine Weiterverarbeitung geeignet, so daß auch für Galileo eine Simulation mit den gleichen Parametern durchgeführt wurde. Das Ergebnis ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Konstellation	Galileo1	Galileo2	$\Delta$ Galileo1/Galileo2
	24 h, 15min Verfügbarkeit (%)	8 h, 15min Verfügbarkeit (%)	
<b>&gt;2 Satelliten</b>	<b>83,82</b>	<b>84,21</b>	<b>-0,39</b>
<b>&gt;3 Satelliten</b>			
HDOP 2	42,13	42,33	-0,20
HDOP 4	61,27	61,68	-0,41
HDOP 10	69,04	69,67	-0,63
HDOP 20	70,31	71,15	-0,84
HDOP 50	71,69	72,30	-0,61
HDOP 100	72,09	72,46	-0,37
<b>&gt;4 Satelliten</b>			
HDOP 2	41,95	42,19	-0,24
HDOP 4	57,07	57,25	-0,18
HDOP 10	59,03	59,40	-0,37
HDOP 20	59,12	59,52	-0,40
HDOP 50	59,20	59,57	-0,37
HDOP 100	59,21	59,59	-0,38
<b>&gt;6 Satelliten</b>			
HDOP 2	25,97	25,97	0,00
HDOP 4	26,28	26,33	-0,05
HDOP 10	26,28	26,33	-0,05
HDOP 20	26,28	26,33	-0,05
HDOP 50	26,28	26,33	-0,05
HDOP 100	26,28	26,33	-0,05

Tabelle 27 Datenreduktion für Galileo-Simulation

Die Tabelle 27 zeigt, daß die Werte der datenreduzierten Galileo-Simulation sehr gut mit denen der Langzeitsimulation übereinstimmen.

Für die beiden Satellitenkonstellationen GPS und Galileo lagen nun zwei direkt vergleichbare Simulationen für alle 944 digitalisierten Einzelpunkte über einen Zeitraum von 8 Stunden und mit einer zeitlichen Auflösung von 15 Minuten vor. Dies ermöglichte einen direkten Vergleich der beiden Systeme.

#### 4.4.3.3 Vergleich GPS und Galileo

Der Vergleich zwischen GPS und Galileo ist in der folgenden Tabelle zusammengefaßt.

Konstellation	GPS3	Galileo2	$\Delta$ GPS3/Galileo2
	8 h, 15min Verfügbarkeit (%)	8 h, 15min Verfügbarkeit (%)	
<b>&gt;2 Satelliten</b>	<b>78,00</b>	<b>84,21</b>	<b>6,21</b>
<b>&gt;3 Satelliten</b>			
HDOP 2	29,74	42,33	12,59
HDOP 4	48,95	61,68	12,73
HDOP 10	57,99	69,67	11,68
HDOP 20	59,52	71,15	11,63
HDOP 50	60,57	72,30	11,73
HDOP 100	60,62	72,46	11,84
<b>&gt;4 Satelliten</b>			
HDOP 2	28,72	42,19	13,47
HDOP 4	41,58	57,25	15,67
HDOP 10	43,36	59,40	16,04
HDOP 20	43,38	59,52	16,14
HDOP 50	43,50	59,57	16,07
HDOP 100	43,50	59,59	16,09
<b>&gt;6 Satelliten</b>			
HDOP 2	10,78	26,06	15,28
HDOP 4	10,89	26,33	15,44
HDOP 10	10,93	26,33	15,40
HDOP 20	10,93	26,33	15,40
HDOP 50	10,93	26,33	15,40
HDOP 100	10,93	26,33	15,40

Tabelle 28 Vergleich GPS – Galileo

Der Vergleich zeigt, daß Galileo gegenüber GPS bei allen untersuchten Simulationskriterien eine höhere Verfügbarkeit aufweist. Während der Unterschied bei drei und mehr sichtbaren Satelliten mit 6,21% noch relativ gering ist, nimmt dieser jedoch mit steigender Satellitenanzahl zu und erreicht bei der Anforderung „mehr als sechs sichtbare Satelliten“ den 2,5-fachen Wert der GPS Verfügbarkeit. Bei einer Erhöhung der HDOP-Werte steigt die Verfügbarkeit beider Systeme in einem ähnlichen Verhältnis an.

Ein graphischer Vergleich der Verfügbarkeit von GPS und Galileo für >2 bzw. >3 Satelliten über alle 944 Einzelpunkte ist in den folgenden Abbildungen wiedergegeben. Die Hochachse gibt die Fahrtstrecke, die Rechtsachse den Zeitverlauf der Simulation wieder.

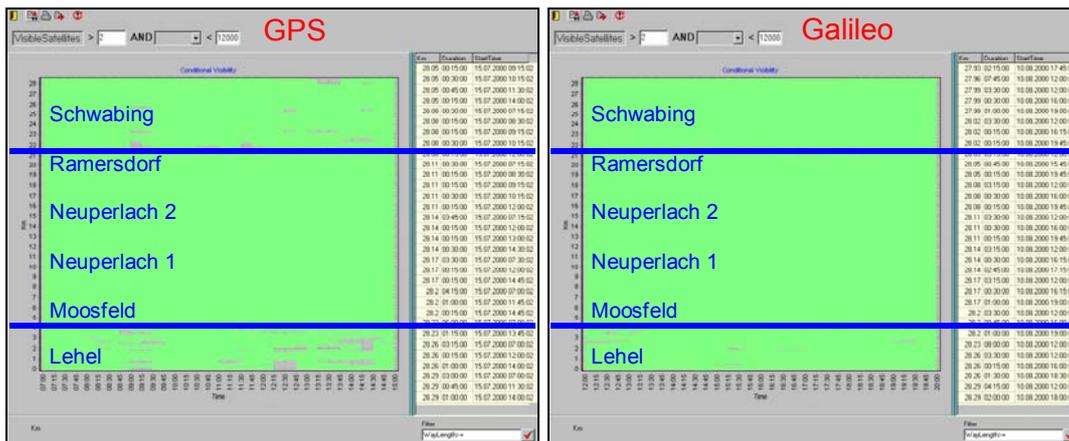


Abbildung 90 Vergleich GPS und Galileo bei einer Sichtbarkeit von >2 Satelliten

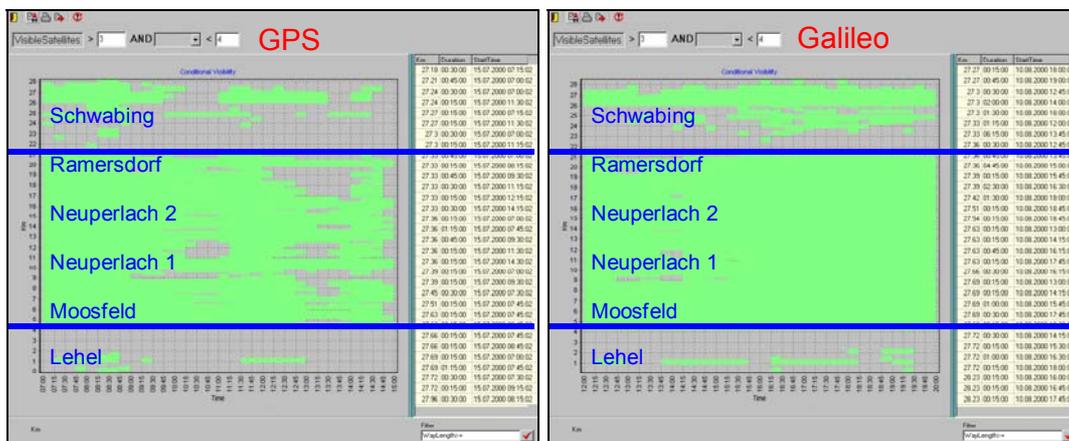


Abbildung 91 Vergleich GPS und Galileo bei einer Sichtbarkeit von >3 Satelliten (HDPO<4)

Die Abbildungen zeigen, daß Galileo wesentlich weniger Lücken hinsichtlich der Verfügbarkeit sowohl entlang der Fahrtstrecken als auch über den zeitlichen Verlauf der Simulation als GPS aufweist. Der Unterschied wird vor allem unter Annahme des Simulationskriteriums >3 Satelliten deutlich. In den Testgebieten Lehel und Schwabing sinkt die Verfügbarkeit der Satelliten aufgrund der schwierigen Abschattungsbedingungen erheblich ab.

#### 4.4.3.4 Einzelpunktsimulation

Die Einzelpunktsimulationen ermöglichen den Vergleich zwischen konventionellen Simulationen und Simulationen, die auf einem 3D-Stadtmodell basieren. Weiterhin konnte mit diesem Verfahren der Vergleich zwischen den Einzelsystemen GPS bzw. Galileo und einer kombinierten Konstellation, die zeitgleich beide Systeme nutzt, vorgenommen werden.

Für die Einzelpunktsimulationen wurde ein Punkt aus dem Testgebiet Schwabing mit den Koordinaten 11,5788151°E, 48,145681°N ausgewählt. Die Simulationen wurden über 24 Stunden mit einer zeitlichen Auflösung von 5 Minuten durchgeführt. Die konventionelle Simulationsmethode wurde für Abschattungswinkel von 5°, 25°, 40° und 50° angewendet. Neben der prozentualen Verfügbarkeit wurde die Anzahl der durchschnittlich sichtbaren Satelliten ausgewertet. Das Ergebnis ist in der folgenden Tabelle zusammengefaßt.

Einzelpunktsimulation (>2 Satelliten)		5°	25°	40°	50°	DGM <sup>121</sup>
GPS	Verfügbarkeit in %	100	98,62	30,80	23,18	78,00
	Durchschnittliche Satellitenanzahl	7,61	4,63	2,31	2,12	4,14
Galileo	Verfügbarkeit in %	100	100	95,85	36,33	84,21
	Durchschnittliche Satellitenanzahl	9,04	5,35	4,01	2,38	5,01
GPS+Galileo	Verfügbarkeit in %	100	100	100	94,46	96,7
	Durchschnittliche Satellitenanzahl	17,89	10,76	6,94	4,93	9,15

Tabelle 29 Ergebnis der Einzelpunktsimulation

Bei konventionellen Simulationen wird üblicherweise mit 5° bzw. 25° Abschattung für Umgebungen mit geringem bzw. starken Abschattungsbeeinträchtigungen simuliert. Der Vergleich mit der DGM-Simulation zeigt, daß dabei die Werte hinsichtlich der Verfügbarkeit um ca. 20% zu hoch ausfallen. Die Anzahl der durchschnittlich sichtbaren Satelliten sind bei der Annahme von 5° ebenfalls zu hoch, bei 25° entsprechen diese in etwa den Ergebnissen der DGM-Simulation.

Beim Vergleich der Leistungsfähigkeiten von Galileo und GPS fällt auf, daß bei GPS bereits bei einer Zunahme der Abschattungswinkel von 25° auf 40° eine erhebliche Abnahme der Verfügbarkeit von 98,62% auf 30,80% zu verzeichnen ist, bei Galileo tritt ein Sprung vergleichbarer Größenordnung erst bei einer Erhöhung der Abschattungswinkel von 40° auf 50° (von 95,85% auf 36,33%) auf.

Die Simulation zeigt, daß eine kombinierte Nutzung beider Systeme vor allem ab Abschattungswinkeln von 40° Vorteile bietet. Dies ist durch die hohe Verfügbarkeit von Galileo mit 95,85% bedingt. GPS trägt bei einer kombinierten Nutzung unter diesen Abschattungsbedingungen lediglich zu einer Erhöhung der Verfügbarkeit der Gesamtkonstellation von 95,85% auf 100% bei. Besonders vorteilhaft ist eine kombinierte Nutzung beider Systeme bei extrem hohen Abschattungswinkeln (50°). In diesem Modell ergänzen sich die Einzelverfügbarkeiten von 23,18% (GPS) und 36,33% (Galileo) zu einer Gesamtverfügbarkeit von 94,46%. Der Grund dieser auffälligen Verbesserung wird deutlich, wenn man die durchschnittliche Anzahl der Satelliten betrachtet. Diese liegt für GPS bei 2,12 und für Galileo bei 2,38, in beiden Fällen also knapp unter dem benötigten Schwellwert, d.h. es wird jeweils nur ein weiterer Satellit benötigt, um das Anforderungskriterium zu erfüllen. Aus diesem Grund ist, bei kombinierter Nutzung beider Konstellationen (Voraussetzung: volle Kompatibilität beider Systeme), die Verfügbarkeit wesentlich höher als die Summe der Verfügbarkeiten der Einzelsysteme.

#### 4.4.3.5 Kurzzeitsimulationen

Um die Fahrt eines Fahrzeugs entlang der digitalisierten Strecken unter realitätsnahen Fahrtbedingungen zu simulieren, wurden Simulationen mit einer zeitlichen Auflösung von 10 Sekunden über 5 Minuten durchgeführt. Ziel dieser Berechnungen ist es, die Einsetzbarkeit einer stand-alone GPS Positionsbestimmung in Abhängigkeit von verschiedenen Bebauungstypen zu untersuchen. Die Verfügbarkeiten in Abbildung 92 beziehen sich auf mindestens drei Satelliten, in der zweiten Säule werden die Durchschnittswerte der Abschattungswinkel für die jeweiligen Testgebiete angegeben. Der Werte der Säulen „Gesamt“ beziehen sich auf die Werte der Simulation GPS3 und das Mittel aus allen Abschattungswinkeln.

<sup>121</sup> Information: Werte der Simulationen mit 8 Stunden Dauer und 15 Minuten zeitlicher Auflösung

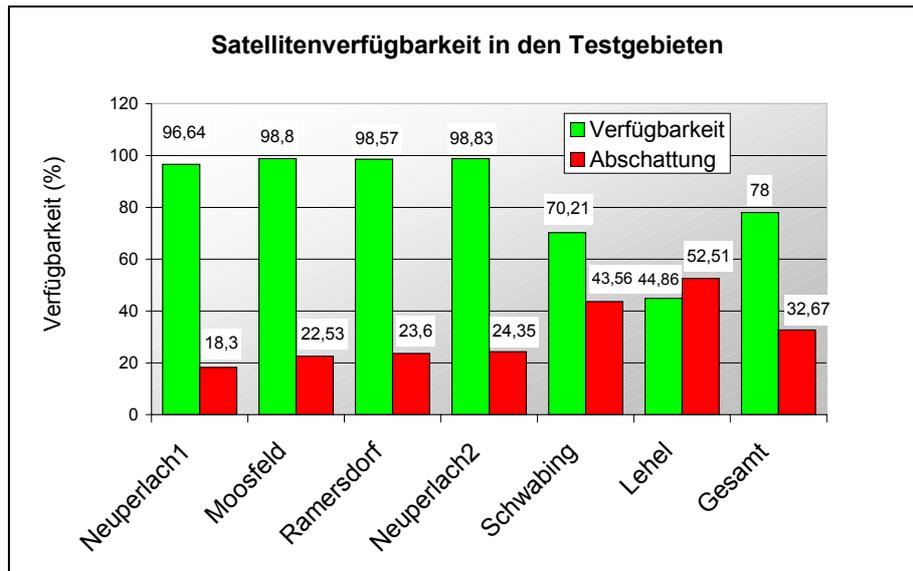


Abbildung 92 Ergebnis der Kurzzeitsimulation

Aus Abbildung 92 wird der unmittelbare Einfluß des Bebauungstyps auf die Satellitenverfügbarkeit deutlich. Das locker bebaute Gewerbegebiet Moosfeld, die beiden Hochhausgebiete in Neuperlach und das durch Einfamilienhäuser gekennzeichnete Wohngebiet Ramersdorf weisen Verfügbarkeiten von über 95% auf, die Abschattungswinkel liegen bei ca. 20°. In den beiden Altstadtvierteln Schwabing und Lehel liegen die Abschattungswinkel im Durchschnitt bei über 40° bzw. über 50°, entsprechend verringert sich die Satellitensichtbarkeit auf 70% bzw. 45%.

Berücksichtigt man weiterhin die signifikanten Abnahmen der Verfügbarkeit bei 40° (GPS) und 50° (Galileo), wie sie bei der Auswertung der Einzelpunktsimulation (Tabelle 29) festgestellt wurden, kommt man zu dem Ergebnis, daß für Bebauungsstrukturen vom „Typ Schwabing“ der Einsatz von Galileo gegenüber GPS eine wesentliche Verbesserung darstellt. Bei Stadtvierteln vom „Typ Lehel“ ist auch für Galileo mit einer geringen Verfügbarkeit zu rechnen, so daß vor allem bei derartigen Bebauungstypen der signifikante Vorteil einer kombinierten Nutzung bei ca. 50° Abschattung (siehe Kapitel 4.4.3.4) eine erhebliche Zunahme der Verfügbarkeit bewirkt.

#### 4.4.3.6 EGNOS Simulation

EGNOS dient in erster Linie der Übermittlung von differentiellen Korrekturdaten und von Integritätsinformationen, daher wurden keine DOP-Werte berechnet. Die Sichtbarkeit zu einem EGNOS-Satellit ist für die Übertragung der ausgestrahlten Informationen ausreichend.

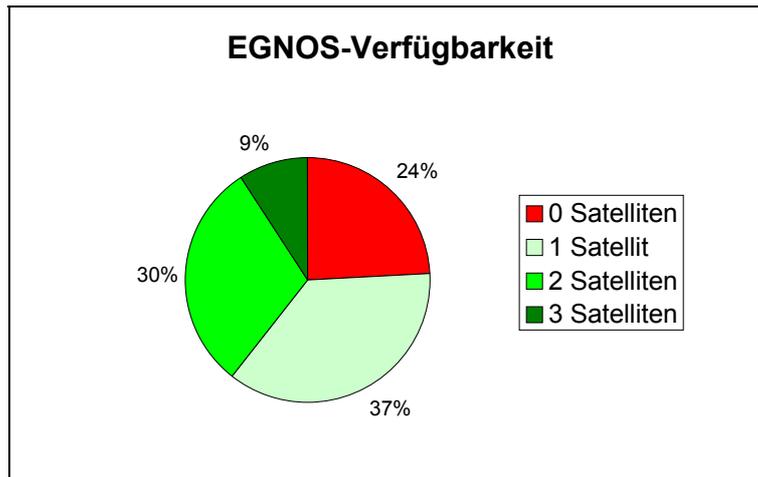


Abbildung 93 EGNOS-Verfügbarkeit (Gesamt)

Die Verfügbarkeit der EGNOS-Signale entlang der digitalisierten Einzelpunkte (Hochachse) und des zeitlichen Simulationsverlaufs (Rechtsachse) ist in der folgenden Abbildung für 1-3 Satelliten dargestellt.

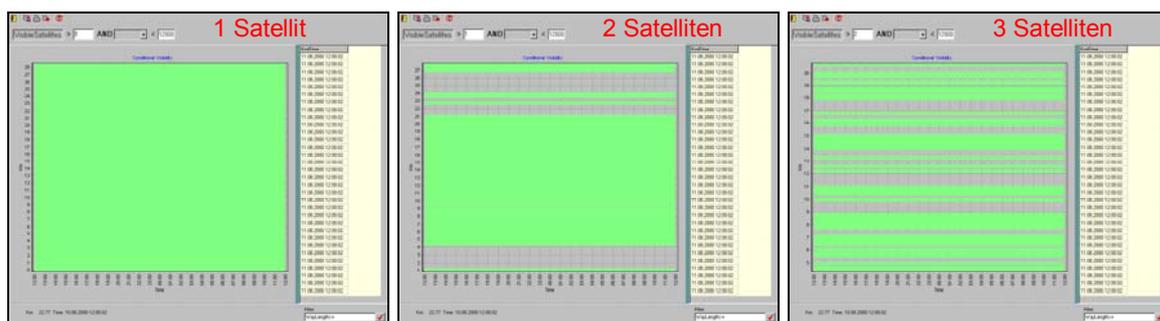


Abbildung 94 Verfügbarkeit von 1-3 EGNOS Satelliten

Die EGNOS-Satelliten befinden sich in einem geostationären Orbit, d.h. es ergeben sich keine zeitlichen Schwankungen in der Satellitensichtbarkeit. Die Verfügbarkeit wird ausschließlich von der Abschattung des jeweiligen Standorts bestimmt. Mit steigenden Anforderungen hinsichtlich der Mindestanzahl sichtbarer Satelliten nimmt die Verfügbarkeit ab.

Eine Analyse der EGNOS-Verfügbarkeit für die einzelnen Testgebiete ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

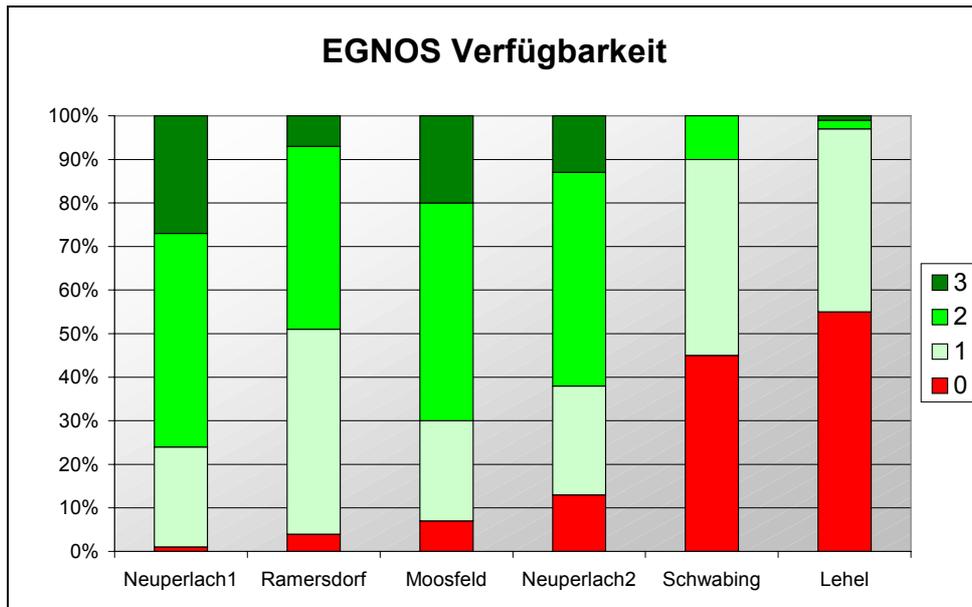


Abbildung 95 EGNOS-Verfügbarkeit (nach Testgebieten)

Wie bereits beim Vergleich zwischen GPS und Galileo kann auch für EGNOS eine geringe Verfügbarkeit in den Testgebieten Schwabing und Lehel festgestellt werden. Die übrigen Testgebiete weisen hohe Verfügbarkeiten auf.

Das Testgebiet Neuperlach 2 weist eine relativ gleichmäßige Verteilung der Verfügbarkeit einer unterschiedlichen Anzahl von EGNOS-Satelliten auf. Aus diesem Grund wurde der Einfluß der Abschattungswinkel nach Süden (der AOR-E ist von München aus in ca. 215°, der IOR in ca. 119° sichtbar) auf die Anzahl sichtbarer EGNOS-Satelliten für dieses Testgebiet detaillierter untersucht. Die Anzahl der sichtbaren EGNOS-Satelliten wurde zum besseren graphischen Vergleich in der Abbildung mit dem Faktor 20 multipliziert.

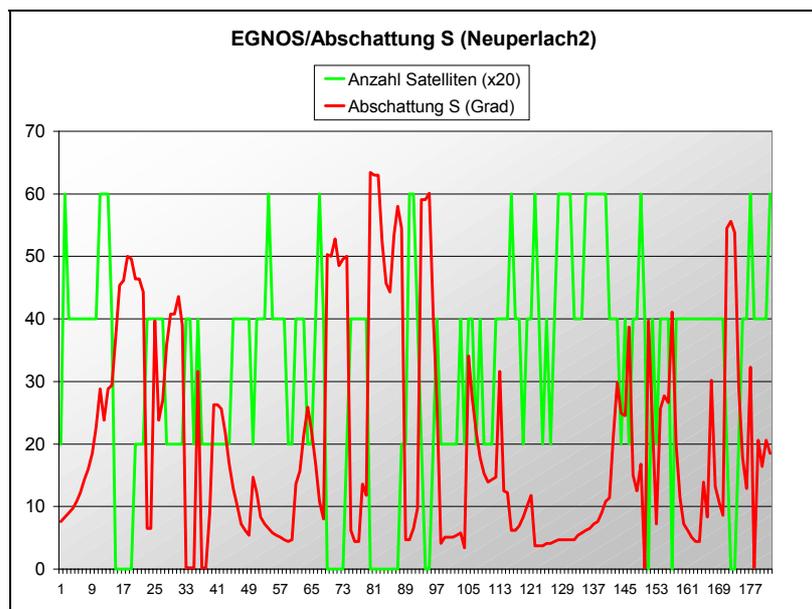


Abbildung 96 EGNOS-Verfügbarkeit/Abschattung S (Neuperlach2)

Die Abbildung 96 zeigt die Zunahme der Anzahl sichtbarer EGNOS-Satelliten bei sinkenden Abschattungswinkeln und umgekehrt entlang der digitalisierten Fahrtstrecke.

Die Vorteile einer kombinierten Nutzung von EGNOS mit GPS bzw. Galileo werden aus der nächsten Abbildung ersichtlich.

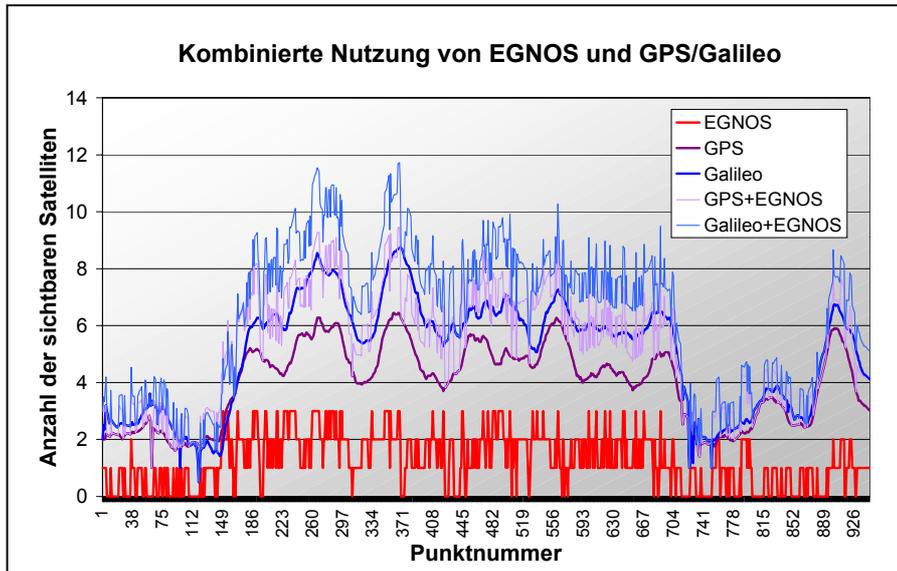


Abbildung 97 Kombinierte Nutzung von EGNOS und GPS/Galileo

Abbildung 97 zeigt zunächst eine Übereinstimmung der untersuchten Systeme hinsichtlich der Verfügbarkeit in Abhängigkeit von der Fahrtstrecke. Unter ungünstigen Bedingungen, wie sie zu Beginn (Lehel) und kurz vor Ende der Simulation (Schwabing) herrschen, ist für alle Systeme lediglich eine geringe Anzahl von Satelliten sichtbar. Hier zeigt sich, daß bei kombinierter Nutzung von GPS/EGNOS bzw. Galileo/EGNOS die für eine Positionslösung erforderliche Anzahl an Satelliten erreicht wird, während dies bei einer stand-alone Nutzung von GPS bzw. Galileo nicht möglich ist. Verbessern sich die Abschattungsbedingungen, steigt die Verfügbarkeit bei allen Systemen an. Die Verfügbarkeit von EGNOS erhöht sich von einen auf drei Satelliten, die GPS-Verfügbarkeit von zwei auf sechs Satelliten und die Galileo-Verfügbarkeit von zwei auf acht Satelliten. Weiterhin wird deutlich, daß die Verfügbarkeit von Galileo gegenüber GPS um durchschnittlich 2 Satelliten höher ist. Wird GPS mit EGNOS kombiniert, werden Verfügbarkeiten erreicht, wie sie für stand-alone Galileo charakteristisch sind. Allerdings ist die kombinierte GPS/EGNOS-Verfügbarkeit starken kurzfristigen Schwankungen unterworfen während die Galileo-Verfügbarkeit durch einen regelmäßigen Verlauf gekennzeichnet ist. Die höchsten Verfügbarkeiten werden durch eine kombinierte Galileo/EGNOS-Nutzung erreicht.

Simulationen zur Verfügbarkeit von EGNOS außerhalb bebauter Gebiete wurden im Rahmen von ARTIST (Austrian Radionavigation Technology and Integrated Satellite Navigation Services and Products Testbed) durchgeführt. Für drei Testgebiete

- Graz
- Salzburg
- Innsbruck

wurden, basierend auf einem Gelände-DGM, die Sichtbarkeiten zu den INMARSAT-Satelliten AOR-E und IOR berechnet. Die folgenden Abbildungen zeigen das DGM für Innsbruck sowie die Sichtbarkeiten für AOR-E und IOR jeweils in Farb- und Binärdarstellung (die schwarzen Flächen stellen die Bereiche dar, in denen der jeweilige EGNOS-Satellit nicht sichtbar ist).

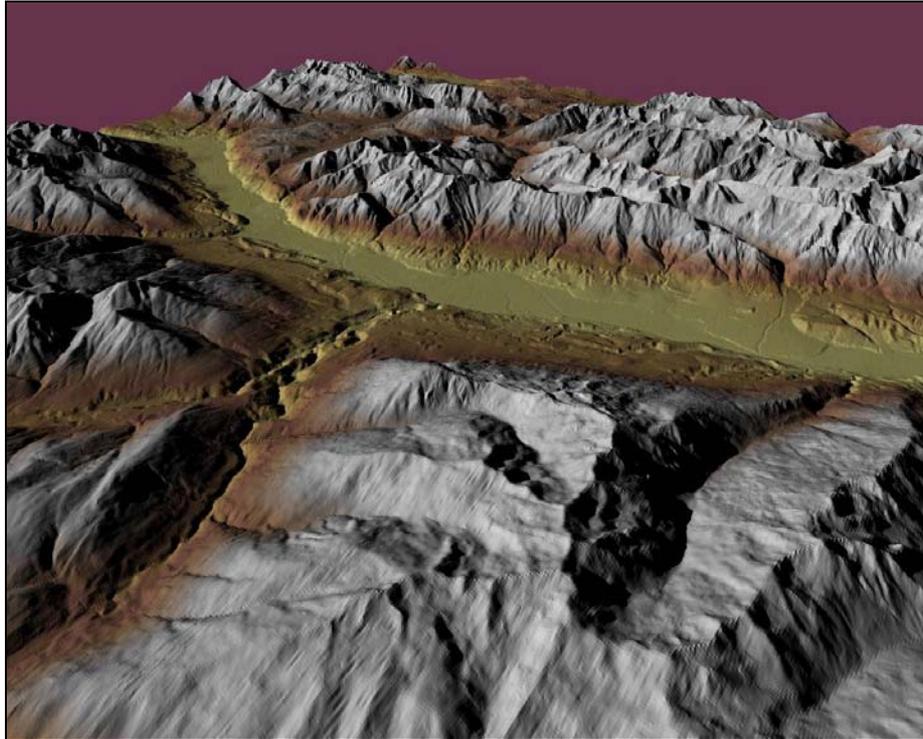


Abbildung 98 DGM Innsbruck <sup>122</sup>

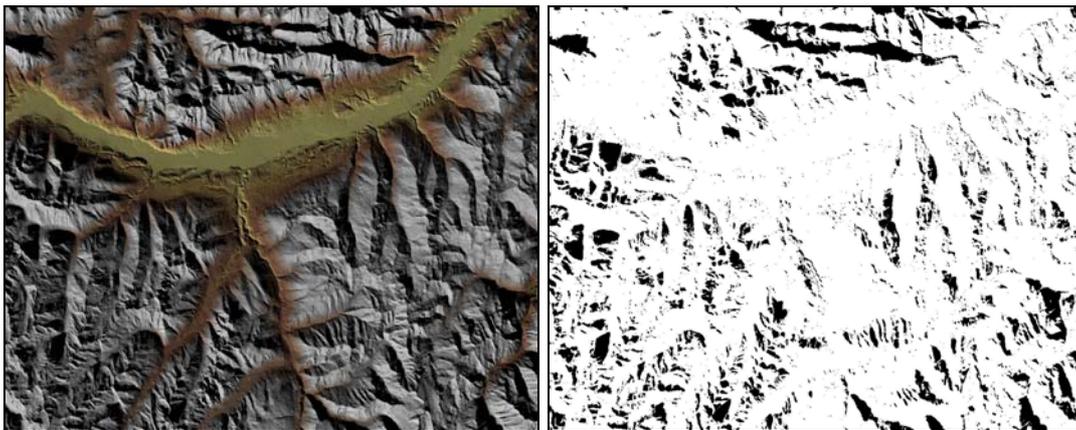


Abbildung 99 AOR-E Verfügbarkeit (Innsbruck) <sup>122</sup>

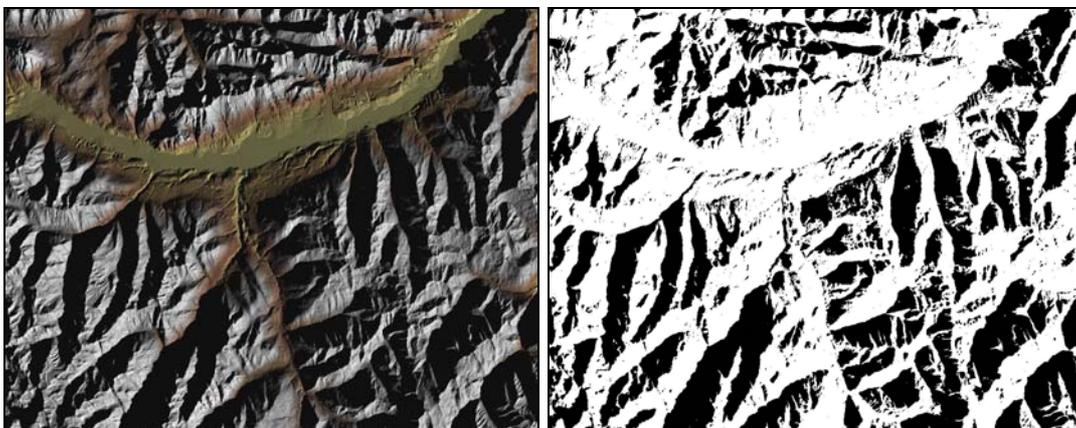


Abbildung 100 IOR Verfügbarkeit (Innsbruck) <sup>122</sup>

<sup>122</sup> Literatur: Hofmann-Wellenhof, Amlacher, Legat, 2001

Die Abbildungen zeigen, daß Abschattungseffekte am stärksten in schmalen, tief eingeschnittenen Seitentälern auftreten während in dem breiten Inntal die Verfügbarkeit von EGNOS weitgehend gewährleistet ist. Eine Nutzung entlang der Hauptverkehrsachsen wäre somit möglich. Beim Verlassen dieser Achsen in Gebirgsregionen ist jedoch mit erheblichen Einschränkungen zu rechnen.

Die Ergebnisse der durchgeführten ARTIST-Simulationen für alle Testgebiete sind in der folgenden Abbildung zusammengestellt.

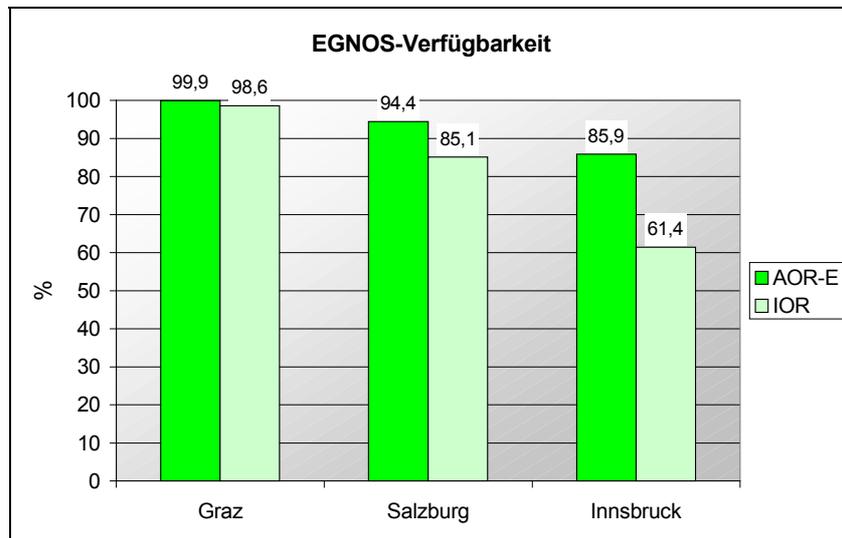


Abbildung 101 EGNOS-Verfügbarkeit in Abhängigkeit vom Relief <sup>123</sup>

Die Abbildung verdeutlicht den Einfluß der Geländetopographie auf die Satellitenverfügbarkeit. Je stärker das Relief ausgeprägt ist, desto geringer ist die Verfügbarkeit der EGNOS-Satelliten. Die geringere Verfügbarkeit des IOR gegenüber dem AOR-E ist durch den (in den Testgebieten) um ca. 13° geringeren Elevationswinkel begründet.

#### 4.4.3.7 Globalstar-Simulation

Die Globalstar-Konstellation besteht aus 48 Satelliten, die sich in einer Höhe von 1414km befinden. Da sich die Globalstar-Satelliten im Vergleich zu Navigationssatelliten wesentlich schneller bewegen, wurde für diese Simulation eine höhere zeitliche Auflösung (1 Minute) gewählt. Die Simulationsdauer betrug zwei Stunden und alle 944 Einzelpunkte wurden berücksichtigt. Die Geometrie der Satelliten spielt für Kommunikationszwecke keine Rolle, daher wurden keine DOPs berechnet. Zur Herstellung einer Kommunikationsverbindung ist lediglich ein Satellit notwendig. Wird diese Verbindung jedoch durch Abschattung unterbrochen bzw. verschwindet der Satellit durch seine Bahnbewegung hinter dem Horizont, muß ein Hand-Over zu einem anderen Satelliten durchgeführt werden und ein zweiter Satellit muß verfügbar sein.

<sup>123</sup> Literatur: Hofmann-Wellenhof, Amlacher, Legat, 2001

Die Verfügbarkeit für Globalstar über alle 944 Einzelpunkte zeigt die folgende Abbildung.

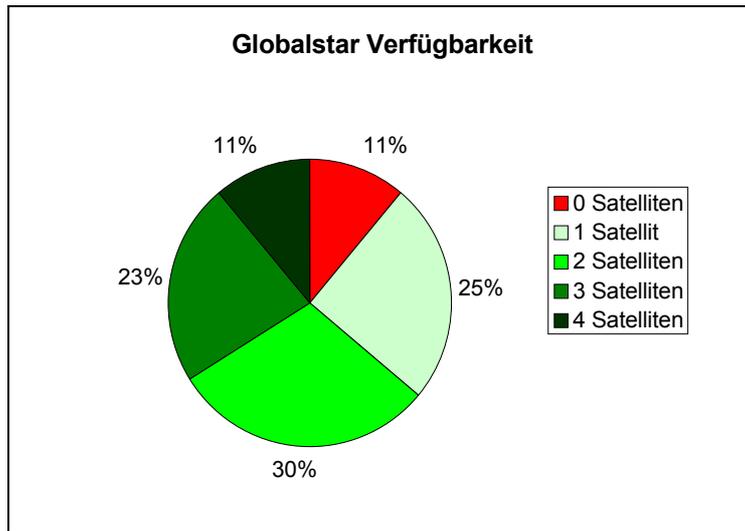


Abbildung 102 Globalstar Verfügbarkeit

Eine graphische Darstellung der Globalstar-Verfügbarkeit in den einzelnen Testgebieten (Hochachse) und über die gesamte Simulationsdauer (Rechtsachse) ist in den folgenden Abbildungen wiedergegeben.

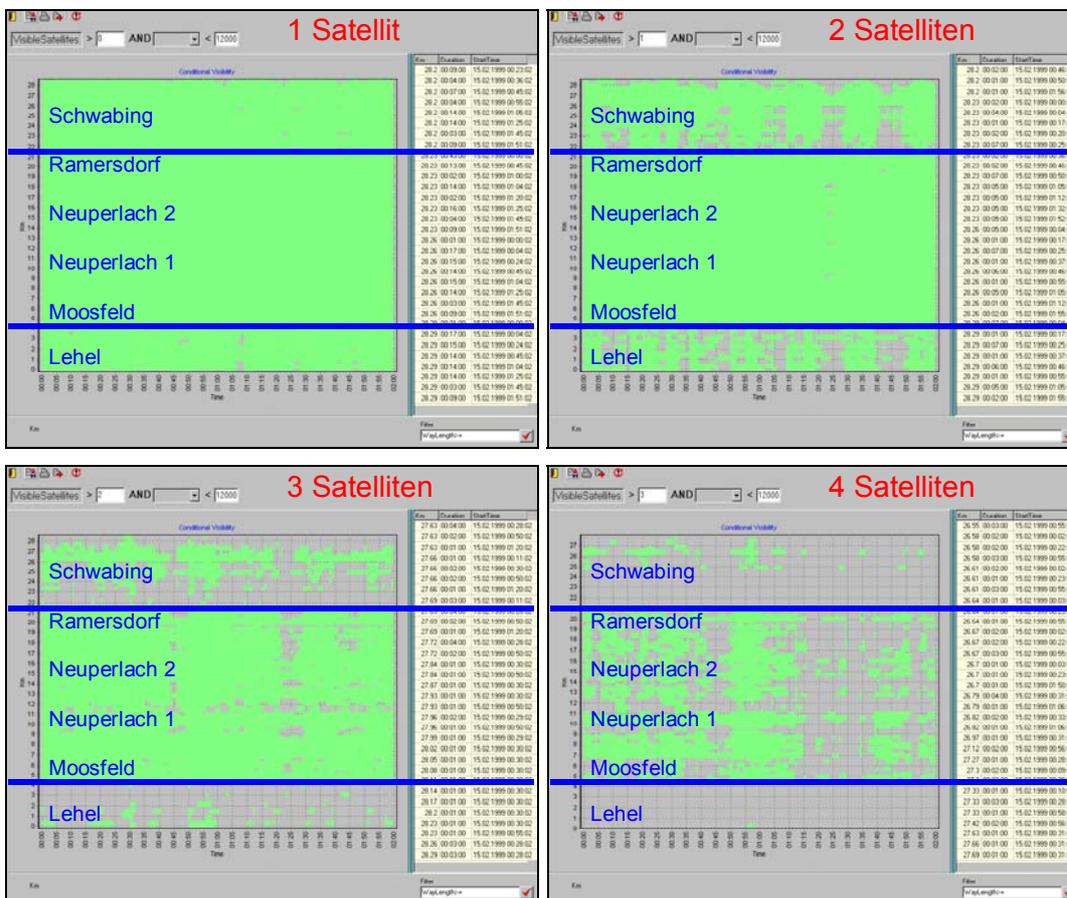


Abbildung 103 Globalstarverfügbarkeit für 1-4 Satelliten



Die Anzahl der sichtbaren Satelliten entlang der Fahrtstrecke zeigt die folgende Abbildung. Die Datenreihe 1 wurde zu Beginn der Simulation, Reihe 2 nach ca. 2,5 Minuten und die Reihe 3 nach 5 Minuten berechnet.

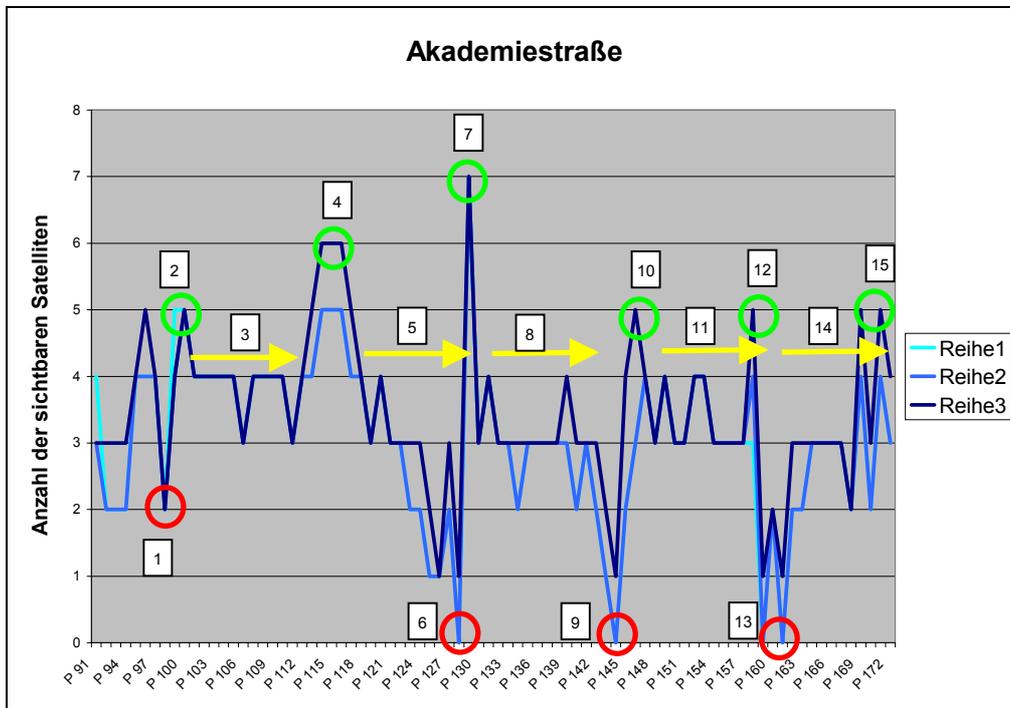


Abbildung 105 Satellitensichtbarkeit im Gebiet Akademiestraße

Einzelpunkte besonders guter bzw. schlechter Satellitenverfügbarkeit sind durch grüne bzw. rote Kreise, einzelne Streckenabschnitte sind mit gelben Pfeilen gekennzeichnet. Die charakteristischen Punkte und Strecken sind numeriert und werden im folgenden näher erläutert. In der Kartendarstellung wurden die entsprechen Signaturen verwendet.

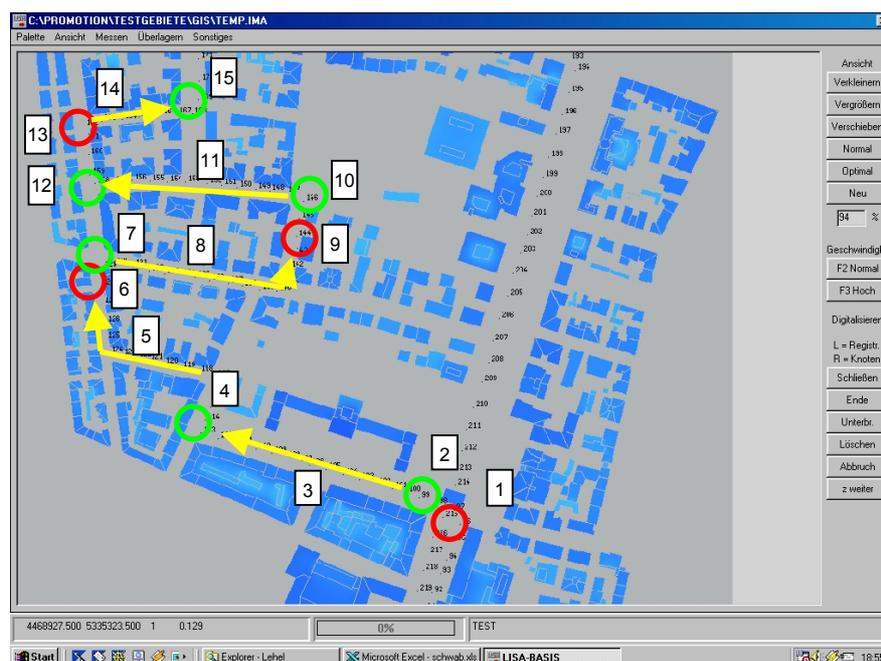


Abbildung 106 Fahrtroute Akademiestraße (Erläuterung der Satellitensichtbarkeit)

Erläuterung der Fahrtstrecke:

- 1) Die Simulation beginnt bei ungünstigen Abschattungsbedingungen südlich des Siegestors mit zwei Satelliten,
- 2) die Fahrt wird über die breite Kreuzung Ecke Ludwigs-/Akademiestraße fortgesetzt, dabei steigt die Anzahl der sichtbaren Satelliten auf 4-5.
- 3) Während der gesamten Fahrt in der Akademiestraße herrschen akzeptable Bedingungen (3-4 Satelliten),
- 4) die sich an der Kreuzung mit der Türkenstraße, bedingt durch die freie Sicht nach Norden und Süden auf 5-6 Satelliten verbessern.
- 5) Bei der Einfahrt in die schmale Ramberg- und Kurfürstenstraße erfolgt eine stetige Abnahme bis auf einen Satelliten.
- 6) Kurz vor der Kreuzung mit der Georgenstraße sinkt die Anzahl der sichtbaren Satelliten auf 0-1 ab und steigt bei
- 7) Erreichen der Kreuzung wieder auf sieben Satelliten an.
- 8) Die Fahrt in der Georgenstraße erfolgt durchgehend mit 2-4 Satelliten, wobei kleinere Peaks durch die Einmündung schmaler Nebenstraßen bedingt werden.
- 9) Im Verlauf der Friedrichstraße fällt die Satellitensichtbarkeit wieder auf 0-1 Satelliten ab.
- 10) Bei Erreichen eines freien Platzes erfolgt ein erneuter Anstieg auf 4-5 Satelliten, der sich beim Einbiegen in
- 11) die schmale Konradstraße auf 3-4 Satelliten verringert. Ein kleiner Peak tritt an der Einmündung der Habsburgerstraße auf.
- 12) An der Kreuzung mit der Kurfürstenstraße erfolgt ein erneuter Anstieg auf 4-5 Satelliten.
- 13) In der Nord-Süd orientierten Kurfürstenstraße sinkt die Anzahl der sichtbaren Satelliten auf 0-1,
- 14) verbessert sich in der von West nach Ost verlaufenden Hohenstaufenstraße auf 2-3 Satelliten und
- 15) bei Erreichen der Kreuzung zur Habsburgerstraße weiter auf 4-5 Satelliten.

Die Auswertung der Simulationsergebnisse verdeutlicht den Einfluß kleinräumiger Bebauungsstrukturen auf die Satellitensichtbarkeit. Bei der Überquerung selbst kleiner Kreuzungsbereiche (z.B. Punkt 12) tritt eine Verbesserung der Satellitenverfügbarkeit auf. Der gleiche Effekt kann auch für freie Plätze (z.B. Punkt 10) und zurückversetzte Gebäude (z.B. Strecke 3) festgestellt werden. An diesen Stellen ist eine ausreichende Anzahl von GPS-Satelliten verfügbar, um eine Positionslösung zu berechnen. Auf Fahrtstrecken zwischen Gebäuden (z.B. 5 und 8) ist dies meist nicht möglich. Auffällig ist weiterhin, daß bei in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Straßen in der Regel eine Verschlechterung der Satellitenverfügbarkeit eintritt (z.B. 5  $\Rightarrow$  6, 8  $\Rightarrow$  9, 12  $\Rightarrow$  13), bei in West-Ost-Richtung orientierten Straßen ist dies nicht der Fall (z.B. 3, 11). Bedingt durch die Inklination der Satellitenbahnen ist die Verfügbarkeit in West-Ost-Richtung besser als in Nord-Süd-Richtung. Dies bedeutet, daß bei Abschattungen in West-Ost-Richtung mehr Satelliten verdeckt werden und somit Abschattungseffekte einen größeren Einfluß ausüben. Dies wurde auch durch Simulationen bestätigt, die von der Firma Telematica e.K. im Rahmen des Projekts „Integrierte Navigation für Fußgänger“ durchgeführt wurden. Dabei wurden für mehrere Städte die Satellitensichtbarkeiten für GPS in offenem Gelände, einem Platz und in einer Straße simuliert. Die folgende Abbildung ist einem internen Abschlußbericht entnommen (Telematica, 1999) und zeigt die Ergebnisse für eine in Nord-Süd- bzw. in West-Ost-Richtung orientierte Straße in München.

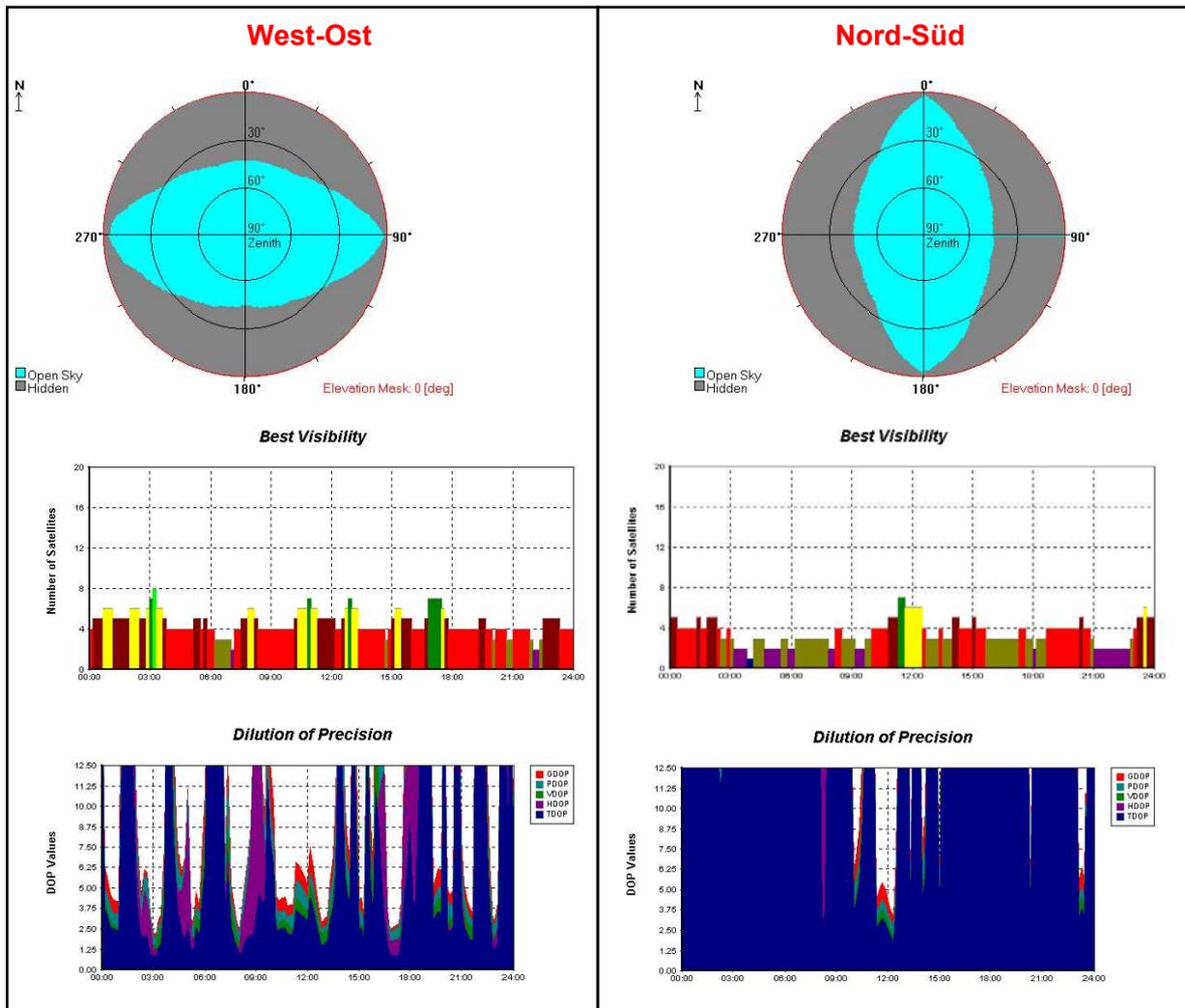


Abbildung 107 Einfluss der Straßenexposition auf die Satellitenverfügbarkeit <sup>125</sup>

#### 4.4.3.8.2 Analyse der HDOP-Schwankungen am Beispiel Akademiestraße

Die Auswertung basiert auf der gleichen Datengrundlage wie sie in Kapitel 4.4.3.8.1 verwendet wurde. Die folgende Abbildung zeigt die Schwankungen des HDOP entlang der gleichen Fahrtstrecke. Die Datenreihe 1 wurde zu Beginn der Simulation, Reihe 2 nach ca. 2,5 Minuten und die Reihe 3 nach 5 Minuten berechnet. DOP-Werte können nur berechnet werden, wenn mindestens vier Satelliten sichtbar sind, die Lücken in der folgenden Abbildung stellen Streckenabschnitte dar, in denen weniger als vier Satelliten verfügbar sind.

<sup>125</sup> Literatur: Telematica, 1999

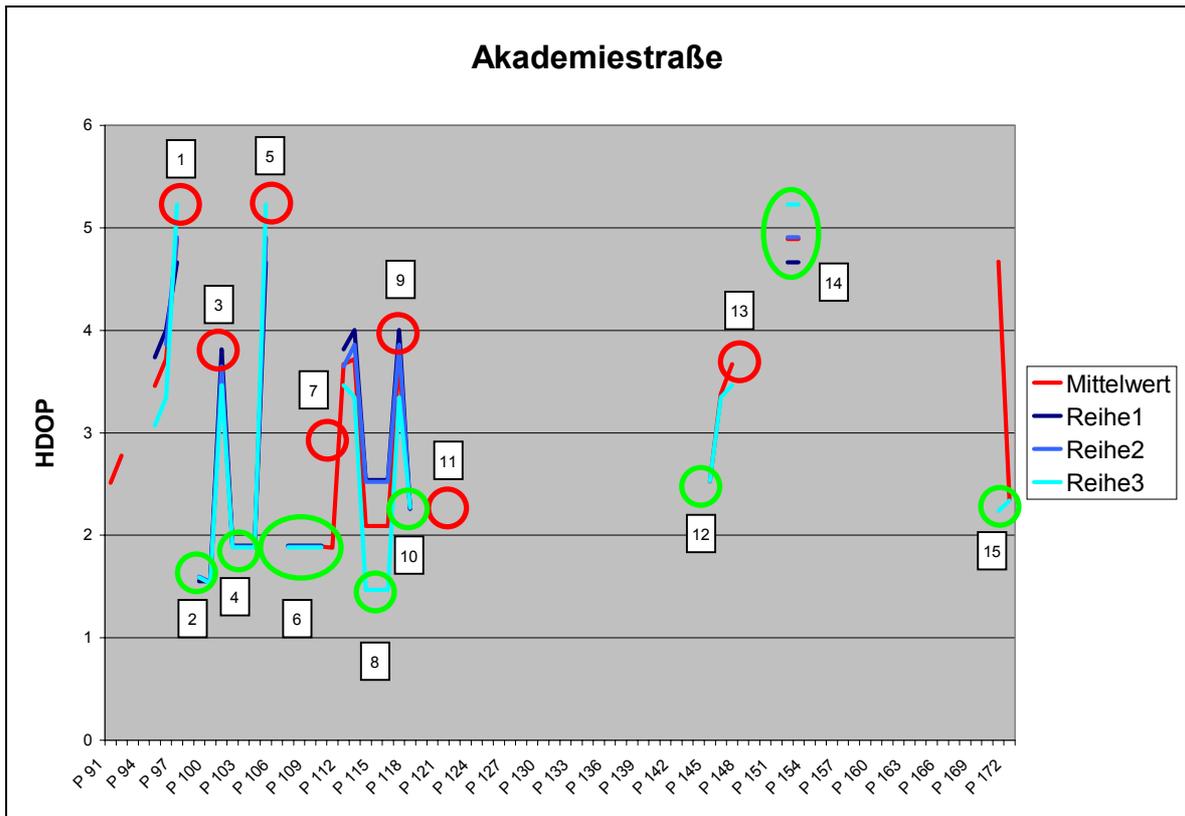


Abbildung 108 HDOP Verteilung entlang der Fahrtroute Akademiestraße

Die charakteristischen Werte wurden nach dem gleichen Prinzip wie in Kapitel 4.4.3.8.1 markiert und in die Kartendarstellung übernommen.

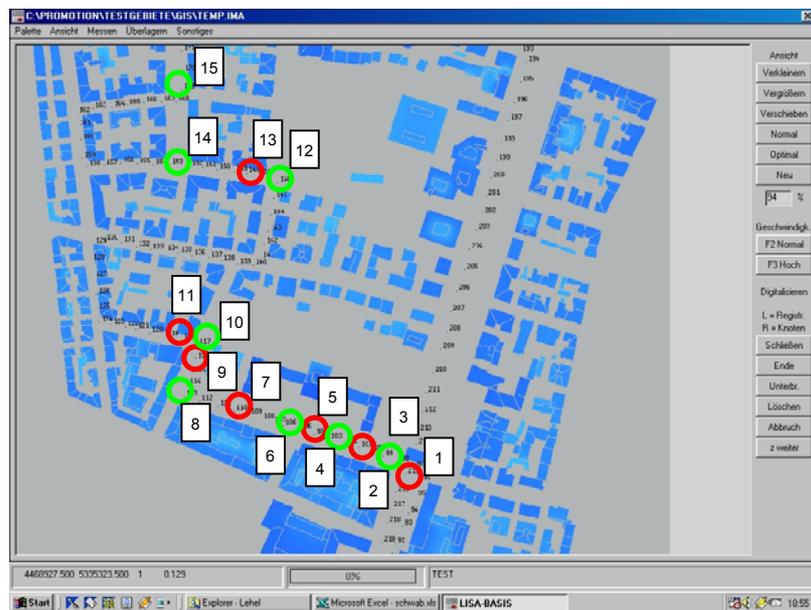


Abbildung 109 Fahrtroute Akademiestraße (Erläuterung der HDOPs)

Erläuterung der Fahrtstrecke:

- 1) Die HDOP-Werte steigen zu Beginn der Fahrt (Leopoldstraße) in Richtung Siegestor aufgrund der zunehmenden Abschattung an. Südlich des Siegestors sinkt die Anzahl der sichtbaren Satelliten auf zwei ab (siehe Abbildung 114), so daß kein HDOP berechnet werden kann.
- 2) Bei Überquerung der breiten Kreuzung zur Akademiestraße sind wieder mehr als drei Satelliten verfügbar, deren Geometrie sogar einen geringen HDOP ( $<2$ ) ermöglichen,
- 3) dieser steigt jedoch stetig auf Werte von 4 an, dies ist durch die Abschattung durch den Ostflügel der Akademie (Gebäude nördlich des Punkts) bedingt,
- 4) sobald dieses Hindernis passiert ist (das Hauptgebäude ist weiter nach hinten versetzt) nimmt der HDOP wieder auf Werte unter 2 ab.
- 5) Im weiteren Verlauf der Straße steigen die Werte wieder auf 5 an und fallen
- 6) im Kreuzungsbereich der Amalienstraße auf ca. 2.
- 7) Nach der Straßenkreuzung nehmen die Werte auf 4 zu und
- 8) verbessern sich erst im nächsten Kreuzungsbereich (Türkenstraße) wieder.
- 9) Im weiteren Verlauf der Türkenstraße macht sich der Einfluß des kleineren Gebäudes westlich der Akademie bemerkbar und die HDOP-Werte steigen auf ca. 4.
- 10) Bei Erreichen des freien Platzes nördlich der Akademie sinken die Werte auf ca. 2,
- 11) beim Einbiegen in die Rambergstraße sinkt die Anzahl der sichtbaren Satelliten unter 4, so daß kein HDOP berechnet werden kann. Diese Situation kennzeichnet den weiteren Fahrtverlauf,
- 12) erst an dem freien Platz im Norden des Testgebietes sind wieder mehr Satelliten sichtbar und es können HDOP-Werte von ca. 2,5 berechnet werden.
- 13) Beim Einbiegen in die Konradstraße steigen die HDOP-Werte zunächst auf ca. 3,5, dann bricht die Sichtbarkeit zu mindestens vier Satelliten wieder ab.
- 14) An der Kreuzung Konrad-/Habsburgerstraße ist kurzzeitig eine ausreichende Anzahl an Satelliten für eine Berechnung (HDOP-Werte von ca. 5) vorhanden.
- 15) Erst bei Ende der Fahrt an der Kreuzung Habsburger-/Hohenstaufferstraße sind wieder mehr sichtbare Satelliten vorhanden. Zunächst stellen sich HDOP-Werte von ca. 4,8 ein, die sich jedoch bald auf ca. 2 verbessern.

Die Auswertung zeigt den Einfluß kleinräumiger Bebauungsstrukturen auf den HDOP. An Kreuzungsbereichen (z.B. 8,14), zurückversetzten Gebäuden (z.B. 4) und freien Plätzen (z.B. 10,12) ist eine gute Satellitensichtbarkeit gegeben (siehe 4.4.3.8.1). An diesen Stellen werden niedrige HDOP-Werte von unter 2 erreicht. Wird die Satellitensichtbarkeit durch Gebäude nahe der Straße eingeschränkt (z.B. 3,9,13) steigen die HDOP-Werte auf 4-6 bzw. können bei weniger als vier sichtbaren Satelliten nicht berechnet werden.

#### 4.4.3.8.3 Langzeitmessung GPS, Galileo und GPS+Galileo am Beispiel Akademiestraße

Um Aussagen zur Satellitenverfügbarkeit verschiedener Systeme entlang der Fahrtstrecke, die in den beiden vorhergehenden Kapiteln analysiert wurde, auch über einen längeren Zeitraum zu ermöglichen, wurden für alle Einzelpunkte der Fahrtstrecke die Mittelwerte aus den Simulationen GPS3 und Galileo2 (siehe Kapitel 4.4.3.2) gebildet. Für eine kombinierte Nutzung von GPS und Galileo wurde die jeweilige Anzahl der sichtbaren Satelliten addiert. Eine Mittelwertbildung der HDOP-Werte ist nicht sinnvoll, da der HDOP einer kombinierten Simulation nicht dem Mittelwert der einzelnen HDOPs entspricht.

Das Ergebnis zeigt die folgende Abbildung.

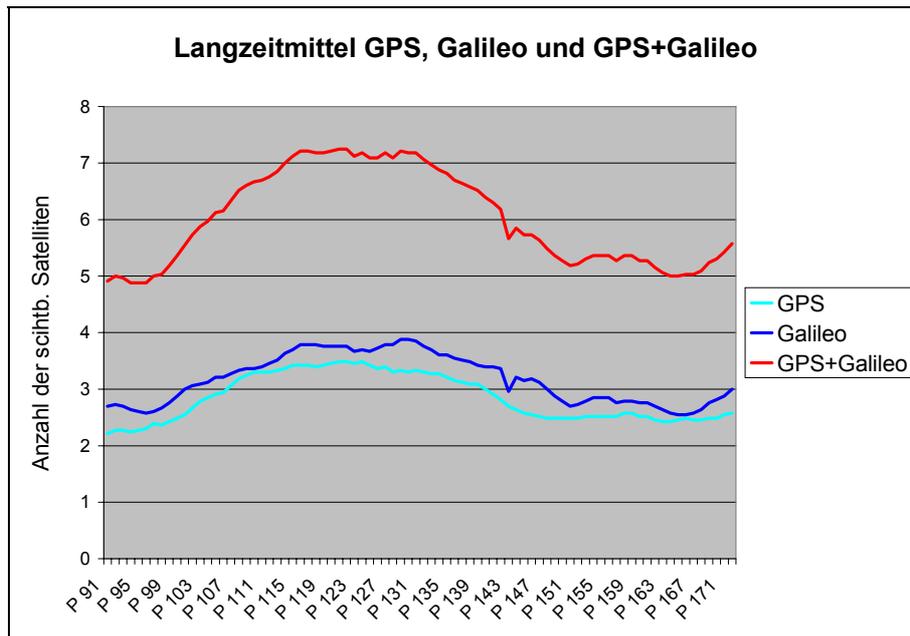


Abbildung 110 Langzeitsimulation der GPS, Galileo und GPS+Galileo Verfügbarkeit (Akademiestraße)

Die Auswertung zeigt, daß die Anzahl der sichtbaren Galileo-Satelliten durchgehend etwas höher ist als die der GPS-Satelliten. Beide Systeme bewegen sich im Bereich 2-4 sichtbare Satelliten. Eine signifikante Verbesserung der Anzahl sichtbarer Satelliten tritt bei einer kombinierten Nutzung von GPS und Galileo auf. Die Anzahl der sichtbaren Satelliten erhöht sich auf 5-7 Satelliten.

Der Einfluß kleinräumiger Bbauungsstrukturen ist nicht mehr erkennbar, weil den Berechnungen durch die Mittelwertbildung und die hohe zeitliche Auflösung von 15 Minuten (gegenüber 10 Sekunden in der Kurzzeitsimulation) unterschiedliche Satellitenkonstellationen zugrunde liegen, während bei der Kurzzeitsimulation weitgehend dieselbe Konstellation verwendet wird.

Dieses Verfahren ist jedoch sehr gut zur Beurteilung der Gesamtleistungsfähigkeit eines Systems geeignet, da es eine große Anzahl möglicher Satellitenkonstellationen berücksichtigt, während die in Kapitel 4.4.3.8.1 - 4.4.3.8.2 durchgeführten Kurzzeitsimulationen besser die realistischen Empfangsbedingungen während einer Fahrt widerspiegeln.

Werden keine Mittelwerte über mehrere Stunden, sondern die Werte zu einem ausgewählten Zeitpunkt für die Simulation verwendet, lassen sich auch kleinräumige Unterschiede aufzeigen, wie das folgende Beispiel zeigt.

#### 4.4.3.8.4 Validierung der Simulationsergebnisse durch GPS-Messungen am Beispiel Akademiestraße

Um die Simulationsergebnisse zu validieren, wurden entlang der in den Kapiteln 4.4.3.8.1 bis 4.4.3.8.3 behandelten Fahrtstrecke in Schwabing GPS-Messungen mit einem Hand-Empfänger (Hersteller: Garmin, Typenbezeichnung: emap) durchgeführt. Im Empfänger-Menü „GPS-Informationen“ werden die sichtbaren Satelliten in Form einer SkyView-Anzeige und einer Balkendarstellung der empfangenen Signalstärke visualisiert.



Abbildung 111 GPS-Handempfänger – Garmin emap<sup>126</sup>

Die Fahrtstrecke wurde in einem Zeitraum von 2 Stunden zweimal abgegangen. Die Ergebnisse, im Vergleich zu den simulierten Satellitensichtbarkeiten, sind in Abbildung 112 wiedergegeben.

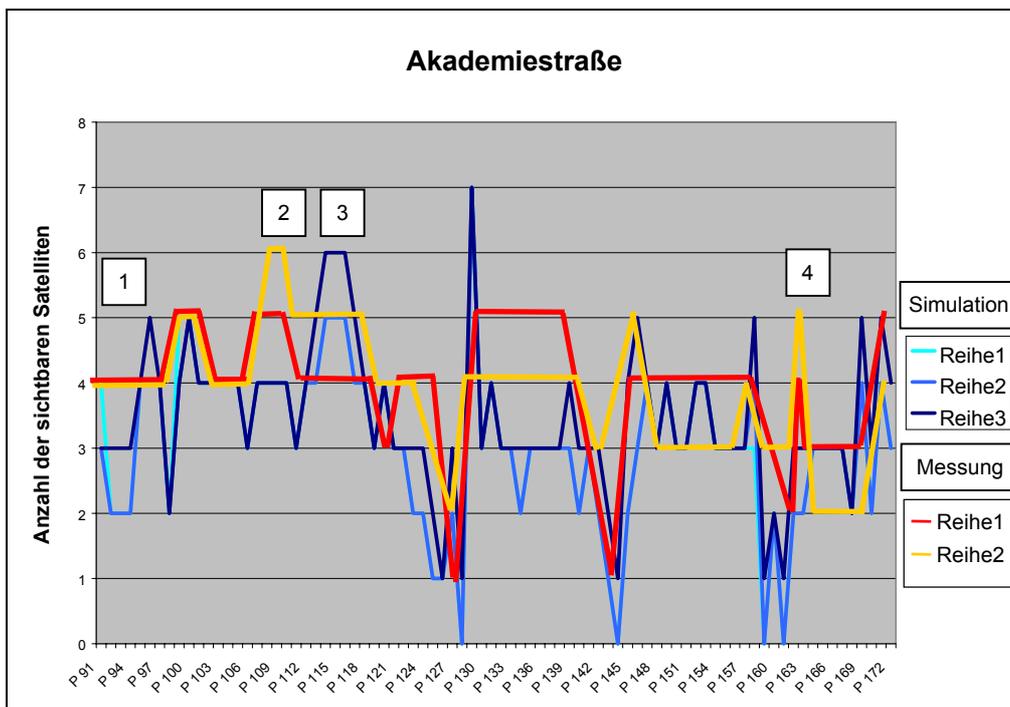


Abbildung 112 Ergebnis der GPS-Messungen entlang der Fahrtroute Akademiestraße

Abbildung 112 zeigt, daß sowohl die Anzahl der empfangenen Satelliten, als auch der charakteristische Verlauf weitgehend den Ergebnissen der Simulation entspricht. Folgende Abweichungen treten auf:

- 1) Zu Beginn der Fahrtstrecke (südlich des Siegestors) werden in der Simulation niedrigere Werte (2-3 Satelliten) berechnet, während bei der Messung 4 Satelliten empfangen wurden.
- 2) Im Bereich des zurückversetzten Westflügels der Akademie tritt während der Messung eine Erhöhung der Verfügbarkeit auf 5-6 Satelliten auf. Dies ist in der Simulation nicht erkennbar, die berechneten Werte liegen zwischen 3 und 4.

<sup>126</sup> URL: [www.garmin.com](http://www.garmin.com)

3) Am freien Platz Ecke Akademie/Türkenstraße wird in der Simulation ein deutlicher Anstieg der Satellitenverfügbarkeit ermittelt. Dieser konnte durch die Messungen nicht bestätigt werden.

4) Im Kreuzungsbereich Kurfürsten/Hohenstaufenstraße wurde ein signifikanter Anstieg der Verfügbarkeit von 2-3 auf 4-5 Satelliten gemessen. Auch in der Simulation wird eine Verbesserung der Satellitenverfügbarkeit an dieser Stelle berechnet, jedoch entspricht diese lediglich den Werten, die später auch im weiteren Verlauf der Hohenstaufenstraße erreicht werden (von 0-1 auf 2-3 Satelliten).

Die wesentlichen Gründe für die geringfügigen Abweichungen zwischen den Resultaten der Messungen und den Ergebnissen der Simulation sind:

- Verwendete Satellitenkonstellation

Die Simulationen basieren auf einer GPS-Konstellation von 24 Satelliten, da diese der GPS-Systemdefinition entspricht. Zum Zeitpunkt der Messung am 12.1.2002 waren jedoch 28 Satelliten verfügbar ([http://gibs.leipzig.ifag.de/cgi-bin/gps\\_status.cgi?de](http://gibs.leipzig.ifag.de/cgi-bin/gps_status.cgi?de)). Weiterhin werden bei der Simulation Mittelwerte über einen definierten Zeitraum verwendet, während die Messung unter der kontinuierlichen Bewegung der Satelliten stattfindet.

- Zusätzliche Abschattungsparameter

Im Rahmen der Simulationen wurde ausschließlich die Abschattung durch Gebäude berücksichtigt. Unter realen Meßbedingungen treten jedoch noch zusätzliche Abschattungen durch Vegetation, Fahrzeuge, Plakatwände und weitere Objekte auf. Auf die Möglichkeit zukünftig digitale Baumkataster in die Simulationen einzubinden wird in Kapitel 5.3 hingewiesen.

Die durchgeführten Messungen zeigen, daß die Resultate der Simulation grundsätzlich mit den tatsächlichen Empfangsbedingungen übereinstimmen und bestätigen daher den gewählten methodischen Ansatz.

#### 4.4.3.8.5 Verfügbarkeit verschiedener Satellitensysteme am Beispiel Geschwister Scholl Platz (Schwabing)

Als Datenbasis wurden Werte eines ausgewählten Zeitpunkts aus den Simulationen GPS3, Galileo2, Globalstar, EGNOS verwendet. Das Szenario simuliert eine Fahrt über den Geschwister Scholl Platz in Schwabing.

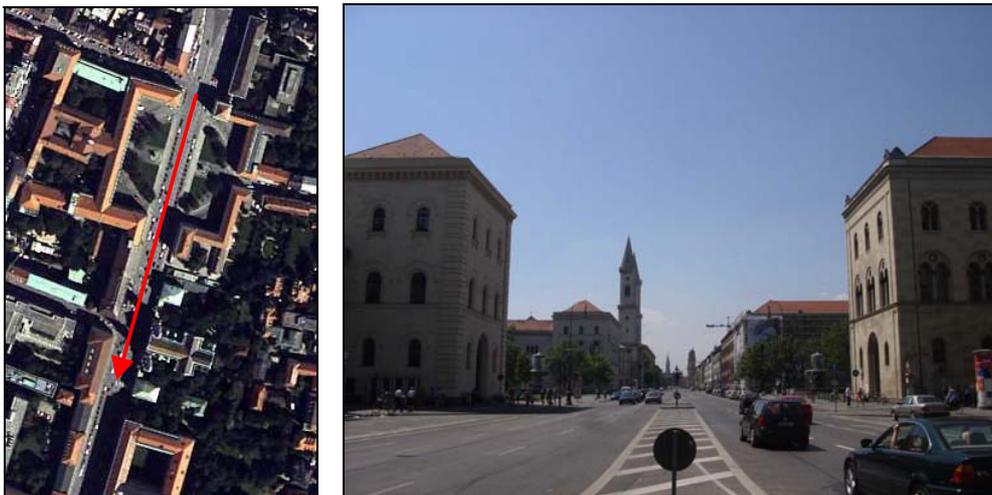


Abbildung 113 Luftbild und Photo vom Geschwister Scholl Platz <sup>127</sup>

<sup>127</sup> Information: D-Sat, Satellitenatlas Deutschland, Scout Systems

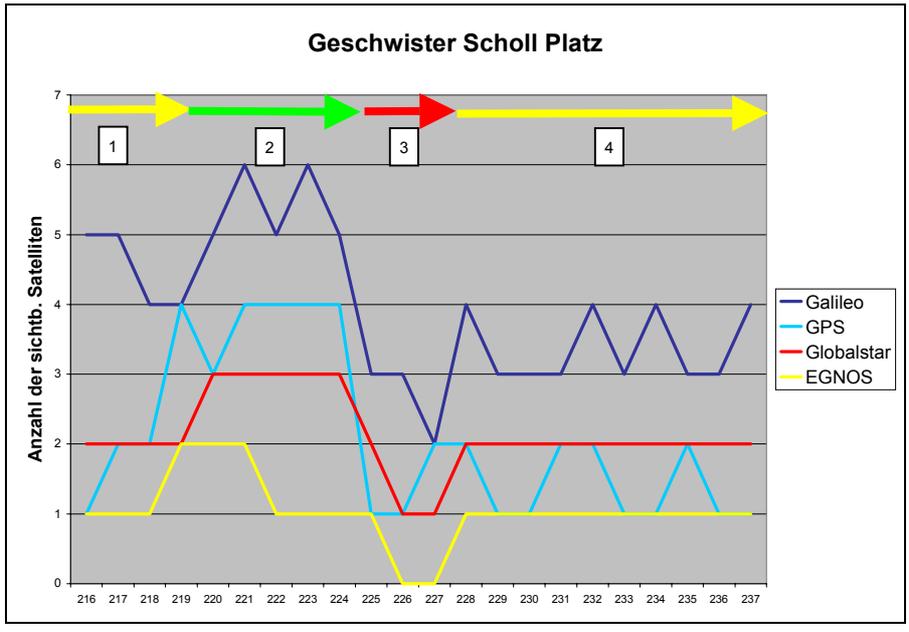


Abbildung 114 Satellitensichtbarkeit am Geschwister Scholl Platz

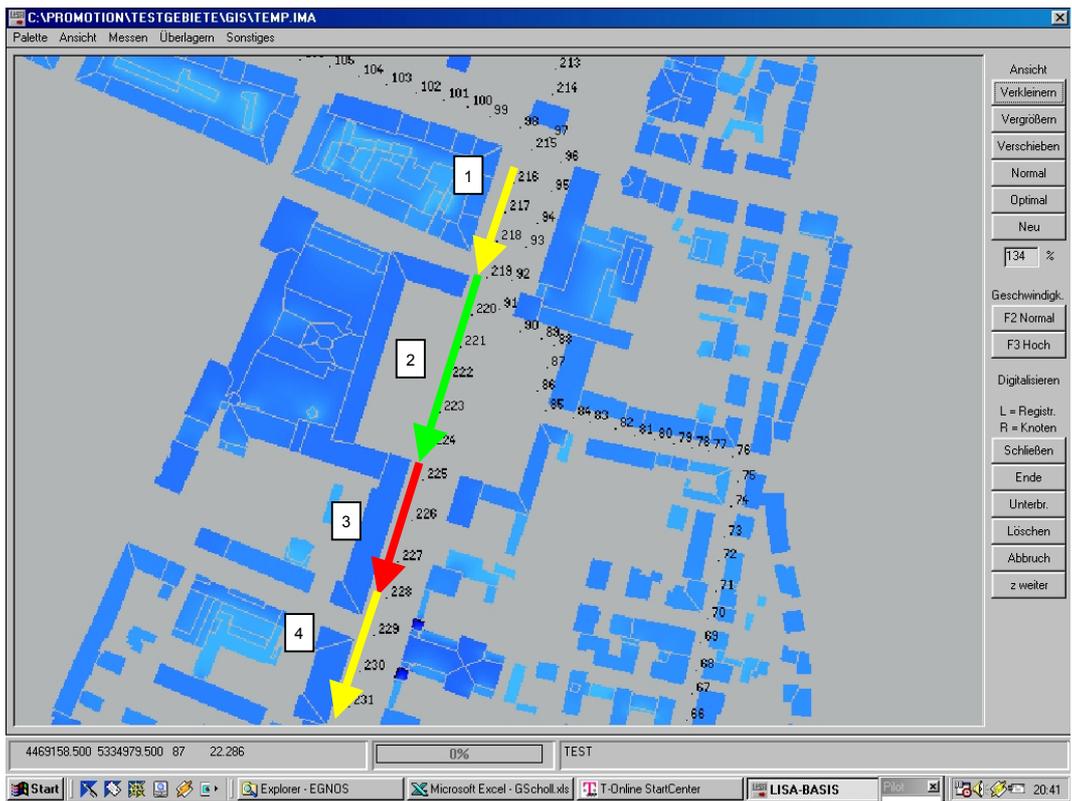


Abbildung 115 Fahrtroute am Geschwister Scholl Platz

Erläuterung der Fahrtstrecke:

- 1) Zu Beginn der Fahrt in der Leopoldstraße (Gebäudehöhe 20m zu beiden Seiten, Entfernung zwischen den Gebäuden ca. 50m) sind folgende Satelliten sichtbar:  
Galileo: 4-5 Satelliten  
GPS: 1-2 Satelliten  
Globalstar: 1-2 Satelliten  
EGNOS: 1 Satellit,
- 2) diese steigen bei Erreichen des Geschwister Scholl Platzes (Gebäudehöhe auf der Westseite 25m und auf der Ostseite 20m, Breite des Platzes ca. 120m) auf folgende Werte:  
Galileo: 5-6 Satelliten  
GPS: 4 Satelliten  
Globalstar: 3 Satelliten  
EGNOS: 2 Satelliten.
- 3) Die Fahrt setzt sich in der Ludwigstraße (Gebäudehöhe 25m auf der Westseite und 20m auf der Ostseite, Entfernung zwischen den Gebäuden ca. 40m) fort. Dabei sinkt die Satellitensichtbarkeit ab. Für die einzelnen Systeme sind nun nur noch folgende Satelliten sichtbar:  
Galileo: 2 Satelliten  
GPS: 1 Satellit  
Globalstar: 1 Satellit  
EGNOS: 0 Satelliten.
- 4) Im weiteren Verlauf der Fahrt verbessern sich die Abschattungsbedingungen wieder etwas und die Satellitenverfügbarkeit steigt auf:  
Galileo: 3-4 Satelliten  
GPS: 1-2 Satelliten  
Globalstar: 2 Satelliten  
EGNOS: 1 Satellit.

Die Auswertung zeigt eine Zunahme der Anzahl sichtbarer Navigations-, Ergänzungs- und Kommunikationssatelliten gegenüber der Ausgangssituation (1) während der Überquerung des Geschwister Scholl Platzes (2). Nach Verlassen des Platzes (3) sinkt die Anzahl sichtbarer Satelliten für alle Systeme unter den Ausgangswert ab. Dies ist durch die höheren Gebäude und einen geringeren Abstand zwischen den Gebäuden gegenüber der Ausgangssituation bedingt. Im weiteren Streckenverlauf (4) steigt die Anzahl der sichtbaren Satelliten wieder etwas an (geringere Gebäudehöhe), erreicht aber nicht mehr die Werte der Ausgangssituation (geringerer Abstand der Gebäude gegenüber 1).

Die Anzahl der sichtbaren GPS-Satelliten ist lediglich bei der Überquerung des Geschwister Scholl Platzes zur Berechnung einer Positionslösung ausreichend. Die Sichtbarkeit der Galileo-Satelliten ist wesentlich besser. Eine Positionslösung kann mit Ausnahme des Streckenabschnitts 3 während der gesamten Fahrt erfolgen. In diesem Streckenabschnitt fällt auch die Anzahl der sichtbaren EGNOS-Satelliten auf 0 ab, ansonsten ist EGNOS während der gesamten Fahrt mit mindestens einem Satelliten verfügbar, am Geschwister Scholl Platz steigt die Verfügbarkeit sogar auf zwei Satelliten an. Globalstar ist während der gesamten Simulation meist mit zwei Satelliten (Hand-Over) verfügbar, im kritischen Streckenabschnitt (3) ist lediglich ein Satellit sichtbar und am Geschwister Scholl Platz steigt die Anzahl sichtbarer Globalstar-Satelliten auf drei an.

## 4.5 Auswertung

Die Ergebnisse der in den Kapiteln 4.4.3.3 - 4.4.3.8 beschriebenen Simulationen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Die **Langzeitsimulationen** haben gezeigt, daß die Verfügbarkeit von Galileo je nach Anforderungen an die Mindestanzahl nutzbarer Satelliten und HDOPs um ca. 12-15% höher ist als für GPS (Tabelle 28). Je höher die Anforderungen definiert werden, desto stärker macht sich der Vorteil von Galileo bemerkbar. Ein **Vergleich** zwischen den DGM-basierten Simulationen mit der konventionellen Simulationsmethode, bei der ein einheitlicher Abschattungswinkel von 5° bzw. 25° für günstige bzw. ungünstige Abschattungsbedingungen angenommen wird, zeigte, daß die Satellitenverfügbarkeit der vereinfachten Simulation gegenüber der DGM-basierten Simulation um ca. 20% zu hoch berechnet werden (Tabelle 29).

Bei der Analyse des Einflusses unterschiedlicher **Bebauungsmuster** wurde festgestellt, daß ein erheblicher Unterschied zwischen den Testgebieten mit hohen Einfamilienhausanteilen, Hochhausbebauung und Gewerbegebieten einerseits und Stadtvierteln mit Altstadtbebauung andererseits besteht. Für die erstgenannten wurden GPS-Verfügbarkeiten von nahezu 100% berechnet, während im Altstadtbereich die Verfügbarkeit bei 40-50% liegt (Abbildung 92).

Die Verfügbarkeit von mindestens einem **EGNOS**-Satelliten beträgt im Gesamtgebiet 76%. Auch hier wurde ein signifikanter Unterschied zwischen den Testgebieten mit Altstadtbebauung und den übrigen Testgebieten festgestellt. Während EGNOS in den erstgenannten lediglich zu 40-50% verfügbar ist, werden in den übrigen Testgebieten Werte von über 90% erreicht (Abbildung 95).

Satellitengestützte Kommunikationssysteme wurden anhand der **Globalstar**-Konstellation simuliert. Die berechneten Verfügbarkeiten liegen im Gesamtgebiet bei 89% für einen Satelliten und 74% für zwei Satelliten (Hand-Over). Selbst in den Testgebieten mit Altstadtbebauung ist nahezu permanent ein Satellit sichtbar, die Verfügbarkeit eines zweiten Satelliten ist hier allerdings nur teilweise gegeben. In den übrigen Testgebieten sind fast immer zwei Satelliten nutzbar (Abbildung 103).

Um den Einfluß **kleinräumiger Bauungsstrukturen** aufzuzeigen, wurden die Rohdaten der Simulationen für einen ausgewählten Streckenabschnitt im Testgebiet Schwabing (Altstadtbebauung) analysiert. Für dieses Gebiet konnte eine signifikante Verbesserung der Satellitenverfügbarkeit und des HDOPs an Kreuzungsbereichen, freien Plätzen und zurückversetzten Gebäuden nachgewiesen werden. Weiterhin konnte für Nord-Süd verlaufenden Straßen eine geringere Verfügbarkeit gegenüber West-Ost exponierten Straßen festgestellt werden (4.4.3.8.1, 4.4.3.8.2).

Ein Vergleich unterschiedlicher satellitengestützter Navigations-, Ergänzungs- und Kommunikationssysteme in einer kleinräumigen Simulationsumgebung im Altstadtbereich wurde in Kapitel 4.4.3.8.5 durchgeführt. Dabei zeigte sich, daß die Verfügbarkeit von GPS nur an günstigen Stellen für die Berechnung einer Positionslösung ausreichend ist. Eine Positionsbestimmung mit Galileo war auch unter ungünstigeren Verhältnissen möglich. Die Verfügbarkeit von Globalstar ist für eine Kommunikationsverbindung zum Fahrzeug ausreichend. Die LoS zu den EGNOS-Satelliten wurde lediglich an einer Stelle kurz unterbrochen (Abbildung 114).

Insgesamt kann folgendes **Fazit** aus den durchgeführten Simulationen gezogen werden:

Die Satellitenverfügbarkeit in bebauten Gebieten ist sehr stark vom jeweiligen Bebauungsmuster abhängig. In Gebieten mit Hochhausbebauungen, Gewerbegebieten und Wohngebieten mit einem hohen Einfamilienhausanteil herrschen gute Verhältnisse hinsichtlich der Satellitensichtbarkeiten. In Altstadtbereichen werden punktuell gute Verfügbarkeiten an günstigen Stellen wie z.B. Kreuzungsbereichen, freien Plätzen, etc. erreicht, zwischen diesen Bereichen ist die Verfügbarkeit der untersuchten Systeme teilweise stark eingeschränkt. Die Verfügbarkeit von Galileo ist gegenüber GPS etwas besser und durch eine Kombination bei-

der Systeme lassen sich gute Verfügbarkeiten auch unter ungünstigen Abschattungsbedingungen erzielen.

#### **4.6 Übertragbarkeit auf andere Gebiete**

Die durchgeführten Simulationen für sechs Testgebiete in München sind repräsentativ für Städte in vergleichbarer geographischer Lage, ähnlicher Topologie und identischen Bebauungsmustern. Die Methodik ist auch auf andere Stadttypen übertragbar, hierzu werden lediglich die entsprechenden Daten benötigt. Für Deutschland sind diese Daten weitgehend vorhanden (siehe Kapitel 4.2). Für andere Länder liegen teilweise ebenfalls digitale Stadtmodelle vor (siehe Kapitel 3.3.2.3.13). Sind die Daten nicht vorhanden, müssen derzeit für eine photogrammetrische Erfassung ca. 500 Euro/km<sup>2</sup> veranschlagt werden.

Die Satellitenverfügbarkeit ist im wesentlichen von der Gebäudehöhe und dem Abstand zwischen den Gebäuden abhängig. Die ausgewählten Testgebiete entsprechen typischen **Bebauungsmustern**, wie sie in den größeren Städten Europas auftreten. Somit sind die vorgestellten Ergebnisse weitgehend auch auf andere vergleichbare Städte übertragbar. Ausnahmen stellen spezielle Bauungsmuster wie z.B. extreme Gebäudeschluchten (Urban Canyons) dar, die teilweise auch in Deutschland (z.B. Frankfurt) anzutreffen sind.

Ein wesentlicher Aspekt hinsichtlich einer Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Gebiete ist **die geometrische Ausrichtung des Straßennetzes** (der Einfluß der Straßenexposition wurde in Kapitel 4.4.3.8.1 dargelegt). Die Ausrichtung des Straßennetzes weist in einigen Städten, bedingt durch die kulturelle Ausprägung und Historie der Stadtentwicklung, eine geometrische Struktur auf, bei der bestimmte Expositionen verstärkt auftreten. Die folgende Abbildung zeigt einige ausgewählte Beispiele. Aufgrund verschiedener Ausbauphasen sind zum Teil unterschiedliche Bauungsmuster nebeneinander anzutreffen (z.B. Addis Abeba).



Abbildung 116 Beispiele zur Geometrie von Bauungsstrukturen in verschiedenen Städten 128

Auch die **geographische Lage** übt einen wesentlichen Einfluß auf die Verfügbarkeit satellitenbasierter Systeme aus. Die Sichtbarkeit von GEOs nimmt mit zunehmender geographischer Breite erheblich ab und auch inklinierte MEO/LEOs weisen in höheren Breiten eine geringere Verfügbarkeit auf. Die geographische Lage wurde bei den

<sup>128</sup> URL: [http://www.lib.utexas.edu/Libs/PCL/Map\\_collection/map\\_sites/cities\\_sites.html](http://www.lib.utexas.edu/Libs/PCL/Map_collection/map_sites/cities_sites.html)

durchgeführten Simulationen berücksichtigt. Durch die Eingabe entsprechender Koordinaten können die Datensätze in eine andere geographische Lage „verschoben“ werden.

Für Städte mit **Reliefeigenschaften**, die von denen Münchens (Münchner Schotterebene) abweichen, sollten die jeweiligen Gelände-DGMs eingelesen werden, um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen. Dies gilt vor allem für Städte deren Umgebung starke Reliefunterschiede aufweist (z.B. Stuttgart, Innsbruck, Genf, etc.). Dies ist mit der vorgestellten Methodik möglich (siehe Kapitel 4.3.3.4). Außerstädtische Testszenarien können ebenfalls nach Einlesen der entsprechenden Daten simuliert werden.

## **5 ZUSAMMENFASSUNG UND BEWERTUNG**

Dieses Kapitel faßt die wesentlichen Ergebnisse der Arbeit zusammen, dabei wird zunächst ein Überblick über den heutigen Einsatz satellitenbasierter Navigations-, Kommunikations- und Fernerkundungssysteme in der Verkehrstelematik gegeben, anschließend werden die Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung in bebauten Gebieten aufgezeigt und Vorschläge zur Verbesserung der Simulation vorgestellt. Abschließend erfolgt ein Ausblick auf zukünftigen Anwendungsmöglichkeiten satellitengestützter Systeme in der Verkehrstelematik.

### **5.1 Bedeutung satellitengestützter Verfahren für die Verkehrstelematik heute**

Satellitenbasierte Systeme werden gegenwärtig zur **Positionsbestimmung, Ortung und Navigation** von Fahrzeugen im Massenmarkt und für Spezialanwendungen der Verkehrstelematik eingesetzt. Dabei wird heute ausschließlich GPS verwendet. Um die Verfügbarkeit von GPS zu verbessern, kommt bei einer Reihe von Anwendungen Koppelnavigation mittels geeigneter Zusatzsensorik wie z.B. Gyro und Tachometerdaten bzw. Map-Matching-Verfahren zum Einsatz. Zur Steigerung der Positionsgenauigkeit werden für einige Applikationen differentielle Korrekturdaten genutzt. Bakenysteme werden zur Positionsbestimmung lediglich für Spezialanwendungen mit festgelegten Fahrtstrecken (z.B. ÖPNV) betrieben, da diese mit einem erheblichen finanziellen Aufwand bei der Implementierung und zur Instandhaltung verbunden sind.

*Die Ergänzung von satellitenbasierten Systemen durch Zusatzsensoren bzw. Map-Matching ist aufwendig und kostenintensiv, so daß durch eine Verbesserung der Satellitensysteme (falls dadurch ein Verzicht auf andere Verfahren möglich ist) ein Preisverfall der Endgeräte und somit eine verstärkte Nutzung von Verkehrstelematiksystemen im Massenmarkt zu erwarten ist.<sup>129</sup>*

Zur **Kommunikation** werden derzeit überwiegend terrestrische Verfahren eingesetzt. Einige Spezialanwendungen (z.B. Flottenmanagement in Gebieten mit unzureichender terrestrischer Infrastruktur) verwenden bereits heute satellitengestützte Systeme. Aufgrund der hohen Endgerätepreise und Kommunikationskosten (die ca. um den Faktor 8 teurer sind als terrestrische Systeme, siehe Kapitel 3.2.3) wird Satellitenkommunikation im Massenmarkt der Verkehrstelematik momentan nicht eingesetzt.

Fernerkundungssatelliten werden heute noch nicht operationell **zur Erfassung verkehrsrelevanter Objekte** eingesetzt. Bisher war die räumliche Auflösung der vorhandenen Systeme für einen Einsatz in der Verkehrstelematik noch nicht geeignet bzw. wurde lediglich auf periodischen Missionen (Kosmos) eingesetzt (siehe Tabelle 15). Diese Situation hat sich seit 1999 durch den operationellen Betrieb von IKONOS geändert. Der Start weiterer hochauflösender Satellitensysteme ist in den nächsten Jahren geplant (siehe Kapitel 3.3.2.3). Erste Untersuchungen zur Eignung von hochauflösenden Satellitendaten (IKONOS) zur Erzeugung digitaler Straßenkarten liefern bereits positive Ergebnisse. Der Einsatz von kombinierten Fernerkundungs- und Kommunikationssystemen (satellitengestütztes FCD) zur Erfassung von Verkehrsinformationen wird gegenwärtig untersucht (TrafficEye).

Die aktuelle Situation bezüglich des Einsatzes satellitenbasierter Systeme in der Verkehrstelematik stellt sich demnach wie folgt dar:

- Satellitennavigationssysteme werden operationell eingesetzt und durch fahrzeugseitige Sensoren und zum Teil auch durch streckenseitige Infrastruktur unterstützt.
- Satellitenbasierte Kommunikationssysteme werden lediglich für Spezialanwendungen eingesetzt.

---

<sup>129</sup> Information: Schlußfolgerungen in diesem Kapitel sind kursiv hervorgehoben

- Fernerkundungsprodukte werden derzeit auf ihre Eignung zur Erfassung verkehrsrelevanter Objekte getestet.

Da vor allem der Einsatz satellitengestützter Verfahren in bebauten Gebieten aufgrund der Abschattungsproblematik ein Problem darstellt, wird dieser Aspekt im folgenden Kapitel ausführlicher behandelt.

## **5.2 Einsatz von Satellitensystemen in bebauten Gebieten – Möglichkeiten und Grenzen**

Die in Kapitel 4.4.3 durchgeführten Simulationen zeigen, daß **GPS**, unter der Annahme daß mindestens drei Satelliten sichtbar sind, im gesamten Untersuchungsgebiet eine Verfügbarkeit von 78,00% aufweist. Durch den Einsatz von **Galileo** erhöht sich die Verfügbarkeit auf 84,21%. *Die in Kapitel 3.1.1 aufgeführten Anforderungen können somit von keinem der beiden Systeme allein erfüllt werden, so daß bei alleiniger Nutzung von GPS oder Galileo der Einsatz von Zusatzsensorik oder Map-Matching erforderlich ist.*

Eine **kombinierte Nutzung** beider Systeme führt zu einer hohen Verfügbarkeit, wie in der Einzelpunktsimulation in Kapitel 4.4.3.4 nachgewiesen wurde. Die Verfügbarkeit liegt bis zu einem Abschattungswinkel von 40° bei 100% und beträgt bei 50° noch 94,46%. *Durch eine kombinierte Nutzung von GPS und Galileo kann in bebauten Gebieten auf den Einsatz von Zusatzsensoren und Map-Matching-Verfahren für eine Vielzahl von Verkehrstelematik-anwendungen verzichtet werden. Dieses zukünftige Szenario ist jedoch auch von der erreichbaren Positionsgenauigkeit abhängig, die in bebauten Gebieten wesentlich von Multipath-Effekten beeinflusst wird und weiterer Untersuchungen bedarf (siehe Kapitel 5.3).*

Die Verfügbarkeit der Satellitensignale in den untersuchten Testgebieten weist eine starke Abhängigkeit vom jeweiligen **Bebauungsmuster** auf. Die Ergebnisse aus Kapitel 4.4.3.5 zeigen daß die GPS-Verfügbarkeit in den Gebieten Ramersdorf, Moosfeld und Neuperlach bei nahezu 100% liegt, während in Schwabing und Lehel lediglich Werte von 50-70% erreicht werden. *Dies bedeutet für den Einsatz in der Praxis, daß für Verkehrstelematik-anwendungen, die überwiegend in Gebieten mit günstigen Bebauungsmustern eingesetzt werden, eine Positionsbestimmung mit einem Satellitensystem als ausreichend eingeschätzt werden kann, während für einen Einsatz in Altstadtbereichen zunächst eine detailliertere Untersuchung kleinräumiger Strukturen erforderlich ist.*

Diese Untersuchung wurde in den Kapiteln 4.4.3.8.1 und 4.4.3.8.2 durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, daß ein erheblicher Einfluß durch **kleinräumige Bebauungsstrukturen** wie z.B. Kreuzungsbereiche, freie Plätze und zurückversetzte Gebäude besteht. An diesen Stellen wurde eine signifikante Verbesserung der Satellitensichtbarkeit und der HDOP-Werte festgestellt. *Inwieweit diese punktuellen Verfügbarkeiten zur Navigation von Fahrzeugen ausreichen, bedarf weiterer Untersuchungen, die im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt werden konnten. Hierbei ist unter anderem die Dauer der Satellitenverfügbarkeit, die Fahrtgeschwindigkeit, Multipath-Verhältnisse und das Empfängerverhalten zu berücksichtigen (diese Aspekte werden im Kapitel 5.3 „Verbesserungsvorschläge“) wieder aufgenommen.*

Der Einsatz von **EGNOS** in bebauten Gebieten wurde in Kapitel 4.4.3.6 untersucht. Dabei wurde ebenfalls ein signifikanter Einfluß der Bebauungsstruktur auf die Verfügbarkeit der Satellitensignale festgestellt. Diese schwankt zwischen 40-50% in den ungünstigen Testgebieten und Werten von über 90% bei günstigen Bebauungsmustern. *Für den zukünftigen Einsatz in bebauten Gebieten ergibt sich somit dieselbe Schlußfolgerung, wie für die Nutzung eines einzelnen Satellitennavigationssystems, nämlich daß eine Nutzung im Altstadtbereich einer näheren Untersuchung in Abhängigkeit von Dauer der Verfügbarkeit, der Fahrtgeschwindigkeit, von Multipath-Verhältnissen und der Empfängerleistung bedarf und daß eine Nutzung in den übrigen untersuchten Testgebieten aufgrund der Simulationsergebnisse als möglich erachtet werden kann.* Die im Rahmen von ARTIST durchgeführten Simulationen zur Verfügbarkeit von EGNOS bei unterschiedlichen Geländetypen deuten auf gute Einsatzbedingungen in flachem Relief und in breiten Tälern hin. *Dies bedeutet, daß selbst in ungünstigem Gelände (Gebirge) entlang der Hauptverkehrsachsen eine Nutzung*

von EGNOS für Anwendungen wie z.B. Flottenmanagement sinnvoll ist. In Seitentälern herrschen zum Teil sehr ungünstige Empfangsverhältnisse, so daß der Einsatz von EGNOS in diesen Regionen mit einem geringen Zusatznutzen verbunden ist. Dies gilt vor allem für Anwendungen, die auf das Ranging-Signal von EGNOS zur Verbesserung der Verfügbarkeit und die Integritätsinformationen zur Überprüfung der Zuverlässigkeit der verwendeten Satellitensignale angewiesen sind. Kurzfristige Unterbrechungen der Übertragung differentieller Korrekturdaten durch das EGNOS-Signal können seit dem Abschalten der SA als weniger kritisch angesehen werden.

Die in Kapitel 3.1.1 beschriebenen Anforderungen sind systemunabhängig und können durch die Nutzung unterschiedlicher Systeme erfüllt werden. Aufgrund der Ergebnisse der durchgeführten Simulationen kann festgestellt werden, daß der Einsatz von **satellitenbasierten Navigationssystemen** zwar in einigen der untersuchten Bebauungsmuster zu guten Ergebnissen führt, jedoch für Anwendungen, die häufig im Altstadtbereich eingesetzt werden (z.B. Flottenmanagement für Taxis, ÖPNV, Parkraummanagement), die Verfügbarkeit erhebliche Lücken aufweist. Für Verkehrstelematiksysteme, die auch im Altstadtbereich eingesetzt werden sollen, stellen neben den bereits angesprochenen Zusatzsensoren und Map-Matching-Verfahren Systeme, die eine gute Verfügbarkeit im Stadtbereich aufweisen, interessante Alternativen dar. Als Ergänzungssysteme kommen z.B. Loran-C/Eurofix (Kapitel 3.1.2.1.4) und Positionsbestimmungsverfahren durch Mobilfunksysteme (Kapitel 3.1.2.1.5) in Frage. Loran-C sollte aufgrund der unzureichenden absoluten Genauigkeit in Kombination mit GNSS eingesetzt werden, die zahlreichen Vorteile einer kombinierten Nutzung wurden bereits im entsprechenden Kapitel ausführlich dargestellt. Die Nutzung von mobilfunkbasierten Systemen in Kombination mit GNSS könnte die Verfügbarkeit von Positionsbestimmungssystemen in bebauten Gebieten wesentlich erhöhen.

Die in Kapitel 4.4.3.7 am Beispiel Globalstar durchgeführten Simulationen zur Verfügbarkeit von **satellitengestützten Kommunikationssystemen** in bebauten Gebieten zeigen, daß im Gesamtgebiet Verfügbarkeiten von 89% für einen Satelliten und Werte von 74% für zwei Satelliten, die zur Durchführung eines Hand-Overs benötigt werden, erreicht werden. Auch hier macht sich der Einfluß unterschiedlicher Bebauungsmuster bemerkbar (siehe Abbildung 103). Der Nutzen einer satellitenbasierten Kommunikationsverbindung liegt unter anderem in den hohen Übertragungsraten, die zukünftig erzielt werden sollen, dadurch werden vor allem Anwendungen wie die Übermittlung von Teilausschnitten digitaler Straßenkarten und Infotainment unterstützt. Während bei der Übertragung von Daten, die nicht in Echtzeit benötigt werden (z.B. Update digitaler Straßenkarten), durch Data-Packaging-Verfahren kurze Unterbrechungen der Kommunikationsverbindung toleriert werden können, muß für Echtzeitübertragungen im Streaming-Mode (z.B. Echtzeitübertragung von TV, Video, etc.) eine kontinuierliche Kommunikationsverbindung gewährleistet sein. Hohe Datenübertragungsraten werden allerdings zukünftig auch von terrestrischen Kommunikationssystemen wie GPRS und UMTS angeboten, so daß für diese Anwendungen konkurrierende Alternativsysteme zur Verfügung stehen werden. Ein weiterer Vorteil satellitengestützter Kommunikationsverfahren liegt in der Verfügbarkeit selbst in Regionen, die über keine Mobilfunkinfrastruktur verfügen. Da in diesen, meist ländlichen Regionen in der Regel geringere Abschattungen als in bebauten Gebieten vorausgesetzt werden können, wird der Einsatz von Satellitenkommunikationstechnologien in der Verkehrstelematik aus technischer Sicht als positiv eingeschätzt. Auf die wirtschaftlichen Aspekte, die einem Einsatz im Massenmarkt im Augenblick entgegenstehen, wurde bereits in Kapitel 3.2.3 hingewiesen.

Folgendes **Fazit** kann aus den durchgeführten Arbeiten gezogen werden:

Die Satellitenverfügbarkeit in bebauten Gebieten ist erheblich von dem jeweiligen Bebauungsmuster geprägt. In Gebieten mit hohem Einfamilienhausanteilen, Gewerbegebieten und Hochhausbebauungen herrschen durchgehend gute Empfangsbedingungen. Bei Bebauungsmustern, wie sie im Altstadtbereich anzutreffen sind, ist die Satellitenverfügbarkeit erheblich eingeschränkt. Allerdings treten auch hier, verursacht durch kleinräumige Strukturen, an günstigen Stellen punktuell hohe Verfügbarkeiten auf. Diese Aussage gilt sowohl für MEO-basierte Navigationssysteme, GEO-basierte Ergänzungssysteme und LEO-basierte

Kommunikationssysteme. Für den Anwendungsbereich der satellitengestützten Positionsbestimmung, der die Grundlage aller Telematikanwendungen darstellt, wurde aufgezeigt, daß Galileo gegenüber GPS eine leichte Verbesserung hinsichtlich der Satellitenverfügbarkeit bewirkt. *Durch eine kombinierte Nutzung beider Systeme werden sehr gute Verfügbarkeiten erreicht, die zum Teil den Einsatz von Zusatzsensoren und Map-Matching Verfahren erheblich reduzieren können.*

Es wurde gezeigt, daß die entwickelte Methode zur Einbeziehung von 3D-Stadtmodellen in die Simulation von Satellitensichtbarkeiten wesentlich realitätsnähere Ergebnisse liefert als konventionelle Simulationsmodelle, die lediglich einen einheitlichen Abschattungswinkel für alle Azimutrichtungen annehmen. *Das neue Verfahren eignet sich für die Entwicklung und Verbesserung von Satellitenkonstellationen und die Auswahl geeigneter Navigations- und Kommunikationsbestandteile für Fahrzeugnavigationssysteme. Weiterhin können Problemumgebungen (z.B. bestimmte Bebauungsmuster) identifiziert werden, in denen der Einsatz satellitenbasierter Navigations- und Kommunikationssysteme ggf. durch terrestrische und/oder fahrzeugseitige Systeme ergänzt werden muß. Damit lassen sich Investitionen für Zusatzsensoren und –systeme auf diejenigen Anwendungen begrenzen, für die diese unbedingt erforderlich sind.* Der Nutzen von satellitengestützten Ergänzungssystemen für den Einsatz in bebauten Gebieten wurde mit der hier vorgestellten Methodik untersucht und beurteilt, ebenso wie der Nutzen kombinierter Satellitenempfänger (GPS/Galileo). Dies sind wichtige Entscheidungsgrundlagen für die Hersteller von Fahrzeugnavigationssystemen, um strategische Planungen durchführen zu können. Gleiches gilt für die Bewertung des Einsatzes von satellitengestützten Kommunikationssystemen für Verkehrstelematikanwendungen. *Da mobile Endgeräte wie z.B. PDAs aufgrund limitierter Integrationsmöglichkeiten von Zusatzsensorik erheblich stärker von der Qualität der satellitenbasierten Positionsbestimmung beeinflusst sind als Fahrzeugnavigationssysteme, stellen die durchgeführten Simulationen ein geeignetes Hilfsmittel zur Einschätzung der Leistungsfähigkeit von stand-alone PDA-Systemen in bebauten Gebieten dar.* Auch die Einsatzbarkeit von GNSS-gestützten Verfahren zur Lokalisierung von Mobilfunkgeräten (Location Based Services, E-112) läßt sich durch Verwendung einer 3D-Simulation besser beurteilen.

### **5.3 Verbesserungsvorschläge zur Simulation**

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Simulationen basieren auf einem 3D-Stadtmodell und berücksichtigen die Gebäudehöhen und die Abstände zwischen den Gebäuden. Vor allem in der Vegetationsperiode wird die Satellitensichtbarkeit auch erheblich durch Bäume eingeschränkt. Die Berücksichtigung dieses Parameters ist durch die Einbeziehung eines **Baumkatasters** möglich. Digitale Baumkataster sind für eine Reihe deutscher Städte erhältlich, dabei wird der Standort des Baums, der Kronendurchmesser und teilweise auch die Baumhöhe und Vitalität erfaßt. Durch Einbeziehung dieser Informationen läßt sich das entwickelte Verfahren weiter verfeinern und der Realität weiter anpassen.

Die vorgestellten Ergebnisse spiegeln die Bedingungen entsprechend der ausgewählten Bebauungsmuster, der geographischen und topographischen Lage Münchens und der verwendeten Satellitenkonstellationen wieder. Daraus leiten sich für weitere Aktivitäten in diesem Bereich folgende Vorschläge ab:

- Einbeziehung weiterer **Bebauungsmuster** (z.B. Hochhausschluchten, locker besiedelte Gebiete im Stadtrandgebiet, etc.)
- Testgebiete in unterschiedlichen **geographischen Lagen** (vor allem in höheren Breiten)
- Stadtgebiete mit **Reliefeinfluß** (z.B. Stuttgart, Innsbruck, etc.)
- **außerstädtische Gebiete** mit Abschattungsproblematik (z.B. Mittelgebirge, Hochgebirge, Waldgebiete, etc.)
- Veränderungen der **Satellitenkonstellationen** (Anzahl der Satelliten, Orbithöhe, Inklination)

Eine **kombinierte GPS- und Galileo-Nutzung** konnte, aufgrund der zur Verfügung stehenden Rechnerleistung, nicht für eine komplette Fahrtstrecke sondern lediglich für Einzelpunkte simuliert werden. Für Fahrtrouten kann die Anzahl der sichtbaren Satelliten, die aus einer kombinierten Nutzung resultiert, durch Addition der jeweiligen Einzelwerte ermittelt werden, eine Berechnung der DOP-Werte ist dadurch allerdings nicht möglich. Da gerade für dieses Szenario ein hohes Nutzungspotential für Verkehrstelematikanwendungen in bebauten Gebieten besteht, sollten diese Simulationen bei aufgestockter Rechnerleistung fortgesetzt werden.

Mit der angewandten Methodik wurde die Verfügbarkeit von Satellitensignalen simuliert. Aussagen zum Einfluß von **Multipath**-Effekten und **Empfängereigenschaften** sind nicht möglich. Dieses sind jedoch weitere wichtige Punkte, die im Rahmen weiterer Aktivitäten untersucht werden sollten. Entsprechende Modelle und Simulationsprogramme sind vorhanden bzw. in Entwicklung. Eine Ergänzung der in dieser Arbeit entwickelten Methode mit Empfänger-Simulationen würde zu einem vollständigen Simulationswerkzeug führen, das umfassende Aussagen zur Leistungsfähigkeit satellitengestützter Systeme ermöglicht.

In den Kapiteln 4.4.3.8.1 und 4.4.3.8.2 wurden auch für Gebiete mit allgemein ungünstigen Empfangsbedingungen (Altstadtbereich) punktuell hohe Verfügbarkeiten festgestellt. Zur Beurteilung, inwieweit diese für die Navigation von Fahrzeugen bzw. zur Kalibrierung von Fahrzeugnavigationssystemen ausreichen, besteht weiterer Untersuchungsbedarf. Dabei ist unter anderem die Dauer der Satellitenverfügbarkeit, die Fahrtgeschwindigkeit und die Empfängerleistung (Neuberechnung der Position nach Signalverlust) zu berücksichtigen. Dies wäre durch eine Weiterentwicklung des verwendeten Satellitensimulationsprogramms, die es ermöglicht, die einzelnen Wegpunkte auch zeitlich zu differenzieren, und die Einbeziehung der bereits angesprochenen Empfängersimulations- und Multipathsoftware möglich. Weiterhin wäre es wünschenswert, die durch Simulationen gewonnenen Ergebnisse durch **Testfahrten** zu validieren, ggf. das Modell anzupassen und zusätzliche Systeme wie z.B. Loran-C und Mobilfunkpositionierungsverfahren einzubeziehen.

#### **5.4 Ausblick auf den zukünftigen Einsatz satellitengestützter Systeme in der Verkehrstelematik**

Zum Abschluß werden noch einmal die wesentlichen Entwicklungen in den Bereichen satellitengestützte Navigation, Kommunikation und Fernerkundung, die für die zukünftige Nutzung in der Verkehrstelematik relevant sind, zusammengefaßt und ein Ausblick auf mögliche Entwicklungen gegeben.

*Im Bereich der **Satellitenavigation** wird mittelfristig die operationelle Verfügbarkeit von EGNOS (FOC 2004) eine Verbesserung der erzielbaren Genauigkeit und Verfügbarkeit sowie erstmals auch großflächig Informationen zur Integrität von GPS bereitstellen. Vor allem die Kenntnis der Systemintegrität stellt eine wesentliche Verbesserung gegenüber der aktuellen Situation dar und unterstützt im Bereich Straßenverkehrstelematik vor allem sicherheitsrelevante Anwendungen wie z.B. die Überwachung von gefährlichen Gütern und Anwendungen durch BOS. Langfristig wird durch die Weiterentwicklung von GPS (siehe Kapitel 3.1.2.2.1) und die Entwicklung und Implementierung des zivilen europäischen Satellitenavigationssystems Galileo (FOC 2008) die Genauigkeit und Robustheit der Systeme auch für zivile Nutzer weiter verbessert. Galileo wird den Nutzern voraussichtlich neben Integritätsinformationen auch erstmals verbindliche Garantien hinsichtlich des Systembetriebs bieten. Sollte durch eine weitgehende Kompatibilität beider Systeme eine kombinierte Nutzung uneingeschränkt möglich sein, würde sich (wie in Kapitel 4.4.3.4 gezeigt) eine erhebliche Verbesserung der Satellitenverfügbarkeit auch in bebauten Gebieten erreichen lassen. Speziell für den Einsatz in bebauten Gebieten bieten andere Systeme wie z.B. Loran-C/Eurofix und Mobilfunksysteme, die aufgrund ihrer Signaleigenschaften weniger stark von Abschattungseffekten betroffen sind, geeignete Ergänzungsmöglichkeiten. Eine alleinige Nutzung dieser Systeme ohne GNSS für Verkehrstelematikanwendungen ist aufgrund der spezifischen Nachteile dieser Systeme (siehe Kapitel 3.1.2.1.4 bzw. 3.1.2.1.5) nicht zu erwarten.*

Der operationelle Einsatz **satellitengestützter Kommunikationssysteme** in der Verkehrstelematik ist aufgrund der hohen Kosten derzeit nur einigen Spezialanwendungen vorbehalten. Die aktuellen Entwicklungen im Bereich LEO-Kommunikationssysteme sind von finanziellen Schwierigkeiten der Betreiber aufgrund geringer Nutzerzahlen und hoher Infrastrukturkosten gekennzeichnet. Durch Roaming-Abkommen mit GSM-Netzwerken, wie sie die meisten Anbieter vorsehen, wird zukünftig eine preisgünstige Kommunikationsverbindung bei vorhandener GSM-Abdeckung und eine Nutzung der Satellitenverbindung lediglich als Rückfallalternative angeboten. *Ob dieser Ansatz wirtschaftlich tragbar ist, wird sich zeigen. Neben der globalen Verfügbarkeit stellt die Satellitenkommunikation auch wesentlich höhere Datenübertragungsraten, die neue Anwendungen in der Verkehrstelematik ermöglichen, zur Verfügung. Solange die Preise für Satellitenkommunikation gegenüber GSM um den Faktor 8 höher sind (siehe Kapitel 3.2.3), ist ein Einsatz im Massenmarkt der Verkehrstelematik nicht zu erwarten, zumal zukünftig mit der Weiterentwicklung terrestrischer Übertragungsprotokolle und -verfahren wie GPRS und UMTS ebenfalls höhere Übertragungskapazitäten bereitgestellt werden.*

*Die zukünftige Nutzung von **Fernerkundungssystemen** in der Verkehrstelematik ist vor allem zur Erfassung des Straßennetzes und von Verkehrsinformationen zu erwarten. Diese Anwendungen waren bisher aufgrund der unzureichenden räumlichen Auflösung der zivilen Sensoren nicht möglich. Mittlerweile werden jedoch geeignete Sensoren auf entsprechenden Missionen geflogen und die Produkte sind für zivile Nutzer zugänglich. Mehrere hochauflösende Erdbeobachtungsmissionen sind in den nächsten Jahre geplant. Die räumlich hochauflösenden Satellitendaten sind momentan noch teuer, allerdings ist mittelfristig ein konkurrenzbedingter Preisverfall zu erwarten. Für die Erzeugung digitaler Straßenkarten ist aufgrund positiver Ergebnisse erster Evaluierungen durch marktführende Hersteller mit IKONOS-Daten eine verstärkte Nutzung von Fernerkundungsdaten zu erwarten. Laut Aussage von Tele Atlas könnten zukünftig ca. 50% der Geometrieerfassung durch satellitengestützte Systeme erfolgen. Zur Gewinnung von flächendeckenden Verkehrsinformationen entspricht derzeit die zeitliche Auflösung der Erdbeobachtungssatelliten und die Dauer der anschließenden Datenweiterverarbeitung nicht den Anforderungen der potentiellen Kunden. Eine Verbesserung der zeitlichen Auflösung ist zwar durch einen Ausbau des Raumsegments möglich, dies ist jedoch mit einem erheblichen finanziellen Aufwand verbunden. Eine Alternative zum Bau weiterer Erderkundungssatelliten wäre die Integration von Fernerkundungssensoren auf LEO-basierten Kommunikationssatelliten, jedoch ist selbst dann aufgrund der geringen Breite der Aufnahmestreifen eine flächendeckende Erfassung nicht gewährleistet. Eine realistischere Anwendungsmöglichkeit zur Nutzung satellitengestützter Fernerkundungssensoren zur Erfassung von Verkehrsdaten stellt die Kalibrierung anderer Meßverfahren wie z.B. FCD dar, da für diese Anwendung die entsprechenden Daten weder flächendeckend noch mit einer hohen zeitlichen Auflösung benötigt werden.*

Der zu erwartende **Einsatz satellitenbasierter Verfahren in der Verkehrstelematik** stellt sich somit für die untersuchten Bereiche unterschiedlich dar:

*Satellitennavigationssysteme werden auch zukünftig einen wesentlichen Bestandteil der Verkehrstelematik bilden. Aufgrund der aufgezeigten Weiterentwicklungen werden zukünftig erhebliche Verbesserungen bestehender Anwendungen und die Entwicklung neuer Anwendungsfelder ermöglicht. Der zukünftige Einsatz satellitenbasierter Kommunikationssysteme ist technisch möglich und wird im wesentlichen durch die weitere wirtschaftliche Entwicklung in diesem Bereich bestimmt. Fernerkundungsprodukte werden zukünftig in erheblichem Umfang zur Herstellung digitaler Straßenkarten eingesetzt, während eine Nutzung zur Erfassung von Verkehrsinformationen nur bedingt zu erwarten ist. Neben diesen beiden Bereichen bietet die Fernerkundung die Möglichkeit zur Erfassung weiterer verkehrsrelevanter Objekte, das vollständige Potential dieser Technologie ist erst nach weiteren Erfahrungen in den nächsten Jahren abzuschätzen.*

Die vorliegende Arbeit hat gezeigt, daß die Satellitentechnologie eine Reihe unterschiedlicher Anwendungsfelder in der Verkehrstelematik unterstützt und in diesen Bereichen in den nächsten Jahren interessante Entwicklungen zu erwarten sind. Für einige dieser An-

wendungen wird erwartet, daß sie bereits innerhalb der nächsten Jahre in der Verkehrs-  
telematik eingesetzt werden, für andere Applikationen ist der zukünftige Einsatz erheblich  
von den weiteren technischen und wirtschaftlichen Entwicklungen abhängig. Weiterhin wurde  
ein Verfahren entwickelt, das die Analyse des Satellitenempfangs unter Berücksichtigung  
von digitalen Geländemodellen ermöglicht. Es wurde gezeigt, daß dieses Verfahren eine  
erhebliche Verbesserung gegenüber den bisher durchgeführten Simulationen, die auf der  
Annahme eines einheitlichen Abschattungswinkel für alle Azimutrichtungen basieren, dar-  
stellt. Die durchgeführten Simulationen erlaubten Rückschlüsse auf die Verfügbarkeit ver-  
schiedener satellitengestützter Navigations-, Ergänzungs- und Kommunikationssysteme in  
bebauten Gebieten und ermöglichten es, den zukünftigen Einsatz dieser Systeme unter  
realitätsnahen Bedingungen zu beurteilen. Mit dieser Arbeit wird ein geeignetes Verfahren  
für weitere Aktivitäten in diesem Bereich zur Verfügung gestellt.

## 6 ANHANG

### 6.1 Quellenverzeichnis

#### 6.1.1 Literatur

##### **B**

Bill R.: Grundlagen der Geo-Informationssysteme, Bd. 1 Hardware, Software und Daten, 4. neuüberarbeitete und erweiterte Auflage, Herbert Wichmann Verlag GmbH, Karlsruhe, 1999 (1)

Bill R.: GIS-Produkte am Markt – Stand und Entwicklungstendenzen, Zeitschrift für Vermessungswesen, Heft 6, Deutscher Verein für Vermessungswesen, 1999 (2)

Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL): Schweizerischer Radionavigationsplan, 2000

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW): Deutscher Funknavigationsplan (DFNP), 1999

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW): Presseinformation 146/2000, 31.5.2000 (1)

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW): Rede des Bundesministers für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Reinhard Klimmt, anlässlich der Übergabe des Abschlußberichts der Kommission Verkehrsinfrastrukturfinanzierung, Berlin, 5.9.2000 (2)

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW): Verkehrsbericht 2000 – Integrierte Verkehrspolitik. Unser Konzept für eine mobile Zukunft, Berlin, ([www.bmvbw.de](http://www.bmvbw.de)), 2000 (3)

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW): Presseinformation 381/2000, 22.12.2000 (4)

Burbidge G.T.A.: A Fully Polarimetric L-Band Spaceborne SAR Instrument Targeting Land Applications, CEOS SAR Workshop, Toulouse, ([www.estec.esa.nl/ceos99/papers/p162.pdf](http://www.estec.esa.nl/ceos99/papers/p162.pdf)), 26-29.10.1999

Business Geomatics: Stau nicht mehr länger Schicksal, Business Geomatics, Landscape GmbH, Köln, 26.7.1999

Business Geomatics: Stauwarnungen aus dem All, Business Geomatics, Landscape GmbH, Köln, 26.7.1999

Business Geomatics: Deutsche und Briten gründen Infoterra, Business Geomatics, Landscape GmbH, Köln, 6.3.2000

Business Geomatics: Europäisches Fernerkundungsprogramm – Diagnose für Gaia, Business Geomatics, Landscape GmbH, Köln, 7.8.2000

Business Geomatics: Neue Luftbilder von Europa – Geodaten en Gros, Business Geomatics, Landscape GmbH, Köln, 25.9.2000

##### **C**

Caspary W., Reinhardt W.: GIS im Internet/Intranet, Mitteilungsblatt des Deutschen Vereins für Vermessungswesen (DVW), Landesverein Bayern e.V., 52 Jg., H. 4, 2000

CEOS: Towards an Integrated Global Observing Strategy, Committee on Earth Observation Satellites (CEOS) Yearbook, 1998

## D

- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR): Empfängermarktanalyse für die Satellitennavigation - Abschlußbericht, Förderkennzeichen NA 50 9804, 1998
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR): GNSS - Services and Modules in 2010 (G-SAM 2010)- Abschlußbericht, Förderkennzeichen 50NA9909, 50NA9910 und 50NA9914, 2000
- DoD/DoT: Federal Radionavigation Plan, 10<sup>th</sup> Edition, Department of Defense (DoD) and the Department of Transportation (DoT), 1999
- Duden: Duden – Die deutsche Rechtschreibung, Band 1, Dudenverlag, Mannheim – Leipzig – Wien - Zürich, 1996

## E

- Europäische Kommission: Galileo – Involving Europe in a New Generation of Satellite Navigation Service, Communication of the European Commission, 10.2.1999
- Europäische Kommission: Cost Benefit Analysis Results for Galileo, Commission Staff Working Paper, ([www.galileo-pgm.org](http://www.galileo-pgm.org)), 22.11.2000
- Europäische Kommission: Galileo Definition – Studies Summary, Global Satellite Navigation Services for Europe, 2001 (1)
- Europäische Kommission: Localisation of Mobile Users for Emergency Services (LOCUS), Deliverable 1: Overview of Location Services, ([www.telematica.de/locus/reports.html](http://www.telematica.de/locus/reports.html)), 19.2.2001 (2)
- Europäische Kommission: Präsentation: Galileo, Directorate General – TREN Transport and Energy, Galileo Unit (5B), Loran-C Workshop, Brüssel, 27.2.2001 (3)

## F

- Farin P.-A.: Watch your GPS, GPS World, Advanstar Communications, Eugene/Oregon, April 2001
- Fogy W.: Land Vehicle Navigation (Introduction), Symposium on Land Vehicle Navigation, Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation, Münster, 1984

## G

- Gabaglio V.: Two Different GPS-INS Approaches for Pedestrian Navigation, International Symposium on Location Based Services for Cellular Users (LOCCELLUS), Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation, München, 5-7.2.2001
- Galileo Industries: Brochure: Galileo Architecture, 2000
- GPS World Newsletter: USAF Awards GPS III Contracts, GPS World Newsletter, Advanstar Publications, Eugene/Oregon, 29.11.2000

## H

- Hein G.W., Eissfeller B., Winkel J.O., Oehler V.: Determining Location Using Wireless Networks, GPS World, Advanstar Communications, Eugene/Oregon, März 2001
- Herpel H.-J., Denskat U., Lau B., Leinhos D., Tiemeyer B., Lipp A.: Simulator Based Design and Validation of Positioning Systems (Best Paper Award), ESS 2000, Hamburg, 2000

Hofmann-Wellenhof B., Amlacher C., Legat K.: ARTIST - Austrian Radionavigation Technology and Integrated Satellite Navigation Services and Products Testbed, Bericht zu Teilprojekt 1, Stufe 2: EGNOS/Loran-C/Eurofix - Technologie, 2001

Hofmann-Wellenhof B., Legat K.: NavMobile – Integrated Navigation for Pedestrians. The mobileNAV Prototype and Possible Fields of Applications in Public Services, Graz, 2000

Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J.: GPS – Theory and Practice, 3<sup>rd</sup>. Revised Edition, Springer Verlag, Wien, New York, 1994

## I

Imaging Notes: Volume 15, No. 4, ([www.imagingnotes.com](http://www.imagingnotes.com)), Juli/August 2000

## J

Janecke J.: Rechnergesteuerte Betriebsleitsysteme RBL im öffentlichen Personennahverkehr, Kompendium der Verkehrstelematik, TÜV-Verlag, Köln, 1999

Janschek K.: TrafficEye – Satellitengestütztes Verkehrsmonitoring durch synergetische Nutzung von Navigation, Telekommunikation und Erdbeobachtung, Neustrelitzer High-Tech-Tage, 29-30.3.2000

Janschek K.: Satellitengestützte Verkehrsbeobachtung durch synergetische Nutzung von Telekommunikation und Erdbeobachtung, DGLR Jahrestagung, 1999

## K

Kahmen H.: Vermessungskunde, Sammlung Göschen, Walter de Gruyter Verlag, Berlin - New York, 1997

Konecny G., Schiewe J.: MOMS-02: Deutsche Erdbeobachtung aus dem Weltraum, Zeitschrift für Vermessungswesen, Heft 8, Deutscher Verein für Vermessungswesen, 1997.

Krakiwsky E.J.: Lecture Notes of the 2nd. Course on Intelligent Transportation Systems and Terrestrial Navigation, Institute of Geomatics, Barcelona, 17-18.5.1999

Kramer H.J.: Observation of the Earth and its Environment – Survey of Missions and Sensors, 3<sup>rd</sup> Edition, Springer, 1996

Kraus K., Schneider W.: Fernerkundung Band 1 – Physikalische Grundlagen und Aufnahmetechniken, Dümmler Verlag, Bonn, 1988

Kreft C.: Geographische Informationssysteme, Kompendium der Verkehrstelematik, TÜV-Verlag, Köln, 1999

Kügler D.: The Potential of Hybrid GPS/Loran-C Receivers, ILA 1997

## L

Laing R., Ruff B.: 3D-Stadtmodelle für den Mobilfunk, Historie, Entstehung, Qualitätssicherung und Einsatz bei T-Mobil, Der Vermessungsingenieur, H.5, 1998

Lechner W., Baumann S.: Loran-C/Eurofix/EGNOS Integration Test & Validation Programme (LOREG) – Concept and First Results, International Symposium on Location Based Services for Cellular Users (LOCELLUS), Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation, München, 5-7.2.2001

- Linde R., Siegle G. (Hrsg.): Telematik im Verkehr, R.v. Decker's Verlag, Heidelberg, 1996
- Linder W.: Geo-Informationssysteme - Ein Studien- und Arbeitsbuch. Springer-Verlag Heidelberg – Berlin - New York, 1999
- Linder W.: Programmbeschreibung LISA, Modul: Basis, Version 2.0, 2000
- Lobenberg G., Friedel S.: Flottenmanagement im Straßengüterverkehr, Kompendium der Verkehrstelematik, TÜV-Verlag, Köln, 1999

## **M**

- Müller G., Hohlweg G.: Telematik im Straßenverkehr, Springer, Berlin, 1995

## **N**

- Nagler T., Rott H.: Overview of Current and Planned Spaceborne Earth Observation Systems – The Report – Missions, Instruments, Orbits, Products, Indicative Costs, European Commission - Joint Research Centre – Space Applications Institute, Ispra, 1998
- NELS: Loran-C and the Northwest European Loran-C System, Booklet, The Northwest European Loran-C System Co-ordination Agency, Oslo, 1998

## **P**

- Parkinson B.W., Spilker J.J.Jr.: Global Positioning System: Theory and Applications – Volume I, American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc., Washington, 1996
- Parkinson B.W., Spilker J.J.Jr.: Global Positioning System: Theory and Applications – Volume II, American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc., Washington, 1996
- Peterson B., Dykstra K.: High Speed Loran-C Data Communications – 2001 Update, 2<sup>nd</sup> International Symposium on Integration of Loran-C/Eurofix and EGNOS/Galileo (LORAN 2001), Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation, Bonn, 20-21.2.2001
- Peterson B., McKaughan M.: Evaluation of Radionavigation Systems in an Urban Environment, 23<sup>rd</sup> Annual Technical Symposium of the International Loran Association, Newport, Rhode Island, 1-3.11.1994
- Poschadel P.: Der Markt für satellitengestützte Flottenmanagementsysteme – Technologie-betrachtung und Nutzungsszenarien, Diplomarbeit, Fachhochschule Karlsruhe Fachbereich Wirtschaftsinformatik, 1997

## **S**

- Salgado G., Abbondanza S., Blondel R., Lannelongue S.: A New Model – Constellation Availability, Galileo World, Advanstar Communications, Eugene/Oregon, Spring 2001
- Schlott S.: Fahrzeugnavigation, Die Bibliothek der Technik, Bd. 144, Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech, 1997
- Shaw M., Sandhoo K., Turner D.: Modernization of the Global Positioning System, GPS World, Advanstar Communications, Eugene/Oregon, September 2000
- Sherman C.L., Enge P.: Analysis of the Enhanced Loran-C Data Channel, 2<sup>nd</sup> International Symposium on Integration of Loran-C/Eurofix and EGNOS/Galileo (LORAN 2001), Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation, Bonn, 20-21.2.2001

- Siegle G.: Telematik im Verkehr, R.v. Decker's Verlag, Heidelberg, 1996
- Space Imaging Europe: IKONOS Products and Pricing from Space Imaging Europe, 2001
- Stanford D. et al.: The book on VSATs, Gilat Satellites Networks Ltd., Israel, 1995.
- Strauch J.: Automobile Navigation Using the Global Positioning System, University of Colorado ([www.ccar.colorado.edu/~stauch/gpsproj.html](http://www.ccar.colorado.edu/~stauch/gpsproj.html))
- Syrjärinne J.: Wireless-Assisted GPS – Keeping Time with Mobiles, GPS World, Advanstar Communications, Eugene/Oregon, Januar 2001

## **T**

- Telematica e.K.: Interner Bericht: Integrierte Navigation für Fußgänger - Abschlußbericht -Arbeitsschritt 2: Untersuchung und Definition der Anforderungen zur Verbesserung der Genauigkeit und Verfügbarkeit integrierter Navigationssysteme durch Auswertung der GPS Rohdaten und GPS Phasenauswertung, Linden, 1999
- TeleTraffic, telepublic Verlag, Hannover, Heft Mai – August 2001
- TU Braunschweig, Institut für Verkehr und Stadtbauwesen: TTS – Tele Travel System. Verkehrstelematiksystem zur automatischen Erfassung des Verkehrsverhaltens. Kurzfassung der Forschungsergebnisse, Braunschweig 2000

## **W**

- Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest (WSD SW): ARGO – Kurzbeschreibung, Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest, 2000
- Wood C., Mace O.: Dead Reckoning Keeps GPS in Line – Vehicle Positioning in Urban Environments, GPS World, Advanstar Communications, Eugene/Oregon, Mai 2001

## **Z**

- Zängl W.: Der Telematik-Trick, Raben Verlag, München, 1995
- Zentralverband des Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI): Automatisches Notrufsystem – Positionspapier, Zentralverband der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V., Verbandes der Automobilindustrie e.V. Deutscher Verkehrssicherheitsrat e.V., 1999

## 6.1.2 Internetangaben

### **A**

ADEOS [www.eorc.nasda.go.jp/ADEOS/WorldNow/images/ishikr11.gif](http://www.eorc.nasda.go.jp/ADEOS/WorldNow/images/ishikr11.gif)  
ADEOS II [www.eorc.nasda.go.jp/ADEOS-II](http://www.eorc.nasda.go.jp/ADEOS-II)  
ADEOS II [www.itc.nl/~bakker/launch-table.html](http://www.itc.nl/~bakker/launch-table.html)  
Artemis <http://spaceflightnow.com/ariane/v142/>

### **C**

CORBA [www.omg.org/gettingstarted/corbafaq.htm#TotallyNew](http://www.omg.org/gettingstarted/corbafaq.htm#TotallyNew)

### **D**

DDG [www.ddg.de/3\\_leist\\_5\\_datenerf\\_ses.html](http://www.ddg.de/3_leist_5_datenerf_ses.html)  
DFNP [www.BauNetz.de/bmvtbw/verkehr/funknav.htm](http://www.BauNetz.de/bmvtbw/verkehr/funknav.htm)  
DOP [www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps\\_f.html](http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html)

### **E**

E-112 [www.telematica.de/locus](http://www.telematica.de/locus)  
E-112 [www.telematica.de/cgalies](http://www.telematica.de/cgalies)  
EarlyBird [www.icg.tu-graz.ac.at/Erdbeobachtung/Rundschreiben/eb11\\_9803.html](http://www.icg.tu-graz.ac.at/Erdbeobachtung/Rundschreiben/eb11_9803.html)  
EGNOS [www.esa.int/EGNOS/pages/indexEST.htm](http://www.esa.int/EGNOS/pages/indexEST.htm)  
EGNOS [www.esa.int/export/esaSA/GGGE3A50NDC\\_navigation\\_1.html](http://www.esa.int/export/esaSA/GGGE3A50NDC_navigation_1.html)  
Eurofix [www.eurofix.tudelft.nl](http://www.eurofix.tudelft.nl)  
Eutelsat [www.eutelsat.org](http://www.eutelsat.org)

### **G**

Galileo [http://dailynews.yahoo.com/h/nm/20010405/sc/eu\\_galileo\\_dc\\_1.html](http://dailynews.yahoo.com/h/nm/20010405/sc/eu_galileo_dc_1.html)  
(Reuters)  
Garmin [www.garmin.de/Produktbeschreibungen/GPSEmap.html](http://www.garmin.de/Produktbeschreibungen/GPSEmap.html)  
Globalstar [www.aviationnow.com/avnow/news/channel\\_space.jsp?view=story&id=news/fglob0403.xml](http://www.aviationnow.com/avnow/news/channel_space.jsp?view=story&id=news/fglob0403.xml)  
Globalstar [www.globalstar.com/pages/about.html](http://www.globalstar.com/pages/about.html)  
GLONASS [http://gibs.leipzig.ifag.de/cgi-bin/glo\\_status.cgi?de](http://gibs.leipzig.ifag.de/cgi-bin/glo_status.cgi?de)  
GPS [http://gibs.leipzig.ifag.de/cgi-bin/gps\\_status.cgi?de](http://gibs.leipzig.ifag.de/cgi-bin/gps_status.cgi?de)  
GSM [www.gsmworld.com/gsminfo/index.htm](http://www.gsmworld.com/gsminfo/index.htm)  
Gyro NAVIgates [www.phytec.de/techtec/produkte/gps/gyro.htm](http://www.phytec.de/techtec/produkte/gps/gyro.htm)

### **I**

ICO [www.ico.com](http://www.ico.com)  
IKONOS [www.geog.umd.edu/landcover/cress/industry.htm](http://www.geog.umd.edu/landcover/cress/industry.htm)  
IKONOS <http://npoc.ee.ethz.ch/Archive/IKONOS/Samples.html>  
Induktionsschleifen [www.autoboersedeutschland.de/StaticHTML?template=news\\_0008](http://www.autoboersedeutschland.de/StaticHTML?template=news_0008)  
Induktionsschleifen [www.zeit.de/1999/15/199915\\_stau.html](http://www.zeit.de/1999/15/199915_stau.html)  
Induktionsschleifen [www.tack-fotografie.de/aktuell\\_telema.htm](http://www.tack-fotografie.de/aktuell_telema.htm)  
Infoterra [www.geostore.com/Welcome.html](http://www.geostore.com/Welcome.html)  
INMARSAT [www.inmarsat.org](http://www.inmarsat.org)  
Intelsat [www.intelsat.com](http://www.intelsat.com)  
Intelsat [www.spacer.com/spacecast/news/intelsat-98c.html](http://www.spacer.com/spacecast/news/intelsat-98c.html)  
Iridium [www.aviationnow.com/avnow/news/channel\\_finance.jsp?view=story&id=news/firi0328.xml](http://www.aviationnow.com/avnow/news/channel_finance.jsp?view=story&id=news/firi0328.xml)  
Iridium [www.intern.de/news/1125.html](http://www.intern.de/news/1125.html)  
Iridium [www.iridium.com](http://www.iridium.com)  
IRS [www.euromap.de/emimg/plmamst1.jpg](http://www.euromap.de/emimg/plmamst1.jpg)  
IRS [www.euromap.de/exam\\_036.htm](http://www.euromap.de/exam_036.htm)  
IRS [www.euromap.de/download/p\\_lisbo1.jpg](http://www.euromap.de/download/p_lisbo1.jpg)

IRS-1C/D Landsat TM	<a href="http://202.54.32.164/test/uiw/foreign.html">http://202.54.32.164/test/uiw/foreign.html</a>
<b>K</b>	
KFA-1000	<a href="http://www.eurimage.com/products/KFA_1000.html">www.eurimage.com/products/KFA_1000.html</a>
KVR-1000	<a href="http://www.eurimage.com/Products/KVR_1000.html">www.eurimage.com/Products/KVR_1000.html</a>
KVR-1000	<a href="http://www.eurimage.com/Products/images/kvr_1000/Dublin.jpg">www.eurimage.com/Products/images/kvr_1000/Dublin.jpg</a>
<b>L</b>	
LISA	<a href="http://www.uni-duesseldorf.de/WWW/MathNat/Geo/Lisa/">www.uni-duesseldorf.de/WWW/MathNat/Geo/Lisa/</a>
<b>M</b>	
Map-Matching	<a href="http://asrignc1.snu.ac.kr/~kimwuk/re_4.htm">http://asrignc1.snu.ac.kr/~kimwuk/re_4.htm</a>
MK-4	<a href="http://www.eurimage.com/Products/MK_4.html#ts">http://www.eurimage.com/Products/MK_4.html#ts</a>
MOMS	<a href="http://www.iaag.geo.uni-muenchen.de/agf/moms/m_pis.html">www.iaag.geo.uni-muenchen.de/agf/moms/m_pis.html</a>
MOMS-2P	<a href="http://www.iaag.geo.uni-muenchen.de/agf/moms/m_2p.html">www.iaag.geo.uni-muenchen.de/agf/moms/m_2p.html</a>
<b>N</b>	
NASA	<a href="http://observe.ivv.nasa.gov/nasa/education/reference/reflect/ir.html">http://observe.ivv.nasa.gov/nasa/education/reference/reflect/ir.html</a>
NavTech	<a href="http://www.navtech.com">www.navtech.com</a>
NavTech	<a href="http://www.navtech.com/coinfo/releases/276.html">www.navtech.com/coinfo/releases/276.html</a>
NavTech	<a href="http://www.navtech.com/coinfo/releases/277.html">www.navtech.com/coinfo/releases/277.html</a>
NextMap	<a href="http://www.ertico.com/links/nextmap.htm">www.ertico.com/links/nextmap.htm</a>
<b>O</b>	
Open GIS	<a href="http://www.ertico.com/links/nextmap.htm">www.ertico.com/links/nextmap.htm</a>
Orbcomm	<a href="http://www.orbcomm.com/newsroom/latestnews/pr-04-27-01.htm">www.orbcomm.com/newsroom/latestnews/pr-04-27-01.htm</a>
Orbcomm	<a href="http://www.ee.surrey.ac.uk/Personal/L.Wood/constellations/orbcomm.html">www.ee.surrey.ac.uk/Personal/L.Wood/constellations/orbcomm.html</a>
Orbcomm	<a href="http://www.orbcomm.com/">www.orbcomm.com/</a>
Orbview	<a href="http://www.orbimage.com/prods">www.orbimage.com/prods</a>
Orbview-1	<a href="http://www.orbimage.com/prods/orbview_1.html">www.orbimage.com/prods/orbview_1.html</a>
Orbview-2	<a href="http://www.orbimage.com/prods/orbview_2.html">www.orbimage.com/prods/orbview_2.html</a>
<b>P</b>	
Priroda	<a href="http://www.ire.rssi.ru/priroda/priroda.htm">www.ire.rssi.ru/priroda/priroda.htm</a>
<b>Q</b>	
Quickbird	<a href="http://www.geog.umd.edu/landcover/cress/industry.htm">www.geog.umd.edu/landcover/cress/industry.htm</a>
Quickbird	<a href="http://www.itc.nl/~bakker/launch-table.html">www.itc.nl/~bakker/launch-table.html</a>
QuickBird	<a href="http://biz.yahoo.com/bw/001114/az-motorol.html">http://biz.yahoo.com/bw/001114/az-motorol.html</a>
Quickbird	<a href="http://www.digitalglobe.com/products/qb_panchromatic.shtml">www.digitalglobe.com/products/qb_panchromatic.shtml</a>
<b>R</b>	
Radarsat	<a href="http://www.earth.nasa.gov/history/radarsat/radarsat1.html">www.earth.nasa.gov/history/radarsat/radarsat1.html</a>
Radarsat	<a href="http://www.rsi.ca/info/press/2001/nr_vex_020601.htm">www.rsi.ca/info/press/2001/nr_vex_020601.htm</a>
Radarsat-2	<a href="http://radarsat.mda.ca/products/index.shtml">http://radarsat.mda.ca/products/index.shtml</a>
Radarsat-2	<a href="http://radarsat.mda.ca/overview.shtml">http://radarsat.mda.ca/overview.shtml</a>
RDS/TMC	<a href="http://www.telematik.de/bmw/deutsch/fd_rds.htm">www.telematik.de/bmw/deutsch/fd_rds.htm</a>
Resource 21	<a href="http://www.boeing.com/news/releases/1997/news.release.970205a.html">www.boeing.com/news/releases/1997/news.release.970205a.html</a>
CSIC	<a href="http://www.rssi.ru/sfcsic/english">www.rssi.ru/sfcsic/english</a>
<b>S</b>	
SA	<a href="http://www.igeb.gov/sa/diagram.shtml">www.igeb.gov/sa/diagram.shtml</a>
Satellitenstarts	<a href="http://www.itc.nl/~bakker/launch-table.html">www.itc.nl/~bakker/launch-table.html</a>
SPOT	<a href="http://infoterra-global.com/SPOT%20Panchromatic%20.html">http://infoterra-global.com/SPOT%20Panchromatic%20.html</a>

**T**

Tegaron [www.tegaron.de/cgi-bin/presse\\_anzeigen2.pl?action=show&nr=2](http://www.tegaron.de/cgi-bin/presse_anzeigen2.pl?action=show&nr=2)  
Tele Atlas [www.TeleAtlas.com](http://www.TeleAtlas.com)  
TerraSAR [www.spacedaily.com/news/astrium-00c.html](http://www.spacedaily.com/news/astrium-00c.html)

**U**

UMTS [www.umts-forum.org](http://www.umts-forum.org)

**V**

Videoerfassung [www.hoehr.de](http://www.hoehr.de)  
VSAT Forum [www.gvf.org](http://www.gvf.org)

## 6.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Entwicklung des Güterverkehrs in Deutschland zwischen 1991-1998	8
Abbildung 2	Problematik der Abschattung von Satellitensignalen durch Gebäude	11
Abbildung 3	Gegenüberstellung von konventioneller Simulation und Simulation unter Berücksichtigung eines 3D-Stadtmodells - Skizze	12
Abbildung 4	Gegenüberstellung von konventioneller Simulation und Simulation unter Berücksichtigung eines 3D-Stadtmodells - Foto	12
Abbildung 5	Bestandsaufnahme des europäischen GNSS-Marktes (1999)	21
Abbildung 6	GNSS Marktprognosen für Europa bis 2005	22
Abbildung 7	Globaler Markt für Fahrzeugnavigationssysteme 1997-2003	22
Abbildung 8	Globaler Markt für Flottenmanagementsysteme 1997-2003	23
Abbildung 9	Globaler Markt für ÖPNV-Systeme 1997-2003 <sup>10</sup>	23
Abbildung 10	Einsatzmöglichkeiten satellitengestützter Verfahren in der Verkehrstelematik	25
Abbildung 11	Induktionsschleifen zur Erfassung von Verkehrsinformationen	28
Abbildung 12	Funktionsweise des Map-Matching Verfahrens	31
Abbildung 13	Loran-C Abdeckung im NELS-Gebiet	32
Abbildung 14	Funktionsweise der Hyperbelnavigation	32
Abbildung 15	Potentielle Ausbaustufen von Eurofix	35
Abbildung 16	Funktionsprinzip der Zellenortung (STK)	36
Abbildung 17	Funktionsprinzip des Timing Advance (TA)	37
Abbildung 18	Funktionsprinzip des Time of Arrival (TOA) Verfahrens <sup>21</sup>	37
Abbildung 19	Funktionsprinzip des Angle of Arrival (AOA) Verfahrens	38
Abbildung 20	Funktionsprinzip des E-OTD/OTDOA Verfahrens	39
Abbildung 21	Funktionsprinzip von A-GPS <sup>23</sup>	39
Abbildung 22	Vergleich der GPS-Genauigkeit vor und nach der Abschaltung der SA am 1.5.2000	44
Abbildung 23	GDOP: Schlechte Geometrie (links) – Gute Geometrie (rechts)	45
Abbildung 24	Zeitplan Galileo	49
Abbildung 25	Ergebnis der Anforderungsanalyse für Galileo	49
Abbildung 26	EGNOS Funktionsprinzip	53
Abbildung 27	EGNOS Systemarchitektur	53
Abbildung 28	Vergleich der GSM-Netzabdeckung zwischen Viag Interkom (links) und T-Mobil (rechts)	57
Abbildung 29	Preisentwicklung für VSAT-Geräte (1985 –2000)	62
Abbildung 30	INMARSAT-Antenne für Landverkehrsanwendungen	63
Abbildung 31	Eutelsat-Konstellation	64
Abbildung 32	Down-Link Leistung des Eutelsat-Satelliten über 10°E <sup>54</sup>	64
Abbildung 33	Iridium Satellitenkonstellation	66
Abbildung 34	Globalstar Satellitenkonstellation	67
Abbildung 35	Orbcomm-Konstellation and Spotbeams	68

Abbildung 36	Teledesic Satellitenkonstellation (ältere Variante mit 840 Satelliten)	69
Abbildung 37	Autobahnrastplatz (1) und –auffahrten (2), Park and Ride Stationen (3)	73
Abbildung 38	Tankstellen <sup>63</sup>	73
Abbildung 39	Flughafen (Stuttgart), Bahnhof (München) <sup>63</sup>	73
Abbildung 40	Freibad (1), Parkplatz (2), Biergarten (3) (München, Ostpark)	74
Abbildung 41	Park- (1), Tennis- (2), Sportplätze (3), Stadium (4) (München) <sup>64</sup>	74
Abbildung 42	Campingplatz (Hamburg-Schnelsen), Golfplatz (Ahrensberg)	75
Abbildung 43	Identifizierbarkeit von Objekten bei unterschiedlichen räumlichen Auflösungen	77
Abbildung 44	DDG-Brückensensor zur Erfassung von Verkehrsinformationen	80
Abbildung 45	Videosystem zur Erfassung von Verkehrsinformationen	80
Abbildung 46	Luftbildbeispiel – Düsseldorf	82
Abbildung 47	Abhängigkeit der erkennbaren Objektgröße von der Flughöhe	84
Abbildung 48	Skizze: Abhängigkeit der räumlichen Auflösung von Orbithöhe und Schwenkwinkel (Scanner)	85
Abbildung 49	Abhängigkeit der räumlichen Auflösung (PAN) von der Orbithöhe	86
Abbildung 50	Abhängigkeit der räumlichen Auflösung (PAN) vom Schwenkwinkel des Sensors	87
Abbildung 51	Skizze: Abhängigkeit der räumlichen Auflösung von Orbithöhe und Schwenkwinkel (SAR)	88
Abbildung 52	Einfluß der Orbithöhe auf die räumliche Auflösung bei SAR	89
Abbildung 53	Einfluß des Schwenkwinkels auf die räumliche Auflösung bei SAR	89
Abbildung 54	Spektralbereiche elektromagnetischer Wellen	90
Abbildung 55	Spektralauflösung der MK-4	92
Abbildung 56	KVR-1000 Aufnahme - Dublin	93
Abbildung 57	Kosmos - Düsseldorf	94
Abbildung 58	SPOT PAN - Windsor	96
Abbildung 59	Abbildung IRS-1C PAN - Hamburg	98
Abbildung 60	Abbildung IRS-1C LISS-III-PAN Merge - Amsterdam	98
Abbildung 61	Abbildung IRS-1D PAN - Lissabon	99
Abbildung 62	ADEOS Szene - Ishikari, Japan	100
Abbildung 63	MOMS-2P Szene - Livorno und Pisa	101
Abbildung 64	IKONOS - Luzern	103
Abbildung 65	IKONOS – Washington	104
Abbildung 66	Übersicht des Ablaufs der durchgeführten Simulationen	111
Abbildung 67	Testgebiet Ramersdorf	116
Abbildung 68	Luftbild Ramersdorf (nördlicher Ausschnitt)	116
Abbildung 69	Testgebiet Schwabing	117
Abbildung 70	Luftbild Schwabing (nördlicher Ausschnitt)	117
Abbildung 71	Testgebiet Lehel	118
Abbildung 72	Luftbild Lehel	118
Abbildung 73	Testgebiet Neuperlach 1	119
Abbildung 74	Luftbild Neuperlach 1 (nördlicher Ausschnitt)	119

Abbildung 75	Luftbild Neuperlach 2 (nördlicher Ausschnitt)	120
Abbildung 76	Testgebiet Moosfeld	121
Abbildung 77	Luftbild Moosfeld	121
Abbildung 78	Aktualität der GIS Komponenten	123
Abbildung 79	Übersicht der durchgeführten GIS-Operationen	126
Abbildung 80	Überlagerung des Oberflächen- und Gebäude-DGMs	129
Abbildung 81	Abschattungskarten für acht Azimutrichtungen (Lehel)	130
Abbildung 82	Fläche der Testgebiete	130
Abbildung 83	Verteilung der digitalisierten Punkte auf die Testgebiete	131
Abbildung 84	Skizze: Umrechnung der Abschattungswinkel	133
Abbildung 85	SBSTools Architektur	134
Abbildung 86	Online Visualisierung der Satelliten-Ground-Tracks	135
Abbildung 87	Online Visualisierung der Satellitenorbits <sup>119</sup>	135
Abbildung 88	Globale Satellitensichtbarkeit	136
Abbildung 89	Auswertemenü Fahrtstrecken/Einzelpunkte <sup>120</sup>	136
Abbildung 90	Vergleich GPS und Galileo bei einer Sichtbarkeit von >2 Satelliten	144
Abbildung 91	Vergleich GPS und Galileo bei einer Sichtbarkeit von >3 Satelliten (HDPO<4)	144
Abbildung 92	Ergebnis der Kurzzeitsimulation	146
Abbildung 93	EGNOS-Verfügbarkeit (Gesamt)	147
Abbildung 94	Verfügbarkeit von 1-3 EGNOS Satelliten	147
Abbildung 95	EGNOS-Verfügbarkeit (nach Testgebieten)	148
Abbildung 96	EGNOS-Verfügbarkeit/Abschattung S (Neuperlach2)	148
Abbildung 97	Kombinierte Nutzung von EGNOS und GPS/Galileo	149
Abbildung 98	DGM Innsbruck	150
Abbildung 99	AOR-E Verfügbarkeit (Innsbruck) <sup>122</sup>	150
Abbildung 100	IOR Verfügbarkeit (Innsbruck) <sup>122</sup>	150
Abbildung 101	EGNOS-Verfügbarkeit in Abhängigkeit vom Relief	151
Abbildung 102	Globalstar Verfügbarkeit	152
Abbildung 103	Globalstarverfügbarkeit für 1-4 Satelliten	152
Abbildung 104	Luftbild Akademiestraße	153
Abbildung 105	Satellitensichtbarkeit im Gebiet Akademiestraße	154
Abbildung 106	Fahrtroute Akademiestraße (Erläuterung der Satellitensichtbarkeit)	154
Abbildung 107	Einfluß der Straßenexposition auf die Satellitenverfügbarkeit	156
Abbildung 108	HDOP Verteilung entlang der Fahrtroute Akademiestraße	157
Abbildung 109	Fahrtroute Akademiestraße (Erläuterung der HDOPs)	157
Abbildung 110	Langzeitsimulation der GPS, Galileo und GPS+Galileo Verfügbarkeit (Akademiestraße)	159
Abbildung 111	GPS-Handempfänger – Garmin emap	160
Abbildung 112	Ergebnis der GPS-Messungen entlang der Fahrtroute Akademiestraße	160
Abbildung 113	Luftbild und Photo vom Geschwister Scholl Platz	161
Abbildung 114	Satellitensichtbarkeit am Geschwister Scholl Platz	162

Abbildung 115	Fahrtroute am Geschwister Scholl Platz	162
Abbildung 116	Beispiele zur Geometrie von Bebauungsstrukturen in verschiedenen Städten	166

### 6.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Übersicht verschiedener Fahrzeugnavigationssysteme (Auszug)	16
Tabelle 2	Übersicht verschiedener Diebstahlschutzsysteme	18
Tabelle 3	Globaler Straßenverkehrstelematik-Markt, 1997	21
Tabelle 4	Anforderungen der Straßenverkehrstelematikanwendungen an die Positionsbestimmung	26
Tabelle 5	Kombinationsmöglichkeiten von Loran-C im TOE-Modus mit GPS	33
Tabelle 6	Fehlereinflüsse der Pseudorange-Messung bei GPS	43
Tabelle 7	Fehlerquellen und -größen für GPS und DGPS	51
Tabelle 8	Typische Positionsgenauigkeiten für GPS, DGPS und RTK	52
Tabelle 9	Anforderungen der Straßenverkehrstelematikanwendungen an das Kommunikationssystem	56
Tabelle 10	Übersicht der LEO-Kommunikationssysteme	70
Tabelle 11	Kostenvergleich verschiedener Kommunikationssysteme	71
Tabelle 12	Anforderungen zur Erfassung verkehrsrelevanter Objekte hinsichtlich der räumlichen Auflösung	77
Tabelle 13	Zusammenstellung der Anforderungen zur Erfassung verkehrsrelevanter Objekte	79
Tabelle 14	Abhängigkeit der erkennbaren Objektgröße von der Kammerkonstanten	85
Tabelle 15	Zusammenstellung von Erdbeobachtungsmissionen mit einer räumlicher Auflösung von $\leq 10\text{m}$	91
Tabelle 16	Übersicht militärischer Erdbeobachtungssatelliten	92
Tabelle 17	Produkte und Preise der Kosmosdaten	94
Tabelle 18	Preise der SPOT-Daten	96
Tabelle 19	Preise für IKONOS-Produkte	103
Tabelle 20	Preisentwicklung für IRS-1C/D und Landsat TM Daten	110
Tabelle 21	Übersicht der Bebauungsmerkmale in den verschiedenen Testgebieten	115
Tabelle 22	Das Vierkomponenten-Modell eines GIS	122
Tabelle 23	Höhen der Testgebiete	133
Tabelle 24	Datenformatierung in das SATNAVsim-Format	138
Tabelle 25	Langzeitsimulationen für GPS und Galileo	140
Tabelle 26	Datenreduktion für GPS-Simulation	141
Tabelle 27	Datenreduktion für Galileo-Simulation	142
Tabelle 28	Vergleich GPS – Galileo	143
Tabelle 29	Ergebnis der Einzelpunktsimulation	145
Tabelle 30	Anforderungen an die Positionsbestimmung in der Luftfahrt	200
Tabelle 31	Anforderungen an die Positionsbestimmung in der Schifffahrt	203
Tabelle 32	Anforderungen an die Positionsbestimmung in der Binnenschifffahrt	205
Tabelle 33	Anforderungen an die Positionsbestimmung im Schienenverkehr	206

## 6.4 Abkürzungen

### A

ABS	Anti-Blockiersystem
ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil Club
ADAS	Advanced Driver Assistance Service
ADEOS	Advanced Earth Observing Satellite, operated by NASDA
AdV	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Bundesrepublik Deutschland
Aena	Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea
AFSCN	Air Force Satellite Control Network
A-GPS	Assisted GPS
All	Accuracy Improvement Initiative
AIS	Automatic Identification System
AOA	Angle of Arrival
AOR-E	Atlantic Ocean-East (INMARSAT Satellit)
ARGO	Eigename nach dem Schiff Argo der griech. Argonautensage, steht aber auch für Advanced River Navigation
ARTIST	Austrian Radionavigation Technology and Integrated Satellite Navigation Services and Products Testbed
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ASF	Additional Secondary Factors
AutoNav	Autonomous Navigation
AV	Räumliches Auflösungsvermögen
AVNIR	Advanced Visible and Near Infrared Radiometer

### B

BAE	British Aerospace
BAZL	Bundesamt für Zivilluftfahrt (Schweiz)
BMVBW	Bundesministerium für Verkehr-, Bau- und Wohnungswesen
BMW	Bayrische Motoren Werke
BOS	Behörden mit Ordnungs- und Sicherheitsaufgaben
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

### C

C/A-Code	Coarse/Acquisition Code
CA	Conditional Access
CAT	Category, Klassifizierung von Anflugverfahren in drei Klassen

CCD	Charge Coupled Device
CCT	Computer Compatible Tape
CDMA	Code Division Multiplex Access
CD-ROM	Compact Disc-Read Only Memory
CEN TC	Comité Européen de Normalisation Technical Committee
CEOS	Committee on Earth Observation Satellites
CEPT	Conférence Européenne des Administrations des Postes et Télécommunications
CHA	Channel of High Accuracy
CORBA	Common Object Request Broker Architecture
CPU	Central Processing Unit
CS	Commercial Service (Galileo)
CSA	Canadian Space Agency
CSA	Channel of Standard Accuracy

## **D**

DAB	Digital Audio Broadcast
dBASE	Eigenname: Datenformat der Firma Ashton-Tate
DDG	DDG Gesellschaft für Verkehrsdaten mbH
DFNP	Deutscher Funknavigations Plan
DG	Directorate General
DGK5	Deutsche Grundkarte 1:5 000
DGM	Digitales Gelände Modell
DGNSS	Differential Global Navigation Satellite System
DGPS	Differential GPS
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DME	Distance Measuring Equipment
DoD	Department of Defense
DOP	Dilution of Precision
DoT	Department of Transportation
dpa	deutsche Presse Agentur
DSRC	Dedicated Short Range Communication
DUAU	Data Base Update and Access Unit
DVOR	Doppler VHF Omnidirectional Radio Range

## **E**

E-112	Enhanced 112 (Europa)
E-911	Enhanced 911 (USA)

EADS	European Aeronautic Defence and Space Company
EC	European Commission
ECDIS	Electronic Chart and Display System
ECUREV	EC User Requirements and EGNOS Validation
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay System
E-Mail	Electronic Mail
EOC	Earth Observation Centre, Japan
E-OTD	Enhanced Observed Time Difference
ERNP	European Radionavigation Plan (Baseline)
ERTICO	European Transport Telematics Implementation Co-ordination Organisation
ERTMS	European Rail Traffic Management System
ESA	European Space Agency
ESTB	EGNOS Test Bed
ETCS	European Train Control System
ETG	European Tripartite Group
ETSI	European Telecommunication Standardization Institute
EU	Europäische Union
EUREKA	Eigenname: Europewide Network for Industrial R&D
EWAN	EGNOS Wide Area Network

## **F**

FAA	Federal Aviation Administration
FCC	Federal Communications Commission
FCD	Floating Car Data
FDMA	Frequency Division Multiplex Access
FOC	Full Operational Capability
FRP	Federal Radionavigation Plan
ft	Feet, 31,44cm
FTE	Flight Technical Error

## **G**

GAF	Gesellschaft für angewandte Fernerkundung
GALA	Galileo Overall Architecture Definition
Galileo	Eigenname: geplantes ziviles Europäisches Satellitennavigationssystem
GalileoSat	Eigenname: ESA-Studie, Galileo Space Segment and related Ground Segment
GAST	Galileo Architecture Support Team
GBAS	Ground Based Augmentation System

GDF	Geographic Data Files
GDOP	Geometric Dilution of Precision
GEMINUS	Galileo European Multi-Modal Integration Navigation Service
GENESIS	Galileo European Network of Experts to Support the European Commission
GEO	Geostationary Earth Orbit
GIS	Geographisches Informations System
GLONASS	Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (Global Navigation Satellite System)
GNSS	Global Navigation Satellite System
GNSS-1	Global Navigation Satellite System-Ausbaustufe 1: GPS, GLONASS, EGNOS, WAAS, MSAS
GNSS-2	Global Navigation Satellite System-Ausbaustufe 2: GPS, GLONASS, EGNOS, WAAS, MSAS + Galileo
GPRS	General Packed Radio System
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communication
GUST	Galileo Use Support Transport

## H

HDF	Hierarchical Data Format
HDOP	Horizontal Dilution of Precision
HR-PAN	High Resolution Panchromatic Sensor
HRV	High Resolution Visible Sensor
HRV-P	High Resolution Visible Sensor-Panchromatisch
HSC	High Speed Craft

## I

ICAO	International Civil Aviation Organisation
ICE	InterCity-Express
ICO	Eigename: ICO Global Communications
ID	Identity
ILS	Instrument Landing System
IMO	International Maritime Organization
IN	Intelligent Network
INC	Intelsat New Company
INKAS	Integriertes Kunden Informations System für Auskunft, Sicherheit und Service
INMARSAT	International Maritime Satellite Organization
INTEG	Integration of EGNOS into Galileo

IOC	Initial Operational Capability
IOR	Indian Ocean Region (INMARSAT Satellit)
IRS	Indian Remote Sensing Satellite
ISL	Inter Satellite Link
ISO	International Standardisation Organisation
ISO TC	International Standardisation Organisation Technical Committee
ISS	International Space Station
IST	Information Society Technology Programme (EC)
ITU	International Telecommunication Union

## **J**

JCAB	Japanese Civil Aviation Bureau
JPO	Joint Programme Office (GPS)

## **K**

KFA-1000	Typenbezeichnung: rußische Fernerkundungskamera (1000mm Brennweite)
kn	Knoten, 1NM/Stunde
KVR-1000	Typenbezeichnung: rußische Fernerkundungskamera (1000mm Brennweite)

## **L**

LEO	Low Earth Orbit
LISA	Eigename: Software für GIS und Photogrammetrie
LISS	Linear Imaging Self Scanning Sensor
LMU	Location Measurement Units
Loran-C	Long Range Navigation-C
LOREG	Loran-C/Eurofix/EGNOS Integration Test and Validation Programme
LoS	Line of Sight
lp/mm	Linienpaare/Millimeter
LVA	Landesvermessungsamt

## **M**

MAGIC	Mobile and Automotive Geographic Information Core Services
MCC	Master Control Centre
M-Code	Military-Code
MEO	Medium Earth Orbit
MK-4	Metric Kamera (4 Bänder)
MLS	Microwave Landing System

MOMS	Modularer Optoelektronischer Multispektral Scanner
MS	Motor Schiff
MSAS	MTSAT based Satellite Augmentation System
MTSAT	Multi Transport Satellite

## N

NASA	National Aeronautic and Space Agency
NASDA	National Space Development Agency, Japan
NATO	North Atlantic Treaty Organisation
NAVSTAR GPS	Navigation System with Time and Ranging Global Positioning System
NDB	Non Directional Beacon
NDC	NRSA Data Centre
NELS	Northwest European Loran-C System
NGSO FSS	Non-Geostationary Fixed Satellite Services
NIMA	National Imagery and Mapping Agency
NIR	Near Infrared (Spektralbereich: 0,75 $\mu$ m~1.3 $\mu$ m)
NLES	Navigation Land Earth Station
NM	Nautische Meile, 1,852km
NN	Normal Null
NPA	Non Precision Approach
NRSA	National Remote Sensing Agency (Indien)

## O

OGC	Open GIS Consortium
ÖPNV	Öffentlicher Personen Nahverkehr
OS	Open Service (Galileo)
OTDOA	Observed Time Difference of Arrival

## P

PAN	Panchromatic
P-Code	Precise-Code
PDA	Personal Digital Assistant
PDOP	Precision Dilution of Precision
Pkm	Personenkilometer
POI	Point of Interest
PPP	Public Private Partnership
PRN	Pseudo Random Code

PRS Public Regulated Services (Galileo)  
PSM Pan Sharpened Merge  
PZ Parametry Zemli

## **Q**

QBP QuickBird Panchromatic Instrument

## **R**

RAIM Receiver Autonomous Integrity Monitoring  
RDS Radio Data System  
RIMS Ranging and Integrity Monitoring Station  
RMK Reihenmeßkamera  
RMS Root Mean Square  
RNP Required Navigation Performance  
RTCA SC Radio Technical Commission for Aviation Special Committee  
RTCM SC Radio Technical Commission for Maritime Special Committee

## **S**

SA Selective Availability  
SAGA Standardisation Activities for Galileo  
SANDY Satelliten Handy  
SAPHIRE Satellite and Aircraft Database Programme for System Integrity Research  
SAPOS Satellitenpositionierungsdienst der AdV  
SAR Synthetic Aperture Radar  
SARD System Architecture and Requirements Definition  
SARGAL Study for Search and Rescue in Galileo  
SATNAVsim Satellite Navigation simulation (Software der Astrium GmbH)  
SBAS Space Based Augmentation System  
SBSTools SpaceBorne Systems simulation Tools  
SES Stationäres Erfassungssystem  
SIM Subscriber Identity Module  
SISRE Signal in Space Range Error  
SMS Short Message Service  
SOL Safety of Life  
SPOT Satellite Pour l'Observation de la Terre  
SPS Standard Positioning Service  
SQL Structured Query Language  
STORM Stuttgart Transport Operation by Regional Management  
SVN Space Vehicle Number

SWIR Short Wave Infrared, Wellenlänge ~1,3 $\mu$ m~3,0 $\mu$ m

## **T**

TA Timing Advance  
TACAN Tactical Air Navigation  
TDOP Time Dilution of Precision  
TEN Trans European Networks  
TETRA Trans European Trunked Radio  
TETRA PMR Trans European Trunked Radio Professional Mobile Radio  
TK10 Topographische Karte 1:10 000  
TK-350 Topographische Kamera (350mm Brennweite)  
TMC Traffic Message Channel  
TOA Time of Arrival  
TOE Time of Emission Control  
TSE Total System Error  
TTFF Time to First Fix  
TTS TeleTravelSystem

## **U**

UMTS Universal Mobile Telecommunication System  
UNO United Nations Organisation  
URL Universal Ressource Locator  
USAF United States Air Force  
USCG United State Coast Guard  
USNO United States Naval Observatory  
UTC Universal Coordinated Time  
UTC-SU Universal Coordinated Time-Soviet Union  
UTC-USNO Universal Coordinated Time-United States Naval Observatory  
UTM Universal Transverse Mercator  
UV Ultraviolett (Spektralbereich)

## **V**

VDO Vereinigte DEUTA-OTA  
VDOP Vertical Dilution of Precision  
VHF Very High Frequency  
VHRC Very High Resolution Camera  
VICS Vehicle Information and Communication Systems  
VIS Visible (Spektralbereich: 0,4 $\mu$ m-0,75 $\mu$ m)

VOR VHF Omnidirectional Radio Range  
VSAT Very Small Aperture Terminal  
VTS Vessel Traffic Services

## **W**

WAAS Wide Area Augmentation System  
WAP Wireless Application Protocol  
WGS 84 World Geodetic System 1984  
WRC World Radio Conference  
WSD Wasser- und Schifffahrtsdirektion  
WSD-SW Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest

## **X**

xFCD Extended Floating Car Data

## **Y**

Y-Code Eigenname: verschlüsselter GPS-Code

## **6.5 Stichwortverzeichnis**

Abschattung	11
Assisted-GPS (A-GPS)	39
Baken	27
Bidirektionale Kommunikation	24
Broadcast	57
Bündelfunk	59
Digitale Straßenkarte	29
DOP	208
EGNOS	52
Eurofix	31
Floating Car Data (FCD)	16
Flottenmanagement	18
Galileo	48
GBAS	50
GEO	61
Geographisches Informationssystem (GIS)	122
GLONASS	47
GPRS	60
GPS	40
GSM	60
Hand-Over	11
Hyperbelnavigation	32
Intermodal	20
Koppelnavigation	28
Kurzzeitsimulation	145
Langzeitsimulation	139
LEO	66
LISA	124
Loran-C	31
Map-Matching	29
MEO	65
Merge	97
MSAS	54
Navigation	24
ÖPNV	19
Ortung	24
Parameter der Positionsbestimmung	26

Parkraummanagement	19
Positionsbestimmung	24
Positionsbestimmung mittels Mobilfunk	36
Radionavigationsplan	25
Räumliche Auflösung	77
SatNavSim	134
SBAS	52
Simulation	11
SMS	60
Spektrale Auflösung	90
Telematik	9
UMTS	61
Unidirektionale Kommunikation	24
Verkehrstelematik	14
WAAS	54
Zusatzsensoren	29

## **6.6 Weitere Anwendungen**

### **6.6.1 Luffahrt**

#### **6.6.1.1 Anwendungen**

In der Luffahrt lassen sich folgende Anwendungen, die durch die verschiedenen Flugphasen bestimmt sind, unterscheiden:

Im **Streckenflug** dient die Funknavigation der Einhaltung des zugeteilten Luftraumes und des Mindestabstandes zu anderen Flugzeugen. Dabei ist zu beachten, daß landgestützte Funknavigationsverfahren nur über Kontinenten bzw. in deren Randgebieten uneingeschränkt verfügbar sind, während satellitengestützte Navigationssysteme global genutzt werden können.

Bei **Start, Anflug und Landung** werden meist spezielle Funknavigationsverfahren eingesetzt, die an den jeweiligen Flughäfen installiert sind und über eine beschränkte räumliche Reichweite verfügen. Je nach Ausstattung von Flughafen und Flugzeug sind Anflüge und Landungen bei unterschiedlichen Witterungsverhältnissen möglich (Category (CAT) I – III).

Bei der **Rollfeldführung** kommen im verstärkten Maße Funknavigationsverfahren zum Einsatz und unterstützen oder ersetzen die konventionelle Navigation im Flughafenbereich durch Lotsenanweisungen. Der Rollverkehr zwischen Start-/Landebahn und Terminal kann dadurch, speziell bei schlechten Sichtverhältnissen, effektiver und sicherer gestaltet werden (BMVBW, 1999).

#### **6.6.1.2 Anforderungen**

Die Anforderungen für die unterschiedlichen Flugphasen werden durch die International Civil Aviation Organisation (ICAO) mittels der Definition von Required Navigation Performance (RNP) Parametern festgelegt.

RNP	Flugabschnitt	Genauigkeit <sup>130</sup> lateral / vertikal	äußerste Flugweg- begren- zung <sup>131</sup> lateral / vertikal	Integrität (%)	Konti- nuität	Verfü- barkeit (%)	Time- to- Alarm
RNP 1	Streckenflug, Übergang Start und Landung	$\pm 1$ NM <sup>132</sup>					
RNP 0,5	Anfangsanflug und Abflug	$\pm 0,5$ NM	$\pm 1$ NM	$1-1 \cdot 10^{-5}$ /Stunde	$1-1 \cdot 10^{-4}$ /Stunde	95	
RNP 0,3	Anfangs- oder Zwischenanflug, nicht präziser Anflug, Abflug	$\pm 0,3$ NM	$\pm 0,6$ NM	$1-1 \cdot 10^{-5}$ /Stunde	$1-1 \cdot 10^{-4}$ /Stunde	95	
RNP 0,3/125	Gerader nicht präziser Anflug	$\pm 0,3$ NM/ 125 ft <sup>133</sup>	$\pm 0,6$ NM/ $\pm 250$ ft	$1-1 \cdot 10^{-5}$ /Stunde	$1-1 \cdot 10^{-4}$ /Stunde	95	
RNP 0,13/50	Präziser Anflug oberhalb von 100m (350 ft) über der Landebahnschwelle (CAT I)	$\pm 0,03$ NM/ 50 ft	$\pm 0,09$ NM/ $\pm 150$ ft	$1-3,5 \cdot 10^{-7}$ /Anflug	$1-1 \cdot 10^{-5}$ /15s	99,75	6s
RNP 0,02/40	Präziser Anflug oberhalb von 60m (200 ft) über der Landebahnschwelle (CAT I)	$\pm 0,02$ NM/ 40 ft	$\pm 0,06$ NM/ $\pm 120$ ft	$1-3,5 \cdot 10^{-7}$ /Anflug	$1-1 \cdot 10^{-5}$ /15s	99,75	6s
RNP 0,01/15	Präziser Anflug oberhalb von 30m (100 ft) über der Landebahnschwelle (CAT II)	$\pm 0,01$ NM/ 15 ft	$\pm 0,03$ NM/ $\pm 45$ ft	$1-2,5 \cdot 10^{-9}$ /Anflug	$1-6 \cdot 10^{-6}$ /15s	99,85	1s
RNP 0,003	Präziser Anflug unterhalb 30m (100 ft) über der Landebahnschwelle (CAT III)	$\pm 0,003$ NM	$\pm 0,009$ NM	$1-2 \cdot 10^{-9}$ /Anflug	$1-6 \cdot 10^{-6}$ /30s	99,9	1s

Tabelle 30 Anforderungen an die Positionsbestimmung in der Luftfahrt<sup>134</sup>

### 6.6.1.3 Systeme

In der Luftfahrt werden neben terrestrischen Funknavigationsverfahren wie z.B.:

- Non Directional Beacon (NDB)
- VHF Omnidirectional Radio Range (VOR) / Doppler VOR (DVOR)
- Distance Measuring Equipment (DME)
- Instrument Landing System (ILS)
- Microwave Landing System (MLS)
- Long Range Navigation-C (Loran-C)

<sup>130</sup> Information: Die aufgeführten Parameter beziehen sich auf das Gesamtsystem (Total System Error (TSE)), d.h. bei den Genauigkeitsforderungen sind die Fehlerkomponenten der Signalquellen (Boden-, Raumsegmente), der Bordkomponenten, Ausbreitungsfehler und flugtechnische Fehler (Flight Technical Error (FTE)) zu berücksichtigen. (Einzelne Werte gelten nur lateral)

<sup>131</sup> Information: Die äußerste Flugwegbegrenzung beschreibt den Luftraum senkrecht zur Flugrichtung, den das Flugzeug mit einer Wahrscheinlichkeit von  $10^{-5}$  (RNP 1 – RNP 0,3) bzw.  $10^{-7}$  (andere RNP's) nicht verlassen darf. Die genannten Wahrscheinlichkeiten beinhalten keine Luftfahrzeugabmessungen, jedoch Integritäts- und Kontinuitätsfehler des Gesamtsystems. (Einzelne Werte gelten nur lateral)

<sup>132</sup> Information: Nautische Meile, 1,852km

<sup>133</sup> Information: feet, 31,44cm

<sup>134</sup> Literatur: BMVBW, 1999

- Tactical Air Navigation (TACAN) für militärische Nutzer

in zunehmendem Maße satellitengestützte Systeme eingesetzt. Ergänzt werden die Funknavigationssysteme durch bordautonome Inertialnavigationssysteme (BMVBW, 1999).

## 6.6.2 Schifffahrt

### 6.6.2.1 Anwendungen

In der Schifffahrt lassen sich folgende Anwendungsbereiche der Funknavigation unterscheiden:

Die **Navigation auf freier See** umfaßt alle Wasseroberflächen außerhalb der Küstenzone und endet je nach topographischen Gegebenheiten etwa 50-100km vor der Küste. Die Schiffsrouten werden durch möglichst kurze Distanzen unter Berücksichtigung von Strömungen und Wetter festgelegt.

Die **Navigation im Küstenbereich** erstreckt sich von der Küste bis zur freien See und umfaßt den Küstenverkehr (kleinere Schiffe, die parallel zur Küste zum nächsten Hafen laufen) und den Ansteuerungsverkehr (zwischen freiem Seeraum und Hafen). Im Küstenbereich besteht verstärkt die Gefahr von Strandungen, Grundberührungen und Kollisionen. Zur Regulierung sind oft verbindliche Schifffahrtswege mit Fahrwassern hinreichender Breite und Verkehrsrichtung eingeführt. Küstenregionen sind häufig aus ökologischen Gründen geschützt und dürfen nur eingeschränkt befahren werden.

Die **Navigation im Revier** reicht vom Hafen bis in den Küstenbereich. Die navigatorische Schiffsführung erfordert das Einhalten der richtigen Fahrwasserseite bzw. der Fahrwassermitte. Die Navigation wird oft durch starke Strömung und eine sich schnell ändernde Schiffsposition erschwert, so daß die externe Positionsbestimmung und automatische Bahnregelung an Bedeutung gewinnt.

Die **Navigation im Hafen** findet auf engem Raum statt. Sie ist eher dem Manövrieren zuzuordnen als der Navigation.

Durch den Einsatz der Satellitennavigation ist im Falle einer Mann-über-Bord-Situation (**lokale Rettung**) eine schnelle und ggf. automatische Umkehr zum Unglücksort möglich, um den Verunglückten aufzunehmen.

Durch ein **weltweites Rettungssystem** wird die Position eines Havarierten automatisch bestimmt, an eine Zentrale übermittelt und die Such- und Rettungsaktionen eingeleitet.

Die **Hydrographie** umfaßt die Erstellung und Aktualisierung der Seekarten. Innerhalb des deutschen Küstenmeeres und des Kontinentalsockels werden die topographischen Grunddaten der Seekarten durch das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) bereitgestellt.

Im Bereich der **Fahrwassersicherung** d.h. der genauen Vermessung und Erhaltung von Häfen und Fahrwasser, werden Funknavigationssysteme z.B. zur Baggerpositionierung und Positionierung von Unterwasser- bzw. Schwimmlösungen eingesetzt.

In der **Fischerei** werden Funknavigationssysteme unter anderem zur Einhaltung der Fischereigrenzen, Fangplätze, Schlepppositionen und Schleppabständen eingesetzt.

In der **Sportschifffahrt** werden Funknavigationssysteme sowohl in der Fahrtensegelei als auch in der Regattasegelei eingesetzt.

Zahlreiche Aufgaben in der **Off-Shore**-Technik können nur durch ein leistungsfähiges Positionsbestimmungsverfahren sicher und effektiv erledigt werden, weil Schäden beim dynamischen Positionieren an einer Plattform vermindert werden können und längeres Arbeiten bei schlechtem Wetter ermöglicht wird. Das Sicherheitsrisiko ist in der Off-Shore-Technik wegen des möglichen Schadensausmaßes (Umweltschutz) besonders hoch.

**Forschung und Entwicklung** stellen hohe Anforderungen an die Positionsbestimmung. Beispiele für diesen Einsatzbereich sind die Ermittlung von Manövriertwerten, die Optimierung der Bahnführung sowie die technische Prüfung und Überwachung von Navigationseinrichtungen im praktischen Einsatz auf See.

Funknavigationssysteme als Bestandteile von integrierten Navigationssystemen ermöglichen Instrumentenfahrt und **automatische Bahnregelung** in engen Gewässern.

Das **ECDIS (Electronic Chart and Display System)** ersetzt als Komponente eines integrierten Navigationssystems zunehmend die Papierseekarte und etabliert sich als primäres Navigationshilfsmittel. Die aktuelle Position des Schiffes wird in der Seekarte dargestellt, auf navigatorischen Gefahren wie z.B. Wracks, Untiefen, etc. wird automatisch hingewiesen und andere Schiffe werden im Display angezeigt.

Das **AIS (Automatic Identification System)** dient der Übertragung von Schiffsdaten wie z.B. Identifizierung, Schiffstyp, Positions- und Bewegungsinformationen, etc. an alle anderen Schiffe im Seegebiet und unterstützt somit die Kollisionsverhütung.

Die **Vessel Traffic Services (VTS)** ermöglichen durch die Kombination von Funknavigation und AIS eine Überwachung, Regelung und Planung des Schiffsverkehrs innerhalb festgelegter Gebiete.

Auf schnellen Fahrzeugen (**High Speed Craft, HSC**), deren Geschwindigkeit 30 bis 70 kn. beträgt, werden besondere Sensoren für die bordseitige Navigation und die Übertragung von Positions- und Bewegungsdaten zu anderen Schiffen und Revierzentralen verlangt, die den besonderen Anforderungen gerecht werden.

Beim **automatischen Anlegen** (Automatic Docking) fährt das Schiff so dicht an die Pier, daß es mit Geräteunterstützung automatisch herangezogen und festgemacht werden kann.

Unter **Tracking und Tracing** versteht man die Ortung von Containern und Großgeräten im Hafen, das Zuordnen von Ladung und Stellplatz, die Transportbegleitung und das Wiederauffinden verlorener Objekte wie z. B. über Bord gegangener Container.

Die **schiffsinterne Überwachung** dient der genauen Bestimmung und Berücksichtigung schiffstechnischer Daten wie z.B. des Trimmings und Tiefganges, des Rollens und Stampfens und der Durchbiegung des Schiffes. Durch diese Anwendung wird die Schiffssicherheit und Wirtschaftlichkeit der Schiffsführung unterstützt .

## 6.6.2.2 Anforderungen

Anwendungen	Genauigkeit	Integrität	Time-to-Alarm	Verfügbarkeit (%)	Abdeckung
Freie See	10-100m	Weniger wichtig	5 Min.	99	Global
Küstenbereich	10m	Wichtig	1 Min.	99,5	Global
Revier	1-10m	Sehr wichtig	10 Sek.	99,9	Regional
Hafen	0,1-1m	Sehr wichtig	5 Sek.	99,9	Lokal
Lokale Rettung	10m	Sehr wichtig	5 Sek.	99	Global
Weltweites Rettungssystem	100m	Wichtig	10 Sek.	99,9	Global
Hydrographie	1-5m	Wichtig	30 Sek.	99	Lokal, Regional
VTS	1-10m	Sehr wichtig	10 Sek.	99,9	Lokal, Regional
Fahrwasser-sicherung	0,5-3m	Wichtig	30 Sek.	99,9	Lokal, Regional
Fischerei	3-100m	Weniger wichtig	30 Sek.	99	Global
Sportschiffahrt	3-100m	Wichtig	30 Sek.	95-99	Global
Off-Shore	0,1-10m	Sehr wichtig	10 Sek.	99,9	Global
Forschung	0,1-10m	Sehr wichtig	10 Sek.	99,9	Global
Entwicklung	0,1-3m	Sehr wichtig	30 Sek.	99	Global
Automatische Bahnregelung	1-3m	Extrem wichtig	5 Sek.	99,9	Regional
ECDIS	3-10m	Extrem wichtig	5 Sek.	99,9	Global
AIS	5-10m	Extrem wichtig	5 Sek.	99	Regional
HSC	1-3m	Sehr wichtig	5 Sek.	99	Global
Docking	1-3m	Wichtig	10 Sek.	99	Lokal
Tracking und Tracing	1-3m	Wichtig	30 Sek.	99,9	Lokal
Schiffsüberwachung	1cm	Wichtig	10 Sek.	99	Global
Seeschiff-assistenz	1m	Wichtig	10 Sek.	99	Global
Automatisches Ausweichen	1-5m	Wichtig	10 Sek.	99,9	Global
Unkonventionelle Schiffe	3m	Sehr wichtig	5 Sek.	99,9	Regional

Tabelle 31 Anforderungen an die Positionsbestimmung in der Schifffahrt <sup>135</sup>

### 6.6.2.3 Systeme

In der Seeschifffahrt werden folgende Funknavigationssysteme eingesetzt:

- Loran-C
- Radar
- GPS bzw. differential GPS (DGPS)

Diese werden teilweise durch Echolot- und Staudruckmessungen ergänzt.

(BMVBW, 1999)

<sup>135</sup> Literatur: BMVBW, 1999

## 6.6.3 Binnenschifffahrt

### 6.6.3.1 Anwendungen

Im Bereich Binnenschifffahrt sind zukünftig folgende Anwendungen für einen operationellen Einsatz der Funknavigation abzusehen:

Für die **Navigation** wird seit 1998 durch die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) im Rahmen des Pilotprojekts ARGO (Eigenname nach dem Schiff Argo der griech. Argonautensage, steht aber auch für Advanced River Navigation) ein System entwickelt, das die Komponenten elektronische dreidimensionale Flußkarte, Radarbild und DGPS integriert. Die digitale Flußkarte wurde auf dem in der Seeschifffahrt eingesetzten ECDIS aufgebaut, dabei wurden die speziellen Bedürfnisse der Binnenschifffahrt berücksichtigt. Vor allem detaillierte Tiefeninformationen werden für die Navigation auf Binnengewässern benötigt. ARGO bietet dem Schiffsführer die Möglichkeit, den aktuellen Pegelstand einzugeben und eine minimal benötigte Wassertiefe festzulegen. Am Bildschirm werden die Tiefeninformationen in Form von Tiefenlinien und den seitlichen Begrenzungslinien des berechneten Fahrstreifens dargestellt. ARGO wurde von 1998-1999 im Rahmen eines Pilotprojekts auf der MS Mainz erprobt. Dabei wurde der Betrieb im „Navigations“- und „Informations“-Modus getestet. Seit dem 1.8.2000 findet ein Probebetrieb des „Navigationsmodus“ unter der Koordination der WSV und der Beteiligung der Berufsschifffahrt auf ca. zehn Schiffen statt. Entsprechende Hard- und Software ist erhältlich. Das Navigationsgerät (Radarplot 7200, 13 700 Euro) wird von der Firma Innovative Navigation GmbH und die Software (ARGO Viewer, Einzellizenz 150-200 Euro) von der Firma SevenCs angeboten. Karten sind für Rhein, Main und den deutschen Teil der Donau teilweise erhältlich. Einheitliche Standards der digitalen Flußkarte wurden in Zusammenarbeit mit den Wasserstraßenverwaltungen der Anrainerstaaten erarbeitet (WSD – Südwest (SW), 2000).

Für ein **Flottenmanagement** müssen die aktuellen Positionsdaten der Schiffe in regelmäßigen Zeitabständen oder bei Bedarf an eine Zentrale gesendet werden. In Kombination mit anderen Informationen wie z.B. Angaben zu Ladung, Zielort, Verspätungen ist die Zentrale in der Lage, die vorhandenen Transportkapazitäten effektiver und flexibler zu nutzen.

Bei einer **Verkehrserfassung** auf Binnenwasserstraßen werden die Schiffe, die sich innerhalb eines bestimmten Fahrwasserabschnittes befinden, in regelmäßigen Intervallen erfaßt. Diese Daten bilden die Grundlage für eine Verkehrsbeeinflussung und -lenkung durch eine entsprechende Zentrale.

Die **Positionierung und Überwachung von Schifffahrtszeichen** (Tonnen, Stangen, etc.), die die Grenzen des Fahrwassers markieren, könnte zukünftig mit Hilfe von satellitengestützten Positionierungssystemen vorgenommen werden.

(BMVBW, 1999).

### 6.6.3.2 Anforderungen

Anwendungen	Genauigkeit	Integrität (%)	Time-to-Alarm	Verfügbarkeit (%)	Abdeckung
Navigation	0,5 – 5m	99	Minuten	> 99	Regional
Flottenmanagement	1 – 50m	100	<1 Min.	100	Regional
Positionierung von Schifffahrtszeichen	1 – 5m <sup>136</sup>			98	Regional
Verkehrserfassung	0,5 – 5m	99	Minuten	> 99	Regional

Tabelle 32 Anforderungen an die Positionsbestimmung in der Binnenschifffahrt<sup>137</sup>

### 6.6.3.3 Systeme

Verfahren der Funknavigation werden gegenwärtig im Regelbetrieb der Binnenschifffahrt kaum eingesetzt. Die Position des Binnenschiffes wird durch Ortskenntnis des Schiffsführers und der Ausstattung der Wasserstraße durch feste und schwimmende Schifffahrtszeichen, wie z.B. Fahrwassertonnen, Baken, Kilometertafeln, etc. ermittelt. Die Schifffahrtszeichen werden durch konventionelle landgestützte Vermessungsverfahren positioniert und überprüft. (BMVBW, 1999)

## 6.6.4 Schienenverkehr

### 6.6.4.1 Anwendungen

Folgende nicht sicherheitskritischen Anwendungen sind derzeit im Schienenverkehr in Form von Pilotprojekten realisiert:

Die **Waggonverfolgung im Frachtverkehr** mittels eines „Satelliten Handys“ (SANDY), das aus einer Global System for Mobile Communication (GSM) / Short Message Service (SMS)-Komponente, einem GPS-Empfänger und einer Central Processing Unit (CPU) besteht und am Waggon befestigt ist, ermöglicht die Verfolgung von Waggons mit hochwertigen und gefährlichen Gütern in ganz Europa.

Die Einführung eines **Fahrgastinformationssystems** ist unter der Bezeichnung „Integriertes Kunden Informations System für Auskunft, Sicherheit und Service“ (INKAS) in der Erprobung. Dabei wird mittels GPS die Position des Zuges erfaßt und mit dem Fahrplan verglichen. Werden Abweichungen festgestellt, wird eine Zentrale benachrichtigt und die entsprechenden Informationen werden an die Fahrgäste weitergegeben. Heute sind bereits alle ICEs mit GPS Empfängern ausgestattet.

Folgende Anwendungen sind, falls zukünftig geeignete Ortungssysteme auf den Zügen zur Verfügung stehen, ebenfalls denkbar:

Eine **automatische Spurkranz- und Fahrflächenschmierung** erfolgt vom fahrenden Zug aus, dabei wird die Position des Zuges mit differential GNSS (DGNSS) bestimmt. Anhand dieser Information und einem entsprechenden Gleiskataster kann der Einsatz der Schmiereinrichtung gesteuert werden.

<sup>136</sup> Information: Abhängig von der Breite des Fahrwassers

<sup>137</sup> Literatur: BMVBW, 1999

Informationen zur aktuellen Position des Zuges sowie ein Vergleich mit dem Fahrplan und dem weiteren Fahrtverlauf, können dem Fahrzeugführer Hinweise geben, die eine **energiesparsame Fahrweise** ermöglichen.

Um einen Überblick über den Energieverbrauch der Fahrzeuge innerhalb der einzelnen Geschäftsbereiche der Deutschen Bahn AG oder im grenzüberschreitenden Verkehr zu erhalten, können **Energieverbrauchszähler** in Kombination mit GNSS Empfängern beitragen. Die Zählerstände können automatisch und raumbezogen (z.B. bei Grenzübertritt) oder auf Anforderung erfaßt werden.

(BMVBW, 1999)

### 6.6.4.2 Anforderungen

Anwendungen	Genauigkeit	Integrität (%)	Time-to-Alarm	Verfügbarkeit (%)	Abdeckung
Waggonverfolgung	100m	<sup>138</sup>	1 Min.	99	Regional
Fahrgastinformation	< 50m	<sup>7</sup>	1 Min.	99	Lokal <sup>139</sup>
Automatische Schmieranlagen	< 50m	<sup>7</sup>	1 Min.	99	Regional
Energiesparsame Fahrweise	50m	<sup>7</sup>	1 Min.	99	Regional
Energieverbrauchszähler	100m	<sup>7</sup>	1 Min.	99	Regional

Tabelle 33 Anforderungen an die Positionsbestimmung im Schienenverkehr <sup>140</sup>

### 6.6.4.3 Systeme

In Deutschland wird momentan GPS im Bereich „nicht-sicherheitskritische Anwendungen“ des Schienenverkehrs eingesetzt. Die sicherheitsrelevanten Ortungsaufgaben im Bahnbetrieb werden durch den kombinierten Einsatz von fahrzeugseitigen Sensoren (z. B. Odometer) sowie streckenseitigen Infrastruktureinrichtungen (z.B. Balisen) bewältigt. Um die Infrastrukturkosten streckenseitiger Systeme zu reduzieren, ist man bestrebt, GNSS-basierte „intelligente Ortungssysteme“ in die Fahrzeuge zu integrieren. Aufgrund des hochsicherheitskritischen Charakters der Zugüberwachung und -steuerung bestehen jedoch sehr strikte technische und institutionelle Anforderungen.

(BMVBW, 1999)

<sup>138</sup> Information: keine Angaben

<sup>139</sup> Information: derzeit

<sup>140</sup> Literatur: BMVBW, 1999

## 6.7 Dilution of Precision (DOP)

Die Dilution of Precision (DOP) beschreibt die Geometrie der für eine Messung verwendeten Satelliten. Aufgrund der Bewegung der Satelliten unterliegt der DOP ständigen Änderungen. Der DOP ist durch das Volumen eines geometrischen Körpers definiert, der von der Position des Empfängers und den Positionen der verwendeten Satelliten begrenzt ist. Je größer das Volumen dieses Körpers ist, desto besser ist die Geometrie der Satelliten. Um einen kleinen DOP für eine gute Geometrie zu erhalten, wird der DOP durch einen Wert definiert, der direkt proportional zum reziproken Volumens des Körpers ist.

Grundlage der DOP-Berechnung ist folgende Formel, die aus der allgemeinen Gleichung der Positionsbestimmung abgeleitet ist:

$$\underline{Q}_x = \begin{bmatrix} q_{XX} & q_{XY} & q_{XZ} & q_{Xt} \\ q_{XY} & q_{YY} & q_{YZ} & q_{Yt} \\ q_{XZ} & q_{YZ} & q_{ZZ} & q_{Zt} \\ q_{Xt} & q_{Yt} & q_{Zt} & q_{tt} \end{bmatrix}$$

Folgende DOP-Werte leiten sich aus der Spur (Kombination aus den diagonalen Elementen einer Matrix) dieser Formel ab:

- GDOP (Geometric Dilution of Precision)

$$\text{GDOP} = \sqrt{q_{XX} + q_{YY} + q_{ZZ} + q_{tt}}$$

- PDOP (Position Dilution of Precision)

$$\text{PDOP} = \sqrt{q_{XX} + q_{YY} + q_{ZZ}}$$

- TDOP (Time Dilution of Precision)

$$\text{TDOP} = \sqrt{q_{tt}}$$

Diese DOP-Werte beziehen sich auf ein globales Earth-Centered-Earth-Fixed (ECEF) Koordinatensystem. Bei Verwendung eines lokalen Koordinatensystems mit Bezug zu lokal definierten Nord-, Ost- und Höhenachsen erfolgt eine Umwandlung der Ausgangsgleichung zu:

$$\underline{Q}_x = \underline{R} \underline{Q}_x \underline{R}^T = \begin{bmatrix} q_{xx} & q_{xy} & q_{xh} \\ q_{xy} & q_{yy} & q_{yh} \\ q_{xh} & q_{yh} & q_{hh} \end{bmatrix}$$

wobei die Rotationsmatrix  $\underline{R} = [\underline{i}, \underline{j}, \underline{k}]^T$  Angaben zu den Achsen des verwendeten lokalen Koordinatensystems enthält.

Aus dieser Formel lassen sich weitere DOP-Werte ableiten:

- HDOP (Horizontal Dilution of Precision)

$$\text{HDOP} = \sqrt{q_{xx} + q_{yy}}$$

- VDOP (Vertical Dilution of Precision)

$$\text{VDOP} = \sqrt{q_{hh}}$$

Mit Hilfe der unterschiedlichen DOP-Werte können Angaben zur Genauigkeit einer Messung in verschiedenen Dimensionen getroffen werden. Die Genauigkeit einer Messung ( $\sigma$ ) wird durch das Produkt aus Standardabweichung ( $\sigma_0$ ) und DOP berechnet:

$\sigma = \text{DOP} \sigma_0$

Folgende Angaben sind mittels der jeweiligen DOP-Werte möglich:

- GDOP  $\sigma_0$ : Genauigkeit der Position und Zeit
- PDOP  $\sigma_0$ : Genauigkeit der Position
- TDOP  $\sigma_0$ : Genauigkeit der Zeit
- HDOP  $\sigma_0$ : Genauigkeit der horizontalen Position
- VDOP  $\sigma_0$ : Genauigkeit der vertikalen Position

(Hofmann-Wellenhof, 1994)

Für die, im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Betrachtungen, ist speziell der HDOP von Interesse.



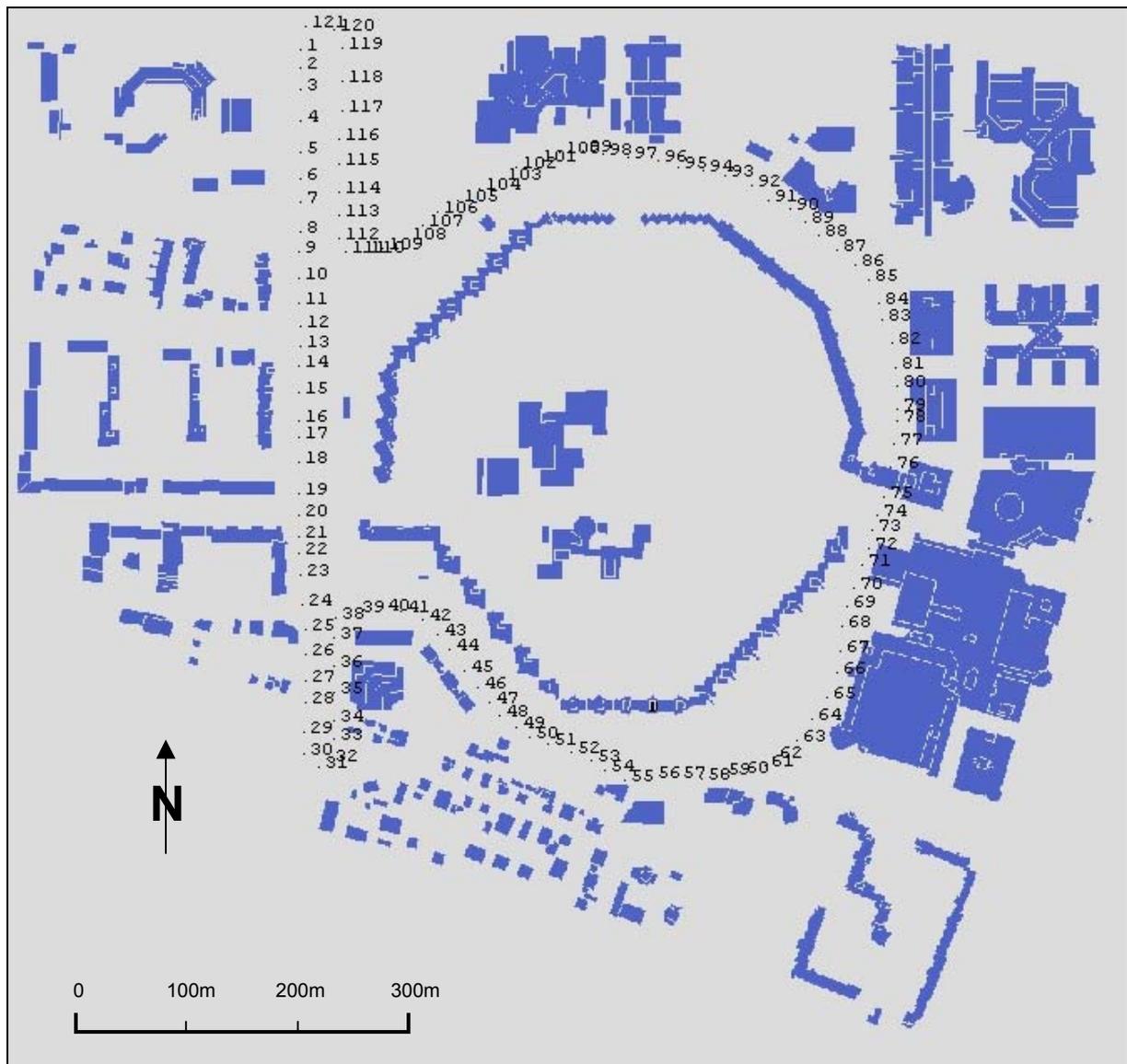
## 6.8.2 Schwabing



6.8.3 Lehel



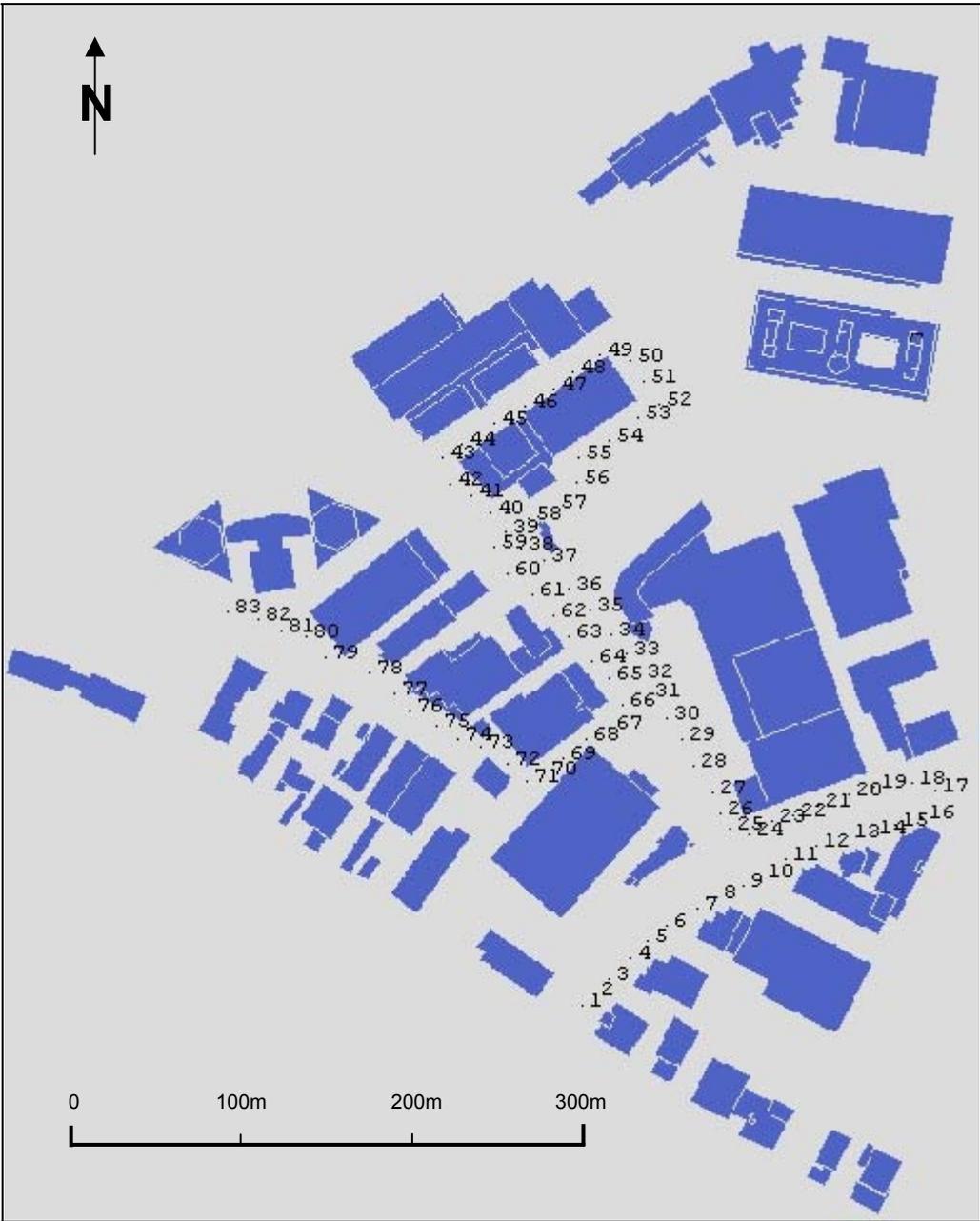
### 6.8.4 Neuperlach 1



### 6.8.5 Neuperlach 2



6.8.6 Moosfeld



## 6.9 Tabellen der azimutabhängigen Abschattungswinkel

### 6.9.1 Ramersdorf

	X_WERT	Y_WERT	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	4472017	5330682	0	37,7	17,5	59,3	8	0	0	0
2	4472021	5330700	0	54	47,6	30,2	8	0	0	0
3	4472024	5330720	0	56,9	8,6	63,4	6,2	0	0	0
4	4472025	5330740	0	54,6	50,3	62,4	5,1	0	0	0
5	4472028	5330759	0	59,5	9,8	62,7	7,6	0	0	0
6	4472030	5330778	0	37,5	53,2	64,8	6,2	0	0	0
7	4472034	5330799	0	21,6	49	29,1	9	0	0	0
8	4472037	5330819	0	50,2	23	16,1	9	0	0	0
9	4472038	5330836	0	46,2	9,2	55,2	9,3	0	0	0
10	4472040	5330855	0	45,5	47,3	51,9	9	0	0	0
11	4472048	5330871	0	58,6	55,2	52,4	11,8	0	0	0
12	4472052	5330886	0	51,6	55,4	69,9	22,4	0	0	0
13	4472059	5330905	0	48,9	55,4	69,9	25,9	0	0	0
14	4472065	5330924	0	22,4	43,6	62,6	22,4	0	0	0
15	4472069	5330939	0	28,9	12,6	56,3	19,9	0	0	0
16	4472078	5330947	0	40,1	16,7	30,9	26,6	0	0	0
17	4472093	5330941	22,7	21,9	28,8	31,6	4,7	62,6	0	0
18	4472105	5330935	19,1	64,5	27	16,3	41,5	29,6	24,4	0
19	4472114	5330926	36,8	47,9	23,4	18,8	16,4	70,1	39,1	0
20	4472124	5330919	34,2	13,4	16	23	57,3	15,2	33	0
21	4472136	5330916	24,9	65,4	6,9	25,9	8,3	65,8	18,6	29,7
22	4472145	5330904	31	43,5	1,8	34,7	15	33,5	34,9	0
23	4472157	5330891	19,1	27,7	3,7	53,2	29,4	15,8	7,7	0
24	4472178	5330887	17,8	15	5,2	11,5	52,8	61,4	10,9	23
25	4472189	5330888	18,7	16,7	5,6	13,3	9,3	64	8,5	24
26	4472211	5330887	17,1	31,8	7,7	14,6	10,1	10,7	7,1	24,5
27	4472230	5330887	8,1	31,2	10,5	28,4	7,6	13,1	5,9	23,7
28	4472247	5330891	30,7	11,6	8,3	71,8	57	12,7	3,8	25,3
29	4472264	5330893	10	30,6	4,5	53,7	9,3	41,8	3,4	41,5
30	4472285	5330894	6,7	46,5	5,4	19,5	53,1	17	3,1	42,2
31	4472301	5330896	33,7	42,3	1,8	29,4	49,2	43,6	4	47,3
32	4472320	5330896	41,2	5,5	1,9	71,2	9	16,8	3,6	54
33	4472334	5330899	4,6	6,1	0	7,6	3,4	65	3,4	57,6
34	4472363	5330902	5,9	5,3	4,4	35,6	40,4	53,2	3	24,9
35	4472385	5330902	6,2	9,1	5,1	43,6	45,4	11,8	2,7	13,4
36	4472399	5330903	4,1	18,3	5,9	19,9	2,3	47	2,6	9,8
37	4472420	5330901	3,4	10	6,7	36,2	3	45,7	2,5	6,5
38	4472441	5330899	41,8	25,8	0	26,7	46,1	29,7	2,3	7,8
39	4472466	5330896	17	29,6	5,3	53,5	32	30,9	2,1	37,2
40	4472488	5330895	26,4	18	7	45,1	5,8	56,1	1,9	15,3
41	4472507	5330890	42,6	54,9	10,5	16,6	46,1	59,8	8,5	20,2
42	4472514	5330889	42,6	6,9	12,5	16,3	1,6	62	7,5	28,5
43	4472514	5330875	23	6,1	12,9	23,2	1,6	34,1	57,2	65,5
44	4472513	5330862	15,8	0	6,2	25	1,9	53,6	8,6	55,7
45	4472513	5330846	11,3	19,6	16,8	23,7	1,9	63,6	5,5	53,6
46	4472513	5330830	8,8	12,4	0	37,7	1,9	37,8	6,1	63,6
47	4472511	5330808	6,7	22,4	28,9	33,6	2,3	24,7	55,6	68,1

	X_WERT	Y_WERT	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
48	4472511	5330793	5,8	4,1	0	37,2	2,3	26,5	18	45,9
49	4472510	5330776	5	36,7	27,1	14	2,6	50,8	5,4	26,1
50	4472510	5330757	4,3	35,9	15,3	21,4	3	12,8	43,4	13,3
51	4472510	5330741	3,9	27,2	3,8	17,8	3	25,8	8,6	45,2
52	4472512	5330724	3,5	18,4	3,1	11,8	3,7	41,8	42,2	11,8
53	4472510	5330701	3,1	17,8	10,8	36	4,1	49,6	47,8	25,4
54	4472507	5330683	2,9	13,9	23,9	37,5	4,7	50,8	44,9	12,7
55	4472504	5330662	3,5	13,3	12	45,1	5,4	49,1	7,5	56,3
56	4472500	5330642	10,8	27,7	30,1	8,4	5,8	45,3	43,5	59,1
57	4472497	5330622	9,3	36,5	8,8	32,6	4,7	33,9	44,3	51
58	4472492	5330603	12,5	18,7	23,1	23,2	5,4	15,2	18	21,6
59	4472487	5330584	15	11,3	0	21,9	4,1	20,4	3,1	57,5
60	4472484	5330574	12,8	21,6	24,5	34,1	4,4	10,8	2,8	30,2
61	4472481	5330556	12,8	7,4	6,7	25,4	5,1	64,2	19,1	15,8
62	4472478	5330534	9,6	32,8	0	35,9	6,2	45,9	3,8	58,8
63	4472476	5330516	7,4	24,7	28,4	41	7,6	50,1	50,6	19,2
64	4472471	5330492	12,9	31,8	27,1	13,7	9,7	23,7	2,5	65,9
65	4472464	5330474	25,7	26,6	7,4	32,4	9	38,1	5	17,2
66	4472456	5330452	4,7	22,2	20,9	43,6	16,4	10,1	5,3	59,2
67	4472445	5330441	30,8	16,8	19,2	35,9	17,8	12,7	21,4	10,4
68	4472432	5330424	4,5	13,3	15,5	47,7	4,4	20	4,6	41,6
69	4472422	5330407	14,7	10,5	26,9	51,3	15	27,8	17,8	7,5
70	4472416	5330390	10,9	6,1	34,8	24,2	19,2	20,8	29,2	32,4
71	4472408	5330375	4,1	13	10,4	57,1	19,2	30,4	6,1	38,4
72	4472400	5330358	13,5	22,6	38	59,1	18,5	12,8	6,3	23,4
73	4472388	5330340	10	22,6	33	12,9	12,2	16,1	3,2	63,6
74	4472376	5330328	31,9	18,2	18,8	43,9	0,2	21,6	16,7	9,9
75	4472366	5330336	8,5	60,4	16,5	34	0,2	28,9	24,2	11,9
76	4472362	5330359	7	26,1	21,5	66,9	0,2	30,2	8,8	28,6
77	4472360	5330386	11,3	25,4	22,8	19	0,2	33,2	21,1	22,2
78	4472356	5330407	20,6	31,5	15,1	25,4	0,2	28,6	13,9	14,5
79	4472350	5330425	21,4	64,7	14,9	34,3	0,2	35	0	19,4
80	4472345	5330439	15,2	64,7	45	26,9	6,2	24	3,7	17,2
81	4472341	5330455	4	61,2	52,1	51,8	5,8	13,7	18,2	16,4
82	4472334	5330472	16	16,1	39,2	41,7	7,2	32,9	1,7	23,9
83	4472329	5330493	3,1	33	3,3	32,4	5,1	21,1	6,9	24,9
84	4472323	5330511	7,3	16,5	51,6	9,2	4,1	17,6	3,9	19,5
85	4472312	5330532	35,9	21,5	0	37,6	6,5	9,7	30,7	20,4
86	4472305	5330551	34,7	27,1	40	57,7	11,1	49,6	2,6	22,1
87	4472297	5330564	19,5	16,8	46,9	43,5	8,6	22,2	29,7	30
88	4472291	5330585	12,7	58,3	38,5	38,7	13,9	10,9	8	24,2
89	4472287	5330606	23,7	34,4	8,8	58,3	11,4	45	5,2	29,6
90	4472282	5330626	23	71,5	56,8	9,6	8,3	14,1	28,9	27
91	4472276	5330647	11,3	31,8	56,6	56,3	8	33	8	32,4
92	4472272	5330666	19,2	45,2	48,5	49,7	8,3	10,4	4	26,8
93	4472267	5330685	21,9	56	30,4	34,9	6,5	46,2	26,4	32
94	4472262	5330705	18,7	68,6	11,6	59	9	40,1	28,6	33,4

	X_WERT	Y_WERT	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
95	4472260	5330726	11,2	74,4	8,1	62,4	7,6	41,5	27	24
96	4472257	5330742	15,9	11,7	8,3	67,2	6,5	39,8	27,7	30,9
97	4472256	5330762	25,2	9,6	4,6	10,5	5,4	38	23,9	29,5
98	4472251	5330785	6	52,4	65,2	28,4	5,8	36,3	16	12,4
99	4472248	5330806	7,7	10,8	8,3	67,4	4,7	16,2	5,8	14,4
100	4472248	5330824	10	47,3	15,4	11,3	4,4	32,2	5,9	8,5
101	4472246	5330845	19,9	20,8	4,8	19,2	3,4	14,4	5,9	11,3
102	4472239	5330863	15	56,9	42,8	26,2	4,1	11,7	10,3	13,8
103	4472236	5330882	10,7	10,4	52,5	34,5	4,4	15,4	5,8	20,6
104	4472230	5330899	9,6	60	0	47	6,5	9,2	6,7	34,6
105	4472218	5330910	6,7	23,3	30,5	30,2	4,1	27,7	7,8	51,8
106	4472196	5330911	13,7	51,8	16	6,1	6,9	18,7	10	57,6
107	4472175	5330911	49,7	55,1	10,9	5,8	21	7,4	14	49,9
108	4472157	5330910	45,2	47	8,6	9,1	14,7	20,4	22	51,9
109	4472133	5330891	13,3	27	3,3	37,1	9	36,5	10,6	63,1
110	4472127	5330869	20,3	16,4	19,3	52,2	5,4	10,6	49,4	58,8
111	4472124	5330850	14,7	12,2	39,5	54	6,2	51,2	9,7	48,8
112	4472121	5330832	13,2	43,5	9,8	54	5,8	55,9	49,7	17,2
113	4472118	5330811	10,8	45,3	38,7	42,8	5,4	60	3,1	64,6
114	4472115	5330791	8,3	44,1	38,9	25,1	6,2	60,5	45,7	65,2
115	4472112	5330772	10,4	42,9	2,8	49,7	4,1	50,8	56	55,4
116	4472110	5330752	9,5	20	37,7	37,7	4,7	54,5	45,7	49,7
117	4472106	5330729	12	43,8	36,9	49,7	5,4	41,2	9,4	60,3
118	4472104	5330708	11,2	36	25,2	51,1	5,1	47,6	53,6	49,7
119	4472102	5330689	9,7	37,5	12,1	56,4	5,8	18,3	45,2	14,8
120	4472100	5330669	7,7	51,8	38,9	42	6,9	12,7	29,6	14,5
121	4472096	5330645	9,9	39,5	28,4	25,4	5,8	50,8	13,5	28,1
122	4472092	5330615	7,8	12,5	23,8	10,4	5,4	15,2	29	50,8
123	4472088	5330590	7,4	17	38,1	52,2	4,1	40,4	10,7	11,7
124	4472084	5330569	9,7	35,7	8,6	35,6	4,7	41,9	52,8	65,2
125	4472081	5330542	10,1	44,7	29	49	3,7	63	0	59
126	4472079	5330522	7,7	38	36,9	11,8	4,7	46,3	56,7	67,8
127	4472077	5330499	8,1	42,6	2,3	49,1	6,2	59	53	19,6
128	4472075	5330481	6,8	17,4	11,3	50,4	8	51,6	2,7	63,7
129	4472075	5330459	5,1	53,4	46,9	56,5	12,2	13,2	12,1	51,6
130	4472071	5330438	9,1	45,3	4,9	28,2	24,9	31,4	14,3	19,1
131	4472049	5330434	13,6	19,1	1,6	37,8	24,9	0	0	54,4

	X_WERT	Y_WERT	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
132	4472033	5330439	1	2,2	0,5	3,2	0,2	0	0	0
133	4472025	5330454	19,3	70,3	57,7	61,8	0,2	0	0	0
134	4472015	5330473	16,3	23,5	35,7	38,6	0,2	0	0	0
135	4472012	5330496	0	73,9	63,9	68	0,2	0	0	0
136	4472009	5330521	0	70,9	63,9	70,9	0,2	0	0	0
137	4472008	5330548	0	71	64,1	48,7	0,2	0	0	0
138	4472009	5330567	0	74	67,9	74	0,2	0	0	0
139	4472007	5330588	0	60,3	54,4	53,1	0,2	0	0	0
140	4472007	5330605	0	55,1	48,1	60,3	0,2	0	0	0
141	4472011	5330631	0	36,7	8,2	57,3	0,2	0	0	0
142	4472017	5330658	0	49,4	3,9	49,1	11,1	0	0	0
143	4472035	5330659	30,8	52,9	4,5	49,3	33,7	53,4	0	0
144	4472055	5330654	22,4	50,2	6,2	30,1	45,4	63,5	0	34,6
145	4472072	5330649	2,7	40,9	14,8	24,9	7,2	26,3	11,3	37,5
146	4472091	5330641	12,1	34	11,4	40,3	3,4	62,6	14,8	30
147	4472113	5330631	35,9	15,8	13,3	41	47,1	11,6	18,8	17,2
148	4472130	5330624	7,1	45,9	6,2	47,4	43,2	24,9	1,5	19,5
149	4472144	5330621	44,9	10,6	5,8	41,6	41,5	52,5	19	32,5
150	4472163	5330612	37,2	9,2	1,3	27,8	47,1	50,1	18,9	16,3
151	4472178	5330609	2,8	31,9	0,4	37,7	3,4	56,9	12,4	29,8
152	4472195	5330607	22,5	6	3,2	9,8	30,9	26,7	15,1	31,7
153	4472214	5330605	12	23,3	3,7	47	6,5	42,6	10,9	27,7
154	4472232	5330604	6,7	39,4	6,7	43,6	5,1	49,7	8,6	10
155	4472250	5330604	32,7	46,1	8,4	47	8	43,6	7,1	16,4
156	4472275	5330603	5,9	23,3	14,7	28,2	21	67,9	5,7	45,8
157	4472301	5330608	2,5	42	0,8	13,4	52,1	25,9	4,6	17
158	4472320	5330611	42	51,8	0,6	37,9	50	17,5	3,1	46,6
159	4472345	5330613	1,4	45,3	1,3	58,7	8,3	58	2,8	56,4
160	4472364	5330613	37,5	52,6	1,4	66,6	3	62,8	2,6	17,6
161	4472383	5330613	42,8	47,8	1,6	67	2,6	56,9	2,4	43,5
162	4472399	5330615	42,3	46,5	2,1	59	2,6	60,5	1,7	48,6
163	4472418	5330613	31,8	12,2	2,1	64,3	10,1	53,1	2,1	42,3
164	4472434	5330615	1,2	58,8	2,7	41,8	9,3	58,3	1,6	44,6
165	4472457	5330612	18,1	33,9	2,2	45,2	46,1	35,3	1,8	51,1
166	4472474	5330609	26,6	54	3,8	20,7	51,3	15	1,7	38

## 6.9.2 Schwabing

	X_WERT	Y_WERT	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	4468783	5334252	13,3	71,5	71	79,6	0,2	0	38,3	52,8
2	4468787	5334267	14,3	68,2	68,6	78	0,2	0	38,3	54,3
3	4468791	5334282	14,9	66,7	66,5	77,7	34,4	0	37,5	56,2
4	4468797	5334302	15,1	53,7	66,5	76,2	34,1	39,3	40	56,5
5	4468803	5334319	14,5	64,2	55,3	71,1	34,8	37,8	17,6	53,3
6	4468807	5334333	14,9	64,2	63,9	68,6	33,3	36,7	38,2	54,6
7	4468814	5334352	14,8	65,8	66,2	76,3	24,5	37,7	37,9	56,7
8	4468818	5334368	15,3	55,8	56,9	74,5	30,2	39,1	40,1	56,7
9	4468821	5334383	12,9	66,6	50,5	66,4	27	38,1	42,3	41,8
10	4468817	5334397	23	53,2	40,7	54	17,1	52,1	51,3	62,8
11	4468802	5334407	74,2	35,6	36,9	35,4	10,4	74,9	38,3	71,1
12	4468788	5334413	74,2	81,9	28,1	30,5	59,5	74,9	38,4	72,4
13	4468776	5334419	76,2	83,5	62,3	56,7	57,7	73,3	35,7	72,9
14	4468759	5334426	75	82,8	60,1	55,6	59,5	73,3	36,3	71,8
15	4468741	5334433	72,8	80,5	56,4	55,5	59,5	74,9	34,3	72,4
16	4468726	5334438	72	80	50,8	59,2	61,2	74,5	37,1	68,2
17	4468709	5334446	74,2	81,9	55,4	56,7	57,7	72,7	35,9	62,8
18	4468694	5334453	62,5	81,3	58,8	51,5	55,6	72,4	34,4	55,2
19	4468675	5334461	62,4	73,8	43,6	52,8	55,6	72,6	34,3	72
20	4468659	5334462	61,2	72,9	30,5	67,3	51,7	65,7	49,4	55,9
21	4468651	5334447	35,2	53,7	71	80,1	45,4	70,9	73,6	82,1
22	4468646	5334434	55,5	67,4	71	80,1	48,5	69	73,6	80,1
23	4468639	5334421	61,6	64	68,5	78,2	13,2	68,2	76,1	82
24	4468633	5334404	55,3	67,4	71	76,1	29,1	76,7	65,8	78,7
25	4468636	5334388	28,7	79,9	73,2	76	28,1	76,5	68,4	72,4
26	4468639	5334372	35,5	79,9	75,8	77,9	29,4	76,5	68,4	72,3
27	4468642	5334356	35,3	78	38,9	33,6	28,8	74,8	66,2	70,2
28	4468656	5334347	58,8	70	27,7	42,3	0,2	58,8	42,4	46,2
29	4468677	5334341	58,3	71,8	29,4	72,9	25,6	43,6	24,3	58,5
30	4468694	5334338	65,1	75,7	32,8	78	76,1	81,9	19,5	64,7
31	4468706	5334334	65,1	75,4	37,4	78	76,1	83,9	56,9	64,7
32	4468718	5334330	63,1	74,6	42,3	78	76,1	83,9	58,9	64,6
33	4468732	5334326	68,1	79,8	44,6	76,1	76,1	81,9	54,9	63,2
34	4468746	5334322	71,3	79,8	47,1	78,2	73,2	81,9	53	69,7
35	4468765	5334315	71,3	79,8	17,5	43	78,2	84,9	63,1	70,3
36	4468784	5334309	28,3	38	20,8	59,7	0,2	57,6	59,4	70,3
37	4468817	5334304	67,5	76,2	9,7	84,1	80,3	86,4	26,3	40,6
38	4468836	5334302	25	47,9	12	81,4	77,8	83,1	47,2	59,6
39	4468856	5334299	33	52,5	17	75,8	72,9	79,7	43,4	37,3
40	4468875	5334296	38,8	29,5	25,9	75,6	70,4	79,7	38	29,8
41	4468894	5334293	17,5	54,8	48,1	76	70,7	77,7	30,5	44
42	4468910	5334288	72,1	79,7	12,4	79,9	75,7	82	46,5	40,4

	X_WERT	Y_WERT	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
43	4468931	5334283	45,5	60,5	11,7	65,8	57	69,1	52,4	63,4
44	4468954	5334279	46,2	60,5	17,3	80,5	74,3	72,2	29,2	49,3
45	4468978	5334274	45,9	60,7	27,3	82,3	79,2	84,3	50,9	49,6
46	4468995	5334271	31,6	74,2	25,8	66	71,5	81,9	49,5	51,6
47	4469012	5334267	68,2	54,8	21,5	75,8	68,6	80,7	42,9	69,3
48	4469038	5334263	66,9	25,1	29,4	78,9	69	69,6	28,6	70,6
49	4469049	5334269	22,4	79,9	75,8	59,8	53,4	68,6	60,3	73,2
50	4469052	5334284	23	46,7	47,5	63,8	32,3	65,6	30	71,1
51	4469056	5334298	5,2	79,3	45,7	57,1	33	49,4	58	71,1
52	4469058	5334315	6	59,2	66,1	75,9	20,6	66,2	64,2	73,7
53	4469063	5334337	7,4	79,6	75,4	82,2	25,2	57,5	7,6	27,8
54	4469066	5334356	9,3	66,7	27,3	69,9	29,8	30,3	17,1	28,6
55	4469071	5334372	14,4	53,2	68,7	76,8	32,6	26,5	16,6	23,1
56	4469076	5334389	19,6	76,8	39,2	63	20,3	14,5	15,7	28,5
57	4469078	5334410	26,3	76,9	74,7	81,2	22,4	23,3	16,8	9,7
58	4469082	5334429	22,8	65,1	70,2	81,2	34,1	19	10,1	74,4
59	4469086	5334449	15,5	15,2	70	78,4	33	67,3	66,2	52,4
60	4469092	5334468	20,6	21,8	30	44,2	39	56,5	57,3	70,1
61	4469094	5334483	13,7	31,6	14,8	22	23,1	63,5	54,6	47,8
62	4469097	5334500	14,7	55,9	15	43	15,3	52,4	64,5	73,8
63	4469101	5334521	15,3	56,9	11,3	74,8	10,8	68,9	49,4	63,2
64	4469106	5334540	15,3	64,4	60	72	24,2	46,4	49,3	63,1
65	4469110	5334559	20,2	77	14,1	70,1	16,8	52,8	42,8	61,8
66	4469115	5334577	22,6	79,1	77,7	83,4	22	46,1	45	62,7
67	4469119	5334596	23	61	77,7	81,2	38,7	50	19,5	70,7
68	4469122	5334613	17,6	75,8	74,1	78,6	34,4	42,8	63,8	73
69	4469125	5334633	30,2	65,1	63,8	51,2	27	68,5	66,5	77,6
70	4469130	5334650	16,4	72,8	70	60,1	23,8	66,3	17,3	60,3
71	4469136	5334670	9,8	68,1	77,5	81,1	34,4	60,9	60,5	63,7
72	4469138	5334692	12,4	67,7	66,8	76,4	23,5	57,2	55,3	68,2
73	4469142	5334709	15,9	73,8	50,7	55,3	23,5	58,1	55	66
74	4469147	5334731	23	71,8	65,1	72	20,3	56,3	9,4	63,5
75	4469152	5334749	27,4	75,4	75,6	79,7	31,2	50,4	47	60
76	4469148	5334767	71,8	62,6	0	67,8	14,7	56,6	21,2	72,8
77	4469131	5334771	71,8	79,1	33,4	46,6	37,9	57,3	22,4	75
78	4469119	5334773	69,4	79,2	32,2	45,3	42,9	71	23,8	73,1
79	4469106	5334776	72,1	79,2	34	47,5	58,8	64,9	23,3	73,1
80	4469092	5334779	72,1	79,2	33,6	60,8	59,5	73,1	23,2	75,1
81	4469078	5334782	71,6	79,2	33,6	65,1	61,6	73,1	17,6	72,4
82	4469064	5334787	65,2	76,7	46,9	60,3	57	69,2	26,5	65,7
83	4469046	5334792	62,4	74	36,7	58,6	53,4	38	9	66,3
84	4469034	5334795	75,6	74,1	31,6	57,1	6,5	72,4	9,8	77,6

	X_WERT	Y_WERT	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
85	4469014	5334800	17,3	79,7	50,6	63,1	61,2	35,5	11,3	22
86	4469008	5334814	21,5	63,4	63,1	74	32,6	18	12,2	26,4
87	4469015	5334831	31,9	66,7	67,9	77,9	25,6	17,8	12	31,8
88	4469020	5334847	56,1	69,9	67,9	77,9	34,1	17,8	12,1	62,4
89	4469011	5334852	60,3	71,8	46,1	63,4	17,5	20,3	13,2	67,8
90	4468996	5334857	69	76,1	30,4	45,9	10,1	22,1	15,3	43,7
91	4468981	5334873	11,5	48,1	67,3	33,6	8,6	20,6	19,1	57,2
92	4468990	5334894	2,4	51,1	52,7	73,5	7,2	18,1	38,6	45,6
93	4469000	5334918	3,8	55,5	55,9	70,3	36,9	17,6	26,9	42,8
94	4469008	5334935	18,2	59,1	61,2	73,3	25,6	17,1	25,4	42,2
95	4469018	5334958	27,2	64,4	65,1	76,5	32,6	31,4	24,5	19,5
96	4469025	5334979	47,1	23,5	13,7	76,5	33,3	25,2	25,7	30,9
97	4469017	5334997	73,5	81,5	18,9	55,5	16,8	31,2	22,4	71,8
98	4468996	5335004	3,5	79,8	49,8	42,9	12,2	65	24,3	45,3
99	4468974	5335012	4,8	17,6	40,2	31,3	50,3	66,1	23,1	28,6
100	4468958	5335019	43,3	13,5	26,7	25,9	46,7	65,6	23,5	33,2
101	4468941	5335024	21,8	11,9	19,8	48,6	50	66,5	23,1	34,4
102	4468921	5335029	21,4	62	8,2	51,8	52,1	70,2	24,2	20,7
103	4468900	5335035	21	37,2	7,2	53	56,3	70,2	17,3	21,8
104	4468880	5335041	34	35,7	6,4	56,5	54,9	70,2	21,6	26
105	4468859	5335048	22,1	35,7	19,2	55,4	38,7	50,9	21,3	35,2
106	4468838	5335053	20,8	50,4	15,5	55,4	34,4	67,7	24,2	44
107	4468824	5335057	20,6	50,4	13,6	45,2	52,4	67,7	23,9	13,6
108	4468809	5335062	20,8	36,3	11,2	53	52,4	67,4	22,8	12,4
109	4468792	5335068	45,4	35,1	9,7	51,8	52,1	67	20,8	17,8
110	4468772	5335073	7,7	61,1	8,6	55,6	53,1	68,7	22,2	22,8
111	4468750	5335080	7,9	44,6	7,6	53,3	50,6	67,1	21,2	28,6
112	4468725	5335086	10,9	13,9	11,1	55,2	54,5	68,6	18,9	38,8
113	4468704	5335093	20,9	13,9	11,2	54,9	52,4	28,7	35,1	58,9
114	4468709	5335109	17,1	16,5	21,2	30,6	29,8	34,3	41,8	62,2
115	4468716	5335125	22,2	18,5	19,9	22,3	19,9	32,1	43,2	61,9
116	4468720	5335144	30,2	13,7	21,3	29,8	14,7	42,5	49,6	36,9
117	4468722	5335163	44,1	22,8	14,5	34,3	11,4	57,4	26,6	67,4
118	4468701	5335169	68,5	76,3	3,6	12,9	61,2	73,8	15,5	60,9
119	4468679	5335174	67,3	58	31,7	65,6	61,2	65,2	22,4	69,7
120	4468658	5335179	69,9	77,5	29,5	64,3	45,7	57,6	20,4	66,9
121	4468639	5335184	72	78,8	34,3	52,4	57,3	70,7	16,7	73,5
122	4468625	5335187	72	78,8	30,1	60,8	57,3	68,7	21	66,6
123	4468606	5335190	70,7	63,7	30,8	59,3	59,1	70,7	30	72,8
124	4468590	5335193	60,9	77,7	28,9	63,2	10,8	66,6	52,1	57,2
125	4468586	5335211	25,8	82,7	80,3	83,1	10,4	56	54,9	63,6
126	4468586	5335231	46,4	87,5	86,6	85,1	8,3	63,6	0	61
127	4468582	5335254	27,5	80,8	18,7	81	12,2	69	56,4	62,8
128	4468579	5335277	14,8	80,8	72,4	78,4	11,4	66,9	50,1	62,7
129	4468582	5335299	9,2	23,9	1,9	19,1	86,6	8,2	4,7	4,4

	X_WERT	Y_WERT	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
130	4468597	5335303	52,8	55,1	10,6	33	63,4	75	26,6	34,6
131	4468620	5335301	44	57,7	10,8	61	36,5	47,3	18,2	59,1
132	4468640	5335295	41,6	62,3	11,9	75	71,5	63,3	21,2	45,1
133	4468659	5335291	48,3	60,5	11,6	62,4	71,5	80,5	23,8	45,1
134	4468679	5335289	33,6	60,4	12	67,5	59,5	72,6	27,8	55
135	4468697	5335287	49,4	51,2	13,1	64,1	11,4	69,9	24,6	53,3
136	4468715	5335283	15,1	61,8	10,4	66,4	61,6	74	20,6	51,6
137	4468738	5335280	17,6	65,5	11,9	73,1	69	59,7	16,4	55,5
138	4468755	5335276	51,9	51,9	11,3	53,2	71,5	80,4	20,8	51,2
139	4468777	5335271	49,1	63	7,9	74,8	58,4	38,3	39,9	54,4
140	4468798	5335270	48,5	52	9,3	53,7	63,7	74,8	26,5	57,1
141	4468808	5335280	20	67,7	43,5	46,9	12,2	56,5	8	70,8
142	4468813	5335299	19,2	71	67,2	77,4	15,7	34	55,4	66
143	4468818	5335316	7	76	75,2	81,1	29,8	56,5	56	67,5
144	4468822	5335338	7,2	48,6	72,8	79,4	25,9	60,2	56	68,5
145	4468826	5335361	7,3	65,7	62,8	21,8	28,8	58,8	57,5	69,9
146	4468831	5335382	5,8	9,7	6,5	56	26,6	59,4	30,1	61,1
147	4468809	5335393	74	11,1	5,8	37,6	58,8	69,8	8,1	78,5
148	4468789	5335395	67,7	80,1	5,3	65,6	60,9	71,3	9,2	76,9
149	4468772	5335397	71,8	78,5	4,9	67	60,9	56,3	4,7	64,8
150	4468749	5335399	69,5	58,5	21,5	65,6	61,9	72,3	5,2	73,6
151	4468730	5335402	71,6	76,8	23,1	66,5	60,1	70,8	5,8	73,6
152	4468712	5335404	69,5	76,8	20,8	67,9	61,9	56,5	6,3	45,3
153	4468685	5335406	0	53,3	16,1	56	44,3	57,7	7,6	73,2
154	4468663	5335406	66,9	73,2	12,9	55,3	45,4	70,6	9	58,3
155	4468641	5335407	65,4	64,2	12,1	54,9	58	67,8	0	73,9
156	4468619	5335408	73	77,8	10,7	66,1	54,5	62,1	0	77,8
157	4468596	5335405	7,7	70,5	8	62,2	58,4	66,5	22,4	74
158	4468573	5335404	60,8	74	6,9	68	6,2	53,8	41,6	44,4
159	4468567	5335415	25,7	77,9	73,1	54,2	8,6	62,6	46,1	51,7
160	4468565	5335440	25	81,2	74,8	77,1	7,2	57	18,2	51,2
161	4468560	5335459	21,8	77,9	70,3	72,8	8	61,8	50,6	58,7
162	4468559	5335476	25,4	65,6	37,5	76,2	9,3	59,8	51,3	57,1
163	4468581	5335482	66,8	59,1	16,7	77,9	68,6	76,2	25,3	74,8
164	4468607	5335484	60,5	67,9	20	73	63,4	65,4	15,5	61,4
165	4468627	5335487	60,7	65,3	11	73,6	60,5	67,9	11,8	74,2
166	4468650	5335490	59,3	66,3	15,1	75,5	12,9	68,4	15,7	69,9
167	4468674	5335491	60,2	38,5	24,5	37,3	70,1	77,3	13,5	63,6
168	4468693	5335491	0	50,1	44,9	54,6	11,1	62,7	11,4	63
169	4468701	5335508	0	74	20,8	58,1	5,8	47,8	42,2	51,3
170	4468702	5335532	0	75,9	70,5	75,9	5,1	50,9	41,5	49
171	4468701	5335560	0	79,5	9,3	75,9	4,4	52,9	43,8	53,3
172	4468699	5335585	0	74,9	69,1	74,4	4,1	56,1	46,1	0
173	4468698	5335605	0	0	50,9	73,3	3,7	57,1	0	0
174	4468715	5335616	0	0	0	70	60,9	39,9	0	0

	X_WERT	Y_WERT	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
175	4468737	5335616	0	0	0	72,4	64,8	70	0	0
176	4468764	5335617	0	0	0	72	63	72,4	0	0
177	4468790	5335617	0	0	0	71,8	63,4	72	0	0
178	4468821	5335618	0	0	0	43	58,8	68,5	0	0
179	4468848	5335617	0	0	0	67,7	3	61,8	0	0
180	4468873	5335616	0	0	0	69,1	61,6	34,1	0	0
181	4468898	5335613	0	0	0	69,3	63,7	73,7	0	0
182	4468918	5335609	0	0	0	69,4	63,7	75,3	0	0
183	4468940	5335607	0	0	0	70,9	64	72,4	9	0
184	4468963	5335606	0	0	0	68,2	52,1	72,4	8,7	0
185	4468983	5335605	0	0	0	66,7	60,5	71	8	0
186	4469006	5335602	0	0	0	64,2	60,5	71	12,8	0
187	4469025	5335598	0	0	0	68,6	63	74	13,7	0
188	4469048	5335595	0	0	0	70,2	63	73,2	14,9	0
189	4469070	5335594	0	0	0	54,6	61,6	71,7	13,3	0
190	4469099	5335588	0	0	0	45,5	53,1	29,3	16,5	0
191	4469118	5335580	0	0	0	50,9	10,1	70,5	32,5	0
192	4469142	5335569	0	0	0	24,5	56,3	71,3	35,6	0
193	4469159	5335559	0	0	0	30,3	5,4	76,7	41	0
194	4469167	5335545	0	0	0	35,1	6,5	53,1	51,2	0
195	4469159	5335518	0	0	20,8	33,8	6,9	33,2	54,2	42,2
196	4469151	5335490	19,9	0	18,4	33,8	6,5	33,8	16	67,2
197	4469143	5335466	22,8	0	19,9	32,5	6,5	45,3	44,4	17,1
198	4469134	5335437	22,1	20,2	19,9	36,1	7,6	41,2	44,9	36
199	4469127	5335412	16,6	19,4	8,5	17,1	7,6	48,9	43,5	64,6
200	4469120	5335388	12,6	19,7	22,6	36,8	8,3	30,8	48,5	60
201	4469113	5335364	9,7	21,2	12,5	37,9	8,6	43,4	48,6	63,4
202	4469108	5335340	15,5	20,8	23,4	37,8	8,6	40,2	20,7	47,9
203	4469100	5335318	18,2	22,6	23,4	32,4	8	40,6	40,5	33,8
204	4469090	5335292	17,3	21,6	21,5	39	8,6	49,8	9,6	60,1
205	4469084	5335264	12,4	22,8	25,1	30,5	4,7	42,7	46,5	36,3
206	4469073	5335236	16,9	21	23,8	42,6	4,7	31,2	45,3	56,2
207	4469065	5335208	19,6	21,2	26,4	41,6	3,7	34,8	19,6	58,8
208	4469060	5335181	17,7	25,1	27,1	32	3,4	24,9	19,4	44,7
209	4469052	5335157	15,5	24,6	25,3	45,7	7,2	23,1	34	24,2
210	4469041	5335125	12,1	26,7	28,5	28,2	9	16,5	10,2	32,4
211	4469032	5335098	12,8	25,7	18,5	29,4	10,1	19,6	15,6	8,5
212	4469027	5335071	11,1	23,8	16,8	24,5	23,8	23,7	23	8,8
213	4469021	5335046	9,4	28,1	17,7	28,2	41,1	33,2	24,2	8,3
214	4469019	5335028	8,1	24,2	19,6	30,3	69	79,9	9,6	38
215	4469004	5334988	48,4	65,8	16,5	52,1	13,9	41,9	44,7	34,6
216	4468991	5334964	3	17,5	30,6	48,1	15,3	48,7	51	67,9
217	4468985	5334943	3,5	15,9	31,2	48,1	5,4	48,6	47,7	64,7
218	4468979	5334922	21,4	17,4	31,9	49,1	6,2	57,2	47,7	63,1
219	4468972	5334896	18,7	31,8	32,6	60,5	7,2	23,2	60,3	51,8

	X_WERT	Y_WERT	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
220	4468961	5334869	21,2	30	42	26,1	12,2	24,2	24,8	68,1
221	4468953	5334846	35,5	29,6	14,7	26,7	15	27,3	25,1	40,9
222	4468944	5334823	23	38,8	14,4	25,9	14,3	35,5	25,9	42,3
223	4468938	5334799	16,7	26,1	11,6	26,3	10,4	48,7	25,2	40,8
224	4468932	5334774	12,9	17,4	15,5	60	12,2	62,6	28,2	40,2
225	4468926	5334750	10,6	15	44,7	61,2	32,6	60,1	59,9	73,2
226	4468918	5334721	8,7	15,2	47	26,5	40,4	57,8	58,2	71,8
227	4468908	5334691	28,3	45,3	11,3	36,9	40	57,7	58,2	71,8
228	4468900	5334665	27,8	34,4	19,5	79,1	13,2	51,4	58,1	71,8
229	4468891	5334638	28,8	36,1	37,9	67,3	17,1	57,8	49,7	63,3
230	4468881	5334612	31,4	68,3	69,1	41,2	18,9	60,1	60,4	74
231	4468873	5334587	30,4	48,1	19,5	35,5	19,2	59,1	60,4	74
232	4468865	5334558	28,7	31,2	5,9	65,4	20,3	51,8	49,3	72,2
233	4468855	5334525	27,5	32,1	50,7	66,6	20,6	58,3	57,6	64,7
234	4468844	5334501	25,8	46,1	46,3	63,1	18,2	54,2	64,6	75,8
235	4468836	5334473	32,2	46,7	48,5	64,3	10,8	59,9	53,8	67,7
236	4468828	5334449	29,3	46,7	47,4	64,3	13,6	60,5	61,9	74
237	4468820	5334426	33,1	46,1	47,4	63,1	13,2	50,1	60,5	73,3
238	4468806	5334392	40,9	42,7	23,7	47,5	13,2	70,3	69,1	44,4
239	4468797	5334361	39,2	44	35,2	52,8	13,9	65,7	66,2	78,1
240	4468793	5334338	31,2	34,9	37,5	45,7	15,7	51,1	59,2	71,4
241	4468786	5334317	31,2	37,3	29,1	58,4	0,2	58,4	27,1	73,3
242	4468770	5334292	54,3	30,5	34,1	51,4	0,2	76,5	73,6	83,2
243	4468765	5334270	43,8	23,5	35,7	53,8	0,2	73,8	73,7	79,3

### 6.9.3 Lehel

	X_WERT	Y_WERT	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	4469216	5333873	16,2	59,2	58,3	70,3	10,4	73,5	72,6	79,5
2	4469212	5333853	36,3	60,9	49,7	72,4	7,2	71,6	69,9	77,5
3	4469205	5333834	46,7	61,5	57,1	65,4	7,6	75,5	75,4	81,6
4	4469204	5333815	30,1	63,8	55,1	49,1	8,6	71,8	0	71,7
5	4469211	5333804	15,1	68,9	7,7	61,2	10,1	58,4	49	54,1
6	4469229	5333794	57,6	68	19,1	75,4	67,6	39,2	27,6	41,1
7	4469248	5333792	54,9	63,4	28,3	78,4	71,8	78,5	18,3	63,5
8	4469265	5333793	56,4	43,2	39,5	77,2	67,6	75,3	14	65
9	4469277	5333796	51,4	53,3	9,6	78	65,1	72,1	12	69,4
10	4469299	5333800	51,3	64,5	15,2	38,4	66,5	76,3	9,5	56,8
11	4469316	5333795	50,4	64,1	13,8	58,8	17,5	66,9	8,2	40,2
12	4469342	5333792	57,3	64,6	16,1	70,5	66,2	74,6	27,3	58,3
13	4469360	5333790	56	68,7	18,6	71,2	60,9	72,5	20,6	64,1
14	4469378	5333788	61,2	72,8	21,6	72,2	70,7	70,5	16,4	65
15	4469396	5333781	54,5	66,9	21,8	78,4	76,1	81,7	47,2	58,2
16	4469413	5333779	56,6	68,7	20,9	74,8	71,8	80,1	38,5	59,7
17	4469435	5333773	55,3	72,6	16,8	74,1	73,2	81,5	44,9	58,1
18	4469459	5333768	62,1	69,9	22,7	76	67,9	77,9	40,7	60,7
19	4469476	5333764	56,7	71	21,6	76,4	72,9	81,2	35,3	63,9
20	4469491	5333762	60,4	56	18,5	46,3	71,1	79,7	29,6	62
21	4469503	5333762	17,7	70,7	23,4	60,1	13,6	76,4	22,9	68,1
22	4469508	5333777	36,8	78,4	73,9	75,3	12,2	57,5	58,7	58,5
23	4469504	5333795	34,1	79,3	72,9	75,2	10,4	68,9	54,8	61,7
24	4469501	5333813	38,6	81,1	75	75,8	8,3	69,5	55,3	39,8
25	4469499	5333833	52,8	82,8	79,9	81	16	69,2	16,3	53,7
26	4469486	5333841	0	67,7	56,1	57,8	52,4	62,9	14,8	73,3
27	4469463	5333843	71,7	78,7	30,5	65,2	54,2	32,8	17,9	75
28	4469440	5333846	71,7	78,7	20,4	52,4	20,6	72,9	18,8	66,7
29	4469416	5333851	70,5	77,9	33,4	63,1	58,8	70,6	18,3	72,1
30	4469391	5333855	66,1	63,4	24,6	61,3	59,5	71,1	17,2	67,3
31	4469374	5333861	68,5	78,2	34,3	57,5	51,7	66,9	26,7	70,7
32	4469355	5333869	64,4	65,6	50	49,7	41,1	53,3	31,8	67,1
33	4469340	5333875	67,3	78,1	52,2	44,2	53,4	70,6	35,2	69,5
34	4469326	5333881	72,6	81,5	48,1	38,9	55,6	70,6	43,5	73,3
35	4469308	5333889	34,4	85,4	74	50,2	63,4	76,1	16,7	53,6
36	4469290	5333897	59,9	22,2	42,8	58,9	12,2	23,6	34,1	43
37	4469282	5333886	33,4	0	22,2	63,6	12,5	68,1	26,2	25,5
38	4469284	5333863	21,5	63,6	60,2	69,8	15,7	81,1	77,6	81,1
39	4469285	5333846	17,8	71,7	47,1	67,9	21,7	77,7	75,2	79,4
40	4469284	5333831	13,9	65,8	57,5	68,7	25,9	79,4	75,2	79,4
41	4469288	5333813	12,6	76,1	39,8	29,6	43,9	49,9	62	72,6
42	4469308	5333786	35,7	53,3	10,1	49,4	52,1	79,6	71	46,9
43	4469314	5333769	25,5	65,6	51,9	30,1	37,2	81,3	73,2	69,9
44	4469320	5333756	21,2	61	16,4	23,4	28,1	71,3	61,6	68,3
45	4469325	5333736	23,7	38,1	27,5	27,3	28,8	73,1	61,8	63
46	4469330	5333715	15,1	36,1	24,8	58	15	73,1	61,8	63,7
47	4469336	5333697	12,8	48,6	9,7	65,6	18,9	68,3	26,6	62
48	4469338	5333677	10,5	37,6	44,1	23,3	28,1	32,6	49	64,8

	X_WERT	Y_WERT	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
49	4469342	5333660	8,7	28,8	42,6	26,1	35,1	20,7	31,6	56,9
50	4469347	5333645	7,8	73,4	10,6	33,3	43,9	72,6	19,8	40,8
51	4469354	5333630	7	34,5	19,2	42	48,2	74,9	59,8	24,3
52	4469363	5333615	20,2	38,1	32,5	49,7	42,9	74	60,4	22,3
53	4469370	5333596	33,2	70,4	51,5	24,7	12,5	77,8	65,3	57,5
54	4469378	5333579	33,5	68,7	7,8	66,3	23,1	42,7	54,9	61,5
55	4469397	5333572	59,1	68,7	9,1	50,7	40,4	77,2	25,9	30,8
56	4469403	5333558	38,7	65,2	17,1	51,4	39,4	73,7	59,3	64,2
57	4469407	5333541	25,5	66,5	47,6	56,4	43,6	78,9	71,7	66,5
58	4469413	5333522	18,2	63,9	56,7	44	49,2	77	68,9	68,6
59	4469420	5333506	22,8	73,4	60,5	42,7	51,7	77,3	67,8	63,1
60	4469427	5333492	37,3	57,5	61,4	27,9	59,1	78,7	68,4	60
61	4469435	5333477	38,3	72,8	52,6	33,1	73,2	83,4	74,7	59
62	4469445	5333466	48,8	72,4	53,3	40,2	70,4	81,9	73,2	46,2
63	4469459	5333457	62,8	74,2	36,9	53,8	66,9	80,4	64,6	31,7
64	4469472	5333448	29,4	60,8	61,5	72,6	34,1	66,5	59,9	24,1
65	4469479	5333465	25,3	72,2	66,1	76,2	30,2	58,5	57,9	70
66	4469484	5333479	25,7	61,8	74	80	32,3	46,7	55,5	67,9
67	4469489	5333494	24,9	76,6	47,1	33,5	42,2	53,9	53,3	67,9
68	4469494	5333513	13,9	73,4	73,6	79,9	35,5	55,5	58,7	70,3
69	4469500	5333532	18,3	31,8	69,1	81,5	42,5	57,2	56,8	67,1
70	4469503	5333546	23,2	21,8	23,9	71,8	39,4	60,3	51,4	58,4
71	4469501	5333563	31,6	51,6	32	57,7	24,2	65,4	53,7	60,5
72	4469500	5333579	45,9	67,9	30,8	32,9	17,8	62,6	8,4	59,3
73	4469495	5333595	68,5	79,5	58,3	17,7	11,8	71,9	59,5	45,8
74	4469485	5333617	18,6	84,7	66,3	82,9	35,1	76,6	15,1	71,4
75	4469489	5333642	22,2	67,4	24,7	75,3	44,6	64,1	53,8	50,7
76	4469493	5333657	16,1	75,6	74,7	43,7	30,9	59,1	11,6	62,6
77	4469496	5333672	19	65,6	72,3	79,1	22,4	44	49,1	68,1
78	4469499	5333689	20,7	64	61,5	65,7	20,3	54,7	62,3	72,8
79	4469506	5333708	11,5	58,5	68,5	76,6	34,4	59,6	55	62,9
80	4469509	5333730	17,3	77,1	74,9	81,3	21,7	58,3	52,2	69,4
81	4469511	5333747	26,5	61,9	72	79,2	19,6	59,5	60,5	45,8
82	4469523	5333755	63,6	72,4	14,4	71,3	66,9	42,3	36,9	43,4
83	4469542	5333751	56,1	67,7	17,9	69,1	66,5	77,2	27,3	66,2
84	4469564	5333746	56,9	43,8	17,6	69,1	66,5	77,1	30,5	58,6
85	4469581	5333743	15,2	68	18,9	67,2	64	75	27,9	61,8
86	4469599	5333739	55,5	67,9	18,9	70,2	64	75	27,2	47,6
87	4469620	5333733	53,3	66	16	58,9	69,7	78,9	31,6	55,5
88	4469626	5333714	29,4	44,7	62,4	77,6	46,7	24,7	67,4	78,9
89	4469618	5333697	50,2	53,6	70	79,6	53,8	30,5	14,4	77,1
90	4469608	5333682	48,6	54,1	67,4	79,6	54,9	39,1	13,2	32,5
91	4469599	5333667	27,7	53,7	69,3	82,3	53,8	43,6	20,3	21,6
92	4469593	5333653	16,1	71,4	76,2	84,1	64	27,3	38	20,2
93	4469581	5333639	13,9	55	68,7	80,2	53,8	38,1	60,6	75,8
94	4469572	5333626	52,5	51,6	66,3	80,1	43,2	52,9	19,5	77,7
95	4469563	5333607	44,3	64,1	39	84,9	69	48,1	56,3	34,5
96	4469553	5333590	43,1	74,8	80,4	86,6	71,5	22,1	58,9	72,1

	X_WERT	Y_WERT	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
97	4469536	5333572	67,9	52,6	69,2	79,9	34,8	28,2	6,9	65
98	4469528	5333554	35,1	67,1	53,6	42,7	58,4	27,2	27,4	34
99	4469540	5333545	60,6	76,2	53,6	42,7	68,6	81,2	62,3	28,1
100	4469554	5333535	62,5	77,9	55,3	40,4	66,5	79,5	62,3	17,3
101	4469568	5333525	64,5	77,9	57	26,1	66,5	79,5	60,4	19,6
102	4469582	5333516	66,6	79,6	62,5	0	62,3	77,8	56,7	39,2
103	4469593	5333506	64,5	77,9	58,8	0	66,5	79,5	60,4	34,8
104	4469611	5333493	66,6	37	54,7	0	47,5	47,1	58,5	37,2
105	4469624	5333496	35,7	61,4	76	83,3	34,4	14,1	36,4	74,6
106	4469634	5333512	31,2	65,9	73,9	80,7	63,4	25,9	58,8	69,7
107	4469642	5333529	27,8	50,5	69,4	78,4	49,2	49,4	52	69,7
108	4469652	5333545	23,1	70,6	21,6	80,6	58,8	45,5	47,5	22,5
109	4469670	5333541	54,9	72,9	33,9	65,2	69,4	80,6	29,8	46,6
110	4469685	5333532	37,1	58,1	39,1	67,4	73,2	83,1	60,6	49,8
111	4469700	5333524	56,3	71,9	35,8	68,9	72,5	82,7	61,1	44,7
112	4469717	5333519	56,4	32,4	51,2	63,8	65,8	77,3	49,2	56,8
113	4469729	5333529	39,3	44,2	77	84,6	46,7	61,4	24,7	73,8
114	4469746	5333547	36	64,3	71,5	83,9	67,6	41,7	40,7	67,8
115	4469759	5333567	36,7	62,4	76,2	84	62,3	30,6	49	68,9
116	4469768	5333583	41,1	61,1	72,1	80,7	57,3	30	50,9	71,4
117	4469780	5333602	24,9	75,4	74,6	80,8	57	32,4	53,3	70,2
118	4469785	5333625	26,6	73,2	71,6	78,6	35,8	63,6	62,9	72
119	4469792	5333645	16,9	78,6	76,6	82,3	42,5	59,9	57,5	71
120	4469796	5333664	21	76,7	74,1	80,4	39	61,1	59,7	71
121	4469800	5333687	22,3	66,5	0	78,6	32,6	65,9	64,1	49,1
122	4469785	5333701	69,6	77,3	37,2	54,7	59,8	67,7	23,4	71,3
123	4469765	5333706	69,6	77,3	33,9	62,7	48,9	70,9	22,4	71,3

	X_WERT	Y_WERT	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
124	4469748	5333709	67	77,3	30,4	56,5	59,5	72,6	16,3	69,4
125	4469727	5333714	69,7	77,3	30,5	64,1	24,5	66,2	22,8	72,8
126	4469712	5333718	72,9	79,5	33	53,9	58	34,5	22,3	76
127	4469698	5333720	68,5	79,5	28,2	64,6	30,5	50	23,3	30,3
128	4469686	5333714	22,2	68	14,4	60	25,6	69,8	66,9	44,7
129	4469680	5333697	16,1	48	42,1	70,1	17,1	75	74,1	80,5
130	4469675	5333680	45,1	36,1	55,7	70,7	15	76,5	76,7	82,4
131	4469672	5333665	42,5	58,9	61,4	72,5	17,5	76,1	75,8	79,9
132	4469669	5333646	35,8	65,5	61,4	67,9	20,3	74,8	73,9	80,4
133	4469666	5333630	33,6	61,9	57,8	70	22,4	74,8	71,4	78,5
134	4469663	5333612	32,2	62,2	57,8	70	26,3	73	71,4	78,5
135	4469659	5333596	34,5	60,4	63,1	73,7	20,3	73,4	71,4	78,5
136	4469655	5333580	36,6	64	63,1	75,4	27	54,7	72,1	80,7
137	4469649	5333566	53,5	59,6	61,1	34,7	27,3	66,7	35,7	80,7
138	4469640	5333549	44,6	53,2	25,8	66,7	26,6	69,7	73	81,2
139	4469634	5333532	51,9	50,2	51,4	65,6	36,9	63,9	68,6	79,5
140	4469629	5333522	53,5	42,6	47,7	67,8	38,7	74,6	70,8	79,5
141	4469622	5333501	45	48,1	65,4	78,4	30,9	32,5	70,9	81,3
142	4469602	5333476	34,1	32,2	65,7	80,9	53,1	34	63,5	77,3
143	4469592	5333464	57,6	29,2	62,7	76,9	48,2	20,2	65,6	79,1
144	4469584	5333451	54	35,9	64,8	76,9	50	22	61,4	77,3
145	4469573	5333438	57,6	38,8	58,6	75,1	42,5	0	63,1	78,3
146	4469562	5333423	54,6	37,1	39,1	66,3	41,5	0	15,2	77,7
147	4469551	5333414	41,9	29,7	40,7	67,6	29,1	0	28,6	32,4
148	4469542	5333400	22	29,3	48,2	67,6	0,2	0	45	32,9
149	4469538	5333387	19,1	35,6	53,9	0	0,2	0	46,6	61,2

## 6.9.4 Neuperlach 1

	X_WERT	Y_WERT	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	4473033	5329759	0	0	4,5	10,8	0,2	10	1,2	0
2	4473033	5329743	0	0	5,7	12,6	0,2	10,4	8,4	0
3	4473033	5329724	0	0	5,8	11,9	0,2	5,3	7,1	0
4	4473033	5329696	0	0	4,7	14,2	0,2	5,5	7,3	0
5	4473033	5329667	0	0	3,1	14,8	0,2	5,5	0,5	10,1
6	4473033	5329643	0	0	3,1	15,6	0,2	9,3	5,1	10,2
7	4473033	5329622	0	0	3,1	18,3	0,2	9,4	0	10,1
8	4473033	5329596	0	0	7	19,3	0,2	21,1	2,9	8,4
9	4473032	5329577	0	2,4	7,6	21,8	0,2	23,1	2,5	8
10	4473032	5329553	0	7,8	9,4	23,4	0,2	17,6	11,8	7,3
11	4473032	5329532	0	7,1	11	25,3	0,2	21,1	14	23,5
12	4473033	5329511	0	8,1	13,3	26,6	0,2	34,8	0	24,7
13	4473033	5329493	0	7,3	14,1	26,6	0,2	47,3	3,9	18,9
14	4473032	5329475	0	6,7	17	25,8	0,2	48	35,2	11,6
15	4473032	5329450	0	6,1	17,5	26,7	0,2	44,1	38,1	44,9
16	4473031	5329425	0	5,9	19	19,3	2,6	43,8	36,1	48
17	4473031	5329410	0	6,2	18	22,7	3	27	37,9	44,8
18	4473031	5329388	0	25	18,2	32,4	3,4	42,3	3,5	43,7
19	4473032	5329360	0	25	2	2,2	0,2	31,4	31,6	15,7

	X_WERT	Y_WERT	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
20	4473032	5329341	0	25,3	1,5	0	0,2	50,7	0	41,1
21	4473032	5329321	0	25,6	24,8	11,6	0,2	53	42,6	29,5
22	4473032	5329306	0	26,6	11,3	13,9	0,2	56,8	43,2	52,4
23	4473033	5329286	0	6,9	10,2	19	0,2	54,9	41,4	51,2
24	4473034	5329260	0	32,7	9,3	15,6	0,2	38,5	0	49,5
25	4473038	5329237	0	23,6	9,1	20,6	0,2	59,3	41	33,6
26	4473037	5329215	0	18,8	7,2	19,2	0,2	16,2	0	56,3
27	4473037	5329191	0	16,5	14,3	7,4	0,2	0	17,1	19,6
28	4473037	5329171	0	19,3	13,9	9,7	0,2	0	0	31,8
29	4473036	5329145	0	19,6	2,7	13,9	0,2	0	0	10,3
30	4473036	5329126	0	16,5	2,6	10,7	0,2	0	0	6,7
31	4473050	5329113	0	13,2	3,5	13,4	10,4	0	0	6,2
32	4473058	5329119	0	13,8	2,6	13,7	15	0	0	6,8
33	4473063	5329139	0	22	8,6	14,6	9,7	0	0	12,2
34	4473063	5329155	0	39,3	5,7	13,6	8	0	0	10,4
35	4473063	5329181	0	43,4	35,2	9,8	5,8	0	8,7	15,7
36	4473063	5329205	0	44,8	33,6	43,6	4,7	0	2,5	10,7
37	4473063	5329230	0	21,8	35,1	31,6	4,1	12,8	15,7	24,3
38	4473065	5329248	0	26,8	9,8	48,2	3,4	8,2	1,8	23,4

	X_WERT	Y_WERT	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
39	4473082	5329254	0	29	5,7	41,8	30,9	8,2	0,7	17,5
40	4473105	5329255	22	35	15	40,4	29,8	40,4	0	11,4
41	4473123	5329254	21,5	44,2	6,4	1,2	30,9	41,8	0,6	10,4
42	4473142	5329246	19,2	45,4	22,2	3	11,1	56,1	1,9	8,1
43	4473155	5329233	23,2	52,2	26,3	3,3	15,7	17,1	28,8	7,6
44	4473166	5329219	19,9	7,2	22,4	3,3	22,4	12,7	19	7,2
45	4473179	5329200	21,8	50,2	26,3	1,6	15	53,6	8,2	6,7
46	4473192	5329185	18,4	47	29,9	1,7	3,4	43,1	20,2	6,5
47	4473202	5329172	22,4	54,2	29,7	0	5,1	10,5	22	6,1
48	4473211	5329159	19,9	7,3	25,6	0	17,5	11,6	0	5,9
49	4473225	5329149	22,8	59,2	4,5	0	6,9	40,7	1,2	5,5
50	4473238	5329140	23,3	62	4,9	2,3	7,2	13,6	2,2	5,2
51	4473254	5329134	36,9	63,7	5,1	10,9	7,6	13,7	11,8	5,2
52	4473275	5329127	48,7	58,9	5,4	12,4	9,3	13,9	7	5,3
53	4473293	5329119	44,2	57,7	4,9	16,5	6,9	14,9	1,2	10,8
54	4473305	5329111	39,4	53,3	3,6	23,1	14,3	19,3	3,4	10,6
55	4473323	5329102	40,8	45,6	3,2	15,1	31,2	51,3	3	19,7
56	4473346	5329104	42,1	6,2	3,6	6,8	9,3	12,2	2,5	42,7
57	4473369	5329104	41,5	5,7	3,9	23,5	3	13,9	2,2	44,7
58	4473391	5329103	36,3	5,8	4,2	43,5	0,2	8,7	2	48,8
59	4473409	5329107	30	7,3	4,9	31,6	24,9	5,2	1,8	51,5
60	4473425	5329109	24,6	14,3	5,5	35,7	19,9	31,6	1,8	53,9
61	4473448	5329115	20,2	17,9	10,1	17,1	0,2	22,1	1,3	50,8
62	4473456	5329123	21	19,8	14,5	23,3	19,2	17,1	0,3	51,8
63	4473476	5329138	17,9	26,9	37	9,4	10,4	11,7	1,6	49,1
64	4473490	5329157	18,2	34,9	32,2	64,8	3,7	8,6	0	50,4
65	4473504	5329176	12,3	54,9	42,7	58,9	2,6	6,8	25,7	47,8
66	4473512	5329199	14,3	50,2	58,7	60,6	23,8	5,5	26,5	47,5
67	4473515	5329218	16,9	16,3	44,2	58,9	17,8	2,8	31,3	55
68	4473517	5329240	22,8	23,9	15,9	56,9	13,6	3,5	35,1	59,5
69	4473521	5329258	17,5	34,2	18,1	46	11,1	3,4	40,6	67,4
70	4473527	5329275	15,2	47,9	14,1	34,9	13,6	2,3	52,6	59,3
71	4473534	5329295	18	51,7	51,4	65,7	12,2	2,3	45,8	60,5
72	4473540	5329311	17,3	30,6	57,5	68,5	12,9	41,4	42,3	6,6
73	4473544	5329327	23	44,6	7,6	44,6	18,9	50,9	34,4	8,2
74	4473548	5329341	34	50,6	8,8	29,7	19,6	47,5	0	7,5
75	4473554	5329357	67,1	74,9	50,6	19,9	15,3	39,5	0,5	67,4
76	4473560	5329384	6,6	50,1	47,1	78	76,4	82,7	54,2	56,1
77	4473563	5329404	7,2	54,1	9	56,7	33,7	52,6	40,5	52,2
78	4473566	5329426	8,5	57	49,3	58,7	19,2	45,6	40,5	39,4
79	4473566	5329436	9	68,4	49,3	58,7	16	47,8	38,7	36,1
80	4473566	5329457	10,2	42,6	61,8	68,3	11,8	50,4	34,3	32
81	4473564	5329473	11,4	64,1	12,9	65,5	10,1	47,8	31,3	9,2

	X_WERT	Y_WERT	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
82	4473561	5329496	12,5	58,7	49,3	37,7	8	46,2	28,6	8,8
83	4473553	5329516	0	47	37,2	47	7,2	47,8	29,7	9,7
84	4473549	5329531	0	13,8	32	42,4	6,5	45,5	28,6	10
85	4473540	5329552	0	40,8	0	34,4	6,5	47	22,5	10
86	4473529	5329566	0	46,4	0	27,7	12,5	48,6	20,5	10,6
87	4473512	5329579	21,1	28,9	0	21,1	19,9	50,4	21,1	11,9
88	4473496	5329592	30,2	41,8	18	17,2	24,5	49,5	20,8	13,3
89	4473484	5329605	34,7	60,7	18	15	24,2	49,2	19,8	14,8
90	4473470	5329616	33,2	58,2	28,7	13,1	24,2	48,7	0	16,9
91	4473451	5329624	6,8	49,5	21,3	11,2	27	52,2	0	19,8
92	4473436	5329638	9	2	22,5	10	27,3	48,6	0,4	23,1
93	4473413	5329647	0	16,9	12,9	8,6	30,9	46,2	0,4	35,2
94	4473393	5329651	0	0	9	8,1	32	42,5	0	43,8
95	4473371	5329654	35,9	0	7,8	24,7	30,9	7,5	0	55,3
96	4473353	5329660	54,9	0	8,2	35,1	27,7	34,3	0	49,3
97	4473326	5329663	43,4	59,9	6,9	35,1	5,8	33,4	0	35,5
98	4473304	5329666	5,2	54,6	6,1	34,1	22,7	27,9	0,2	31,7
99	4473285	5329668	24	29,2	5,7	32,8	21,7	4,1	0,2	35,4
100	4473265	5329667	24,1	25,1	5,4	8,5	25,2	6	0,2	47,8
101	4473243	5329660	36	28	5,4	34,4	22	6	0	17,8
102	4473225	5329653	30,4	25	4,7	37,3	22	7,1	0	20,2
103	4473212	5329643	10,7	21,1	4,6	43,4	21	7,4	0,8	0
104	4473193	5329634	7,7	26,3	4,4	41,5	17,8	8,1	0,8	0
105	4473173	5329624	0	22,1	4,2	38,6	15,7	9,2	0	0
106	4473156	5329613	0	19,2	3,9	38,9	15,3	9,5	0	0
107	4473142	5329602	0	14,7	14,9	35,3	15,3	11	0	0
108	4473127	5329590	0	13,6	14,7	34,2	13,6	12,3	0,3	0
109	4473107	5329581	0	12,8	13	34,8	11,8	13,5	1,8	3,9
110	4473090	5329578	0	11,2	11,2	30,3	5,8	9,8	1,9	8,1
111	4473073	5329578	0	9	9,8	28,2	0,8	12	2,1	7,4
112	4473068	5329590	0	10,2	9,3	24,1	1,2	12,7	0,4	8,1
113	4473067	5329610	0	2,9	8,5	21	1,2	11,1	0	6,3
114	4473067	5329632	0	0	3,4	19,8	1,2	10,7	1,6	5,8
115	4473067	5329656	0	0	3,3	17,7	0,8	7,8	0	0
116	4473067	5329679	0	0	4,7	15,4	0,8	7,2	0,7	0
117	4473070	5329704	0	0	6,3	16	0,2	4,5	5,1	0
118	4473070	5329732	0	0	7,7	13,2	0,2	4,6	6,4	0
119	4473070	5329761	0	0	5	11,9	0,2	4,6	1,1	0
120	4473063	5329778	0	0	0	10,9	0,8	6,3	0	0
121	4473037	5329780	0	0	0	11,6	0,2	9,1	0	0

## 6.9.5 Neuperlach 2

	X_WERT	Y_WERT	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	4474058	5329280	0	61,3	9,4	34,9	7,6	77,2	0	0
2	4474059	5329259	0	44,4	4,3	8,2	8,3	0	72	74,6
3	4474059	5329235	0	29,4	4,4	10,2	9	59,5	0	76,9
4	4474059	5329217	0	23,7	0,6	12,7	9,7	65,1	0	0
5	4474059	5329192	0	3,1	25,8	19,5	10,8	0	50,9	0
6	4474059	5329165	0	2,1	6,7	3,3	12,2	58,3	0	0
7	4474059	5329137	0	35,3	19,2	4,1	14,3	58,3	48,9	64,2
8	4474059	5329118	0	34,3	5	6,9	16	58,3	48,9	58,3
9	4474058	5329098	0	28,7	4,7	7	18,5	58,3	48,9	59,8
10	4474058	5329074	0	18,4	3,7	4,7	22,7	58,3	48,9	58,3
11	4474060	5329052	4,5	15,5	4,7	5	28,8	0	45,7	55,4
12	4474065	5329033	5,2	13,5	6,4	5,3	23,8	0	24,5	48,9
13	4474067	5329016	4,9	12,1	5,7	5,3	28,8	0	0	46,6
14	4474077	5329002	4,9	11,2	5,1	11,9	29,4	72,5	0	35,9
15	4474080	5328986	4,6	10,5	5,7	18,6	36,9	71,2	60,8	24,7
16	4474087	5328970	4,6	11,7	5	31	45,4	67,7	57	21,2
17	4474102	5328958	4,2	11,7	5,7	24,7	46,1	67	42,4	18
18	4474120	5328945	4	14,5	4,3	28,3	50	67,9	37,9	14,7
19	4474136	5328934	8	11,4	3,7	19,2	49,6	70,5	33,1	14,3
20	4474155	5328927	7,2	12,2	4,9	11	46,4	65,1	31,8	13,5
21	4474168	5328915	5,9	11,7	13,1	6,9	46,4	69,8	38	12,2
22	4474186	5328902	17,2	11,7	3,8	7,3	44,3	70,8	33,6	20,5
23	4474206	5328888	4,9	13,5	3,9	7,7	6,5	70,5	36,7	9,4
24	4474221	5328874	4,6	17,9	5,4	8,1	6,5	54,1	44,3	8,7
25	4474242	5328859	4,4	15,5	6,3	8,5	39,7	21	28,8	7,8
26	4474257	5328845	5,1	15,3	7,4	9	23,8	66,3	22,7	7,3
27	4474268	5328830	4,1	15,1	8,1	9,6	27	63,8	51,9	6,9
28	4474269	5328815	4,6	14,1	6,5	9,7	35,8	62,5	53,7	6,9
29	4474288	5328801	3,7	16,1	6,2	10,5	40,8	60,1	34,2	6,3
30	4474304	5328792	3,6	20,3	2,1	11,3	40,8	62,5	25,5	5,9
31	4474320	5328782	3,6	23,8	1,9	11,8	43,6	62,5	25,1	5,6
32	4474338	5328769	4,7	23,2	2,1	12,7	39	63,8	29,3	5,3
33	4474354	5328761	11,3	22,7	2,2	12,7	0,2	60,1	29,7	5
34	4474355	5328732	7,6	14,5	0	14,9	0,2	73,3	66,9	5
35	4474357	5328710	6,1	8	0	17,8	0,2	70,4	63,3	70,4
36	4474331	5328716	52,2	83,8	81,2	83,8	31,6	22,9	15,2	48,8
37	4474317	5328722	58,2	69	55,1	63,8	0,2	28,9	14,9	43,9
38	4474301	5328732	58,2	70,4	37,2	47,9	0,2	44,4	15,2	45,4
39	4474286	5328742	53,7	73,3	39,8	37,3	9	43,1	14,9	54,6
40	4474266	5328749	52,2	71,8	39,8	28,2	26,3	45,7	16,9	25,3
41	4474257	5328758	68,9	73,3	35,7	25,4	26,3	44,4	15,2	28
42	4474239	5328768	47,1	69	55,1	21,4	25,6	43,1	11,6	19
43	4474231	5328778	3,5	76,1	49,6	19,5	21,7	42	17,9	36,7
44	4474227	5328798	3,7	70,4	66,9	70,4	16,8	30,9	18,6	48,5
45	4474227	5328814	3,9	69	63,3	70,4	12,9	18,2	18	48,5
46	4474227	5328835	4,1	14,2	5,4	71,8	10,1	19	39,5	49,3
47	4474229	5328863	4,5	16,5	5,6	8,3	7,2	46,8	35,5	8,3
48	4474229	5328881	4,7	18,7	5,5	8	6,2	46,8	33,1	8,3
49	4474232	5328901	5,1	19	11,1	7,3	5,4	43	19,2	8,2
50	4474240	5328920	5,5	17,2	4,2	22,6	14,7	39	15,2	9

	X_WERT	Y_WERT	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
51	4474248	5328945	6,1	19,4	6,9	11,2	12,2	36	12,5	17,8
52	4474259	5328966	6,6	21,5	9,7	10,5	8,3	31	11,8	22,3
53	4474268	5328981	7,1	29,2	10,4	13,8	7,2	28,1	10,4	20,7
54	4474270	5329003	11,3	59,1	11,3	16,7	6,5	24,6	13,9	7,1
55	4474268	5329026	9,2	68,3	60,6	68,3	5,8	23,4	4,5	16,9
56	4474268	5329047	10,6	68,3	60,6	68,3	5,4	20,4	4,9	16,9
57	4474267	5329076	13,4	5,9	57,6	65,9	5,1	17,8	8,3	32,1
58	4474266	5329100	17,2	15,9	3,1	48,1	4,7	17,6	24,7	23,8
59	4474258	5329124	24,1	72,8	4,8	21,4	4,4	43,8	11,9	30,9
60	4474245	5329144	34,1	54,8	46,2	21	4,7	29,5	5,5	44,5
61	4474235	5329157	47,4	56,9	35,6	19,5	13,6	27,2	6,2	56,9
62	4474212	5329161	52,8	61,8	23,3	14,4	15,7	32,1	0	59,3
63	4474191	5329165	59	67	17,6	13,3	21,4	37,1	0	63
64	4474167	5329166	60,8	67	13,6	20,1	25,9	35,7	0	66,1
65	4474145	5329171	67,4	71,3	11,3	30,8	22	30,4	22,5	33,4
66	4474124	5329181	12,1	80,8	34,8	23,6	16,8	18,3	27,1	41
67	4474114	5329202	14,8	22,7	65,6	15,8	10,8	20,9	0	43,3
68	4474118	5329224	18,8	2,9	5,3	73,2	8	19,9	0	0
69	4474149	5329227	19,6	31,3	6,1	45,3	50,3	70	0	27,3
70	4474166	5329215	3	30,7	0,7	60,5	50	71	0	23,8
71	4474187	5329213	0,5	32,4	0,7	59,2	52,8	59,3	0	22,7
72	4474215	5329213	21,8	8,1	0,8	62,8	48,5	60,4	0	22,7
73	4474241	5329213	24	6,4	0,8	58	49,6	60,2	0	22,7
74	4474260	5329212	23,4	12	0,9	3,8	50	61,5	0	0,5
75	4474287	5329210	1	18,9	1	5,7	6,2	56,9	0	30,3
76	4474301	5329207	0,7	21	1	5,9	4,4	53,7	12,5	29,7
77	4474320	5329202	4,8	26,6	0	6	4,4	40,8	11,4	27,9
78	4474348	5329195	5,6	38,3	0	55,1	13,6	12,5	15,1	22,2
79	4474380	5329188	0,6	0	0	76,4	11,8	10,8	12,1	3,9
80	4474402	5329187	36,7	0	0	74,4	63,4	71,3	10,2	3,5
81	4474430	5329185	14,9	0	0	75,3	63	77,3	8,6	44,8
82	4474449	5329182	0	0	0	57,5	63	71,3	7,7	40,6
83	4474470	5329177	0	0	0	50,4	52,4	72,4	7,5	29,6
84	4474490	5329171	0	0	0	58,8	45,7	67	39,2	22,9
85	4474515	5329169	0	0	0	63,6	44,3	59,5	28,1	19,2
86	4474533	5329169	0	0	0	63,5	53,4	61,1	23	20,7
87	4474558	5329168	0	9,1	0	67,4	58	65,3	18,2	20,9
88	4474578	5329170	0	12,3	0	15,2	54,5	64,8	15,8	18,4
89	4474601	5329170	0	0	0	17,5	4,7	57,6	13,6	16,6
90	4474622	5329170	6	0	0	14,5	4,7	14,7	12	14,9
91	4474640	5329170	0	0	0	16	6,5	15,1	11	10,1
92	4474666	5329170	0	0	0	71,7	9,7	13,1	9,7	9,5
93	4474692	5329169	0	0	0	70,6	59,1	9,2	8,7	6,8
94	4474718	5329165	0	0	0	56,6	59,1	68,9	7,7	0
95	4474744	5329155	0	0	0	42,8	60,1	74,6	7	0
96	4474772	5329146	0	0	0	7,3	40,4	77,3	33,9	0
97	4474789	5329139	0	0	0	14,4	26,6	66,3	38,1	0
98	4474805	5329120	0	0	2,9	20,5	4,1	62,6	44	0
99	4474806	5329092	0	8,4	13,7	17,8	5,1	61,9	54,1	60,6
100	4474801	5329061	0	3,5	7	32	5,1	65,4	63,6	68,5

	X_WERT	Y_WERT	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
101	4474798	5329043	0	16,4	20,2	38	5,1	57,6	61,9	69,4
102	4474790	5329023	0	13,9	21,9	30,8	5,4	36,6	60,3	75,7
103	4474782	5329006	45,7	16,2	16,4	0	5,8	46,1	67,4	79,9
104	4474775	5328991	51,6	16,6	16,4	18	3,4	53,5	6,1	17,6
105	4474752	5328997	18,6	72,2	9	13,7	34,1	50,8	6,1	25,4
106	4474747	5329020	22	58,2	63,6	13,1	27,3	38,6	25,5	25,1
107	4474750	5329037	26,5	58,3	51,5	69,4	22	32,4	23,1	9
108	4474756	5329054	33,3	61,7	54,4	68,1	17,8	27,5	15,3	6,5
109	4474751	5329081	48,5	59,6	48,9	59,5	15,3	30,6	14,8	46,2
110	4474745	5329098	62,7	74,9	42,2	51,1	13,9	28,1	3,5	60,3
111	4474722	5329108	58,1	74,2	28,2	36,2	14,3	36,7	1,6	62,7
112	4474699	5329112	61,4	69,8	31,7	27,6	14,7	16,4	1,7	7,9
113	4474687	5329118	68,7	74,5	33,9	24,3	31,6	18,5	1,7	8,5
114	4474669	5329120	0	75,6	27,4	21,4	12,5	11,8	1,8	12
115	4474636	5329122	0	0	20,7	33,3	12,2	11,7	1,9	13,7
116	4474600	5329125	0	0	16,9	15,9	6,2	19,1	2	58,8
117	4474591	5329118	0	0	14,3	18,5	6,2	20,3	2	60
118	4474586	5329100	0	0	8,1	24,9	6,9	24,3	2,1	43,8
119	4474580	5329074	0	0	11,1	24,6	8,3	33,7	13,7	30,5
120	4474574	5329052	16,1	0	13,9	29,2	10,1	19,1	30,8	24,2
121	4474572	5329035	13,7	27,8	8,7	30,9	11,8	22,4	10,6	46,9
122	4474551	5329041	80	82,9	7,6	15,6	3,7	23	7	82,9
123	4474524	5329042	21,4	50,9	45,8	15,5	3,7	33,6	8,1	24,2
124	4474512	5329024	14	34,8	5,9	18,7	3,7	39,4	20,3	18,5
125	4474512	5329005	11	22,8	5,6	23,9	4,1	12,2	27	7,8
126	4474514	5328980	9,4	18,6	1,6	31,6	4,1	48,3	29,9	6,9
127	4474514	5328957	8,2	17,1	10,2	15,7	4,4	74,5	29,7	1,3
128	4474514	5328933	7,3	15,5	20,6	6,9	4,7	13,1	8,1	74,5
129	4474491	5328927	70,5	71,6	8,3	5,8	4,7	15,5	11,2	71,6
130	4474474	5328923	61,2	67,4	7,8	4,2	4,7	14,4	20,4	66
131	4474464	5328913	44,3	55,2	7,5	4,2	4,7	17,6	28	16,2
132	4474460	5328887	26,1	12,6	7,4	4,4	4,7	34,1	6,9	43,9
133	4474460	5328862	18,3	12,1	7,4	4,6	5,4	49,3	27,4	15,3
134	4474460	5328843	15,3	15,5	3,1	4,9	5,8	42	39,5	43,5
135	4474456	5328819	14,3	13,5	3,1	4,9	6,2	18	37,9	56,7
136	4474456	5328803	12,8	11,6	3,4	4,9	6,5	18	25,7	47,7
137	4474456	5328784	11,4	10,2	3,3	4,9	7,2	17,5	7,4	37,7
138	4474454	5328757	9,9	8,6	2,9	0	7,6	17,6	10,3	23,2
139	4474454	5328733	8,9	14,3	0	4,7	9	0	13,2	12,4
140	4474454	5328707	8	12,8	2,8	16,9	10,8	0	13,2	3,8
141	4474452	5328672	7	11,1	3,1	25,2	11,4	0	13	3,8
142	4474463	5328652	5	10,9	3,5	32,2	21	13,6	11,8	3,7

	X_WERT	Y_WERT	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
143	4474489	5328645	5	11,6	14,9	33,7	29,8	27,1	9,8	3,5
144	4474512	5328638	2,3	11	2,7	31,8	24,9	37,9	6,8	2,5
145	4474535	5328633	2,9	13,1	5,9	8,1	24,5	82,3	79,2	82,3
146	4474552	5328620	2,9	5,7	7,2	9,6	38,7	53,8	18,6	22,1
147	4474577	5328610	3,4	7,2	9,6	12,5	15	60,3	15,1	7,2
148	4474594	5328588	3,2	18,1	10,7	17,2	12,5	30	53,5	6,9
149	4474593	5328561	3	17,1	4,9	10,3	16,8	0	22,3	61,1
150	4474611	5328553	2,9	21,8	6,2	21,1	0,2	0	17,8	45,2
151	4474645	5328553	14,8	36	9,5	59,3	39,7	28,8	12,8	6,7
152	4474674	5328555	28,3	9,7	14,7	0	23,1	49,4	10,2	3,8
153	4474696	5328556	22	11,7	28,9	58,8	7,2	31,3	9	38,7
154	4474712	5328572	18,4	14,8	41,2	64,7	25,6	21,1	8,9	48,9
155	4474721	5328585	18,4	17,3	33,3	64,7	27,7	16,6	25,3	48,9
156	4474737	5328604	6,3	25,5	0	71,4	26,6	14,4	22,7	45
157	4474761	5328608	8,4	43,7	0	56,1	41,1	48,8	13,3	11,7
158	4474760	5328625	9	56,8	35,8	18,7	19,9	12,8	17,9	13,1
159	4474756	5328645	9,8	65,4	57,1	68,6	11,4	16	6,3	17,1
160	4474757	5328675	12,1	68,6	61	68,6	7,2	23,4	8,1	29,8
161	4474757	5328691	15,7	65,4	57,1	71,9	6,2	12,2	22,7	8,9
162	4474762	5328715	27,5	37,5	0	54,4	5,1	8,4	3,5	5,4
163	4474762	5328733	55,6	64,2	0	30,6	4,4	25,9	3,5	66,5
164	4474742	5328737	74,7	79,1	0	24,9	4,4	26,6	3,7	6,2
165	4474726	5328751	11,2	54	42,4	18,1	13,9	13,6	3,7	6,7
166	4474729	5328783	13,3	25,6	7,3	62	8,3	11,4	35,5	45,3
167	4474744	5328804	16,4	12,8	27	21,3	30,2	10,7	20,2	27,5
168	4474757	5328813	38,4	14,5	40,8	48	13,2	10,1	14,5	12,8
169	4474770	5328828	8,6	16,7	62,5	69,8	10,8	9,6	11,3	8,8
170	4474775	5328847	9,4	9,7	37,3	65,8	8,6	14,6	10,4	76,1
171	4474792	5328857	2,1	22,8	16,6	69,6	54,5	8,6	7,3	60,3
172	4474809	5328859	3,8	30,4	23	66	55,6	62	6,1	48,3
173	4474833	5328860	4,5	56,3	46,7	61,7	53,8	64,3	27,7	36,2
174	4474833	5328880	5,4	54,7	45	56,3	29,1	39,2	24,7	12,1
175	4474837	5328905	7,4	63,5	52,6	61,6	17,8	7,4	26,4	11,6
176	4474841	5328929	10	11,8	0	63,5	12,9	7,2	25,5	9,6
177	4474855	5328943	5,3	14,8	32,9	0	32,3	6,5	19,7	25
178	4474869	5328965	7,6	16,2	22,2	50,2	0,2	6,2	6,4	24
179	4474880	5328983	10,5	0	18,8	36,4	20,6	24,1	13,5	25,1
180	4474897	5329000	8,8	0	37,2	57,2	16,4	21,3	10	21
181	4474910	5329023	2	0	0	60,2	20,6	19,2	11	16,4
182	4474920	5329046	3,3	0	0	0	18,5	18,4	11	33,3

## 6.9.6 Moosfeld

	X_WERT	Y_WERT	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1	4474842	5332862	10,2	6,1	9,3	60,6	0,2	0	0	10,2
2	4474848	5332868	10	6,3	16,8	55,5	0,2	0	24,7	9,9
3	4474857	5332877	9,8	6,9	28,1	19,1	28,8	0	23,4	14
4	4474869	5332889	16,8	7,8	20,7	54,9	18,5	0	13,8	27,4
5	4474879	5332899	18,2	8,7	20	44,6	24,5	0	10	26,5
6	4474891	5332908	18,6	9,7	28,8	0	19,9	0	0	38
7	4474908	5332918	4,4	10	31,4	59,9	30,2	0	9	37,5
8	4474920	5332925	3,9	10,5	15,2	62,8	42,5	0	8,3	36,7
9	4474935	5332932	23,7	10,9	23,1	26,1	9,7	34	11,6	7,1
10	4474945	5332937	24,2	11,3	29,1	13,7	19,6	39,3	10,7	7,8
11	4474959	5332947	15,5	12,5	26	63,6	10,8	26,6	11	45,1
12	4474977	5332955	14,8	16,3	14,1	58,4	42,5	13,2	8,2	37,1
13	4474995	5332960	14,1	17,6	20,3	44,3	50,6	45,1	7,6	26,3
14	4475010	5332963	5,8	0	24,3	54,4	19,9	57,6	6,3	24,5
15	4475023	5332967	10,5	0	0	67,1	35,8	50,2	4,3	23,5
16	4475038	5332972	17,3	0	0	0	50	53,5	9,6	17,2
17	4475046	5332987	25	0	0	0	23,8	28,5	9,5	32,8
18	4475033	5332992	36,8	35,7	0	0	19,6	19,2	11,7	14,3
19	4475011	5332989	10,5	38,4	0	32,8	10,8	8,5	17,2	59,2
20	4474996	5332985	46,2	26,3	0	30	23,1	12,9	20,2	63
21	4474978	5332978	43,1	40,1	0	23,8	19,2	8,2	28,8	60,4
22	4474964	5332973	44,4	40,3	0	40,2	15,7	0	36,5	62,2
23	4474952	5332969	52,3	42,4	0	32	7,2	0	8,6	76
24	4474938	5332962	59,4	40,7	7	32,9	6,2	0	17,8	6
25	4474927	5332965	7,2	73,8	0	26,1	12,9	0	21,8	9,3
26	4474922	5332974	6,8	69,5	54,9	22,8	10,1	34,9	15,1	10,3
27	4474917	5332986	6,7	29,3	52,7	19,9	8	39,8	9,8	6,9
28	4474906	5333001	6,9	26,3	14	40,8	11,1	35,8	13,5	0
29	4474900	5333017	8	26,3	14,3	38,8	12,5	18,1	4,3	0
30	4474891	5333029	9,4	23,9	12,9	30,9	10,1	28,2	6,5	0
31	4474880	5333043	18,7	20,4	11	24,5	8,3	25,9	16,2	0
32	4474875	5333054	18,8	20,6	10,8	21,2	6,9	7,3	14,8	0
33	4474867	5333067	41,7	50,4	10,2	18	9	27,9	11,4	3,3
34	4474858	5333078	5,3	65,6	29,6	14,5	8,6	32,1	18,7	3,5
35	4474846	5333093	6,4	57,9	44,3	10,9	11,1	31,1	18,7	11,8
36	4474834	5333105	7,7	12	33,7	9,8	10,1	41,6	15,6	13,4
37	4474819	5333121	9,8	26,1	18,6	8,4	13,6	14,8	8,9	16,1
38	4474806	5333128	11,2	11,4	13,5	10,1	21,7	40,6	12,1	6
39	4474797	5333138	16,8	3,5	10,8	9,4	15	26,3	14,3	6,7
40	4474788	5333149	25,3	28,8	8,8	7,8	8,3	22	15,2	8
41	4474777	5333159	22,3	47	22,8	7,6	16,4	23,8	11,8	9,9
42	4474765	5333166	22,2	34,1	16	7,8	12,2	11,7	0	0

	X_WERT	Y_WERT	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
43	4474761	5333181	40	20,1	21,5	5,5	9,7	35,2	0	63,7
44	4474772	5333189	40	13,2	39,2	45,1	17,1	8,7	0	63,7
45	4474791	5333201	39,4	12,3	42,2	72,7	48,2	7,8	28,8	60,6
46	4474808	5333211	36,3	2,2	63,1	79,7	63	40,4	26,3	58,7
47	4474825	5333221	23,6	6	71	83,1	66,9	64,5	25	56,7
48	4474836	5333231	26,2	6,7	58	79,7	58,8	46,2	27,4	49,4
49	4474852	5333241	14	8,1	14,9	79,7	62,7	53,8	18,8	34,7
50	4474869	5333238	5,8	10	17,5	6,7	31,6	64,3	40	17,6
51	4474877	5333226	4,2	6,3	11,1	7,1	10,1	64,3	42	12,2
52	4474886	5333213	3,7	24,7	0	7,6	12,5	10,6	36,3	11,4
53	4474874	5333205	4,1	5,4	0	9,5	11,8	11,7	38	67,1
54	4474857	5333192	44,3	4,9	0	29,6	3,4	14	34,3	67
55	4474839	5333181	46,5	26,7	0	27,9	4,1	33,7	21,5	65,2
56	4474838	5333167	25,7	13,9	3	31,8	4,4	18,8	27	27,2
57	4474825	5333153	25,3	12,5	12,2	32,5	6,2	24,2	9,8	46,1
58	4474811	5333146	28,9	3,7	11,3	26,9	12,9	30,9	12,3	26,6
59	4474791	5333129	11,9	3,3	11,2	9,7	10,8	48,2	14,1	0
60	4474798	5333114	9,5	12,3	15,1	10,2	27,3	58,5	32,4	0
61	4474813	5333101	6,6	14,4	21	11,6	37,6	67,8	25,7	0
62	4474825	5333089	5,2	10,7	22,3	12,8	34,1	60,3	39,1	0
63	4474834	5333077	5,8	44,4	10,5	13,9	22,7	62,4	39	0
64	4474847	5333063	5	33	7	15,7	30,9	63,3	17,3	0
65	4474857	5333053	4,5	25,8	7,7	17,6	12,9	55,7	32,9	0
66	4474865	5333037	17,5	15,3	8	10,1	15,3	7	34,5	15,6
67	4474857	5333024	3,7	12,5	6,6	4,6	27	0	17,8	48,3
68	4474844	5333017	29,6	10,5	5,4	23	49,6	8,8	23,1	55,4
69	4474831	5333006	27,1	8,9	49,5	72,9	41,1	10,7	20,1	50,4
70	4474819	5332997	27,1	7,7	40	64,3	33	14,2	9	50,4
71	4474809	5332993	36,2	15,6	29,6	56,5	24,9	22,6	23,6	15,7
72	4474798	5333003	23,1	55,4	29,6	37	24,9	48,1	19,8	18,9
73	4474783	5333013	42,2	35,9	16,7	25,2	15,7	22,6	6,3	23,9
74	4474769	5333017	23,1	26,5	14,5	20,7	10,4	26,7	6,7	14,9
75	4474757	5333025	23,1	43,5	9,3	17,1	12,2	26,5	6,5	16,5
76	4474742	5333034	28,1	47,9	15,1	14,1	12,2	23,3	7,7	19,6
77	4474733	5333044	28,3	59,2	30,7	12,3	8,6	14	9,6	22,2
78	4474718	5333056	18,3	61,6	22,8	10,5	6,2	20,7	12,2	39,2
79	4474693	5333065	28,1	58,5	34,7	8,8	8,3	22,3	4,2	33,9
80	4474682	5333077	16,6	54,5	30	8	9	35	0	44,9
81	4474667	5333080	36,3	4	16,1	7,4	8	44,4	0	41,2
82	4474654	5333087	51,5	55,7	12,6	7,6	23,8	0	0	47,4
83	4474636	5333091	46,9	58,9	8,2	6,8	18,5	19,6	0	40,4