

Aus dem Institut für Management ländlicher Räume  
der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

**Landnutzungsänderungen in der Region Rostock-  
ein GIS- und Fernerkundungsansatz im Vergleich  
zu amtlichen statistischen Daten**

DISSERTATIONSSCHRIFT

zur

Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

der Universität Rostock

vorgelegt durch

Ahmad Al-Hassideh

Tag der öffentlichen Verteidigung: 15. Dezember 2009

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Ralf Bill

Universität Rostock, Professur für Geodäsie und Geoinformatik

Prof. Dr. rer. nat. Matthias S. Möller

Universität Bamberg, Institut für Geographie

Prof. Dr.-Ing. habil. Jochen Schiewe

HafenCity Universität Hamburg, Department Geomatik

# *Danksagung*

Herrn Prof. Dr.-Ing. Ralf Bill, Leiter der Professur für Geodäsie und Geoinformatik, bin ich für seine aktive Betreuung meiner Arbeit sowie seine kontinuierliche Unterstützung, stete Diskussionsbereitschaft, wissenschaftlichen Anregungen und umfassende Hilfe, die eine wesentliche Voraussetzung für einen erfolgreichen Abschluss dieser Arbeit waren, sehr dankbar.

Mein Dank gilt auch Herrn Dr. G. Grenzdörffer für seine Unterstützung bei technischen Problemen, sein großes Interesse am Thema sowie die wissenschaftlichen Diskussionen.

Herrn Prof. Dr. Matthias Möller (Otto-Friedrich-Universität Bamberg) und Herrn Prof. Dr.-Ing. Jochen Schiewe (HafenCity Universität Hamburg) sei an dieser Stelle für die Übernahme der Begutachtung meiner Arbeit gedankt, aus der noch vielfältige Hinweise für die Verbesserung der Endfassung resultierten.

Bedanken möchte ich mich auch bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Professur für Geodäsie und Geoinformatik für ihre zahlreichen Hilfestellungen und die gute Atmosphäre.

Des Weiteren danke ich dem Statistischen Amt von Mecklenburg-Vorpommern und den Lokalbehörden für die Bereitstellung der Daten und Berichte und die Gelegenheiten zur Besprechung und zum Austausch von Ideen und Ergebnissen.

Ganz besonders herzlich danke ich meinen Eltern, die mir jederzeit tatkräftig zur Seite standen und mir den nötigen persönlichen Rückhalt gaben.

Und nicht zuletzt möchte ich mich bei Arabischen Republik Syrien bedanken, die mich als Promotionsstudent nach Deutschland delegierte.

Rostock, im Dezember 2009

Ahmad Al-Hassideh

# *Kurzfassung*

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Analyse der Landnutzung und der Landnutzungsveränderungen mittels Fernerkundung und Geo-Informationssystemen (GIS).

Als Untersuchungsgebiet wurde die Rostocker Region mit einer ungefähren Größe von 1.560 km<sup>2</sup> ausgewählt, die durch große Landnutzungsänderungen speziell in den letzten drei Jahrzehnten geprägt ist.

Methodisch wird nach atmosphärischer und radiometrischer Korrektur, Georeferenzierung und topographischer Normalisierung der multitemporalen Landsat-Daten die Landnutzung mit einer objektorientierten Klassifikation bestimmt.

Zum Vergleich dienen Daten der amtlichen Statistik in Mecklenburg-Vorpommern von 1973 bis 2006. Durch die Möglichkeit der kombinierten Betrachtung und Auswertung wird die Bevölkerungsstatistik mit einem räumlichen Bezug verknüpft. Die reinen Zahlen erhalten wertvolle Zusatzinformationen. Insbesondere die Veränderungen der Bevölkerungszahl und mit diesen verbunden die Veränderungen der Landnutzung können mit der vorgestellten Methode im zeitlichen Vergleich erkannt und analysiert werden.

Schlüsselwörter:

Landbedeckung, Landnutzung, Verstädterung, Zensusdaten, Fernerkundung, GIS

# *Abstract*

This work is dedicated to the analysis of land use/land cover changes based on Remote Sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS).

The test area of this study is the region around the city of Rostock and covers 1.560 km<sup>2</sup>. The study area is characterized by large land use/ land cover changes in a period between 1973 and 1999.

The data pre-processing includes atmospheric and radiometric correction, rectification and topographic normalization of a multi-temporal Landsat data. The classification utilizes an object-oriented classification.

For the comparison statistical data from the official statistics in Mecklenburg-Western Pomerania from 1973 to 2006 was used.

For combined observation and analysis the demographic statistics were linked to spatial data. The pure numbers obtained provide valuable additional information. In particular the population development connected with the land use changes can be identified and analyzed with the proposed method in the temporal data analysis. Statistical data is a substantial basis for the recognition of problem areas. Considering this arranged planning is supported by a temporal study.

Key words:

Land Cover, Land Use, Urbanization, Census Data, Remote Sensing, GIS

# *Inhaltsverzeichnis*

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1	Ziele und Fragestellungen dieser Arbeit .....	3
1.2	Aufbau der Arbeit .....	4
<b>2</b>	<b>Landnutzungsänderungen und Flächeninanspruchnahme .....</b>	<b>6</b>
2.1	Landnutzungsänderungen weltweit.....	6
2.1.1	Bevölkerungszuwachs und Urbanisierung weltweit.....	8
2.2	Landnutzungsänderungen in Deutschland .....	10
2.2.1	Bestandsanalyse der Landnutzung .....	10
2.2.2	Trends der Landnutzung in Deutschland.....	12
2.3	Landnutzung und Landnutzungsänderungen in Mecklenburg-Vorpommern	15
<b>3</b>	<b>Grundlagen der Fernerkundung .....</b>	<b>19</b>
3.1	Theoretische und methodische Grundlagen.....	19
3.1.1	Physikalische Grundlagen .....	19
3.1.2	Plattformen .....	24
3.1.2.1	Satellitengestützte Fernerkundungssysteme.....	25
3.1.2.2	Flugzeuggestützte Fernerkundungssysteme .....	31
3.1.3	Aufnahmeverfahren .....	34
3.2	Primäre Datenerfassungsmethoden.....	36
3.3	Ableitung der Landnutzungen aus Satellitenbildern .....	37
3.4	Klassifikationsverfahren .....	38
3.4.1	Überwachte Klassifizierung (supervised classification).....	39
3.4.2	Unüberwachte Klassifizierung (unsupervised classification).....	41
3.5	Stand der Forschung .....	41
<b>4</b>	<b>Die Untersuchungsregion Rostock und die gegebene Datenlage.....</b>	<b>46</b>
4.1	Die Untersuchungsregion Rostock.....	46
4.2	Bisherige wissenschaftliche Arbeiten und Ergebnisse .....	47
4.3	Fazit bisheriger und Ziele der eigenen Fernerkundungsuntersuchungen .....	51

<b>4.4</b>	<b>Bestehende Geodaten für das Untersuchungsgebiet.....</b>	<b>53</b>
4.4.1	CORINE Land Cover .....	53
4.4.1.1	Satellitendaten zur Ableitung der CORINE-Daten.....	54
4.4.1.2	Vektordatensatz-CORINE.....	55
4.4.1.3	Zusatzdaten-CORINE .....	55
4.4.1.4	Nomenklatur.....	56
4.4.1.5	Anwendungen der CLC-Daten.....	58
4.4.2	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem .....	61
4.4.3	Amtliche statistische Daten .....	66
4.4.3.1	Demographische Daten .....	66
4.4.3.2	Bevölkerungsentwicklung (Bevölkerungsbilanz).....	67
4.4.3.3	Bestimmung der Bevölkerungsdichte.....	70
<b>5</b>	<b>Zur Bestimmung der Landbedeckung /-nutzung und –änderung mittels Fernerkundungsdaten in der Region Rostock von 1973 bis 1999 .....</b>	<b>72</b>
<b>5.1</b>	<b>Satellitendatenanalyse für das Untersuchungsgebiet .....</b>	<b>72</b>
5.1.1	Verwendete Satellitendaten .....	72
5.1.2	Digitale Bildverarbeitung .....	73
5.1.2.1	Reprojektion der Referenzdaten .....	73
5.1.2.2	Radiometrische Korrektur .....	73
5.1.2.3	Topographische Korrektur .....	77
5.1.2.4	Korrelationsanalyse.....	80
5.1.2.5	Der Optimum-Index-Faktor (OIF)-Algorithmus .....	81
5.1.2.6	Bildfusionstechnik.....	83
5.1.3	Indexbildung.....	84
<b>5.2</b>	<b>Klassifizierung/Segmentierung.....</b>	<b>85</b>
5.2.1	Segmentierung in eCognition .....	86
5.2.2	Objektorientierte Klassifikation.....	89
5.2.2.1	Auswahl eines Klassifikationsschlüssel .....	89
5.2.2.2	Standard Nearest Neighbour (SNN).....	91
5.2.2.3	Auswahl der Referenzflächen (Trainingsgebiete) .....	91
5.2.3	Accuracy Assessment (Klassifikationsgenauigkeit).....	94
5.2.4	Klassifizierungsergebnisse.....	97
5.2.4.1	Klassifizierungsergebnisse 1973 .....	98
5.2.4.2	Klassifizierungsergebnisse 1989 .....	99
5.2.4.3	Klassifizierungsergebnisse 1999 .....	100
<b>6</b>	<b>Multitemporale Landnutzungsauswertungen und vergleichende Untersuchungen .....</b>	<b>101</b>
<b>6.1</b>	<b>Landbedeckung und Landnutzung .....</b>	<b>101</b>
<b>6.2</b>	<b>Landnutzung mittels Fernerkundungsansatz .....</b>	<b>102</b>
6.2.1	Veränderungen von 1973 bis 1999 .....	102
6.2.1.1	Entwicklung der Bebauungsflächen .....	103

6.2.1.2	Entwicklung der Landwirtschaftlichen Flächen.....	105
<b>6.3</b>	<b>Landnutzungsveränderungen nach CORINE-Daten.....</b>	<b>105</b>
6.3.1	Statistische CORINE-Datenauswertung.....	108
<b>6.4</b>	<b>Landnutzung mittels Amtlicher Statistik.....</b>	<b>111</b>
6.4.1	Bestimmung der realen Bevölkerungsdichte von Siedlungen.....	111
6.4.2	Analyse des Flächenverbrauches.....	113
6.4.2.1	Entwicklung des Wohnungsbestandes.....	115
6.4.2.2	Wohnungen je 1000 Einwohner.....	116
6.4.2.3	Wohnfläche je Einwohner.....	117
6.4.2.4	Wohnungsbestandsstruktur nach Raumzahl.....	119
6.4.2.5	Wohnfläche je Wohnung.....	120
<b>6.5</b>	<b>Vergleichende Gegenüberstellung verschiedener Ansätze.....</b>	<b>121</b>
6.5.1	Auswertung der amtlichen Statistik.....	121
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>127</b>
7.1	Zusammenfassung.....	127
7.2	Schlussfolgerung/Erkenntnisse.....	130
7.3	Ausblick auf zukünftige Forschungen.....	131
	Summary.....	133
	Abbildungsverzeichnis.....	136
	Tabellenverzeichnis.....	141
	Literaturverzeichnis.....	143
	Thesen zur Dissertation.....	161
	Selbstständigkeitserklärung.....	163
	Lebenslauf.....	164



# *1 Einleitung*

In den letzten beiden Jahrzehnten ist deutlich geworden, dass die globalen Veränderungen des Gesamtsystems Erde weltweit enorm zugenommen haben und dass diese die Lebensgrundlagen für viele Menschen direkt oder indirekt beeinflussen. Das Verhältnis zwischen Mensch und Natur hat sich grundlegend gewandelt. Der Mensch beeinflusst in zunehmendem Maße das Gesamtsystem Erde. Das steigende Bevölkerungswachstum und der zunehmende Pro-Kopf-Verbrauch an Naturressourcen sowie nicht angepasste Technologien sind wesentliche Faktoren, die die globale ökologische Stabilität gefährden.

Die Änderung der Landnutzung repräsentiert einen der wichtigsten Faktoren des Wandels terrestrischer und aquatischer Ökosysteme. Natürliche wie anthropogene Änderungen der Landnutzung beeinflussen zahlreiche Landschaftsfunktionen und interagieren auf vielfältige Weise - etwa über den globalen Kohlenstoffkreislauf - mit dem Klimasystem (IPCC 2000). Auf Zeitskalen von Jahrtausenden wurden und werden umfassende Änderungen der Landbedeckung vor allem durch den Klimawandel gesteuert. Spätestens seit dem Mittelalter ist der Mensch zum dominanten Gestalter der Landschaft und zum Schlüsselfaktor des „Global Environmental Change“ geworden. Dies gilt insbesondere für die industrialisierten Gebiete Mitteleuropas, wo sich der Wandel mit dem Einsetzen der industriellen Revolution erheblich beschleunigt hat.

Landnutzungs- resp. Landbedeckungsveränderungen spielen eine gravierende Rolle im Rahmen der globalen Umweltveränderungen, da sie bedeutend in die Wechselbeziehung zwischen Erde und Atmosphäre eingreifen. Die daraus resultierenden Änderungen in Klima, Kohlenstoffzyklus, Verlust von Biodiversität, Nachhaltigkeit der Landwirtschaft und des Wasserkreislaufs könnten wiederum nachgängig Veränderungen in der Landbedeckung und Landnutzung hervorrufen.

Die Landnutzung ist eine entscheidende Kenngröße für die Bewertung der Umweltbelastungen, welche durch menschliches Handeln verursacht werden. Der Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln auf landwirtschaftlichen Flächen kann die Qualität von Gewässern, Böden und Luft beeinflussen. Auch durch Abbauflächen und Deponien kann deren nähere

Umgebung belastet werden. Neben diesen eher kleinräumigen Auswirkungen hängen aber auch großräumige, grenzüberschreitende Umweltwirkungen neben den unterschiedlichen Aufnahme- und Umsetzungseigenschaften der betrachteten Ökosysteme in starkem Maße von der Landnutzung ab (UBA, DLR 2004).

Die Untersuchung des Flächennutzungswandels in den vergangenen Jahrzehnten ist aufgrund der schwerwiegenden Folgen für Mensch und Umwelt verstärkt in den Mittelpunkt der städtischen Umweltforschung gerückt.

Fernerkundung, Geo-Informationssysteme (GIS) und Global Positioning System (GPS) liefern heute akkurate räumliche Informationen zur Bedeckung und Nutzung der Landoberfläche und ermöglichen dadurch verbesserte Erfassungs- und Analysebedingungen. Mit Hilfe dieser neuen Daten ist es heute möglich, Zusammenhänge zwischen Landnutzungsänderungen und Ressourcendegradation besser als in der Vergangenheit zu beschreiben (ZEF 2006).

Bei wissenschaftlichen Untersuchungen zu diesem Thema wird stets als ein ganz besonders wichtiger wie auch kritischer Punkt die Verbindung der naturräumlichen Strukturen und Veränderungen mit sozioökonomischen (*demographischen, ökonomischen und politischen*) Daten betont, um die Ursachen und Hintergründe der Landnutzungs- resp. Landbedeckungsänderungen zu verstehen, zukünftige Entwicklungen besser einschätzen zu können und somit für eine nachhaltige Entwicklung zu sorgen.

„Bei aller Bedeutung der komplexen Einflussgrößen des globalen Umweltwandels für Wissenschaft und Politik sind die Prozesse und Ursachen, die den Veränderungen von Landnutzung/Landbedeckung zugrunde liegen, bislang nur unzureichend erforscht. Der zeitliche Ablauf, das Ausmaß und die Rate der Veränderungen gewisser Landbedeckungen und Landnutzungen sind hinreichend bekannt, dennoch ist der Ungenauigkeits- und Fehlergrad relativ hoch.“ (ZEF 2006, BMBF 2000).

Vor dem Hintergrund dieser Problemstellungen setzt sich die Arbeit insbesondere mit der Verknüpfung von Daten unterschiedlicher Bereiche auseinander, um die oben genannten Prozesse und Ursachen genauer identifizieren zu können, wobei hier nur eine regionale Sicht und damit ein mittlerer Zielmaßstab betrachtet wird. Die Wahl des Zielmaßstabes ist dabei abhängig von der gewünschten Detaillierungsstufe bzw. dem Erfassungsgrad, der speziellen Fragestellung sowie dem zum Einsatz kommenden Sensortyp im Zusammenhang mit der Ferner-

kundung: Der Landsat-MSS (Multi Spectral Scanner) mit seinen vier Spektralkanälen und einem Auflösungsvermögen von 79\*79 m ist nur für Bestandsaufnahmen und –beobachtung bis zum Maßstab 1:200.000 geeignet; der Landsat-TM (Thematic Mapper) mit einer Bodenauflösung von 30\*30 m hingegen für Kartenmaßstäbe bis 1: 50.000. Der Landsat-ETM+ (Enhanced thematic Mapper Plus) mit einer Bodenauflösung in den Multispektralkanälen von 30\*30 m (15\*15 m im panchromatischen Kanal) lässt ebenfalls Auswertungen für Kartenmaßstäbe bis 1: 50.000 zu.

## ***1.1 Ziele und Fragestellungen dieser Arbeit***

Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag liefern zur:

- Beobachtung und Dokumentation der Landnutzungsänderungen (*change detection*) in der Rostocker Region,
- methodischen Entwicklung, um mit Fernerkundungsdaten Landnutzungen und Landnutzungsveränderungen zu bestimmen und
- zur Einbeziehung von Geo-Informationssystemen, um die Ergebnisse mit anderen Daten (wie z.B. sozioökonomischen Daten) zu verknüpfen.

Im Einzelnen werden folgende Forschungsfragen verfolgt und beispielhaft in der Region Rostock untersucht:

- Wie hat sich die Landnutzung zwischen 1973 und 1999 verändert?
- Welche Erklärungsansätze können für die Veränderung formuliert werden?
- Wie beeinflussen die menschlichen Aktivitäten die Landnutzungen?
- Wie hat sich die Bevölkerungszahl verändert?
- Wie kann die Veränderung der Flächennutzung, speziell der Versiegelung, erklärt werden und welche Rolle spielen dabei Faktoren wie Bevölkerungswachstum, Migration und Veränderungen der Infrastruktur?
- In welchem Ausmaß verändern sich die vom Menschen genutzten Flächen im Untersuchungsgebiet? (UBA, DLR 2004).

## ***1.2 Aufbau der Arbeit***

Nach dieser Einleitung (Kapitel 1), die neben der Vorstellung des Aufbaus der Arbeit auch die Problemstellung und die Zielsetzung beinhaltet, folgen fünf Kapitel, die sich an den in Kapitel 1.1 dargelegten Zielen und Fragestellungen orientieren.

Zunächst wird in Kapitel 2 allgemein das Thema Landnutzungsänderungen und Flächeninanspruchnahme diskutiert und anhand ausgewählter Zahlen belegt. Wichtige Grundlagen der Fernerkundung werden in Kapitel 3 zusammengetragen. Dazu werden methodische Möglichkeiten und der aktuelle Forschungsstand der Fernerkundung dargelegt und abgegrenzt. Kapitel 4 beschreibt den Untersuchungsraum und die für den Untersuchungsraum verfügbaren Daten und bewertet ihre Qualität und Einsetzbarkeit innerhalb einer Veränderungsanalyse. Kapitel 5 widmet sich ausführlich der Interpretation von Satellitenbildern, die im Untersuchungsgebiet für den Zeitraum von 1973 bis 1999 klassifiziert wurden. Hierbei geht es insbesondere um die Gegenüberstellung der Leistungen verschiedener methodischer Ansätze von Klassifikationsstrategien. Des Weiteren wird auf die Grundprobleme einer Bildklassifikation eingegangen, um bestimmte Einflussfaktoren, die das Ergebnis einer Klassifikation von Fernerkundungsdaten entscheidend beeinflussen können, darzulegen.

Um das Ziel der Automatisierung der Entzerrung und der Wahl der Dauertrainingsgebiete zu erreichen, wird in Kapitel 6 auch die Aufbereitung weiterer digitaler Daten behandelt. Hierzu zählen die CORINE (*CoORDination of Information on the European Environment*)-Daten, die statistischen Daten des Landesamts für Innere Verwaltung, Abteilung Statistik sowie die ATKIS (*Amtliche Topographisch-Kartographisches Informationssystem*)-Daten des Landesamts für Innere Verwaltung, Abteilung Vermessung und Geoinformation. Die Konzeption des automatisierten Monitorings unter Beibehaltung von Trainingsgebietsinformationen wird vorgestellt. Dabei wird durch Veränderungsanalysen der Klassen wie Bebauungsflächen, landwirtschaftliche Flächen, Strand, Wasser und Wald eine Kontrolle des Systems durchgeführt. Dieses Kapitel stellt damit den eigentlichen Fernerkundungsschwerpunkt der Arbeit dar. Es beinhaltet auch die graphische und kartographische Darstellung der Landnutzungsänderungen mittels Satellitendaten. Die aus Satellitendaten ermittelten Landnutzungen und ihre Änderungen wurden mit weiteren Daten aus anderen Quellen (z. B. CORINE Land Cover, ATKIS und statistischen Daten) verglichen. Diese vergleichende Gegenüberstellung wurde mit verschiedenen Ansätzen (Regression oder lineare Zusammenhang) quantifiziert.

Eine Zusammenfassung der durchgeführten Arbeiten und ein Ausblick werden abschließend in Kapitel 7 dargelegt.

## 2 *Landnutzungsänderungen und Flächeninanspruchnahme*

### 2.1 *Landnutzungsänderungen weltweit*

In den letzten beiden Jahrzehnten ist deutlich geworden, dass die globalen Veränderungen des Gesamtsystems Erde weltweit enorm zugenommen haben und dass diese die Lebensgrundlagen für viele Menschen direkt oder indirekt beeinflussen. Diese z. T. irreversiblen Veränderungen äußern sich in zahlreichen Umweltproblemen, welche sich von lokal begrenzten Problemstellungen innerhalb klar abgegrenzter Räume zu einem Geflecht von ineinander verwobenen Problemkreisen auf regionaler und globaler Ebene ausgedehnt haben (WEIGEL 1997, LAMBIN und GEIST 2006).

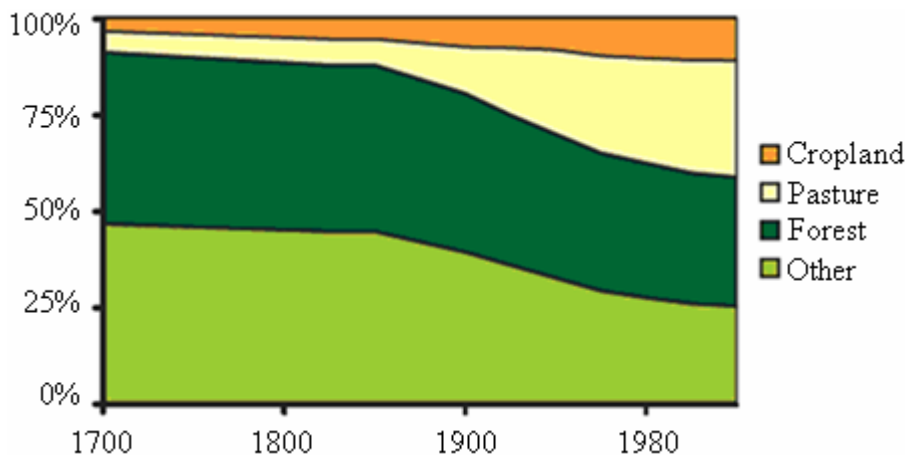


Abbildung 2.1: *Änderungen ausgewählter Landnutzungsformen über die letzten 300 Jahre*  
(Quelle:<http://www.sciconf.igbp.kva.se/fr.html>)

Die Quantifizierung dieser Veränderung als globales Phänomen ist schwierig, da viele anthropogene Landnutzungsänderungen meist auf kleineren Skalen, d. h. „Hektar für Hektar“, erfolgen und sich nur in ihrer Summe zu einem globalen Problem addieren (VITOUSEK 1994).

Landnutzungsänderungen folgen dem Ressourcenbedarf des Bevölkerungswachstums und fallen in zwei verschiedene Kategorien:

- Umwandlung von einer Nutzungsart in eine neue (z. B. *Umwandlung* von *Waldflächen* in *Ackerland*) und
- Änderung der Nutzung innerhalb einer bestimmten Landnutzungsart (z. B. *extensive* und *intensive Graslandnutzung*).

Verbunden mit Änderungen der Landnutzung ist meist die Übernutzung der natürlichen Ressourcen (z. B. *Überweidung*, *Überfischung*) sowie die Zerstörung und Fragmentierung von Habitaten.

Hauptursache für die Landnutzungsänderungen sind die Umwandlung in Ackerland (Abbildung 2.1) und der Flächenverbrauch durch Urbanisierung. Von 1770 bis 1990 haben die Waldflächen bzw. die bewaldeten Landareale der Erde um ca. 20 % von ca. 5,6 Mrd. ha auf 4,8 Mrd. ha abgenommen (vgl. Abbildung 2.1). Ein Beispiel dafür ist die Vernichtung der tropischen Regenwälder in Mittel- und Südamerika bzw. in Südostasien, wo sich die als Ackerland genutzte Fläche innerhalb der letzten 50 Jahre nahezu verdoppelt hat. „In den 1990er Jahren betrug der Verlust an Waldfläche 16.1 Mio. ha pro Jahr, wovon 15.2 Mio. in den Tropen verloren gingen“, schreibt die Welternährungsorganisation (FAO) der Vereinten Nationen in ihrem Zweijahresreport. Das entspricht 0.4% der weltweiten Waldfläche und 0.8% der tropischen Waldfläche. Der größte Teil davon wurde in andere Nutzungsformen überführt.

Die natürliche Waldvergrößerung hingegen wird auf 3.6 Millionen ha jährlich im letzten Jahrzehnt geschätzt, von denen 2.6 Millionen ha in nichttropischen Ländern und 1.0 Millionen ha in den Wendekreisen lagen. „Waldvergrößerung ist seit mehreren Jahrzehnten in vielen industrialisierten Ländern besonders vorgekommen, wo Landwirtschaft nicht mehr ein wirtschaftlich lebensfähiger Landgebrauch ist.“ äußert die FAO.

Die weltweit genutzte Ackerfläche hat sich von ca. 0,35 Mrd. ha im Jahr 1700 bis auf ca. 1,65 Mrd. ha im Jahr 1990 erhöht, d.h. es gab also in drei Jahrhunderten nahezu eine Verfünffachung, wobei allein im zwanzigsten Jahrhundert eine 50%ige Nettozunahme des Ackerlandes zu beobachten war. Im Gegensatz erfuhren Steppen, Savannen und Wiesen eine schnelle Abnahme der Flächen, von 3,2 Mrd. ha im Jahr 1700 bis auf 2,25 Mrd. ha 1990.

Weitere Beispiele für Landnutzungsänderungen sind die Umwandlung von Feuchtgebieten zur Nutzung in Kanada und den USA, wo die Fläche dieser Gebiete in den letzten beiden Jahrhunderten um über 42 Mio. ha bzw. 53 % der Ursprungsfläche reduziert wurde. Andere

Beispiele von Änderungen der Landnutzung sind in einigen Entwicklungsländern die Umwidmung von Mangrovenwäldern zum Reisanbau (Weitere Informationen finden sich in (LAMBIN und GEIST 2006)).

### 2.1.1 Bevölkerungszuwachs und Urbanisierung weltweit

Hauptursache aller globalen Umweltänderungen ist das schnelle Wachstum der Bevölkerung, in vielen Regionen gefolgt von einer Landflucht, die zu einer zunehmenden Urbanisierung oder Verstädterung führen. Während die Weltbevölkerung im Jahre 1992 ca. 5,5 Mrd. Menschen und 2006 ca. 6.6 Mrd. Menschen betrug, wird die Zahl unabhängig verschiedener Prognoseunsicherheiten bis zum Jahre 2050 auf ca. 9,2 Mrd. ansteigen (UNDP 1994, 2006).

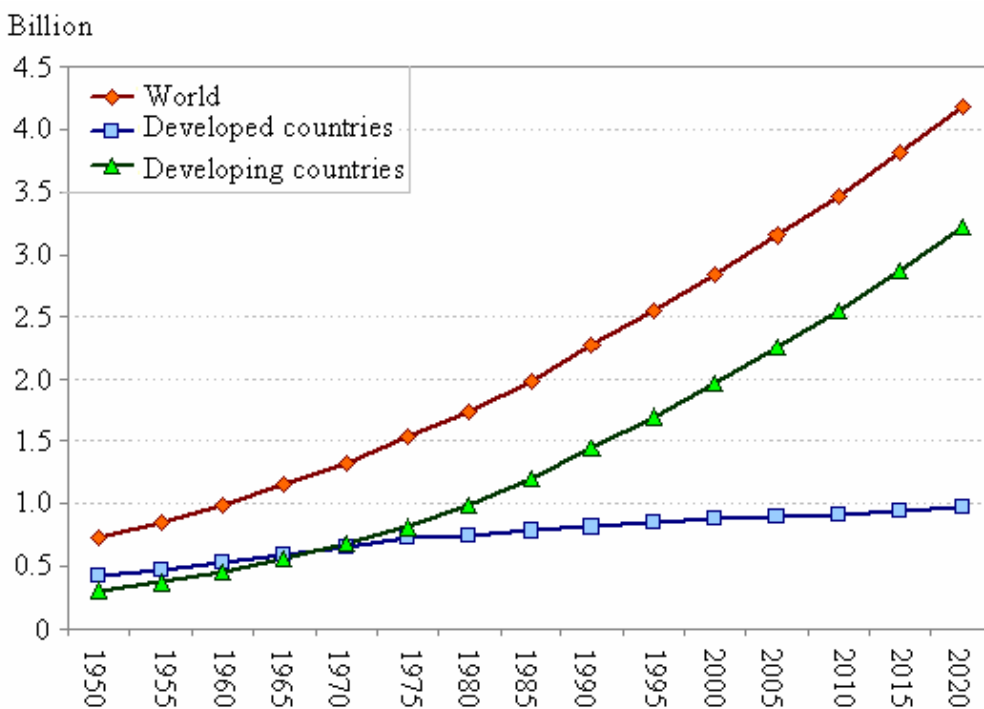


Abbildung 2.2: Urban population of the world (1950-2005) (Quelle: nach UN 2006)

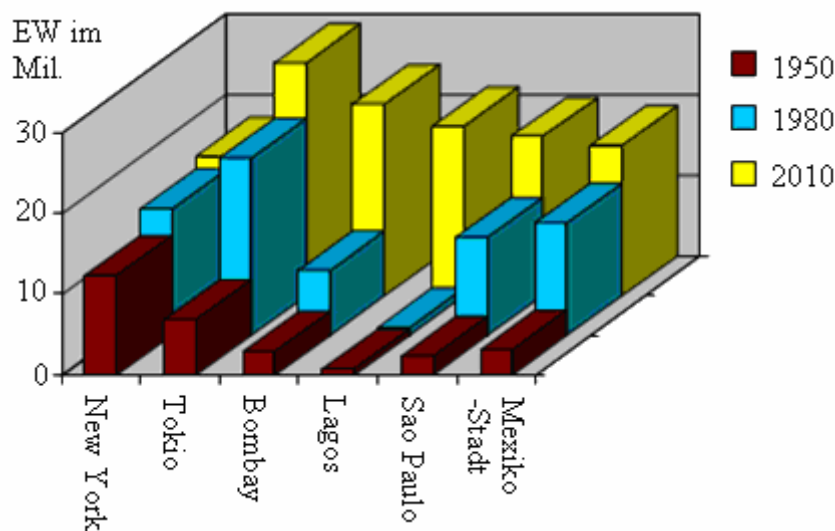
Durch das steigende Bevölkerungswachstum entsteht eine steigende Nachfrage nach Nahrung, Wasser, Land und Energie.

Alle Einflüsse der Komponenten des globalen Wandels auf die Landnutzung lassen sich letztlich auf den starken Anstieg der Erdbevölkerung und des Wohlstandes zurückführen (WEIGEL 1997, LAMBIN und GEIST 2006).



Zurzeit leben weltweit in Städten mehr als 3,2 Milliarden Personen, das ist mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung. Der Anteil städtischer Bevölkerung wächst schneller als der der landwirtschaftlichen Bevölkerung weltweit, besonders jedoch in Entwicklungsländern (Abbildung 2.2).

Die Anzahl von Megastädten<sup>1</sup> hat seit 1950 von 1 (*damals war New York die einzige Megastadt*) auf 20 Städte im Jahr 2003 zugenommen. Die Mehrzahl der Megastädte ist in den Entwicklungsländern zu finden (z.B. *Mexiko City in Mexiko, San Paulo und Rio de Janeiro in Brasilien, Mumbai, Delhi, Kalkutta in Indien*) (LOY 2004). Städtische Formen und Funktionen haben sich hier schnell geändert. Es wird geschätzt, dass etwa 2% bis 3% der weltweiten Landoberfläche versiegelt, bebaut oder gepflastert ist.



**Abbildung 2.3: Entwicklung der Megastädte in der Welt (Quelle: nach United Nations World Urbanization Prospects 1999)**

Der zusätzliche Flächenbedarf wird meist durch eine Umwandlung von Ackerland im Umland der Städte für Wohn-, Infrastruktur- und Freizeitflächen gedeckt. Die Städte mit der schnellsten Änderung in der städtischen Bevölkerung zwischen 1950 und 2005 liegen ebenfalls meistens in Entwicklungsländern (vgl. Abbildung 2.3). Es wird geschätzt, dass 1 bis 2 Millionen ha Ackerland jedes Jahr in den Entwicklungsländern aus der Produktion heraus genommen werden, um die Landnachfrage nach Gebäuden, Industrieansiedlungen, Infrastruktur und Erholung zu befriedigen.

---

<sup>1</sup>Städte mit mehr als 10 Millionen Einwohnern

## 2.2 Landnutzungsänderungen in Deutschland

### 2.2.1 Bestandsanalyse der Landnutzung

In der Bundesrepublik Deutschland zeichnet sich der Flächenverbrauch seit 150 Jahren - speziell in der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts - durch eine bemerkenswerte Konstanz aus. In 50 Jahren hat sich im Bundesgebiet die Bevölkerung um etwa 1/5, die Siedlungsfläche jedoch nahezu verdoppelt; die Zahl der Erwerbstätigen hingegen ist leicht rückläufig. (DOSCH 2001).

Einen Überblick liefert (Abbildung 2.4). Heute nimmt die Landwirtschaftsfläche (*einschließlich Moor und Heide*) etwas mehr als die Hälfte (ca. 54%) der Gesamtfläche Deutschlands ein. 34% davon sind als Ackerland, 14% sind als Grünland genutzt.

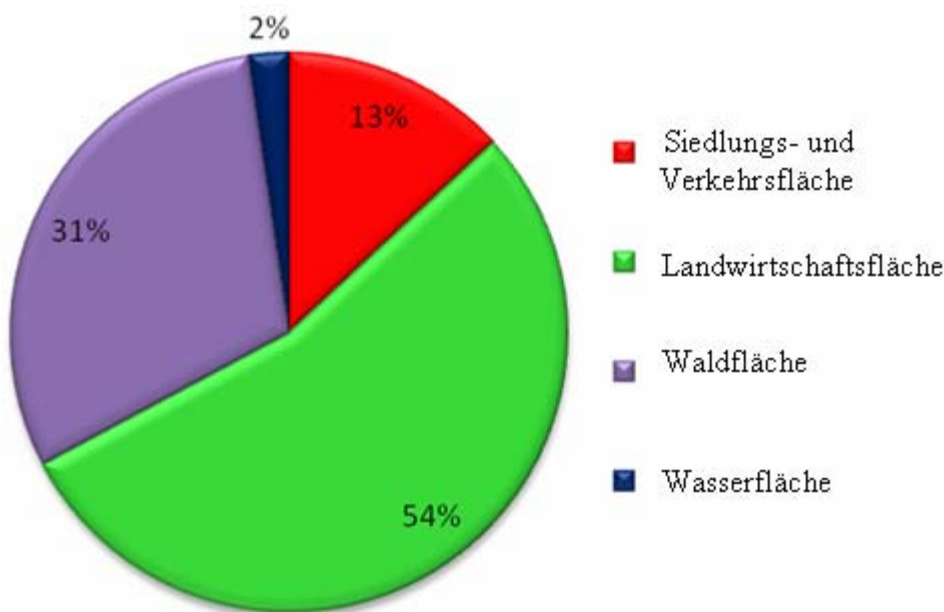
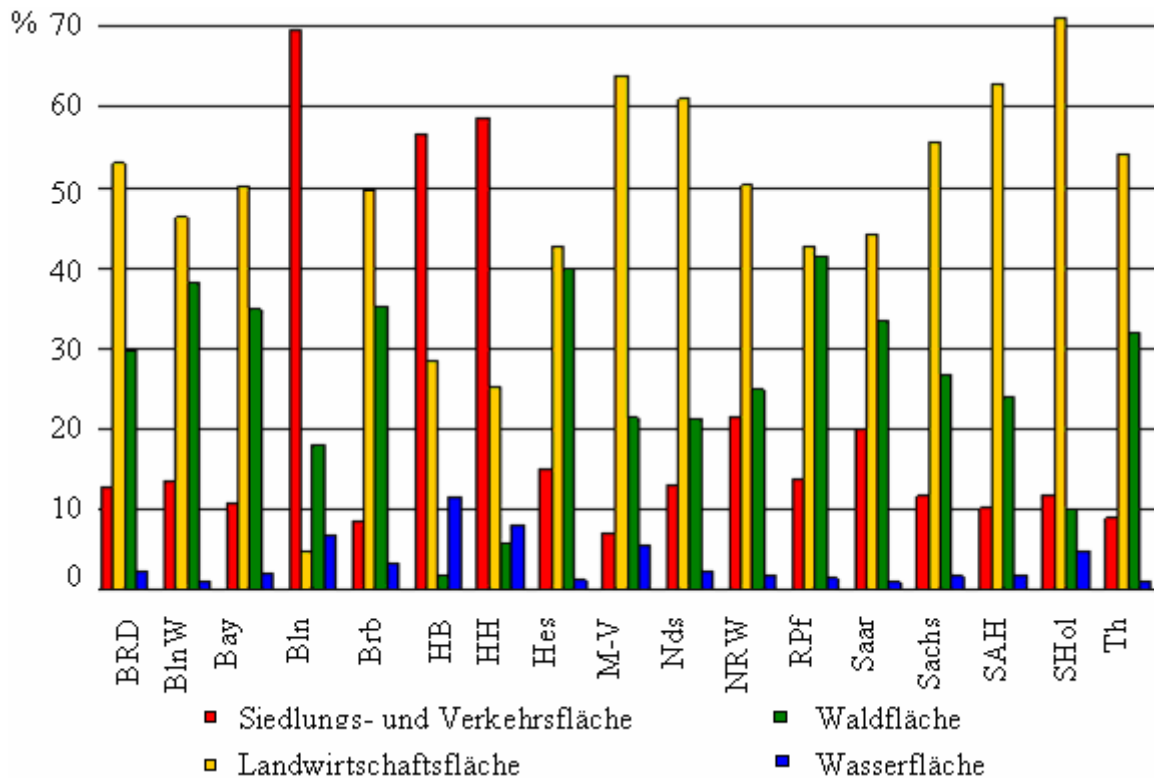


Abbildung 2.4: Landbedeckung in Deutschland im Jahr 2005 (Quelle: eigene Darstellung nach Daten des Statistischen Bundesamtes)

Demgegenüber stehen im Vergleich etwa 13% Siedlungs- und Verkehrsfläche. Die Waldfläche macht ca. ein Drittel (31%) der Gesamtfläche aus. Die Landnutzungen sind jedoch regional unterschiedlich verteilt, insbesondere zwischen den alten und den neuen Bundesländern (Abbildung 2.5).



**Abbildung 2.5: Anteil der tatsächlichen Landnutzung in Deutschland und in den Bundesländern 2005**  
(Quelle: eigene Darstellung nach Daten des Statistischen Bundesamtes)

Der Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche in Deutschland beträgt 12,8%. In den Stadtstaaten erreicht der Anteil einen Spitzenwert von 69,4 % (am höchsten in Berlin, gefolgt vom Hamburg mit 58,6 % und Bremen mit 56,5 %), in den Flächenländern reicht er von 7,2% in Mecklenburg-Vorpommern bis 21,6% in Nordrhein-Westfalen.

Für die Landwirtschaftsfläche - sieht man von den Stadtstaaten ab – schwanken die Anteile an der Bodenfläche von 42,6% in Hessen und Rheinland-Pfalz bis 71,0% in Schleswig-Holstein. Der Anteil der Waldfläche bewegt sich zwischen 10,0% in Schleswig-Holstein und 41,5% in Rheinland-Pfalz.

Die Wasserfläche hat einen Anteil von 2,3% der Landesfläche Deutschlands. In den Bundesländern liegen die Werte zwischen 1% in Baden-Württemberg und im Saarland und 5,6% in Mecklenburg-Vorpommern.

## 2.2.2 Trends der Landnutzung in Deutschland

Landnutzungsänderungen in Deutschland wie im gesamten Europa des beginnenden 20. Jahrhunderts sind stark von Veränderungen in der Ökonomie und den politischen Vorgaben getrieben. Die Landwirtschafts- und die Siedlungsfläche haben eine besondere Bedeutung für den Flächenverbrauch. Zwischen 1992 und 2004 nahm der Anteil der versiegelten Fläche in Deutschland von 11,3% auf 12,8 % zu, das bedeutet eine Zunahme von 13,2 % gegenüber der versiegelten Fläche von 1992 (Abbildung 2.6).

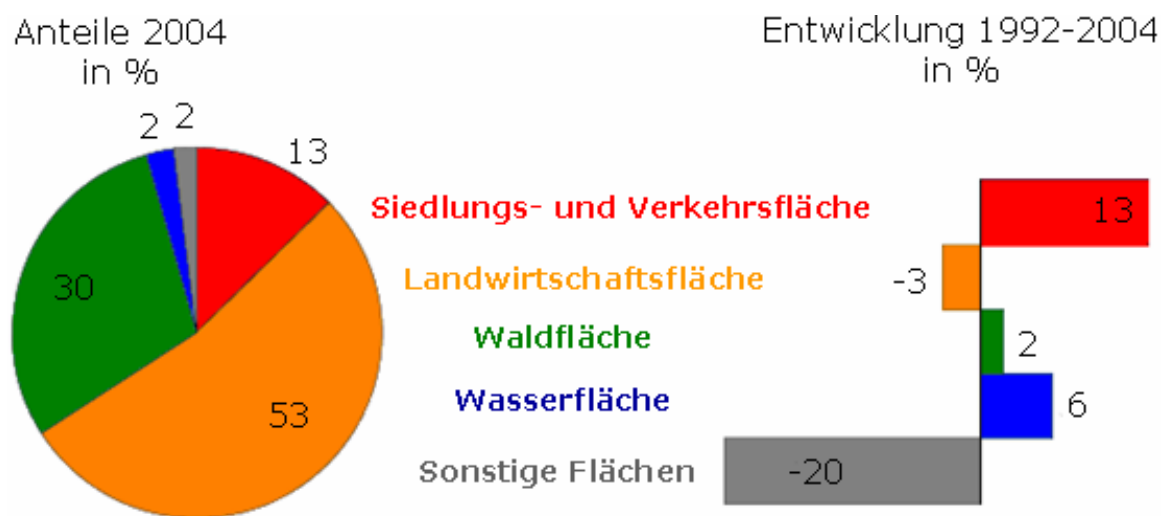
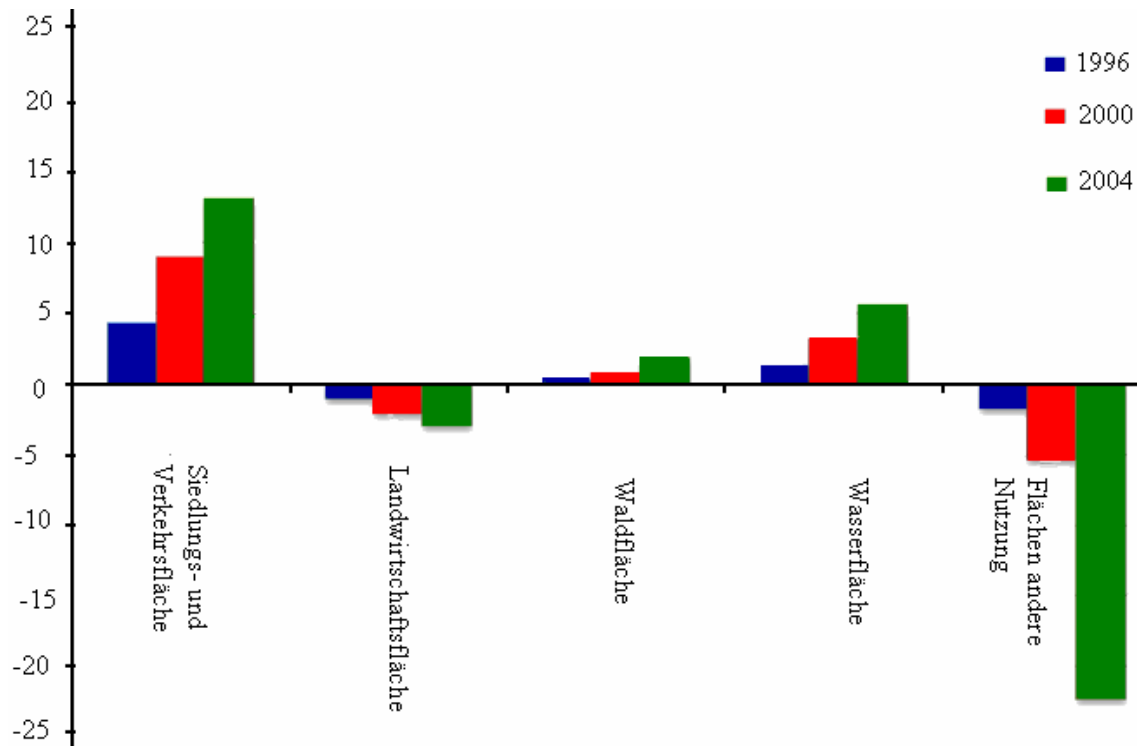


Abbildung 2.6: Anteil der Landnutzungsänderungen in Deutschland 1992-2004 (Quelle: eigene Darstellung nach Daten des Statistischen Bundesamtes)

Der Flächenverbrauch für Siedlungs- und Verkehrszwecke zählt heute in Deutschland wie auch in anderen Industrienationen zu den dringendsten Umweltproblemen. Die Siedlungsflächenzunahme war bundesweit in den letzten Jahren leicht rückläufig (Abbildung 2.7). Betrag der durchschnittliche Flächenneuverbrauch und die Bodenversiegelung nach einem seit Beginn der 1990er Jahre kontinuierlichen Anstieg des Flächenverbrauchs von 120 ha/Tag auf schließlich 131 ha/Tag im Jahr 2000, so sank diese 2001 auf 117 ha/Tag und 2002 auf 105 ha/Tag (STATISTISCHES BUNDESAMT 2003). Dies entspricht immer noch einem täglichen Flächenverbrauch von etwa 160 Fußballfeldern und damit im Jahr von etwa 428 km<sup>2</sup>. Der größte Teil wird für den Neubau von Wohnhäusern und Gewerbegebieten benötigt, oftmals auf der „grünen Wiese“ im Umland der Ballungsräume.

Die Siedlungs- und Verkehrsfläche hat in Deutschland in den Jahren 2001 bis 2005 insgesamt um 1.690 km<sup>2</sup> oder etwa 92 ha/Tag zugenommen. Gegenüber dem Zehnjahresdurchschnittswert



**Abbildung 2.7: Landnutzungsänderungen in Deutschland bezogen auf 1992 (Quelle: eigene Berechnung und Darstellung nach Daten des Statistischen Bundesamtes 2004 und 2006)**

von 1993 bis 2003 von 122 ha/Tag hat sich die Flächeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrszwecke damit geringfügig verlangsamt (Abbildung 2.8).

In der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung ist die Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche (*ha pro Tag*) als Indikator für den „Flächenverbrauch“ verankert (SCHRAMMEK et al. 2002). Ziel der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung ist es, die tägliche Inanspruchnahme neuer Siedlungs- und Verkehrsflächen bis zum Jahr 2020 auf höchstens 30 ha/Tag zu verringern (BMVBS und BBR 2007).

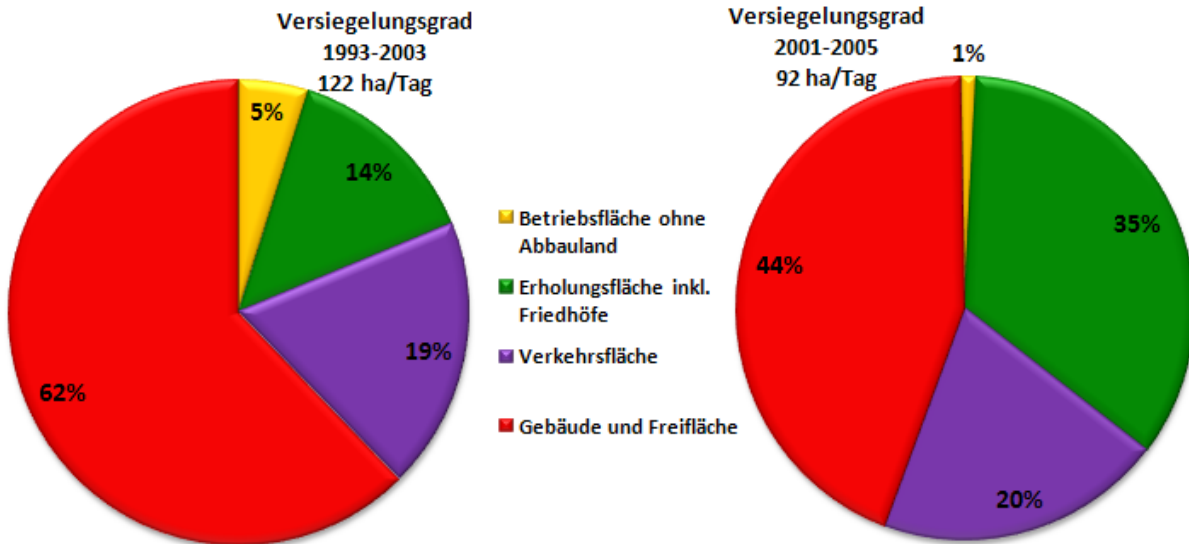


Abbildung 2.8: Durchschnittliche tägliche Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche in Deutschland (Quelle: eigene Berechnung und Darstellung nach Daten des Statistischen Bundesamtes)

Die Zunahme der Siedlungsfläche beträgt dabei 338 km<sup>2</sup> oder 1,2%, die Zunahme der Verkehrsfläche 92 km<sup>2</sup> oder 0,5%. Gegenüber 1992, dem ersten Jahr, in dem für Deutschland in

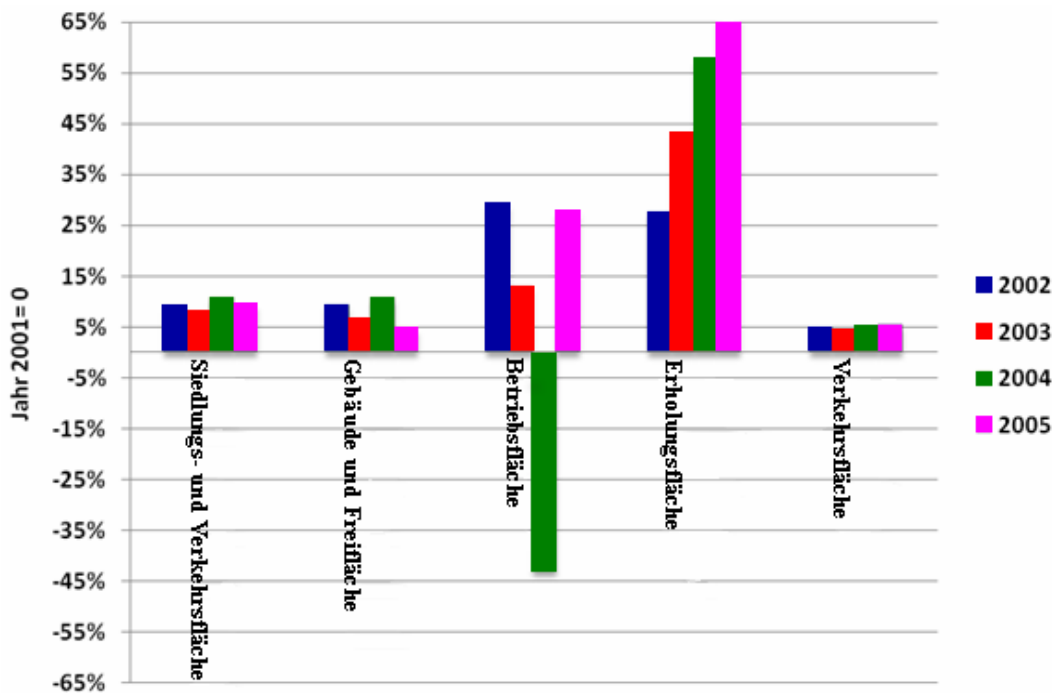
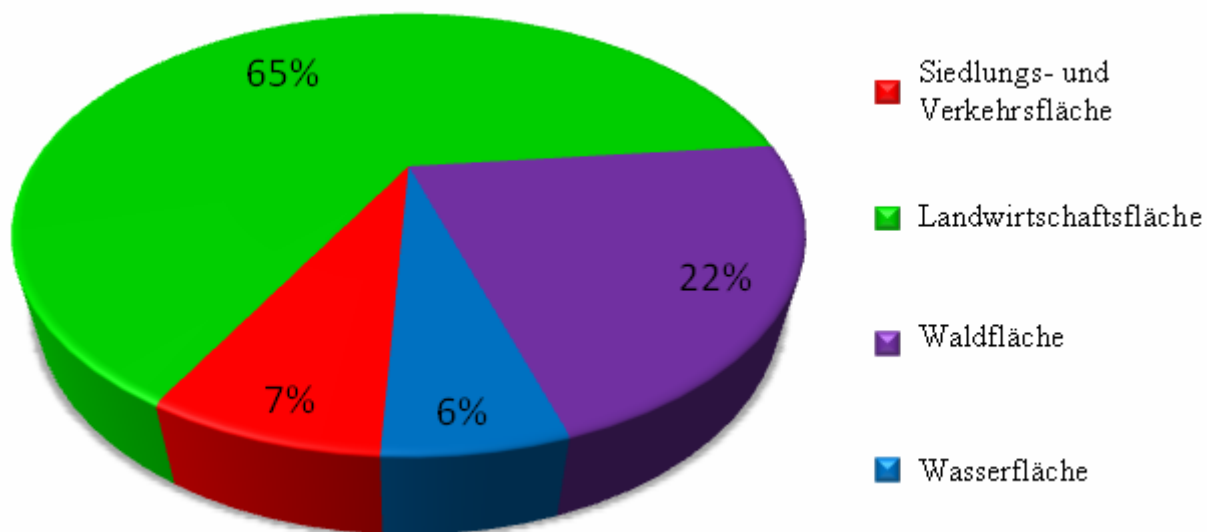


Abbildung 2.9: Jährliche Änderungen der Siedlungs- und Verkehrsfläche in Deutschland bezogen auf 2001 und deren Anteile (Quelle: eigene Berechnung und Darstellung nach Daten des Landesamtes für Innere Verwaltung Mecklenburg-Vorpommern Abteilung Statistik 2006)

seinen gegenwärtigen Grenzen Zahlen vorliegen, hat die Siedlungs- und Verkehrsfläche um 5.745 km<sup>2</sup> (14,3%) zugenommen. Davon entfallen 4.648 km<sup>2</sup> auf die Siedlungsfläche (19,5%) und 1.097 km<sup>2</sup> auf die Verkehrsfläche (6,7%) (Abbildung 2.9).

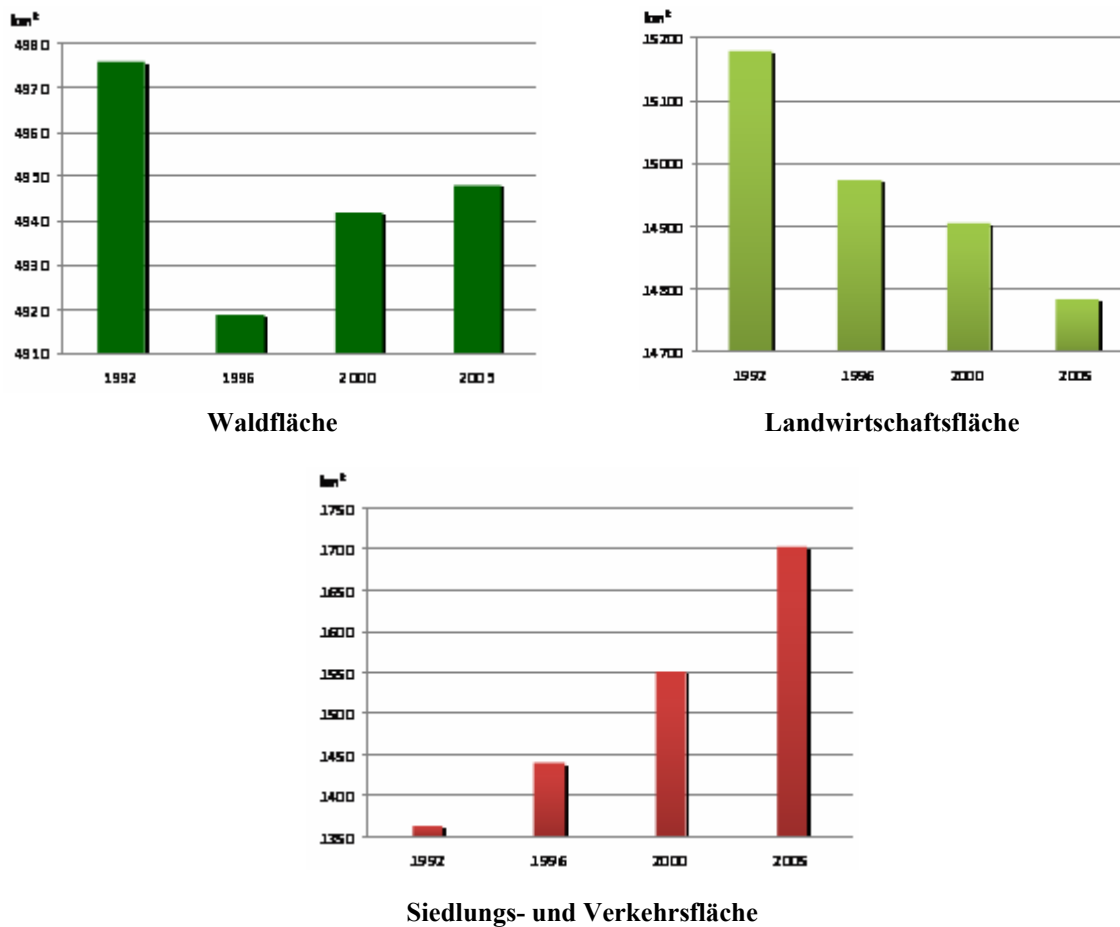
### 2.3 *Landnutzung und Landnutzungsänderungen in Mecklenburg-Vorpommern*

Die Landbedeckung in Mecklenburg-Vorpommern im Jahr 2005 ist in Abbildung 2.10 dargestellt. Der Anteil der landwirtschaftlichen Fläche liegt mit 65% deutlich über dem deutschen Durchschnittswert von nahe 53 % (STATISTISCHES BUNDESAMT 2006). Der Anteil der Waldfläche liegt bei 21,4% (Bundesdurchschnitt 29,8 %). Die Siedlungs- und Gewerbefläche, als Summe aus Verkehrs-, Gebäude- und Erholungsflächen, weicht leicht erhöht vom bundesdeutschen Mittel ab (20% im Vergleich zu 14,4%).



**Abbildung 2.10: Landbedeckung in M-V im Jahr 2005 (Quelle: eigene Berechnung und Darstellung nach Daten des Landesamtes für Innere Verwaltung Mecklenburg-Vorpommern Abteilung Statistik 2006)**

Die Abbildung 2.11 zeigt die Änderung der wichtigsten Arten der Landnutzung in M-V während der letzten 15 Jahre. Während die Waldfläche zwischen 1992 und 2005 nur um 0,1 % abnahm, ging die Landwirtschaftsfläche im gleichen Zeitraum um nahezu 0,8 % zurück. Dies kann größtenteils auf die Ausweitung der Siedlungs- und Gewerbeflächen, aber auch der Verkehrsfläche (*hier nicht gesondert aufgeführt*) zurückgeführt werden.



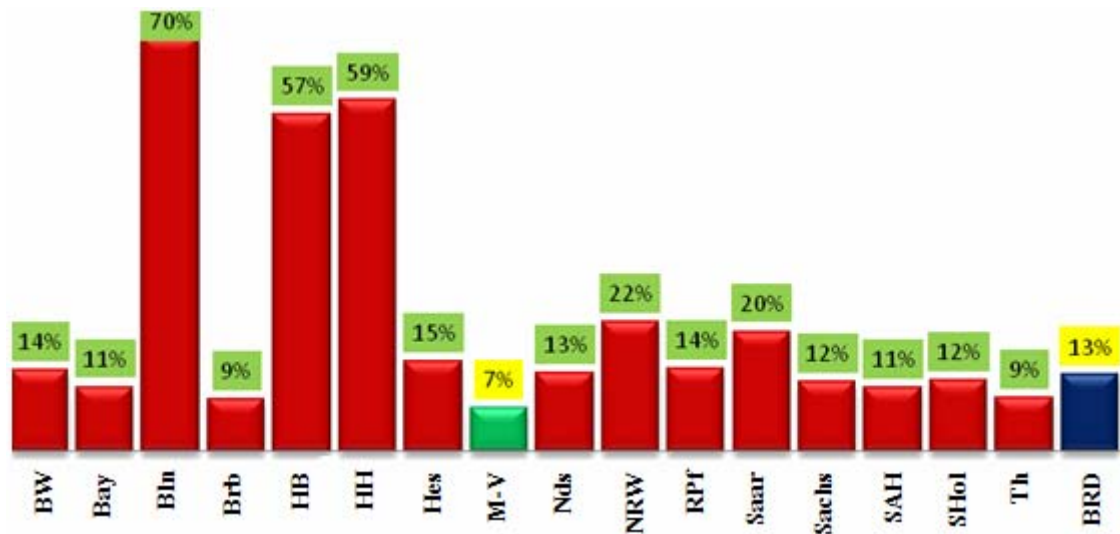
**Abbildung 2.11: Landnutzungsänderungen in M-V zwischen 1992 und 2005 (Quelle: eigene Darstellung nach Daten des Landesamtes für Innere Verwaltung M-Vorpommern Abteilung Statistik)**

Die folgende Abbildung 2.12 zeigt, dass der Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche an der Gesamtfläche des Landes in Mecklenburg-Vorpommern im Vergleich mit den übrigen Bundesländern besonders gering ist. Im Jahr 2005 lag er mit 7,2% weit unter dem Bundesdurchschnitt (12,8%). Im Jahr 2002 lag er bei 7%. Vergleichszahlen für alle Bundesländer liegen für das Jahr 2005 vor.

Setzt man das Flächenwachstum zwischen 2002 und 2005 in Relation zur Bevölkerung, so hat M-V jedoch die größte Zunahme mit 14,2 m<sup>2</sup> je Einwohner gegenüber dem Bundesdurchschnitt (4,6 m<sup>2</sup>). Den geringsten Anstieg im Flächenverbrauch je Einwohner gab es mit 0,4 m<sup>2</sup> je Einwohner im dicht besiedelten Berlin, am Ende der Rangfolge unter den Flächenländern steht das Saarland. Neue Baugebiete, Gewerbeflächen und Verkehrswege dehnten sich im Jahr 2005 in M-V im Umfang von 6,7 ha pro Tag aus. Das entspricht mehr als neun Fußball-



feldern. Damit hat sich das Tempo der Zunahme gegenüber 2004, als noch 7 ha täglich für Siedlungs- und Verkehrszwecke „verbraucht“ wurden, erneut verlangsamt.



**Abbildung 2.12: Anteil der Siedlungs- und Verkehrsflächen in Deutschland nach Bundesländern im 2005**  
(Quelle: eigene Berechnung und Darstellung nach Daten des Landesamtes für Innere Verwaltung Mecklenburg-Vorpommern Abteilung Statistik)

Zurückzuführen ist das wenn auch verlangsamte Wachstum vor allem darauf, dass im Jahr 2000 bis 2004 viele Erholungsflächen entstanden sind (Abbildung 2.13). Kleingärten, Parkanlagen, Sportplätze, Campingplätze usw. haben noch um 4,6 ha pro Tag zugenommen. Das war deutlich mehr als in den Jahren zuvor; 1992 bis 2000 bewegten sich die Zuwächse durchschnittlich bei 0,2 bis 2,4 ha pro Tag. Demgegenüber dehnten sich die Gebäude- und Freiflächen mit 1,2 ha pro Tag und die Verkehrsfläche (2,6 ha pro Tag) in ähnlichem Maße aus wie in den vergangenen Jahren.

In Abbildung 2.13 ist erkennbar, dass der Anteil der Gebäude- und Freifläche an der Neuinanspruchnahme von Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke im Vergleich der drei bisher vorliegenden gesamtdeutschen Erhebungszyklen (1992–2004) rückläufig ist.



**Abbildung 2.13: Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche in M-V von 1992 bis 2004 (ha/Tag) (Quelle: Eigene Darstellung nach Daten des Statistischen Bundesamtes)**

Als Gründe dafür lassen sich in den letzten Jahren vor allem die konjunkturelle Entwicklung und der damit verbundene Einbruch bei den Bauinvestitionen anführen. Einerseits ist anzunehmen, dass bei einer Erholung der Baukonjunktur auch der Flächenverbrauch wieder ansteigen wird. Andererseits weisen die demografische Entwicklung und ein sich abzeichnender, inzwischen durch mehrere empirische Studien belegter Reurbanisierungstrend langfristig auf einen Rückgang der zusätzlichen Flächennachfrage hin. (JÖRISSEN und COENEN 2007, PENN-BRESSEL 2003).

## **3 Grundlagen der Fernerkundung**

### **3.1 Theoretische und methodische Grundlagen der Fernerkundung**

Unter Fernerkundung versteht man zunächst die Messung und Aufzeichnung physikalischer Eigenschaften von Objekten, bei der das Messinstrumente sich in großer Entfernung vom Ort der Messung befindet und die zu messende Größe aus der vom beobachteten Objekt reflektierten oder emittierten elektromagnetischen Strahlung abgeleitet wird. Es handelt sich also um indirekte Messverfahren, die ohne Berührung des Objektes auskommen (KONECNY und LEHMANN 1984, ALBERTZ 2001). Alle Fernerkundungssysteme beruhen auf der elektromagnetischen Strahlung als Informationsträger. Die sog. passiven Systeme basieren direkt oder indirekt auf der Sonnenstrahlung, während Radar (*Radio Detection and Ranging*) und Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) die Strahlung selbst erzeugen (aktive Systeme) (ITTEN 1997). Die Fernerkundungsdaten werden von Sensoren erfasst, die entweder von einem Flugzeug oder einem Satelliten getragen werden. Die resultierenden Bilddaten werden von Experten mit Unterstützung der digitalen Bildverarbeitung analysiert und interpretiert.

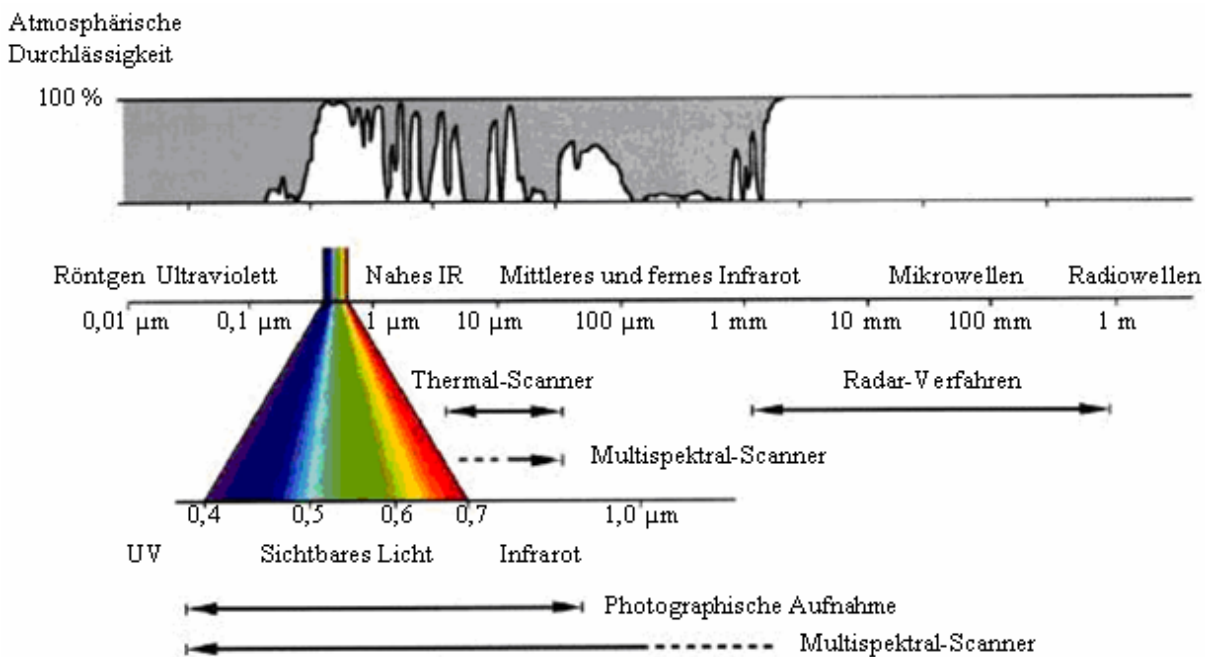
#### **3.1.1 Physikalische Grundlagen**

Die Grundlage jeden Fernerkundungssystems ist die Wechselwirkung von elektromagnetischer Strahlung mit den Stoffbeschaffenheiten und der Struktur von Körpern. Die elektromagnetische Strahlung breitet sich auf geradlinigem Weg in unterschiedlichen Wellenlängen aus, deren Gesamtheit im elektromagnetischen Spektrum (vgl. Abbildung 3.1) dargestellt wird. Das elektromagnetische Spektrum reicht von den sehr kurzwelligen Strahlen und Röntgenstrahlen über Ultraviolett, das sichtbare Licht, Infrarot, Langwellen bis zu den Mikro- und Radiowellen. Die Wellenlängen des Sonnenlichtes lassen sich nach (PRINZ 2006, KAPPAS 1994, ALBERTZ 1991) in folgende Bereiche unterscheiden:

- ultravioletter Bereich (UV-Strahlung: 30-0,38  $\mu\text{m}$ ),
- sichtbare Strahlung (VIS: 0,38-0,72  $\mu\text{m}$ ),

- nahes bis mittleres Infrarot (IR: 0,72-3,00  $\mu\text{m}$ ) bis in
- emittiertes, thermisches Infrarot (7,00-14,0  $\mu\text{m}$ ).

Man kann das gesamte Spektrum nach der Art der Entstehung und nach der Wirkung der Strahlung in verschiedene, sich teilweise überlappende Bereiche unterteilen. Aber man muss sich bewusst sein, dass es keine scharfen Grenzen zwischen den einzelnen Wellenlängenbereichen gibt. Für die Fernerkundung können nicht alle Wellenlängenbereiche des elektromagnetischen Spektrums eingesetzt werden, sondern nur der Teil des Spektrums zwischen dem nahen Ultraviolett und dem mittleren Infrarot sowie außerdem der Mikrowellenbereich, da bei der Absorption durch die Atmosphäre ein großer Teil der Sonnenstrahlung blockiert oder abgeschwächt wird, so dass nur ein kleiner Teil der ausgestrahlten Energie die Erdoberfläche erreicht (LÖFFLER et al. 2005).



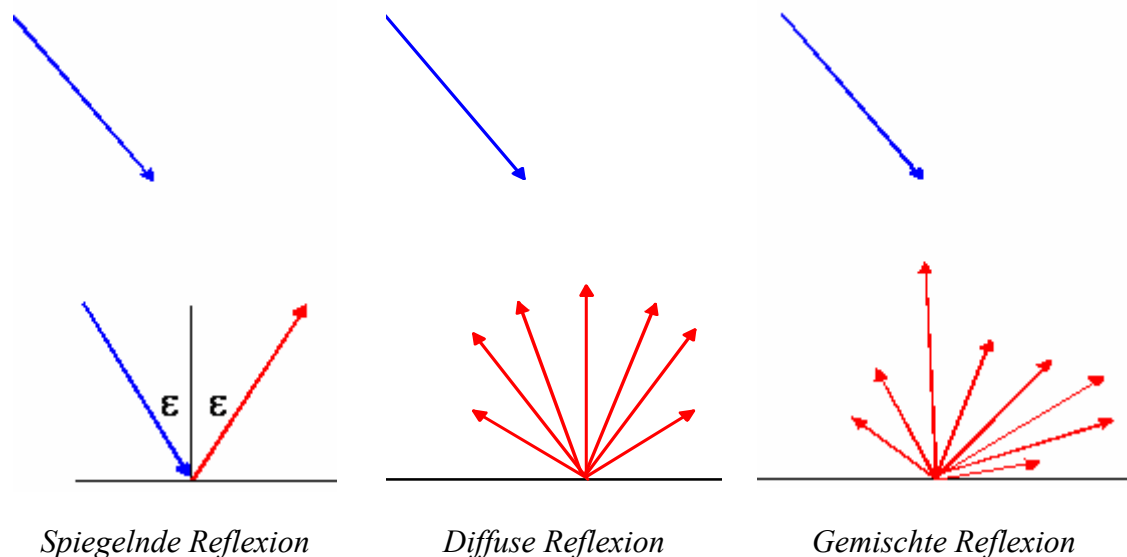
**Abbildung 3.1:** Das elektromagnetische Spektrum und die Bereiche verschiedener Sensoren. Den Wellenlängenbereichen des elektromagnetischen Spektrums sind die Strahlungsenergie der Sonne und die Durchlässigkeit der Atmosphäre gegenübergestellt (Quelle: ALBERTZ 2001)

Die einfallende elektromagnetische Strahlung und die materieszpezifischen Eigenschaften eines Körpers (*Streuprozess*) sind die Haupteinflussfaktoren auf die Wechselwirkungen mit seiner Umgebung. Die Reflexionseigenschaften einer Oberfläche werden hauptsächlich durch das jeweilige Material, seinen physikalischen Zustand (z. B. *Feuchtigkeit*), die Oberflächen-

rauhigkeit, die Materialeigenschaften und zum Teil durch die innere Struktur der reflektierenden Objekte bestimmt (ALBERTZ 2001, KULBACH 1997).

Die durch den Sensor gemessenen Reflexionswerte werden dagegen nicht nur durch materialtypische Oberflächenreflexionen definiert, sondern zusätzlich durch die natürlichen Beleuchtungsverhältnisse beeinflusst. Deshalb sind, neben der Kenntnis über oberflächenspezifische Reflexionseigenschaften, die Beleuchtungsverhältnisse zum Aufnahmezeitpunkt zu berücksichtigen. Sie sind durch den Einstrahlungswinkel der Lichtquelle (*Sonnenzenit und Sonnenazimut*), durch den Betrachtungswinkel (*Aufnahmewinkel des Satelliten*) und die reflektierenden Objekte (*Hangneigung und Exposition*) charakterisiert.

Sobald der elektromagnetische Strahlungsfluss auf die Oberfläche eines Objektes trifft, wird ein Teil des Strahlungsflusses absorbiert, transmittiert und ein Teil reflektiert. Für die Fernerkundung ist die reflektierte Strahlung von besonderem Interesse, weil nur sie vom Fernerkundungssensor aus direkt messbar ist. Das Reflexionsverhalten eines Objektes wird stark von seiner Oberfläche beeinflusst. So ist die Reflexion an glatten Oberflächen gerichtet und an rauen Oberflächen diffus (siehe (Abbildung 3.2). In der Praxis treten häufig Mischformen aus beiden Reflexionsarten auf (*gemischte Reflexion*).



**Abbildung 3.2: Reflexionsverhalten an einer Oberfläche (Quelle: GRENZDÖRFFER 2008)**

Die diffuse Reflexion (*isotrop*) kann durch verschiedene Modelle beschrieben werden. Der ideale Modellansatz ist das Lambert'sche Gesetz. Es besagt, dass die reflektierte Strahlung

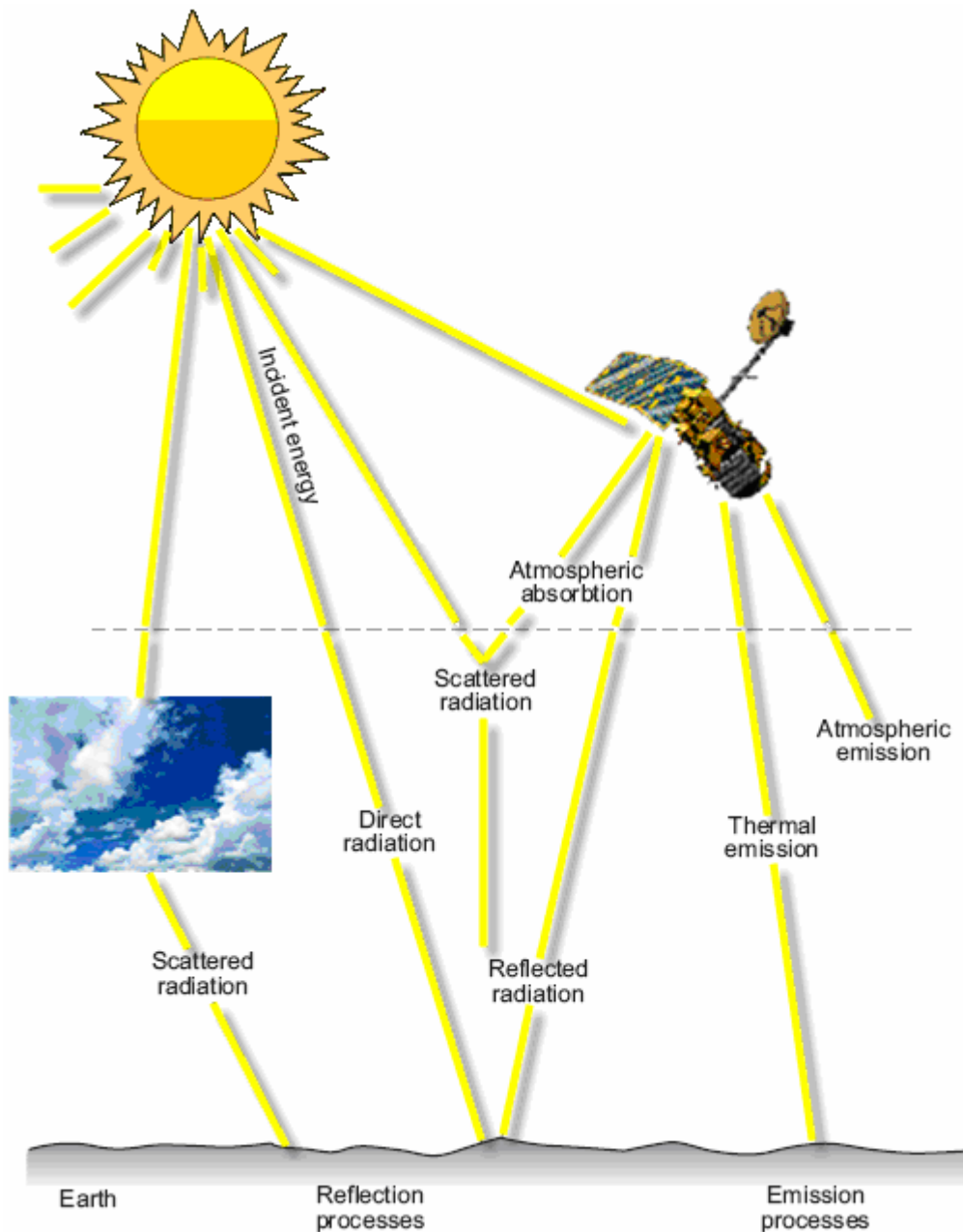
einer gleichförmig diffus streuenden Oberfläche direkt proportional zur einfallenden Strahlung ist. Dies bedeutet, dass eine völlig diffus reflektierende Fläche von allen Seiten aus gleich „hell“ erscheint (LENK und GELLERT 1974; KNERR 1999). Dieses einfache Reflexionsmodell ist jedoch nur für einen engen Bereich von Einfallswinkeln gültig und kann somit nur einen begrenzten Anteil der am Satelliten detektierten Reflexionsstärke erklären. Ein differenzierter Einsatz nach (SMITH 1983), der das Rückstrahlungsverhalten von Oberflächen als richtungsabhängig beschreibt, modelliert dagegen den gesamten Reflexionsbereich. Das Modell basiert auf einem empirischen Ansatz von (MINNAERT 1961) und ist eine einfache Korrektur des Lambert'schen Gesetzes. Dieses Modell berücksichtigt sowohl den Einfallswinkel der Strahlungsquelle (*Sonne*), als auch den Ausfallswinkel der reflektierten elektromagnetischen Strahlung und ist somit richtungsabhängig. Die K-Werte wurden empirisch ermittelt und liegen bei den meisten natürlichen Oberflächen zwischen 0 und 1. Sie beschreiben die Abweichung zum Lambert'schen Modell, wobei ein K-Wert von 1 der Lambert'schen Reflexion entspricht. Für K-Werte  $> 1$ , wie sie in Fällen spiegelnder Reflexion auftreten, ist das Modell jedoch ungeeignet (JUSTICE et al. 1991).

#### **Streuung und Absorption in der Atmosphäre**

Die elektromagnetische Strahlung als Informationsträger der Fernerkundung hat stets von der Sonne zum Objekt den Weg durch die Atmosphäre und zurück bis zum Empfänger im Flugzeug oder Satelliten zu durchlaufen. Beim Durchqueren der Atmosphäre wird die von der Sonne emittierte elektromagnetische Strahlung durch Streuprozesse und Absorptionsvorgänge in der Atmosphäre zum Teil stark beeinflusst. Dadurch können sich die Intensität und der Spektralcharakter der Strahlung verändern. Kenntnisse über solche Prozesse müssen deshalb bei der Analyse und Interpretation von Satellitenbildern berücksichtigt werden.

Mit dem Eindringen der Sonnenstrahlung in die Atmosphäre, einem Medium wechselnder Dichte, wird die elektromagnetische Strahlung in ihrer spektralen Zusammensetzung verändert (MATHER 1999). Wellenlängenabhängig kommt es zu unterschiedlichen Streuungs- und Absorptionsvorgängen, die zusammen als Extinktion der Atmosphäre bezeichnet werden.

Dieser Effekt wird deutlich, wenn man die Spektralkurve der Sonnenstrahlung vor dem Erreichen und nach dem Durchqueren der Atmosphäre vergleicht. Die Extinktion von Strahlung erfolgt stoffspezifisch durch atmosphärische Gase (z.B. *Ozon*  $O_3$ , *Wasserdampf*  $H_2O$ , *Kohlendioxid*  $CO_2$  und *Sauerstoff*  $O_2$ ).



**Abbildung 3.3: Interaktionen der Solarstrahlung mit der Atmosphäre (verändert nach JANSSEN und GER- RIT 2001)**

Das ferne oder auch thermische Infrarot stellt die in Wärmestrahlung umgesetzte absorbierte Sonnenstrahlung, die von der Erdoberfläche abgestrahlt wird, dar. Ihre Wellenlänge hängt von der Temperatur des abstrahlenden Objekts ab. Je höher die Temperatur ist, umso kurzwelliger ist die abgegebene Strahlung. Demgegenüber spielen atmosphärische Einflüsse bei der Mikrowellenstrahlung nur eine untergeordnete Rolle, wodurch die relative Wetterunabhängigkeit dieser Systeme bedingt ist (TU DRESDEN 2007).

Durch die von variablen Faktoren abhängigen Reflexionscharakteristika der Erdoberfläche lassen sich mit der Fernerkundung Aussagen über die Erdoberfläche machen. Das unterschiedliche Reflexionsverhalten des einfallenden Lichtes in verschiedenen Wellenlängen wird zur Unterscheidung verschiedener Landnutzungsklassen oder Vegetationsindizes ausgenutzt (Abbildung 3.4) (LILLESAND 2000, ALBERTZ 2001).

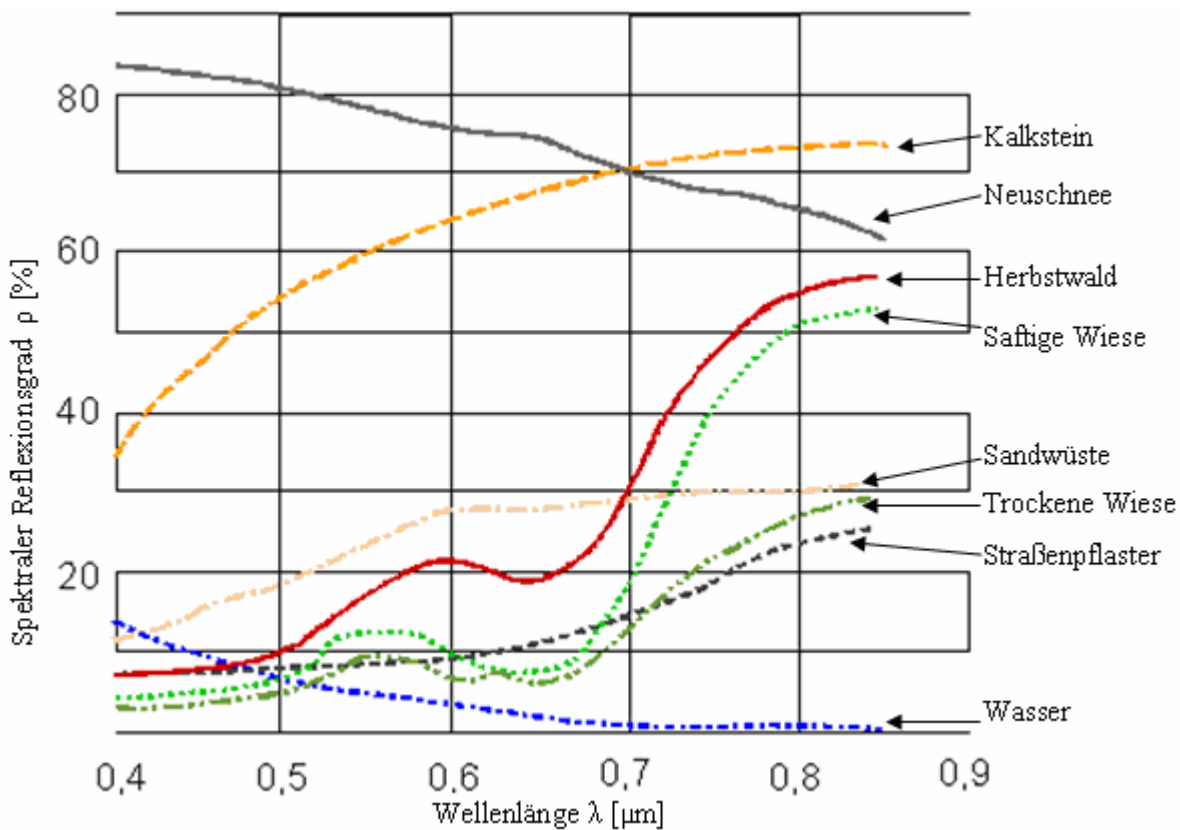


Abbildung 3.4: Spektraler Reflexionsgrad verschiedener Oberflächen in Abhängigkeit von der Wellenlänge (Quelle: GRENZDÖRFFER 2008)

Die Analyse der spektralen Fernerkundungsdaten, basierend auf der abgeleiteten Charakteristik der Reflexionseigenschaften der Oberflächen, bildet die Grundlage der operationellen Fernerkundung. Zu diesem Zweck stehen dem Anwender zahlreiche Methoden der digitalen Bildanalyse zur Verfügung (HELMSCHROT 1999).

### 3.1.2 Plattformen

Auch wenn das konventionelle analoge Luftbild in den vergangenen Jahren durch die modernen Fernerkundungsdaten (*Satellitenbilder, Radar, Laserscanning* usw.) und die dazugehörigen Techniken der digitalen Bildverarbeitung in der Forschung etwas in den Hintergrund ge-



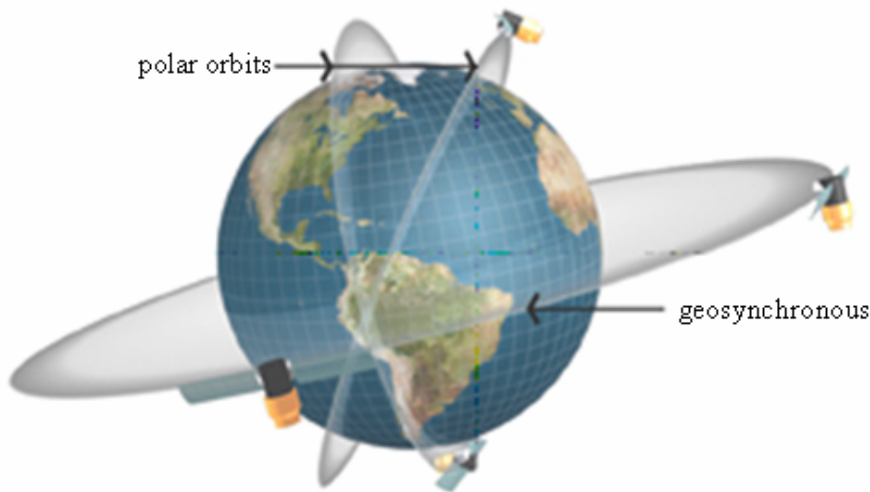
raten ist, so bedeutet das nicht, dass das mittlerweile ebenfalls digitale Luftbild an Wert verloren hat oder durch andere Medien ersetzbar ist. Insbesondere für alltägliche Anwendungen der Kartographie, der Landestopographie, der Vermessung, im Umweltbereich und -planung, auf Ämtern und in der Privatindustrie stellen Luftbildaufnahmen ein unverzichtbares Hilfsmittel dar. Eine solide Kenntnis des Luftbildes und der Technik der Luftbildmessung und -interpretation ist daher Voraussetzung für jeden, der sich mit der Fernerkundung befasst.

#### **3.1.2.1 Satellitengestützte Fernerkundungssysteme**

Satellitengestützte Fernerkundungssysteme sind seit Anfang der 70er Jahre auf dem Markt. In den letzten Jahren sind neben Landsat und SPOT auch höchstauflösende Systeme im Meter-Bereich wie IKONOS und im Dezimeter-Bereich wie QuickBird verfügbar. Im Folgenden wird das Landsat-System detaillierter beschrieben, da Satellitenszenen dieses Systems in der Arbeit verwendet werden.

Geostationäre Satelliten liefern zeitlich hoch auflösende Aufnahmen großer Gebiete, die mit einer groben geometrischen Auflösung, d. h. geringen räumlichen Detailgenauigkeit verbunden sind. Sie stehen ortsfest über einem Erdpunkt, d. h. sie bewegen sich auf ihrer Umlaufbahn mit der gleichen Winkelgeschwindigkeit und in die gleiche Richtung wie der Erdpunkt unter ihnen. Ihre Flughöhe beträgt rd. 36 000 km quasi stationär, und ihre Umlaufbahn befindet sich über dem Äquator (MALBERG 2006). Die Wettersatelliten wie METEO-SAT, die eine weltweite kontinuierliche Wetterbeobachtung gewährleisten, befinden sich auf solchen geostationären Umlaufbahnen.

Erdbeobachtungssatelliten wie Landsat, SPOT (*Systeme Probatoire d'Observation de la Terre*) oder IRS (*Indian Remote Sensing Satellite*) werden dagegen in einer fast-polaren Umlaufbahn (*near polar orbit*) eingesetzt, so dass diese Satelliten einen Umlauf von Pol zu Pol fliegen.



**Abbildung 3.5: Arten der Umlaufbahnen** (Quelle: OCEAN WORLD 2008)

Dies ist jedoch am Nordpol leicht nach Osten und am Südpol leicht nach Westen versetzt, um zu gewährleisten, dass die Satelliten sonnensynchron fliegen. Dadurch wird jedes Gebiet der Erde etwa zur selben Sonnenzeit überflogen und damit unter vergleichbaren Beleuchtungsverhältnissen aufgenommen. Mit einer Flughöhe von ca. 700 km (*Landsat*) bis 900 km (*IRS*) ist die Größe der aufgenommenen Gebiete (z.B. *Landsat TM 5* mit 185 km \*185 km) deutlich geringer als bei den geostationären Satelliten. Gleichzeitig wird die räumliche Auflösung der Bildelemente aber höher, wodurch detaillierte Interpretationen der Erdoberfläche ermöglicht werden. Die zeitliche Auflösung, d. h. die Wiederholungsrate von Aufnahmen identischer Gebiete, ist mit ca. 1-2 Datensätzen im Monat äußerst gering. Aufgrund dieser Eigenschaften werden Satelliten mit einer polaren Umlaufbahn bevorzugt für Untersuchungen der Landoberfläche eingesetzt, die räumlich detaillierte Bildinformationen erfordern.

#### **Aufnahmesystem von Landsat**

Im Juli 1972 wurde der erste von sieben Satelliten der Landsat-Serie (davon ein Fehlstart) gestartet. Bei dieser Serie – bestehend aus drei Baureihen – handelt es sich um zivile Erdbeobachtungssatelliten der NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) zur Fernerkundung der Erdoberfläche. Sie dienen hauptsächlich der Kartierung natürlicher Ressourcen. Die Fernerkundungsplattform zeichnet mit verschiedenen Sensoren sogenannte Bedienungsdaten des Landsat-Satelliten auf; die Instrumente auf ihnen sind in der untenstehenden Tabelle 3.1 aufgeführt.

**Landsat MSS 1**

Landsat 1 wurde mit dem Multispektral Scanner (MSS) ausgestattet und liefert bereits seit 1972 Bildmaterial der Erdoberfläche.

**Tabelle 3.1: Landsat-Satelliten, ihre Operationsperiode und ihre Instrumente (Quelle: verändert nach LÖFFLER et al. 2005)**

	start	Außer Dienststellung	Höhe u. Art der Umlaufbahn (km)	Wiederholrate (T)	Instrumente (Scanner)	Streifenbreite (km)	Auflösung im Nadir (m*m)	Spektrale Auflösung (µm)	Radiom. Auflösung (bit)
Landsat -1 (ERTS-1)	23 Jul 1972	Jan. 1978	907 Fast polar LEO	18	RBV, MSS	185	79*79	<b>1:</b> 0,475-0,575 <b>2:</b> 0,580-0,680 <b>3:</b> 0,690-0,830	
Landsat -2	22 Jan 1975	Feb 1982			RBV, Pan nur LS3		40*40	0,510-0,750	
Landsat -3	05 Mrz 1978	Mar 1983			915 Fast polar LEO	RBV, MSS	185	79*79	<b>4:</b> 0,6-0,7 <b>5:</b> 0,7-0,8 <b>6:</b> 0,8-0,9 <b>7:</b> 0,8-1,1
Landsat -4	16 Jan 1982	Jun 2001	705 Fast polar LEO	16	MSS	185	Vgl. Landsat 1,2		
					TM	185	30*30	<b>1:</b> 0,45-0,52 <b>2:</b> 0,52-0,60 <b>3:</b> 0,63-0,69 <b>4:</b> 0,76-0,90 <b>5:</b> 1,55-1,75 <b>7:</b> 2,08-2,35	8
Landsat -5	01 Mrz 1984						120*120	<b>6:</b> 10,4-12,5	8
Landsat -6*	05 Okt 1993	5 Okt. 1993 *							
Landsat -7	15 Apr 1999	Ende 2003 **	705 Fast polar LEO	16	ETM + MSS	185	30*30	Vgl. TM Landsat 5	
					ETM + Pan	185	60*60 15*15	<b>6:</b> 10,4- 12,5 <b>8:</b> 0,50-0,90	8 (9) 8 (9)

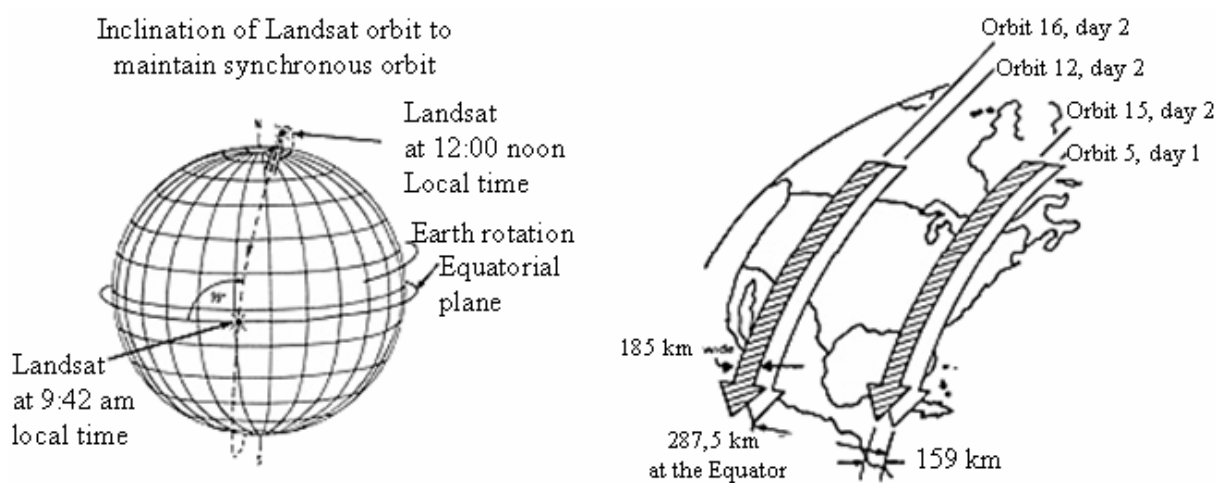
\* Beim Start verloren

\*\* Am 31.3.2003 ist allerdings das Scan Line Correction (SLC)-Instrument ausgefallen, so dass keine Kompensation der Vorwärtsbewegung des Satelliten mehr möglich ist (DE LANGE 2006).

RBV-Multispectral Return Beam Vidicon, MSS-Multispectral Scanner mit thermischem Kanal, TM-Thematic Mapper, ETM+ - Enhanced Thematic Mapper Plus

Zum besseren Verständnis der Prozessierung, Analyse und Interpretation der in dieser Arbeit verwendeten Satellitendaten ist es nötig, näher auf die technischen Details des Landsat-Systems einzugehen.

Der Multispektral Scanner (MSS) tastete die Erdoberfläche mit Hilfe eines beweglichen Spiegels in Zeilen quer zur Flugrichtung ab (Abbildung 3.6). Dabei wurden mit einer Spiegelbewegung gleichzeitig sechs Zeilen in je vier Spektralkanälen beobachtet. Zu diesem Zweck wurde die aufgefangene Strahlung entsprechend auf 24 Detektoren fokussiert (GEOINFORMATIK-SERVICE 2008).



**Abbildung 3.6: Der aufgenommene Geländestreifen war 185 km breit, das einzelne Bildelement etwa  $80 \times 80 \text{ m}^2$  groß (Quelle: ALBERTZ 2007)**

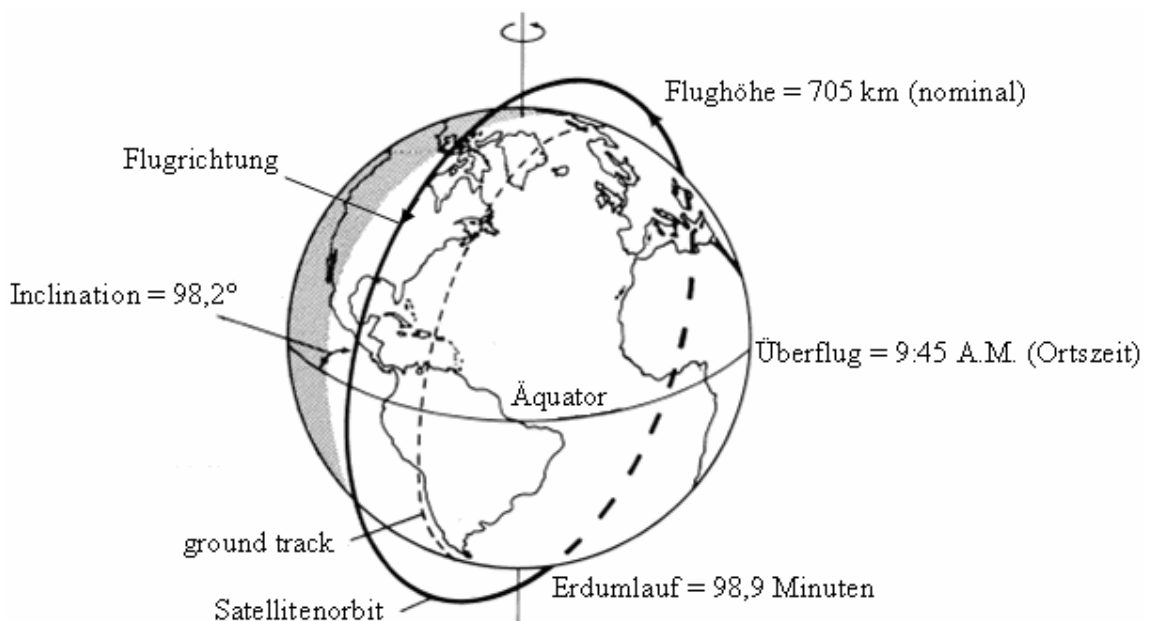
Von den je vier Spektralkanälen liegen jeweils zwei Kanäle im sichtbaren Bereich und zwei im infraroten Spektralbereich.

Diese Satelliten bewegen sich auf einer Bahnhöhe von 917 km (570 Meilen) und einem quaspolaren und sonnensynchronen Orbit mit  $98,2^\circ$  Inklination. Das hat zur Folge, dass jedes Gebiet immer zur gleichen Uhrzeit überflogen wird, d.h. es herrschen weitestgehend gleich bleibende Aufnahmebedingungen.

Allerdings wies Landsat MSS eine Reihe von Unzulänglichkeiten auf, wie die geringe geometrische und spektrale Auflösung, Monoskopie und die Abhängigkeit von einer starren Flugbahn und Wolken (BÄHR und VÖGTLE 1991).

#### Landsat TM 5

Neue Erkundungssatelliten (Start Landsat-4 am 16.07.1982, Start Landsat-5 am 1.3.1984) führen ebenfalls den bei Landsat-1, 2 und 3 bewährten Multispektralabtaster (MSS) mit, allerdings ohne Thermalkanal. Zusätzlich kam ein neu konzipierter Rotationsabtaster (*sog. Thematic Mapper*) an Bord zum Einsatz (KRAUS und SCHNEIDER 1988). Landsat 5 umkreist die Erde in einer sonnensynchronen, um  $98,21^\circ$  zum Äquator geneigten Umlaufbahn in einer Flughöhe von ca. 705 km mit einer Umlaufzeit von 98,9 min und überquert dabei den Äquator um jeweils 9.45 Uhr Ortszeit. Aufgrund der fast polaren Umlaufbahn tastet der Landsat 5 die Erde streifenweise ab und erreicht in 16 Tagen mit 233 Umläufen eine vollständige Abdeckung des Planeten.



**Abbildung 3.7: Die Orbit-Parameter des Landsat TM (Quelle: nach LILLESAND und KIEFER 2000, USGS 1984)**

Das Aufnahmesystem des Thematic Mapper (TM) ist ein opto-mechanischer Multispektral-scanner, der die Erdoberfläche zeilenweise abtastet. Mit Hilfe eines oszillierenden Spiegels wird die Oberfläche quer zur Flugrichtung abgetastet (Abbildung 3.7). Durch die Rotation des Spiegels bei gleichzeitiger Vorwärtsbewegung des Satelliten kommt es zu Verzerrungen in der Geometrie der Datensätze, die jedoch weitestgehend durch eine aufwendige Datenprozessierung durch den Hersteller korrigiert werden.

Die von der Erdoberfläche reflektierte elektromagnetische Strahlung wird im Scanner durch ein optisches System aus einer Cassagrian-Optic, einem dichroitischen Strahlenteiler bzw. einem Prisma geleitet und in unterschiedliche spektrale Bänder aufgeteilt, bevor sie den Detektoren zugeführt wird. An den Detektoren wird die eingehende Strahlung in elektronische Impulse umgewandelt, gespeichert und an die Bodenstationen weitergeleitet. Bei jeder Spiegelumdrehung werden 7 verschiedene Spektralbereiche mit je 16 Detektoren (Ausnahme: Kanal 6, thermales Infrarot mit 4 Detektoren) gleichzeitig aufgezeichnet. Der dabei abgetastete Streifen beschreibt eine Fläche von 185,2 km Länge und 480 m Breite (Abbildung 3.6), wodurch die geometrische Auflösung an der Erdoberfläche mit ca. 30 m (Kanal 6: 120 m) festgelegt ist (BLANCHARD und WEINSTEIN 1980; USGS 1984, ELACHI und ZYL 1987, ERHARDT 1990, RICHARDS 1993).

Der Thematic Mapper nimmt jeden Geländeausschnitt gleichzeitig in 7 verschiedenen Spektralbereichen auf, welche die Erstellung von sog. multispektralen Satellitenbildern ermöglicht. Die unterschiedlichen Wellenlängenbereiche dieser 7 Spektralkanäle und deren thematische Anwendungsbereiche werden in der (Tabelle 3.2) beschrieben.

#### **Landsat ETM+ 7**

Eine verbesserte Version des Landsat-TM wurde jedoch erst mit den baugleichen Satelliten Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) 7 (Start 15. April 1999) eingesetzt, der dieselben spektralen Eigenschaften wie TM aufweist, zusätzlich aber eine höhere geometrische Auflösung im panchromatischen Kanal mit 15 m Auflösung bietet.

Der neueste Sensor ETM+ auf Landsat 7 ist ein multispektraler Sensor, der die an der Erdoberfläche reflektierte Strahlung im Bereich des sichtbaren Lichts (blau, grün, rot), des nahen Infrarotes und des kurzwelligen Infrarots misst. Zusätzlich verfügt er über einen Thermalkanal. Die geometrische Auflösung der meisten Kanäle beträgt 30 m, mit Ausnahme des panchromatischen Kanals 15 m und des Thermalkanals 60 m.

Landsat 7 bewegt sich seit 1999 in etwa 705 km Höhe auf einer polaren Umlaufbahn um die Erde und hat einen Wiederholzyklus von 16 Tagen. Durch die Überlappung benachbarter Umlaufbahnen in höheren Breiten ist für Gebiete im Überlappungsbereich eine häufigere Datenakquisition möglich. Nach technischen Problemen mit dem Sensor sind die Daten seit Mitte

2003 nur noch eingeschränkt nutzbar. Die Bedeutung der sieben Kanäle der Landsat 7-Daten gliedert sich wie folgt (vgl. Tabelle 3.2):

**Tabelle 3.2: Anwendungsgebiete der Kanäle des Thematic-Mapper (Quelle: USGS 1984, HAENISCH 1996)**

Spektralkanal	Spektrale Bandbreite	Anwendungsbereiche in der Bildinterpretation
Kanal 1	0.45-0.52 sichtbares Blau	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Studien der Küstenbereiche: Untersuchung von Küstenströmen, Sediment beladenen Wasser, Sedimentursprungsgebieten oder bathymetrische Messungen</li> <li>➤ Unterscheidung von Boden und Vegetation</li> <li>➤ Trennung von bewachsenen und unbewachsenen Böden</li> <li>➤ Unterscheidung zwischen Laub- und Nadelbäumen</li> </ul>
Kanal 2	0.52-0.60 sichtbares Grün	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ermittlung der Vitalität von Pflanzen (Grün Peak bis 0.55 µm)</li> <li>➤ Bodenkundliche Untersuchungen (Bodentoxizität)</li> <li>➤ zeigt sich insbesondere für die Abgrenzung unterschiedlicher Vegetation sowie die Abschätzung der Pflanzenvitalität geeignet</li> </ul>
Kanal 3	0.63-0.69 sichtbares Rot	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Unterscheidung von Pflanzenarten (Chlorophyllabsorptionsband)</li> <li>➤ Abgrenzung zwischen Gebäude und Straßen</li> <li>➤ Lithologische Unterscheidung eisenreicher Gesteine</li> </ul>
Kanal 4	0.76-0.90 nahes Infrarot	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ermittlung des Biomasseanteils</li> <li>➤ Indikation der Vegetationsarten und ihrer Vitalität</li> <li>➤ Untersuchungswasserflächen (See, Fluss)</li> </ul>
Kanal 5	1.55-1.75 mittleres Infrarot	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Messung der Feuchte von Boden und Vegetation</li> <li>➤ Separation Wasserkörper von Umland</li> <li>➤ Trennung zwischen Wolken und Schnee</li> <li>➤ Geologische Kartierungen</li> </ul>
Kanal 7	2.08-2.34 mittleres Infrarot	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Beurteilung/Einschätzen hydrothermalen Veränderungen</li> <li>➤ Geologische Untersuchungen (Differenzierung zwischen Gesteine)</li> </ul>
Kanal 6	10.4-12.5 thermal	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Thermalkartierung</li> <li>➤ Lokalisierung von Trockenheit in Pflanzen</li> <li>➤ Untersuchung von Bodenfeuchtigkeit</li> </ul>

#### 3.1.2.2 Flugzeuggestützte Fernerkundungssysteme

Das Flugzeug mit dem klassischen Luftbild hat als traditionelles Trägersystem in den vergangenen Jahren durch die modernen Trägersysteme (*Satelliten, Radar, Laserscanning usw.*) Konkurrenz bekommen. Dennoch sind Flugzeuge immer noch bedeutende Trägersysteme, wobei das klassische Bildflugzeug vermehrt durch Verkehrs- und Sportflugzeuge, Ballone, Drachen oder sogar Modellflugzeuge ersetzt oder ergänzt wird (ALBERTZ 2007). Die so gewonnenen Luftbildaufnahmen eignen sich besonders für kleinräumige Flächendeckung, für großmaßstäbige Stichproben (*hohe räumliche Detailgenauigkeit*) als Ergänzung von kleinmaßstäbigen flächendeckenden Luftbilderaufnahmen oder auch bei Stereoaufnahmen aus sehr niedriger Flughöhe (ALBERTZ 2007).

Entscheidend für eine konkrete Flugplanung sind Untersuchungsgebiet, Aufnahmezeitpunkte, meteorologische Bedingungen, Beleuchtungsverhältnisse, Forderungen an die Aktualität der Bilder, aber auch Kameratypen und Sensorsystemen. Damit ist jedoch ein hoher Planungs- und Kostenaufwand verbunden, da eine individuelle Anpassung lange Rüstzeiten bei der Installation und Steuerung der Aufnahmegeräte verlangt. Zusätzlich wird der Arbeitsaufwand durch eine aufwendige Datenprozessierung erhöht, die aufgrund der ständig variierenden Flugbedingungen während der Bildaufnahme notwendig ist (ALBERTZ 2007).

Bei den meisten Satellitenscannerdaten besitzt der Nutzer relativ wenig Einfluss auf Auswahl der Szene und Befliegungszeitpunkt. Allerdings besteht gerade bei Landsat eine hohe und langjährige Verfügbarkeit von Daten. Wesentlich flexibler ist hingegen der Einsatz von Scannern und digitalen Kameras auf einem Flugzeug. Die Bilder besitzen bei niedrigerer Flughöhe eine höhere Auflösung, so dass qualitativ hochwertige Daten jetzt auch Anwendungsfelder in der Kommunalplanung erschließen. Gegenüber den Vorteilen flugzeuggestützter Scanner entstehen hierbei aber (neue) Probleme, die eine Auswertung der Daten erschweren. So besitzen Flugzeuge im Vergleich zu Satelliten keine stabile Flugbahn, so dass Flugzeugscanneraufnahmen komplexe Verzerrungen aufweisen. Zu unterscheiden sind vor allem Abdrift-, Flugrichtungs- sowie Längs- und Querneigungsfehler. Bei den neuen Flugzeugscannersystemen können jedoch sämtliche Orientierungselemente direkt mittels einer Kombination aus GPS und inertialer Messeinheit aufgezeichnet (*direkte Georeferenzierung*) und anschließend in einem automatischen photogrammetrischen Entzerrungsprozess verarbeitet werden (DE LANGE 2006). Bei den älteren Systemen müssen diese Fehler bei der Bildverarbeitung und Auswertung der Informationen behoben werden (DE LANGE 2006). Auch im Bereich der flugzeuggetragenen Systeme hat sich in den letzten Jahren ein Wandel von analogen zu digitalen Kamerasystemen vollzogen. Ein praktisches Beispiel dafür stellt die HRSC dar, welche in anderen Untersuchungen an der Professur für Geodäsie und Geoinformatik in Rostock für Landnutzungs- und Flächenversiegelungsauswertungen eingesetzt wurde, um räumlich detailliertere Auswertungen zu ermöglichen.

#### **High Resolution Stereo Camera-Airborne (HRSC-A/ HRSC-AX)**

Die HRSC (*High Resolution Stereo Camera*) ist ein digitaler und multispektraler Stereoscanner, der vom Institut für Planetenerkundung des DLR (*Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt*) entwickelt wurde. Ursprünglich war die HRSC für die russische Mars-Mission



vorgesehen, jedoch schlug der Start der Sonde im Jahr 1996 fehl (DLR 2001). Anschließend wurde er für die luftgestützte Erdfernerkundung und Photogrammetrie modifiziert (HRSC-A). In den letzten Jahren ist das Kamerasystem weiter verbessert und modifiziert worden (HRSC-AX, -AXW) (Abbildung 3.8). Die folgende (Tabelle 3.3) verdeutlicht technische Daten der Systeme.

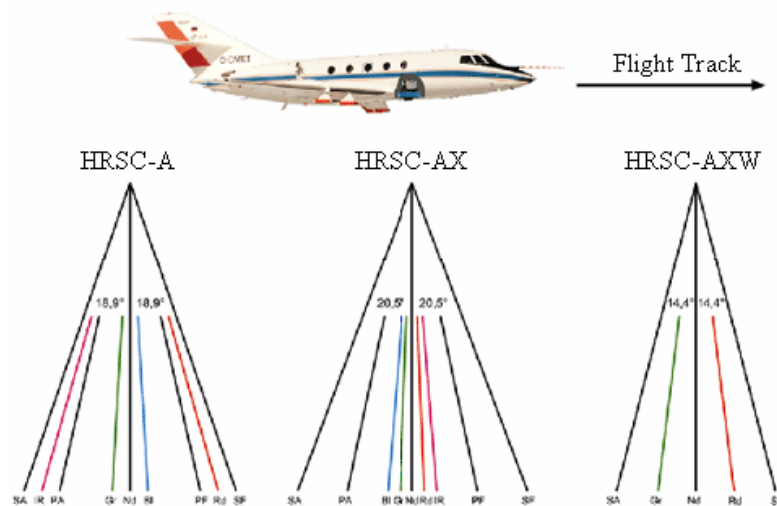


Abbildung 3.8: Aufnahmeverfahren der HRSC (Quelle: DLR 2007)

Tabelle 3.3: Technische Parameter der HRSC-A, -AX, -AW-Flugzeugscanner (Quelle: NEUKUM et al. 2001)

Technische Daten	HRSC-A	HRSC-AX	HRSC-AXW
Brennweite	175 mm	150 mm	47 mm
Gesamtes Blickfeld	36,0° x 11,8°	41° x 29°	30° x 79°
Öffnungswinkel	11,8°	28,9°	78,8°
Anzahl der CCD-Zeilen	9 (4 Farbe)	9 (4 Farbe)	5 (2 Farbe)
Stereowinkel	± 18,9°	± 20,5°	± 14,5°
Räumliche Auflösung 20cm bei Flughöhe	5000 m	4700 m	1500 m
Pixel pro CCD-Zeile	5184	12 000	12 000
Pixelgröße	7 x 7 µm <sup>2</sup>	6,5 x 6,5 µm <sup>2</sup>	6,5 x 6,5 µm <sup>2</sup>
Radiometrische Auflösung	8 bit	12 bit	12 bit
Spektrale Auflösung	Blau: 395-485 nm Grün: 485-575 nm Rot: 730-770 nm NIR: 925-1015 nm	Blau: 450-510 nm Grün: 530-570 nm Rot: 635-685 nm NIR: 770-810 nm	Grün: 475-750 nm Rot: 570-680 nm
Nadir/Stereokanal (Pan)	585-765 nm	520-760 nm	515-750 nm
Auslesegeschwindigkeit	450 Zeilen/sec	1640 Zeilen/sec	1640 Zeilen/sec
Gewicht der Kamera	32 kg	70 kg	70 kg
Stabilisierung	Stabilisierte Zeiss T-AS-Plattform		
Datenaufzeichnung	SONY Hochgeschwindigkeits-Bandrekorder		
Flugnavigation	PC und GPS/INS		

Der von der HRSC-AX zur HRSC-AXW verbesserte operationelle Einsatz für den irdischen Einsatz basiert auf Unterschieden in der Brennweite und damit in der Flächenabdeckung, der Lage und Winkel der Bänder sowie in der höheren radiometrischen Auflösung von 12-bit gegenüber 8-bit (4096 vs. 256 Grauwertstufen). Des Weiteren ist für die praktische Anwendung entscheidend die Erhöhung der Anzahl der CCD (*Charge Coupled Devices*) von 5184 (HRSC-A) auf 12000 (HRSC-AX), die verbesserte räumliche Auflösung und die verbesserte maximale Auslesefrequenz.

### 3.1.3 Aufnahmeverfahren

In Abhängigkeit vom Messprinzip (*Aufnahmeverfahren*) wird zwischen den passiven und aktiven Systemen unterschieden (Abbildung 3.9). Allen Systemen ist gemeinsam, dass die von der Erdoberfläche reflektierte elektromagnetische Strahlung erfasst und in Bildinformationen umgesetzt wird. Aktive Systeme erzeugen elektromagnetische Strahlung an Bord und senden diese aktiv aus, wohingegen die passiven Systeme die Sonne als Hauptstrahlungsquelle nutzen.

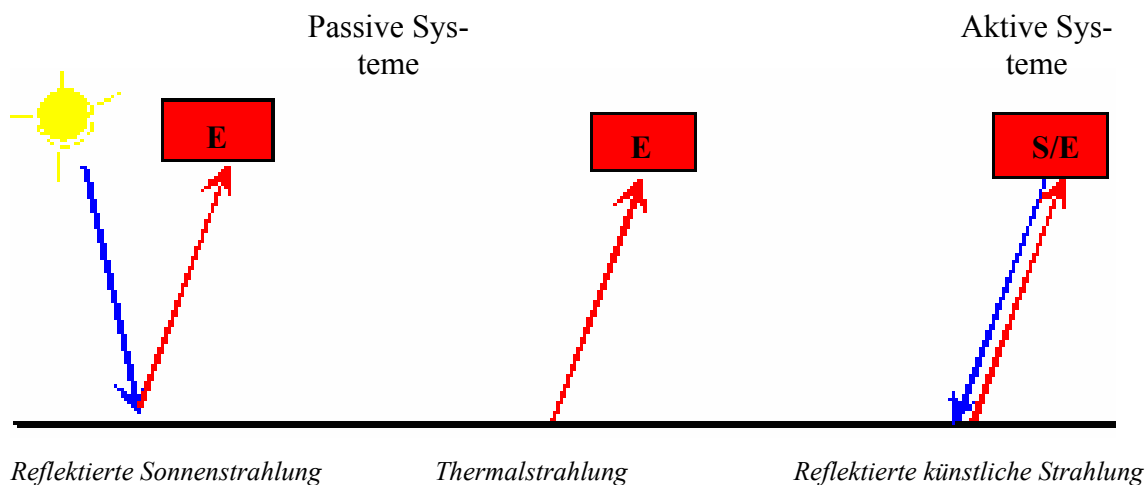


Abbildung 3.9: Aktive und passive Aufzeichnungssysteme (Quelle: GRENZDÖRFFER 2005)

Zu den bekanntesten passiven Aufnahmesystemen gehören Luftbilder, die photographische Bilder eines Teils der Erdoberfläche sind, die von Luftfahrzeugen, i.d.R. Flugzeugen, aufgenommen werden. Je nach spektraler Empfindlichkeit der verwendeten Sensoren unterscheidet man zwischen panchromatischen Bildern (*Schwarz-Weiß*), Farbbildern, Farbinfrarotbildern (*CIR-Color Infrared*), Thermalbildern u.a. Sie werden vielfach in der stereophotogrammetrischen Bildauswertung eingesetzt (verändert nach (GRENZDÖRFFER 2005)). Die

modernen verwendeten Kamerasysteme haben den Vorteil, mit einem geringen technischen Aufwand bereits hohe räumliche Auflösung zu erreichen (z.B. von 0,1 m bis 0,5 m).

In der modernen Fernerkundung werden opto-elektronische Abtastersysteme (*Solid Line Scanners*) und digitale Kameras in Flugzeugen eingesetzt. Die passiven Systeme registrieren die von der Erdoberfläche reflektierte elektromagnetische Strahlung des Sonnenlichts und Thermalstrahlung (*Oberflächentemperatur*) mit Hilfe von Detektoren und speichern die gewonnenen Informationen. Der jeweilige Wellenlängenbereich hängt in erster Linie von der Art des verwendeten Detektors ab, kann jedoch auch durch optische Bauelemente (z. B. Filter) variiert werden. Mit optischen Bauelementen lässt sich die von einem Abtastsystem empfangene Strahlung in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen des elektromagnetischen Spektrums aufteilen. Dadurch entstehen mehrkanalige Systeme, die man Multispektralscanner nennt. Sie dienen vorrangig dazu, Wellenlängenbereiche des sichtbaren Lichts und des nahen, mittleren und thermalen Infrarotlichts in mehreren Kanälen aufzunehmen, verändert nach (ALBERTZ 2007). Mit Hilfe der digitalen Bildverarbeitung werden die gespeicherten Daten zu Bildinformationen zusammengesetzt und interpretiert. Operationale satellitengestützte Systeme wie Landsat, IKONOS oder QuickBird liefern Satellitendaten in kontinuierlichen Zeitabständen mit einer spektralen Auflösung von 3-7 Wellenlängenbereichen (*multispektral*) und einer Bodenauflösung von ca. 0.5-30m. Flugzeuggetragene Scannersysteme besitzen die Möglichkeit, mit aufwendiger Scannertechnik Hyperspektraldaten mit über 200 Wellenlängenbereichen zu detektieren. Die Verarbeitung und Interpretation der dabei anfallenden Datenmengen ist jedoch extrem schwierig und aufwendig.

Passive Aufnahmesysteme sind von der Reflexion der vorhandenen elektromagnetischen Strahlung (*Sonnenlicht*) abhängig und können somit während des Tages Daten liefern. Satellitengestützte Systeme beschränken sich aufgrund zusätzlich Wellenlängenbereiche, die nicht von der Erdatmosphäre absorbiert werden (*atmosphärisches Fenster*). Große Bereiche des elektromagnetischen Spektrums durchdringen z.B. ausschließlich wolkenfreie Himmel, wodurch die Nutzung passiver Systeme bei Bewölkung stark eingeschränkt wird. Im Gegensatz dazu können aktive Fernerkundungsverfahren sowohl in der Nacht als auch bei Wolkenbedeckung Bildaufnahmen liefern. Solche Fernerkundungsverfahren, d.h. die verwendete elektromagnetische Strahlung im Mikrowellenbereich wird vom Aufnahmesystem selbst erzeugt, empfangen die von der Erdoberfläche reflektierte Rückstrahlung. Die Mikrowellenstrahlung im Bereich von 1 bis 100 cm Wellenlänge besitzt den Vorteil der Unabhängigkeit von Wetter,

Dunst, Nebel etc. Die wiedergegebenen Bilder entsprechen einem Graustufenbild. Die Geländestreue der Radarstrahlung hängt von den Oberflächeneigenschaften (*Rauhigkeit, Relief*) in Bezug auf die Wellenlänge des Signals ab. Die Intensität des empfangenen Signals hängt von der Beleuchtungsgeometrie und von den Geländeeigenschaften ab. Insgesamt sind die Wechselwirkungen zwischen Objekten und Mikrowellenstrahlung sehr komplex und oftmals unverstanden. Die Interpretation von Radarbildern ist im Vergleich zu passiven Sensoren jedoch schwierig. Bisher haben Radarbilder hauptsächlich in der marinen Forschung und Praxis Einzug gehalten (verändert nach (GRENZDÖRFFER 2005)).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass verschiedene Systeme mit unterschiedlicher technischer Voraussetzung und damit verbunden abweichenden Verarbeitungs-, Auswertungs- und Interpretationsmöglichkeiten zur Verfügung stehen. Die Parameter der Auswahl von Fernerkundungsverfahren und -systemen müssen sich an das Untersuchungsgebiet (*Lage und Größe*), die Trägerplattform und Sensorik und den Untersuchungsgegenstand (*spektrale, geometrische und temporale Auflösung*) anpassen sowie aufgabenspezifisch erfolgen.

Die unterschiedlichen Eigenschaften stehen meist gegensätzlich zueinander: so sind beispielsweise große Bildausschnitte nur mit einer geringen geometrischen Auflösung zu realisieren, hohe geometrische Auflösung ist mit eingeschränkter spektraler und zeitlicher Auflösung verbunden. Die Auswahl geeigneter Systeme erfordert somit immer einen Kompromiss und wird bei den passiven Sensoren durch die eingeschränkte Datenverfügbarkeit (*hohe Wolkenbedeckungswahrscheinlichkeit*) extrem erschwert.

## **3.2 Primäre Datenerfassungsmethoden**

Für die Ermittlung der Landnutzungsänderungen ist eine verlässliche Erfassungsmethode erforderlich. Daher sind zur Bestimmung der Flächeninanspruchnahme entsprechende Erfassungsmethoden zu entwickeln und anzuwenden. In diesem Kontext sollen in dieser Arbeit die Möglichkeiten der Fernerkundung im Vergleich zu anderen Datenerfassungsmethoden untersucht werden.

In Deutschland wird die Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung nach Angaben des Statistischen Bundesamtes durchgeführt. Die Vorteile dieser registergestützten Daten sind in den günstigen Kosten und dem geringeren Erhebungsaufwand zu sehen. Die Nachteile be-

stehen u.a. darin, dass die in den Registern gespeicherten Informationen im Hinblick auf Vollständigkeit, Qualität und Aktualität nicht immer die erforderliche Güte aufweisen (MEINEL und HENNERSDORF 2002).

Des Weiteren ist das (STATISTISCHES BUNDESAMT 2002) der Meinung, dass der „erreichte Stand der Automatisierung [...] zwischen den einzelnen Bundesländern und zum Teil auch innerhalb einzelner Bundesländer“ in Bezug auf das ALB (*Automatisierte Liegenschaftsbuch*) unterschiedlich ist, wodurch vergleichende Analysen nicht möglich sind (TOMOWSKI et al. 2006).

Weitere statistische Datenquellen wie Bautätigkeitsstatistiken liefern nur Informationen zu der Anzahl von Baugenehmigungen und Baufertigstellungen, aber keine flächenbezogenen Daten. (STEINNOCHER und TÖTZER 2001) resümieren zu Recht, dass statistische Analysen „letztendlich nur eine Annäherung an die Qualität und Aussagekraft von flächenbezogenen Daten“ haben können. Ferner stellt nach (REDER 2002) „die Aktualisierung dieser Daten durch laufende Erhebungen [...] einen nicht unerheblichen Zeit- und Kostenaufwand“ dar, da die Personalkosten und der Zeitaufwand mit zunehmender Größe des Untersuchungsgebietes steigen (TOMOWSKI et al. 2006).

### ***3.3 Ableitung der Landnutzungen aus Satellitenbildern***

„Fernerkundungsdaten erlauben in vielen Fällen eine Bestimmung der Flächenbedeckung und die Einschätzung der Lage, Verteilung und räumlichen Beziehungen von Objekten auf der Erdoberfläche“ (MEINEL und HENNERSDORF 2002), d. h. sie geben „eine große Gelände- fläche unter praktisch einheitlichen Aufnahmebedingungen wieder“ (ALBERTZ 2001). Des Weiteren können bei der Auswertung fernerkundlicher Aufnahmen zusätzliche Informationen des elektromagnetischen Spektrums genutzt werden, die das menschliche Auge nicht erfassen kann, ist es möglich neben einer visuellen Interpretation der Bilddaten viele Objekte auch multispektral zu klassifizieren. So können Multispektralscanner „denselben Geländebereich, die gleichen Geländeobjekte gleichzeitig in mehreren, eng begrenzten (wählbaren) Teilspektren (*Kanälen*, engl. *bands*) aufnehmen“ (TOMOWSKI et al. 2006), die vom kurzwelligen Ultraviolett bis zum Mikrowellenbereich (*Radar*) reichen. Außerdem sind Satellitenbilder sehr gut dazu geeignet, die Dynamik einer Landschaftsentwicklung zu erfassen, da auch „die

zeitliche Dimension“ erfasst wird (ALBERTZ 2001) und so das Beobachten von dynamischen Phänomenen mit Hilfe multitemporaler Bilder oder Datensätze (LÖFFLER et al. 2005) ermöglicht wird. Ein weiterer Vorteil der fernerkundlichen Datenerhebung ist die schnelle Durchführbarkeit und die damit verbundene Aktualität der Flächendaten (MEINEL und HENNERSDORF 2002).

Fernerkundung spielt eine wichtige Rolle bei der Erfassung von Landbedeckung und Landnutzung besonders für das Monitoring der Urbanisierungsdynamik im Bereich Regional- und Stadtplanung. Allerdings werden die Einsatzmöglichkeiten von der spektralen und räumlichen Auflösung der Satellitensensoren bestimmt. Die räumliche Auflösung bestimmt den Arbeitsmaßstab, dieser liegt für Satellitenbilder in Abhängigkeit vom gewählten Sensor im Bereich von Maßstab 1:5 000 bis 1:100 000. In einer stark strukturierten Landschaft ist zum Beispiel mit einer räumlichen Auflösung von 20 m x 20 m keine ausreichende Unterscheidung der Objekte, aus denen ein solches Gebiet besteht, möglich. Die relativ grobe räumliche Auflösung bedingt, dass aus Satellitenbildern abgeleitete Karten einen Maßstab aufweisen, der nicht immer zweckmäßig ist. Mit neuen hochauflösenden Satellitensystemen, wie IKONOS, kann diese Grenze drastisch herabgesetzt werden, so dass Karten mit einem Maßstab von bis zu 1:5.000 erstellt werden können. Durch die schnelle Durchführbarkeit steigt die damit erreichbare Aktualität der Flächeninformation. Die Aufnahmen können wiederholt werden, und es sind gleiche Datengrundlagen auch für länderüberschreitende Kartierungen gegeben. Die Daten liegen flächendeckend zu einem Zeitpunkt vor, und nicht nur partiell wie bei dem Flächenstichprobenverfahren oder der katastergestützten Flächeninformation. Als nachteilig ist der derzeit noch hohe Auswertungsaufwand einzuschätzen, welcher bei der Ableitung von Flächenbedeckungsinformationen aus Bilddaten entsteht. Darüber hinaus sind nicht in jedem Fall Nutzungsinformationen ableitbar, verdeckte Flächen sind ohne Zusatzinformation überhaupt nicht kartierbar. (MEINEL und HENNERSDORF 2002).

### **3.4 Klassifikationsverfahren**

Satellitenbilder werden nach einer entsprechenden radiometrisch-geometrischen Aufbereitung, die im Kapitel 5 am Beispiel des Untersuchungsgebietes beschrieben wird, zumeist einer Klassifikation unterzogen. Unter Klassifizierung versteht man eine Zuordnung ein- oder mehrdimensionaler (z.B. *mehrere spektrale Aufnahmekanäle*), qualitativer (*thematischer*)

und/oder quantitativer (*kontinuierlicher*) Informationen nach festgelegten Kriterien (*Klassen*) (Abbildung 3.10) (LÖFFLER et al. 2005). Wegen ständigen Verbesserungen der Datenlage und Entwicklungen der Computerleistungen wurde eine immer größer werdende Zahl von Methoden von Forschern im Laufe der Jahrzehnte entwickelt mit dem Ziel, die sinnvolle Auswertung der verfügbaren Fernerkundungsdaten zu verbessern. Hauptsächlich unterscheidet man zwischen zwei Klassifizierungsverfahren.

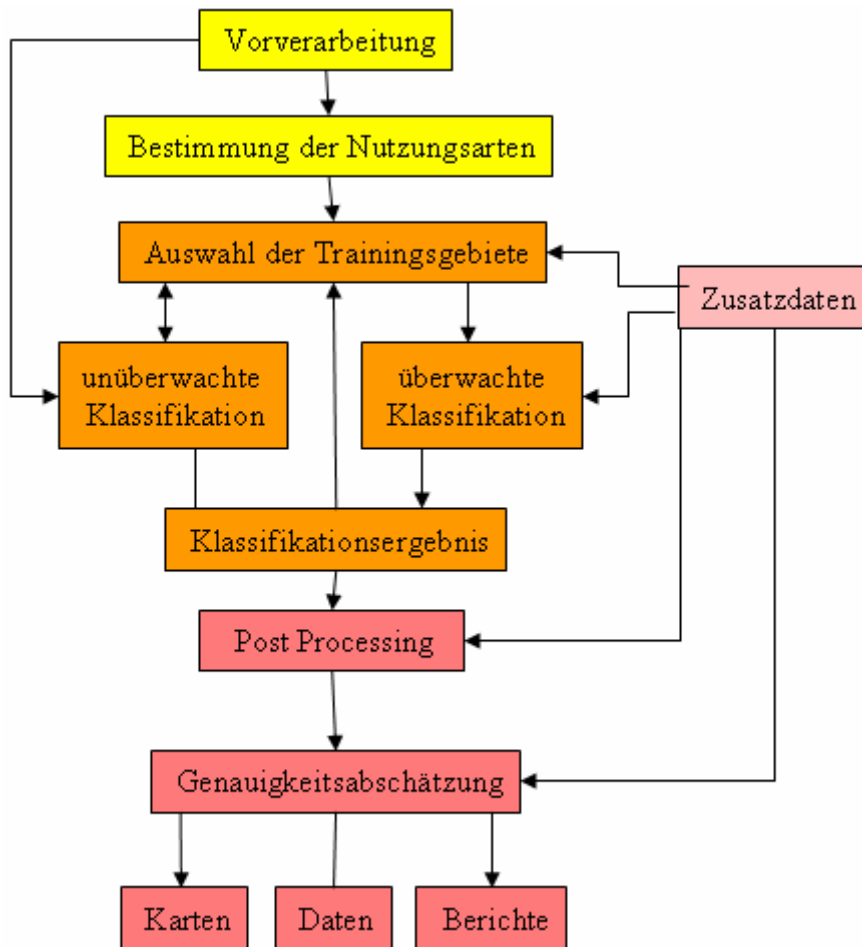


Abbildung 3.10: Multispektrale Klassifikation (GRENZDÖRFFER 2008)

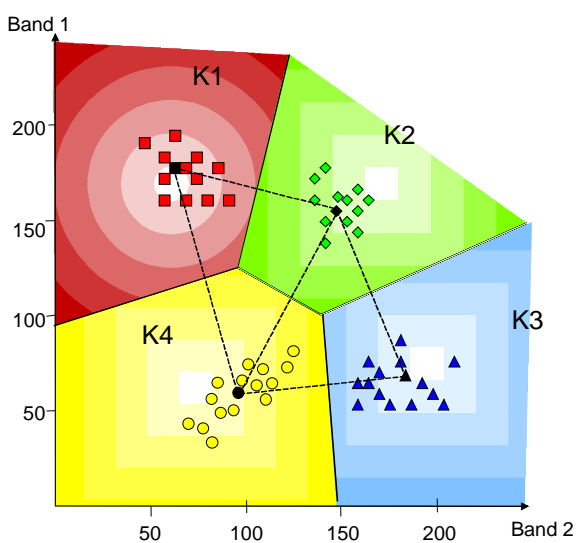
### 3.4.1 Überwachte Klassifizierung (supervised classification)

Überwachte Klassifizierungsverfahren gehören zu den am häufigsten eingesetzten Methoden zur thematischen Interpretation von Fernerkundungsdaten. Sie basieren auf der Verwendung bekannter Testflächen (*Trainingsdaten*) zur Klassifikation. Bei dieser Methode werden die Merkmalsklassen aus von dem Benutzer vorgegebenen Daten bestimmt. Dabei werden Testflächen im Satellitenbild eingegrenzt und über einen Klassifizierungsalgorithmus (*statistische*

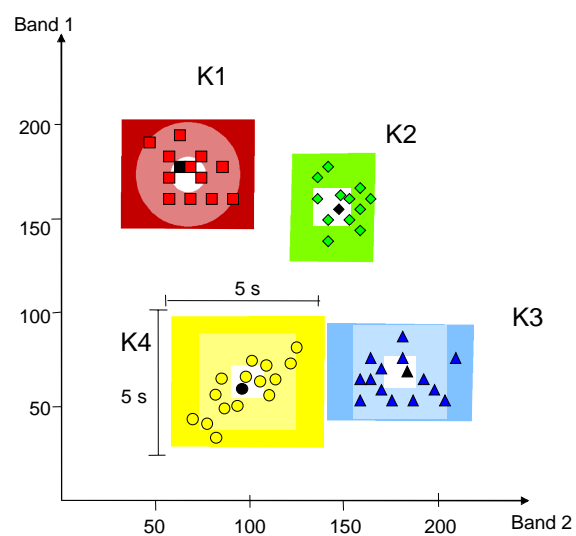
*Analyse der gesamten Szene*) weitere Flächen mit denselben Pixeleigenschaften ermittelt. Bei der überwachten Multispektralklassifizierung müssen vorab die Landnutzungsklassen anhand von Signaturkurven bestimmt sein. Für die praktische Durchführung einer überwachten Klassifizierung kommen verschiedene methodische Ansätze in Betracht (MATHER 1999):

- Maximum Likelihood-Verfahren,
- Minimum Distance-Verfahren (Verfahren der nächsten Nachbarschaft),
- Quader-Verfahren (Parallelepipid-Klassifikation oder Box-Klassifikation),
- die Hierarchische Klassifizierung
- und andere.

Die Wirkungsweise dieser Methoden lässt sich am besten an einem einfachen Beispiel mit Daten aus zwei Spektralkanälen erläutern, da dann der Merkmalsraum als Ebene dargestellt werden kann (vgl. Abbildung 3.11).



*Nearest Neighbor Klassifikator*



*Parallelepipid Klassifikator*



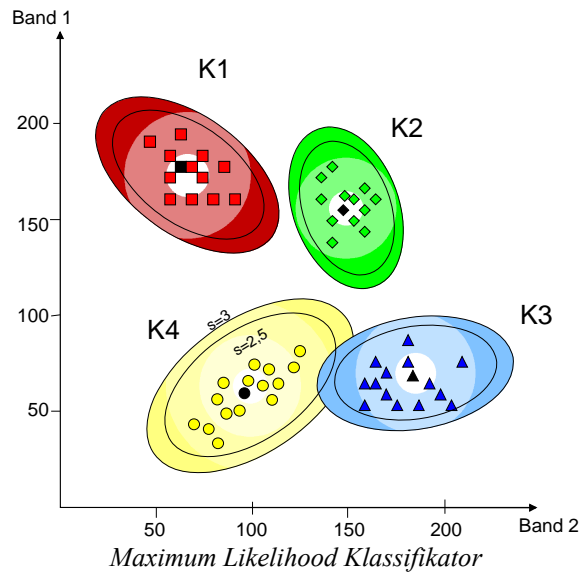


Abbildung 3.11: Überwachte Klassifikationsverfahren (GRENZDÖRFFER 2008)

### 3.4.2 Unüberwachte Klassifizierung (unsupervised classification)

Bei der sog. unüberwachten Klassifizierung werden die Pixel eines Bildes verschiedenen Spektralklassen zugewiesen, ohne dass der Bearbeiter genaue Vorkenntnisse bezüglich der Existenz oder gar Bezeichnungen dieser Klassen hat. Dazu bedient man sich zumeist unterschiedlicher Cluster-Algorithmen. Die Cluster werden aufgrund der Ähnlichkeit der Pixel gebildet, wobei Ähnlichkeit durch Nachbarschaft im Merkmalsraum operationalisiert wird. Hierbei werden vorab keine Informationen über die zu ermittelnden Cluster benötigt. Der Bearbeiter bestimmt lediglich die Clusterzahl. Die errechneten Cluster werden erst nach Abschluss der Rechnungen interpretiert. Die Clusterbildung erfolgt automatisch, d.h. unüberwacht (DE LANGE 2006).

## 3.5 Stand der Forschung

Die Fernerkundung entwickelte sich in den letzten Jahrzehnten zu einer sehr innovativen und schlagkräftigen Methodik für Aufgaben im Bereich der Landnutzungs-/Landbedeckungsnachweise sowie der Landnutzungsveränderungen. Zahlreiche neue Forschungsansätze und Ergebnisse liegen vor. Die rasche Entwicklung der Informationstechnologien sowie der fortschreitende Einsatz digitaler Bildverarbeitung haben sich in den letzten Jahren stark beschleunigt. Aktuellere Entwicklungen sind in Veränderungen der Bildverarbeitung, die bisher me-

thodisch sehr stark am Pixel als kleinstes Element und ausschließlich Träger von Information orientiert war, hin zu segment- oder objektorientierten Verfahren zu sehen.

Seit Anfang der 1990er Jahre erfolgte eine rasche Entwicklung von diversen Formen und Initiativen, die einerseits die methodische Entwicklung von Landnutzungs- und Landbedeckungsänderungsanalysen dokumentieren und diskutieren. Die Standardisierung von Forschungsvorhaben und deren Umsetzungsstrategien sind ein Fokus der folgenden Initiativen:

- GOF-C-GOLD (Global Observation for Forest and Land Cover Dynamics)
- IGBP (International Geosphere Biosphere Programme)
- IHDP (International Human Development Programme)
- LUCC (*land use, cover change*) ist gleichzeitig eine Informationsplattform existierender Forschungsprojekte
- GLP (*Global Land Project*) (<http://www.globallandproject.org>)
- DAPLARCH-Initiative (*Data Plandevelopment for LAnd Use and Land Cover Change ResearCH*), die sich u.a. die Harmonisierung internationaler Datensysteme, die Priorisierung der benötigten Datensätze und Entwicklung der Methodologie für spezielle Datensätze als Ziel gesetzt hat (<http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC/lucc.html> -DAPLARCH).

Weitere internationale Diskussionsforen und Präsentationsplattformen für allgemeine und spezielle methodische Forschungen und Entwicklungen im Bereich der fernerkundlichen Datenerfassung sind u.a. die folgenden Workshops:

- Die EARSeL Organisation on Land use/Land Cover ([http://www.zfl.uni-bonn.de/earsel/ws2006\\_bn.html](http://www.zfl.uni-bonn.de/earsel/ws2006_bn.html)),
- Die ISPRS (Internationale Fernerkundungs-Foren der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung) und
- Das IGARSS (International Geosciences and Remote Sensing Symposium).

Eine Vielzahl von national bzw. kontinental ausgerichteten Informationsplattformen fokussieren sich sowohl auf regionalspezifische GIS- und Fernerkundungs-Applikationen als auch auf Methodenentwicklungen im Umfeld von Landnutzung und Landbedeckungsänderungsanalysen. Die Bündelung von Tagungspublikationen internationaler wie auch der europäischen Konferenzen über Fernerkundung geben eine umfassende Zusammenstellung diverser Anwendungen für Landnutzung und Landbedeckungsänderungsanalysen, aber auch internationa-

ler Forschungsprojekte. Speziell für die Ostseeregion wurde von der AMRS (*Alliance for Marine Remote Sensing*) ein Daten- und Informationsportal entwickelt. ([http://directory.eoportal.org/info\\_AllianceforMarineRemoteSensingAMRS.html](http://directory.eoportal.org/info_AllianceforMarineRemoteSensingAMRS.html) und <http://www.helcom.fi/>). Zentrale Ziele dieser Aktivitäten sind die Entwicklung und Bereitstellung von regionalen geographischen Datenbanken sowie einem Metadaten-Server und standardisierten Applikationen.

Weltweit wird in vielen Arbeitsgruppen das Thema „GIS und Fernerkundung im urbanen Umfeld“ diskutiert, vor allem die Nutzung neuer Sensoren und innovativer Methoden spielt eine große Rolle (z.B. das ISPRS 2003 (*Third International Symposium Remote Sensing of Urban Areas*) oder AGIT 2007 (*Angewandte Geoinformatik*)). Gleichzeitig finden in Deutschland Jahrestreffen des Arbeitskreises „Interpretation von Fernerkundungsdaten“ der DGPF (*Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation*) statt mit Themen wie Landbedeckungsänderungen, urbanes Wachstum oder Naturressourcenmanagement. Einzelne Forschungsarbeiten mit Ähnlichkeiten zum hier skizzierten Ansatz sollen in diesem Abschnitt exemplarisch für eine Vielzahl weiterer vorgestellt werden.

Für den langen Zeitraum von 30 Jahren liegt eine Untersuchung zur Verstädterung der amerikanischen Stadt Phoenix, Arizona vor (MÖLLER 2005). Der Autor verwendete Satellitenbilder unterschiedlicher Sensoren (Landsat MSS-, TM-, ETM+- und ASTER-Aufnahmen zwischen 1973 und 2003), die er mit Hilfe einer objektorientierten Methode der Bildanalyse auswertete. Die Änderungen der sechs untersuchten Perioden wurden anschließend auf Wachstumsparameter hin untersucht (*Richtung und Entfernung vom Stadtzentrum*). So konnten typische Phasen des urbanen Wachstums aufgezeigt werden.

(STEINNOCHER et al. 1999) untersuchte die Kartierung der Landbedeckung/-nutzung und deren Entwicklung während der letzten 40 Jahre für die Stadtregion Wien unter Verwendung von hochauflösenden Luft- und Satellitenbildern unter Einbeziehung weiterer Informationen, wie z.B. demographischen Daten. Im Rahmen dieses Projektes wurden vier Landnutzungsdatensätze erstellt, welche die räumliche Entwicklung Wiens von den 1950ern bis in die späten 1990er dokumentieren (STEINNOCHER 2003). Für jeden Zeitpunkt wurden jeweils eine Polygonkarte und eine Vektorkarte produziert, die die Landnutzung und die Verkehrswege repräsentieren. Die Erstellung der Datensätze erfolgte mittels computergestützter visueller

Interpretation der Luft- und Satellitenbilder unter Einbeziehung von Stadtplänen und bestehenden Landnutzungskartierungen (STEINNOCHER 2003).

(KEMPER et al. 2000) untersuchte im Rahmen des EU-Projektes „*Murbandy Change*“ (*Monitoring Urban Dynamics*) neben anderen europäischen Städten auch die Stadtentwicklung von Prag und Bratislava. Ausgehend von dem Referenzjahr 1997 wurde die Entwicklung der Verkehrswege, der Bebauung, der Nutzung und das städtische Umfeld „rückschreitend“ bis 1949 analysiert. Für 1997 wurde ein IRS-C-Satellitenbild, das eine Auflösung von 5,8 m besitzt, genutzt, für die 3 Zeitscheiben 1949, 1969, 1985 Luftbilder. Das sehr heterogene Material inklusive der topographischen Karten im Maßstab 1:10.000 wurde mit verschiedenen Methoden und Techniken aufbereitet, um sie einer gemeinsamen GIS-Analyse zuzuführen (NILSON 2006). Dabei wurden auch Felderfassungen durchgeführt, bei denen DGPS (Differential Global Positioning Systeme) zum Einsatz kamen.

(SCHALLENBERG 2001) untersuchte die Eignung der Landschaftsstrukturmaße (LSM) am Beispiel Halle-Leipzig zur Erfassung urbaner Strukturen sowie der Erfassung der Veränderungen urbaner Strukturen. Hintergrund der Landschaftsstrukturanalyse ist deren praktische Relevanz für Fragen der Stadt- und Regionalplanung. Das Ziel der Arbeit besteht in der quantitativen Erfassung der Stadtstruktur und ihrer Veränderung aus klassifizierten Landsat-TM-Satellitenbildern (1992 und 1999). Anhand charakteristischer Landbedeckungsklassen des urbanen Raumes wurden verschiedene LSM auf ihre Eignung zur Erfassung unterschiedlicher räumlicher Strukturen hin untersucht.

Die Landnutzung und der Flächenverbrauch in Nordrhein-Westfalen ([www.flaechennutzung.nrw.de](http://www.flaechennutzung.nrw.de)) wurden auf Basis von Satellitenbildern aus drei Zeitebenen in zwölf Landnutzungsklassen herausgearbeitet. Die Daten dazu stammen von dem Satelliten Landsat. Durch die Nutzung dieser Quelle lässt sich die gesamte Fläche von NRW mittels Daten von 1975, 1984 und 2001 erfassen und die Veränderungen der Versiegelung zwischen 1975 und 2001 darstellen.

Eine Untersuchung zur Verstädterung des Großraumes Istanbul wurde von (RADBERGER 2001) im Rahmen des Projekts MOLAND (*Monitoring Land Use Changes*) für einen Zeitraum von 50 Jahren durchgeführt.. Methodische Schwerpunkte liegen besonders auf der Anwendung von Fernerkundung, der Photogrammetrie, GPS und GIS. Er verwendete für die

Jahre 1952 und 1965 Luftbilder, die einen Maßstab von 1: 35.000 hatten, und Satellitenbilder für die Jahre 1994 und 1998. Weiterhin fanden Karten, Wirtschaftsdaten, Statistiken aus der Demographie und bereits bestehende Analysen Eingang in die Untersuchung.

(SCHÖPFER 2001) berichtete über die Siedlungsentwicklung südlich der Stadt Salzburg von 1950 bis 1995 unter Verwendung von Luft- und Satellitenbildern, die er mit Hilfe einer objektorientierten Methode der Bildanalyse auswertete.

Für die Stadtregion Dresden untersuchten (MEINEL et al. 1996) die Flächennutzungsänderung auf Basis historischer Kartenwerke und Fernerkundungsdaten anhand von acht Zeitschnitten zwischen 1790 und 1998. Die Flächenentwicklung wird aufgezeichnet und analysiert durch mehrere Monitoringmethoden (*Einzelbildklassifikation, visuelle Interpretation, Differenz der Vegetationsindizes*) und anhand von Referenzflächen verglichen mit deren Erkennungsleistung. Anschließend wird auf Basis eines indikatorengestützten Analysekonzepts die Flächennutzungsentwicklung im Zusammenhang mit der Bevölkerungsentwicklung und dem Bodenverbrauch beschrieben und bewertet.

# 4 Die Untersuchungsregion Rostock und die gegebene Datenlage

## 4.1 Die Untersuchungsregion Rostock

Die Bestimmung des Untersuchungsraumes wurde sowohl von administrativen als auch sozioökonomischen Kriterien beeinflusst. Innerhalb der administrativen Gliederung der Verwaltungseinheiten wurde die Gemeinde als grundlegende Einheit gewählt, da sämtliche empirischen Daten auf die Gemeindeebene bezogen sind. Dadurch lassen sich die räumlichen Strukturen genauer analysieren. Zum anderen können bestimmte Aspekte sozioökonomischer Entwicklung auf der kommunalen Ebene näher untersucht werden. Drittens ist der Zugriff auf statistische Daten auf der Gemeindeebene von besonderer Bedeutung, da sie der Datenvervollständigung und dem Vergleich zu eigenen empirischen Untersuchungen dienen sollen.

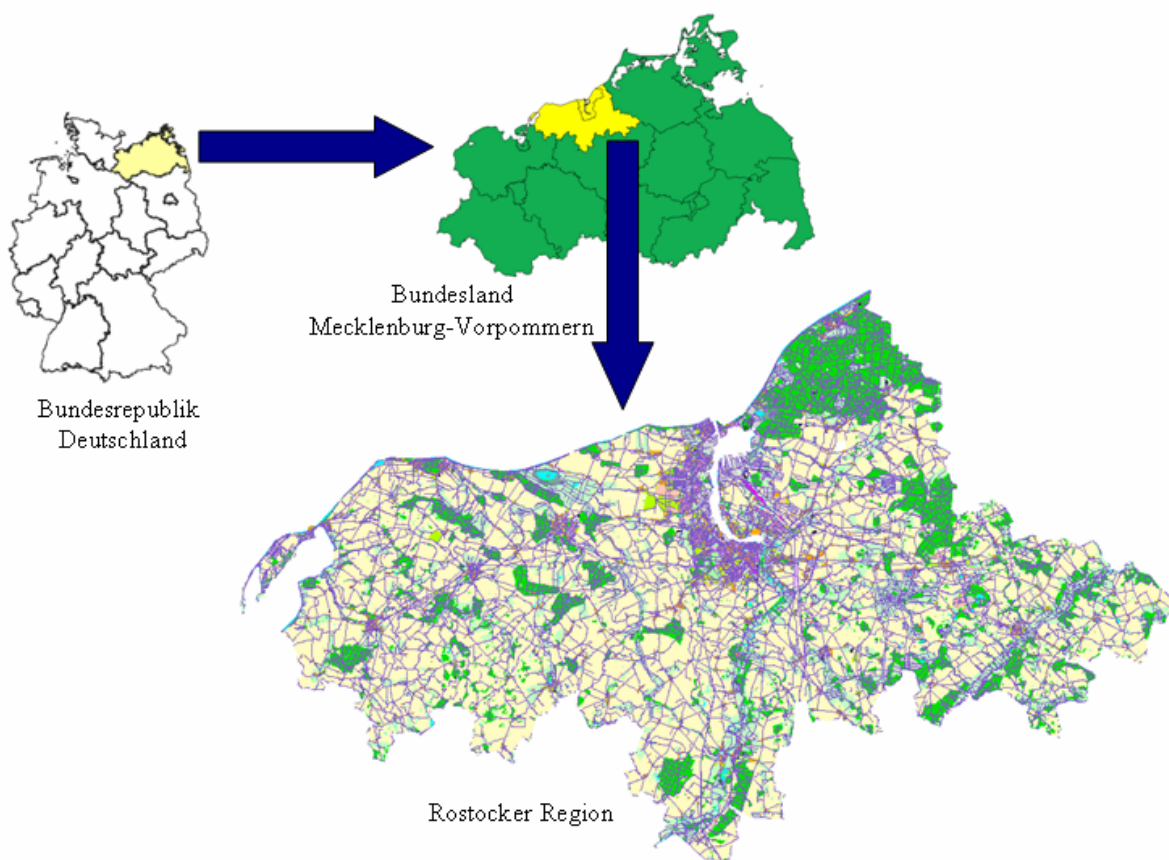


Abbildung 4.1: Rostocker Region (Quelle: eigene Darstellung)

Das Untersuchungsgebiet Rostocker Region befindet sich im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern (Abbildung 4.1) und hat eine Fläche von etwa 1.544 km<sup>2</sup>.

Im Untersuchungsgebiet gibt es zwei administrative Regionen: den Landkreis Bad Doberan und die kreisfreie Hansestadt Rostock. Der Landkreis Bad Doberan besteht wiederum aus zwei Gebietseinheiten, 7 amtsfreien Gemeinden (*Bad Doberan Stadt, Graal-Müritz, Kröpelin Stadt, Kühlungsborn, Neubukow Stadt, Sanitz und Satow*) und 8 Ämtern mit amtsangehörigen Gemeinden/Städten (*Bad Doberan-Land, Caribäck, Neubukow-Salzhaff, Rostocker Heide, Schwaan, Tessin, Warnow-Ost und Warnow-West*). Die Ämterebene umfasst 44 ländliche Gemeinden (Abbildung 4.2).



Abbildung 4.2: Administrative Gliederung des Gebietes im Landkreis Bad Doberan 2006 (Quelle: eigene Darstellung)

## 4.2 Bisherige wissenschaftliche Arbeiten und Ergebnisse

Seit der Vereinigung der beiden deutschen Staaten 1990 verringerte sich die Bevölkerung Rostocks um etwa 50.000 Einwohner. „In den Jahren nach der Wiedervereinigung sind durch

den wirtschaftlichen Wandel großflächige Neuversiegelungen durch Wohn- und Gewerbegebiete am Rand und im nahen Umland der Stadt entstanden.“ (GRENZDÖRFFER 2005).

An der Professur für Geodäsie und Geoinformatik wurden in den letzten 15 Jahren unterschiedliche wissenschaftliche Arbeiten (*Diplomarbeiten und Forschungsprojekte*) unter dem Generalthema “Rostock und Umland unter besonderer Berücksichtigung der Flächennutzung mit Fernerkundungsmethoden zum Verständnis des Urbanisierungsprozesses” bearbeitet.

Beispielsweise befasste sich (BELLMANN 1993) im Rahmen einer Belegarbeit im Studiengang Landeskultur und Umweltschutz der Universität Rostock mit der Bestimmung des Versiegelungsgrades in Beispielgebieten der Südstadt. Für die drei Untersuchungsgebiete der Bebauungstypen „Gemischte Bebauung“, „Zeilenbebauung“ und „Hochhäuser“ wurden die bebaute und versiegelte Fläche von der Stadtgrundkarte im Maßstab 1:5000 planimetriert. Als Ergänzungsinformation dienten Color-Infrarot (CIR)-Luftbilder und für die Kartierung der versiegelten Freiflächen wie Parkplätze und Wege waren Geländebegehungen erforderlich. Zum Zeitpunkt der Erhebung war für das Untersuchungsgebiet die Stadtgrundkarte nicht auf aktuellem Stand. Fehlende Neubebauungen übernahm Bellmann nur skizzenhaft in die Karte, während er z.B. die Fußwege zwischen den Wohnblöcken nicht berücksichtigte (FIEBACH 2004).

(WEIßFLOG 1994) bearbeitete eine Diplomarbeit, welche die Versiegelungsgrade für die charakteristischen Bebauungstypen „*Innenstadtbebauung*“, „*Blockbebauung*“, „*Blockrandbebauung*“, „*Einfamilienhäuser*“, „*Stadtvillen*“, „*Großblockbebauung*“ und „*Kleingartenanlagen*“ in Bezug auf die Situation in der Hansestadt Rostock zum Schwerpunkt hatte. Dazu wurden für jeden Bebauungstyp drei Testflächen ausgewählt und auf den Kartenblättern der Stadtgrundkarte die Gebäudeflächen und die versiegelten Freiflächen planimetriert. Zur Feststellung der Bebauungsänderung fanden Color-Infrarot-Luftbilder vom Jahr 1991 im Maßstab 1:10.000 Verwendung. Um die Ungenauigkeiten der Kartiergrundlage auszusondern waren Geländebegehungen erforderlich. Für die Darstellung der Ergebnisse in einer Karte erwies sich die Einteilung von (BERLEKAMP und PRANZAS 1992) in 10 gleichmäßig abgestufte Versiegelungsklassen von 0 - 100 % als zweckmäßig, wobei einerseits bereits Abweichungen von weniger als 1% zu einer Einteilung in verschiedene Versiegelungsklassen führen, während auf der anderen Seite Toleranzen von fast 10 % in einer Klasse erfasst werden. Die ermittelten Versiegelungsgrade der insgesamt sieben untersuchten Bebauungstypen wichen



stark voneinander ab. Die verschiedenen Streubreiten des Versiegelungsgrades je Bebauungstyp wurden als Kriterium für die Versiegelungstreue verwendet. Dabei wurden insgesamt drei Kategorien der Versiegelungstreue (vgl. Tabelle 4.1) über die Anzahl der belegten Klassen definiert.

**Tabelle 4.1: Versiegelungstreue der Wohnbebauung in Rostock (Quelle: WEIßFLOG 1994)**

	Versiegelungsklassen	Klassenanzahl
Kategorie I: Versiegelungstreue		
Innenstadtbebauung (Kerngebiet)	9	1
Kategorie II: bedingte Versiegelungstreue		
Blockbebauung (mit Neubauten)	6-7	2
Randbebauung (20er und 30er Jahre)	5-6	2
Einzelhausbebauung (Einfamilienhäuser)	3-4	2
Stadhäuser (Stadt villen)	5-6	2

Die ermittelten Versiegelungsgrade für die sieben Bebauungstypen bildeten die Grundlage für die Erstellung einer Versiegelungskarte für das gesamte Stadtgebiet Rostock.

(WINTER 1996) hat in seiner Diplomarbeit die Veränderungsanalyse für die Hansestadt Rostock und deren Umgebung seit der Wende erstmals auf Basis von Satellitendaten durchgeführt. Ziel der Untersuchung war die Feststellung der Zunahme bzw. Abnahme an Bodenversiegelung und die Darstellung der Veränderungen in einer Karte. Zur effizienten Dokumentation des Prozesses der Suburbanisierung und der Flächennutzungsveränderungen wurden zwei Landsat TM Szenen vom 12.6.1989 und vom 6.8.1995 erworben und entzerrt. Die Hansestadt Rostock sowie die nähere Umgebung wurden anschließend im Rahmen der Diplomarbeit multispektral klassifiziert und anschließend verglichen. Zur Ermittlung der Veränderungen wurden die verwendeten Landsat-TM Bilder von 1989 und 1995 getrennt klassifiziert und nach einer Rekodierung der Werte durch Addition zu einem bitemporalen Datensatz zusammengefügt. Der bitemporale Datensatz enthält eine detaillierte Flächenbilanz der einzelnen Klassen, aus der die Verteilung der Flächenzunahme bzw. –abnahme auf die restlichen Klassen ersichtlich ist. Die Ergebnisse einer Veränderungsanalyse werden durch Fehlklassifikationen stark beeinflusst.

Schwerpunkt der Diplomarbeit war die exemplarische Durchführung zweier Methoden zur Nutzung von digitalen Satellitenfernerkundungsdaten. Mit dem Ziel der Verbesserung der Detailerkennbarkeit werden zwei Datensätze unterschiedlicher Herkunft miteinander ver-

knüpft. Panchromatische SPOT-HRV-Daten und Landsat-TM-Daten des gleichen Gebietes werden zu einer Echtfarben- und einer Colorinfrarotdarstellung verarbeitet. Als Beispiel einer digitalen Gewinnung thematischer Informationen aus Satellitendaten werden die Landsat-TM-Daten mittels überwachter Klassifizierung mit der Maximum-Likelihood-Methode ausgewertet.

(RIECHELMANN et al. 1997) erstellten die ersten Satellitenbildkarten von Rostock in den Maßstäben 1:100.000 und 1:50.000 mittels Verrechnung (Merge) von SPOT-Daten (*Panchromatisch*, 10\*10m Auflösung) und Landsat TM-Daten (multispektral 30\*30m Auflösung). Die Klassifikationsgenauigkeit lag jeweils bei ca. 83 %, was im erwarteten Rahmen lag. Als problematisch erwiesen sich insbesondere Flächen, bei denen Nutzungsänderungen nicht mit Veränderungen der Bodenbedeckung korrespondierten, z.B. 70,3 ha Spülfelder zur Ablagerung des Hafenschlicks, die zu einem Aufnahmezeitpunkt überspült waren und zur zweiten Aufnahme nicht bzw. umgekehrt. Der von groben Fehlklassifikationen bereinigte Vergleich ergab, dass in den letzten Jahren die bebaute Fläche fast ausschließlich im Umland von Rostock über 8% zugenommen hat (RIECHELMANN et al. 1997).

(FIEBACH 2003) hat in ihrer Diplomarbeit, aufbauend auf Ansätzen aus anderen Städten und optimiert auf die Vorgaben des Umweltamtes der Hansestadt Rostock, eine kosteneffiziente Methode entwickelt, mit der aktuelle großmaßstäbige Versiegelungskarten (1:1000 bis 1:2500) erstellt werden können. Die Hansestadt Rostock ist somit in die Lage versetzt, sich eine zuverlässige und regelmäßig aktualisierbare Planungsgrundlage zu schaffen. Mit den Bildern der hochauflösenden HRSC-AX-Kamera besitzt die Stadt eine flächendeckende Datengrundlage. Diese Aufnahmen werden auf Basis der Flächennutzungskartierung aus dem Jahr 2003 ergänzt und durch die Daten der ALK (*Automatisierten Liegenschaftskarte*) hinsichtlich der Oberflächenbedeckung visuell interpretiert. Untersucht wurde, inwieweit und mit welcher Genauigkeit sich die Bodenbedeckungsarten „Wasser“, „Ackerfläche“, „Grünfläche“, „Gehölz“, „Bäume“, „natürlich anstehender, unbewachsener Boden“, „Gebäude“ sowie die Belagsarten „wassergebundene Decke“, „Rasengitter“, „Natursteinpflaster“, „Betonplatten und -verbundpflaster“ und „Asphalt- bzw. Betondecken“ voneinander trennen lassen. Als Untersuchungsgebiete dienten vier Ausschnitte des Stadtgebiets von Rostock, die eine unterschiedliche städtebauliche Struktur aufweisen. Die Beurteilung der Interpretationsgüte erfolgte dabei ausschließlich qualitativ. Für eine Erhöhung der Interpretationsgenauigkeit - vor allem der Bäume - ist eine Einbindung der Daten aus dem in Entstehung befindlichen Grünflä-

cheninformationssystem als zusätzlichem thematischen Layer zu empfehlen. Ebenfalls wäre es denkbar, die Baumparameter wie Kronenumfang und Vitalitätszustand, die Einfluss auf den Klimatisch-ökologisch-hygienischen Wert (*KÖH-Wert*) nehmen, aus einer Aufnahme, die während der Vegetationszeit erstellt wurde, z. B. aus dem HRSC-A-Datensatz von 2000, zu bestimmen. Die Darstellung der gewonnenen Ergebnisse und die Berechnung der ökologischen Kennziffern Versiegelungsgrad, modifizierter Versiegelungsgrad, Bodenfunktionszahl, Biotopflächenfaktor und KÖH-Wert zur quantitativen Bewertung der o. g. Auswirkungen erfolgt in einem Geo-Informationssystem.

Eine GIS-basierte Untersuchung von Flächennutzungsstrukturen im Lichte des Konzeptes der Ökoeffizienz am Fallbeispiel des Landkreises Bad Doberan in Mecklenburg-Vorpommern führte (MAI 2008) im Rahmen einer Belegarbeit im Masterstudiengang Landeskultur und Umweltschutz der Universität Rostock durch. Ziel der Belegarbeit war es, Flächennutzungsstrukturen und Flächennutzungsänderungen der Gemeinden des Landkreises Bad Doberan auf der Basis der CORINE-Daten 1990 und 2000 zu quantifizieren, kartographisch darzustellen und die Ökoeffizienz der Siedlungsstrukturen zu untersuchen. Der gesamte Landkreis Bad Doberan ist vor allem durch landwirtschaftliche Nutzung geprägt. Zwischen 1990 und 2000 haben sich 141 km<sup>2</sup> der Flächennutzungen geändert, das sind 5,2 % der Gesamtfläche. 32,4 km<sup>2</sup> Siedlungs- und Verkehrsfläche sind zwischen 1990 und 2000 im Landkreis Bad Doberan neu entstanden und damit auf der Kostenseite der Ökoeffizienz hinzugekommen.

### ***4.3 Fazit bisheriger und Ziele der eigenen Fernerkundungsuntersuchungen***

Hinsichtlich des verwendeten Datenmaterials und der multivariaten Analysemethoden in den bisher durchgeführten Untersuchungen am Standort Rostock lassen sich folgende Feststellungen treffen. Trotz der neuen Serie hochauflösender kommerzieller Fernerkundungssensoren besitzen die von HRSC-AX, CIR-Luftbildern, Landsat TM und SPOT bzw. SPOT Pan gelieferten Daten weiterhin eine große Bedeutung für das Monitoring der Urbanisierung oder des Urbanisierungsgrades. Gründe dafür sind u. a. die verhältnismäßig günstigen Preise und die über viele Jahre verfügbaren Bilddaten in hoher Qualität, welche retrospektive Betrachtungen bis in die siebziger Jahre für Landsat und achtziger Jahre für Spot erlauben.

Die visuelle Interpretation von Satelliten- und Luftbildern spielt auch weiterhin eine wichtige Rolle für das Umweltmonitoring. (RADBERGER 2001) kommt zu dem Schluss, dass visuelle Verfahren die gleiche Kartierungsgenauigkeit zu liefern vermag wie eine digitale Klassifizierung, bemängelt aber unsystematische Verzerrungen aufgrund der technischen Handhabung der benutzten Interpretationsfolien.

Alle oben aufgeführten Klassifizierungsverfahren basieren hauptsächlich auf der Pixelinformation allein, die einzelne Pixel aufgrund ihrer spektralen Reflexionswerte zu einer Klasse zuweisen. Diese pixelbasierten Klassifizierungsverfahren beruhen auf der Annahme, dass alle Pixel im Bild überall die gleiche Form und Größe haben. Ein Hauptproblem sind die „unruhigen“ Klassifikationsergebnisse. Diese werden als „Salz- und Pfeffer-Effekt“ bezeichnet. Die Interpretation der Klassifikationsergebnisse und die anschließende Anfertigung von thematischen Karten wird dadurch erschwert (BLASCHKE und STROBL 2001, BLASCHKE et al. 2002, EHLERS et al. 2002). Ein weiterer Nachteil ist die Zeit- und Kostenintensität dieser pixelorientierten Methoden. Bei einem eher kleinen Bild mit einer Größe von 2.000 x 2.000 Pixel und drei möglichen Klassen fallen schon 12.000.000 Prüfungen an. Jede Vergrößerung des Bildes, der Klassenanzahl oder Ausgangskanäle steigert diese Anzahl (KÜHN 2001).

Neben der Interpretation von Landsat- und SPOT-Daten für urbane Anwendungen ist man auf der verstärkten Suche nach Sensoralternativen (JENSEN und COWEN 1999). Auch sind in Satellitenbildern Bedeckungs-, aber nicht immer Nutzungsinformationen kartierbar (MEINEL und HENNERSDORF 2002). Um die Auswertungsgenauigkeiten durch Sekundärinformation zu verbessern, muss man nach neuen Ansätzen suchen (VÖGTLE und SCHILLING 1995, HARRIS und ENTURA 1995).

Um die oben genannten Problemen bei den pixelbasierten Klassifizierungsverfahren zu vermeiden, wird in dieser Arbeit der Ansatz einer objektorientierten Klassifizierung verfolgt. Objektbasierte Klassifizierungsverfahren stellen sich bei der Auswertung hoch und sehr hochauflösender Fernerkundungsdaten in vielen Studien als vorteilhafter heraus (BAUER und STEINNOCHER 1999, BLASCHKE und STROBEL 2001, MEINEL et al. 2001, NEUBERT und MEINEL 2002, BANZHAF und MARTINI 2006, TOMOWSKI et al. 2006, STROBL et al. 2007). Anders als bei pixelorientierten Klassifikationsmethoden werden im Rahmen von objektorientierten Verfahren nicht nur die spektralen Eigenschaften des einzelnen Pixels betrachtet, sondern auch objektbezogene Merkmale zusammenhängender Flächen, z.B. Geomet-

riebeziehungen, Objektformen, Flächengrößen, Textur, Nachbarschaftsbeziehungen, Relationen zu Sub- bzw. Superobjekten sowie andere Themendaten in den Klassifizierungsprozess einbezogen. Dadurch ist es möglich, die Heterogenität und Variabilität der Daten zu reduzieren und Nachteile einer pixelorientierten Betrachtung zu überwinden. Weiterhin können über Nachbarschaftsbeziehungen von Objekten bessere Klassifikationsergebnisse erzielt werden. Dieser Ansatz führt durch das Einbringen von Vorwissen in Form eines semantischen Modells daher bei konsequenter Anwendung zu besseren Klassifikationsergebnissen.

#### ***4.4 Bestehende Geodaten für das Untersuchungsgebiet***

Für die Bestimmung der Flächennutzung sind neben fernerkundlichem Bildmaterial häufig zusätzliche Informationen notwendig. Die Güte der Flächenbestimmung wird direkt durch Umfang, Qualität und Aktualität der Zusatzdaten mitbestimmt. Ob diese überhaupt vorhanden bzw. nutzbar sind, ist regional unterschiedlich (MEINEL und HENNERSDORF 2002). Für die nachfolgenden Arbeiten stehen im Untersuchungsgebiet u.a. Geodaten zur Verfügung. Diese sind zum einen aus Fernerkundungsdaten abgeleitet, andererseits handelt es sich um die seit einigen Jahren digital vorliegenden geotopographischen Daten der Vermessungsverwaltungen. Darüber hinaus gibt es einen großen Datenfundus statistischer Daten. Durch den Bezug zur administrativen Verwaltungsgeometrie und den einheitlichen Raumbezug sind diese unterschiedlichen Daten miteinander kombinierbar, woraus sich Vergleiche hinsichtlich der Aussagekraft für Flächennutzungen und Nutzungsänderungen über verschiedene Zeiträume ergeben.

##### **4.4.1 CORINE Land Cover**

CORINE (*CoORDination of Information on the European Environment*) ist ein von der europäischen Gemeinschaft im Jahr 1985 gegründetes Programm. Ziel der Europäischen Gemeinschaft ist eine einheitliche und in der EU vergleichbare Datengrundlage der Bodenbedeckung und der Landnutzung. Der Anwendungsschwerpunkt Umwelt verfolgte das Ziel zusammenhängende Datensätze für ein Umweltmonitoring bereitzustellen. CORINE Land Cover (CLC) wurde zusammen mit anderen umweltbezogenen Projekten, wie z.B. CORINE Biotops oder

CORINAIR, ins Leben gerufen, um einheitliche und vergleichbare Bodenbedeckungsdaten bzw. Landnutzungsdaten für Europa zu bekommen. Seit Mitte der achtziger Jahre werden im Rahmen des weiten CORINE-Programms digitale Satellitenbilder einheitlich genutzt. Visuelle Interpretationen dienen als Auswertungsergebnis. Diese Daten sind eine wichtige Informationsquelle über die Landnutzung und deren Veränderung sowie bei umweltrelevanten Fragestellungen.

Die Kartierung erfolgt in den Mitgliedsstaaten auf dem Erhebungsmaßstab 1:100.000 mit insgesamt 44 Landnutzungsklassen. Eine Aktualisierung und Fortführung des Datenbestandes erfolgte mit dem Bezugsjahr 2000 sowie auch die Kartierung der Veränderungen gegenüber der Ersterfassung im Rahmen des europäischen Projektes CLC2000 (CORINE Land Cover 2000). Hieran nahmen 29 europäische Länder der EU teil. Inzwischen ist die EEA (*Europäische Umweltagentur – European Environment Agency* mit Sitz in Kopenhagen) für CORINE verantwortlich, die ihrerseits das ETC-TE (*Europäische Fachzentrum für terrestrische Umwelt - European Topic Centre for Terrestrial Environment*) eingerichtet hat, das für das Management und die Koordination des Projektes auf europäischer Ebene zuständig ist (KEIL et al. 2002, EEA 2000). Eines dieser Themenzentren ist das ETC/LC (*European Topic Centre on Land Cover*), zu dessen Aufgaben u.a. die technische Unterstützung und Ausbildung, das Datenmanagement, die Datenintegration und -validierung in Europa von CORINE Land Cover gehört.

Auf nationaler Ebene führten Projektteams, die nationalen CLC-Teams, die Interpretation der Satellitendaten durch. Hierzu gehörten einerseits die Kartierung der Flächen und ihrer Veränderungen und andererseits die Validierung und Qualitätssicherung der Interpretation. Das DFD (*Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum*) des DLR in Oberpfaffenhofen wurde vom Umweltbundesamt als national verantwortliche Einrichtung mit der Durchführung des deutschen Teiles beauftragt.

#### **4.4.1.1 Satellitendaten zur Ableitung der CORINE-Daten**

Der CORINE-Datenbestand ist heute Bestandteil des Umweltinformations- und Umweltbeobachtungsnetzwerkes EIONET (*Environmental Information and Observation Network*) der EEA. Ende der achtziger Jahre wurde für CLC ein für ganz Europa geltendes methodisches Rahmenkonzept entwickelt, in dem beschrieben wird, welche Art von Elementen erfasst werden sollen und auf welche Weise diese erfasst werden sollen. Das methodische Rahmenkon-

zept wurde von den einzelnen Teilnehmerländern benutzt, um national die Erhebung der Bodenbedeckung/Landnutzung durchzuführen.

Grundlage der Erfassung der Kartierung CLC 1990 waren die Aufnahmen des Satelliten Landsat TM 5. Als Grundlage der aktualisierten Kartierung für CLC 2000 wurden die orthorektifizierten Landsat-7 ETM+ Satellitendaten verwendet, die im Teilprojekt Image-2000 erstellt werden. Es wurde dabei angestrebt, dass die Daten aus der Vegetationsperiode des Jahres 2000 stammen. Wegen der Bewölkung mussten zum Teil aber auch Aufnahmen aus den Jahren 1999 bzw. 2001 herangezogen werden. Durch die Verwendung von Landsat- ETM-Daten steht mit dem neuen panchromatischen Kanal eine deutlich verbesserte geometrische Auflösung von (15m) zur Verfügung. Das Vorgängersystem Landsat-5 TM (*Thematic Mapper*) von (30 m) erreichte nicht diese Leistung. Außerdem wird durch die Orthorektifizierung die Lagegenauigkeit der Daten gegenüber CLC1990 signifikant gesteigert (KIEFL et al. 2003). „Eine weitere Verbesserung des Landsat-7-Datensatzes war durch die Orthorektifizierung gegeben, die insbesondere in bergigen Gebieten die räumliche Zuordnung wesentlich verbesserte. Für die Orthorektifizierung der Landsat-7-Daten war dem JRC vom Umweltbundesamt ein digitales Geländemodell von Deutschland mit einer lateralen Auflösung von 3 Bogensekunden mal 3 Bogensekunden (ca. 90 m mal 90 m) zur Verfügung gestellt worden.“ „CORINE Land Cover 2000 stellt eine europaweit harmonisierte Aktualisierung der Landnutzungsdaten bereit.“ (MANFRED et al. 2005).

##### **4.4.1.2 Vektordatensatz-CORINE**

Die Aktualisierung der Bodenbedeckung stützte sich auf den Vektordatensatz der Ersterfassung, CLC1990, gegen den auch die Veränderungsflächen auszuweisen waren. Der Vektordatensatz lag als ArcInfo Coverage vor und beinhaltete die vier Feature-Klassen arc, label, polygon und tic. Die Polygon-Attribute beinhalten u. a. die Klassifizierungsschlüsselzahlen für den Landnutzungszustand in CLC1990 sowie pro Polygon die zugehörige Blatt-Nummer der topographischen Karte TK100 und auch die hauptsächlich verwendete Satellitenbildszene (KIEFL et al. 2003).

##### **4.4.1.3 Zusatzdaten-CORINE**

Als weitere Referenzdatengrundlage wurde dem DFD eine digitale Überdeckung von Deutschland mit der Topographischen Karte 1:25 000 (TK25) vom UBA zur Verfügung ge-

stellt. Die TK25-Daten lagen dabei als Sets von gescannten Einzelkacheln von 8 km mal 8 km im TIF-Format vor mit einem Bearbeitungsstand zwischen ca. 1996 und 1999. Die digitalen Datensätze der TK25 wurden den ausführenden Firmen in ihrem jeweiligen Bearbeitungsgebiet zur Verfügung gestellt. Für die effektive Verwendung wurden die TK25-Kacheln jeweils zu einzelnen Datensätzen der TK100 vereinigt. Daneben wurden bei den Firmen und am DFD topographische Karten im Maßstab 1:100.000 und 1:50.000 eingesetzt (KEIL et al. 2005).

#### 4.4.1.4 Nomenklatur

Corine Land Cover unterscheidet die Nomenklatur in 44 Nutzungsklassen in drei Hierarchieebenen (Tabelle 4.2), wobei die Ebene 1 in fünf grobe Bereiche von Bodenbedeckung, die zweite Ebene in fünfzehn Gruppen und die dritte Ebene in 44 Arten unterteilt ist.

**Tabelle 4.2: CORINE Land Cover Nomenklatur (UBA 2008)**

CORINE LAND COVER Nomenklatur der Bodenbedeckungen		
Ebene 1 Bereiche	Ebene 2 Gruppe	Ebene 3 Arten
1. Bebaute Flächen	1.1 Städtisch geprägte Flächen	1.1.1 Durchgängig städtische Prägung 1.1.2 Nicht durchgängig städtische Prägung
	1.2 Industrie-, Gewerbe- und Verkehrsflächen	1.2.1 Industrie- und Gewerbeflächen 1.2.2 Straßen, Eisenbahnnetze und funktionell zugeordnete Flächen 1.2.3 Hafengebiete 1.2.4 Flughäfen
	1.3 Abbauflächen, Deponien und Baustellen	1.3.1 Abbauflächen 1.3.2 Deponien und Abraumhalden 1.3.3 Baustellen
	1.4 Künstlich angelegte, nicht landwirtschaftlich genutzte Grünflächen	1.4.1 Städtische Grünflächen 1.4.2 Sport- und Freizeitanlagen
2. Landwirtschaftliche Flächen	2.1 Ackerflächen	2.1.1 Nicht bewässertes Ackerland 2.1.2 Regelmäßig bewässertes Ackerland 2.1.3 Reisfelder
	2.2 Dauerkulturen	2.2.1 Weinbauflächen 2.2.2 Obst- und Beerenobstbestände 2.2.3 Olivenhaine
	2.3 Grünland	2.3.1 Wiesen und Weiden
	2.4 Landwirtschaftliche Flächen heterogener Struktur	2.4.1 Einjährige Kulturen in Verbindung mit Dauerkulturen 2.4.2 Komplexe Parzellenstrukturen 2.4.3 Landwirtschaftlich genutztes Land mit Flächen natürl. Bodenbedeckung von signif. Größe 2.4.4 Land- und Forstwirtschaftliche Flächen
3. Wälder und naturnahe Flächen	3.1 Wälder	3.1.1 Laubwälder 3.1.2 Nadelwälder 3.1.3 Mischwälder
	3.2 Strauch- und Krautvegetation	3.2.1 Natürliches Grünland 3.2.2 Heiden- und Moorheiden 3.2.3 Hartlaubbewuchs 3.2.4 Wald-Strauch-Übergangsstadien



	3.3 Offene Flächen mit/ohne Vegetation	3.3.1 Strände, Dünen und Sandflächen 3.3.2 Felsflächen ohne Vegetation 3.3.3 Felsflächen mit spärlicher Vegetation 3.3.4 Brandflächen 3.3.5 Gletscher- und Dauerschneegebiete
4. Feuchtfleichen	4.1 Feuchtfleichen im Landesinneren	4.1.1 Sümpfe 4.1.2 Torfmoore
	4.2 Feuchtfleichen an der Küste	4.2.1 Salzwiesen 4.2.2 Salinen 4.2.3 In den Gezeitenzonen liegende Flächen
5. Wasserflächen	5.1 Wasserflächen im Landesinneren	5.1.1 Gewässerläufe 5.1.2 Wasserflächen
	5.2 Meerestgewässer	5.2.1 Lagunen 5.2.2 Mündungsgebiete 5.2.3 Meere und Ozeane

Das Ergebnis der Interpretation für das Untersuchungsgebiet im Jahr 1990 zeigt nachfolgende (Abbildung 4.3).

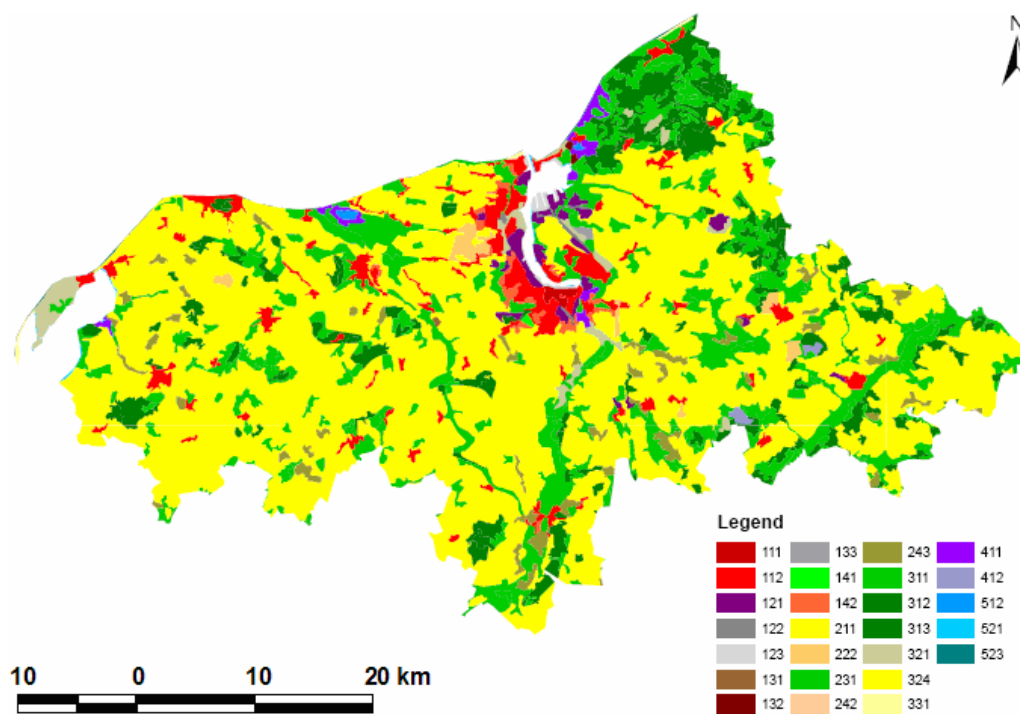


Abbildung 4.3: Das Ergebnis der Interpretation für das Untersuchungsgebiet für das Jahr 1990 (Quelle: eigene Darstellung)

Das Ergebnis der Interpretation für das Untersuchungsgebiet im Jahr 2000 zeigt nachfolgende (Abbildung 4.5).

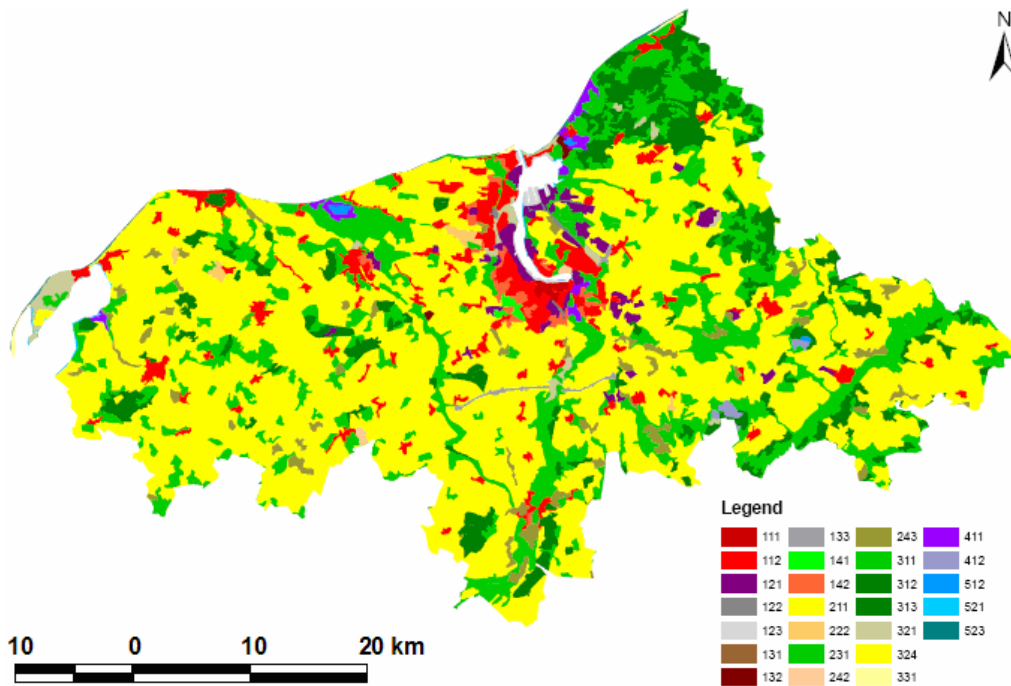


Abbildung 4.4: Das Ergebnis der Interpretation für das Untersuchungsgebiet für das Jahr 2000 (Quelle: eigene Darstellung)

#### 4.4.1.5 Anwendungen der CLC-Daten

Die durch das CORINE Landcover-Projekt erhobenen Daten stellen eine wichtige Basisinformation dar, welche in den Bereichen Land- und Forstwirtschaft, Raumplanung, Planungen der Infrastruktur sowie in umweltpolitischen Entscheidungen Verwendung finden. Mit dieser Bestandsaufnahme des Landschaftsinventars kann auf die Gefahren einer Zerstückelung und Zersiedelung natürlicher Landschaftseinheiten hingewiesen werden. Die CORINE Landcover-Datenbank liefert in Verbindung mit anderen thematischen Datensätzen (*Klima, Böden, sozioökonomische Daten etc*) weitere Informationen zur Beurteilung des Umweltzustandes (AUBRECHT 1996).

In einigen Mitgliedstaaten wurden die CORINE Landcover Daten bereits in verschiedene Pilotprojekte integriert. So kombinierte man die Landnutzungsdaten im französischen Projekt „French ATEN (*Atelier Technique des Espaces Naturels*)“ mit Informationen wie Relief, Lage, Hangneigung, Klima und Böden (AUBRECHT 1996). Diese Informationen wurden in der Nomenklatur als vierte und fünfte Hierarchieebene in das CORINE Landcover Projekt integriert. Durch die Ergebnisse wird deutlich, dass ein effektives Management des alpinen Raumes möglich ist.

Das in Slowenien derzeit laufende Projekt „Konzept zu Landschaftsstrukturen“ basiert auf einem integrierten Ansatz, Landnutzungsdaten werden mit geographischen und anderen Daten kombiniert (AUBRECHT 1996). Mit Hilfe dieser Informationen sollen regionale und lokale Behörden in Frage der Umwelt- und Raumplanung unterstützt werden.

Zur Erosionsforschung wurde das Projekt „CORINE Soil Erosion Risk and Important Land Resources“ ins Leben gerufen (AUBRECHT 1996). Unter Verwendung der USLE (*Universal Soil Loss Equation*) und der CORINE Landcover Daten wurden Untersuchungen im Bereich Bodenerosion für Griechenland, Italien, Spanien und Südfrankreich durchgeführt. Es zeigt sich in der Vielzahl der Projekte, dass die CORINE Landcover Daten wichtige Informationen in Bezug auf die Landbedeckung und Landnutzung liefern und in Verbindung mit anderen thematischen Datensätzen in komplexen Analysen weitere wichtige Ergebnisse zur Umweltbewertung liefern können.

Es gibt z.B. in Österreich eine Vielzahl von Informationsquellen, in denen die räumliche Verbreitung von Landnutzungen und deren Veränderungen dokumentiert werden (*amtliche Statistiken, Plan- und Kartenmaterial, Raumordnungskataster etc.*). Es gibt aber kein umfassendes, bundesweites Informationssystem zur Erfassung der Landnutzung bzw. Landbedeckung. Der Informationsgehalt von CORINE Landcover ist in dieser Hinsicht einzigartig. Jede Planungsaktivität setzt jedoch die Kenntnis über diese flächenrelevanten Daten voraus. Derzeit können nur eingeschränkt flächendeckende Aussagen über aktuelle Bodennutzungs- bzw. Bodenbedeckungsverhältnisse gemacht werden, da die nötigen Datengrundlagen unzureichend sind bzw. zum Teil fehlen (AUBRECHT 1996).

Die häufigsten Verwendungen von CLC-Daten sind Umwelt-, Land- und Raumplanung (16%, 15%) gefolgt von allgemeinem Mapping (11%) mit mehr als 50 Anwendungen (KOLÁŘ et al. 2004). CLC-Informationen wurden auch auf so spezialisierten Gebieten wie Natur- und Wasserschutz und in geringem Umfang für meteorologische, geologische Studien sowie zur Untersuchung von Böden und der Atmosphäre verwendet. Auf diesen Gebieten werden CLC-Daten zur Verbesserung existierender oder zur Entwicklung neuer Modelle verwendet. (Abbildung 4.5) zeigt, dass CLC-Daten auch für die intensive Nutzung für Branchenuntersuchungen in der Land- und Forstwirtschaft und in gewissem Maße für Transport-, Touristik- und Küstenmanagement herangezogen werden kann. Aufbauend auf diesen Ergebnissen kann gesagt werden, dass die Entwicklung von Indikatoren, welche auf Flächennutzung oder Boden-

bedeckung beruhen, noch nicht abgeschlossen ist. Auch ist der Nutzen solch homogenisierter flächendeckend verfügbarer Daten offensichtlich.

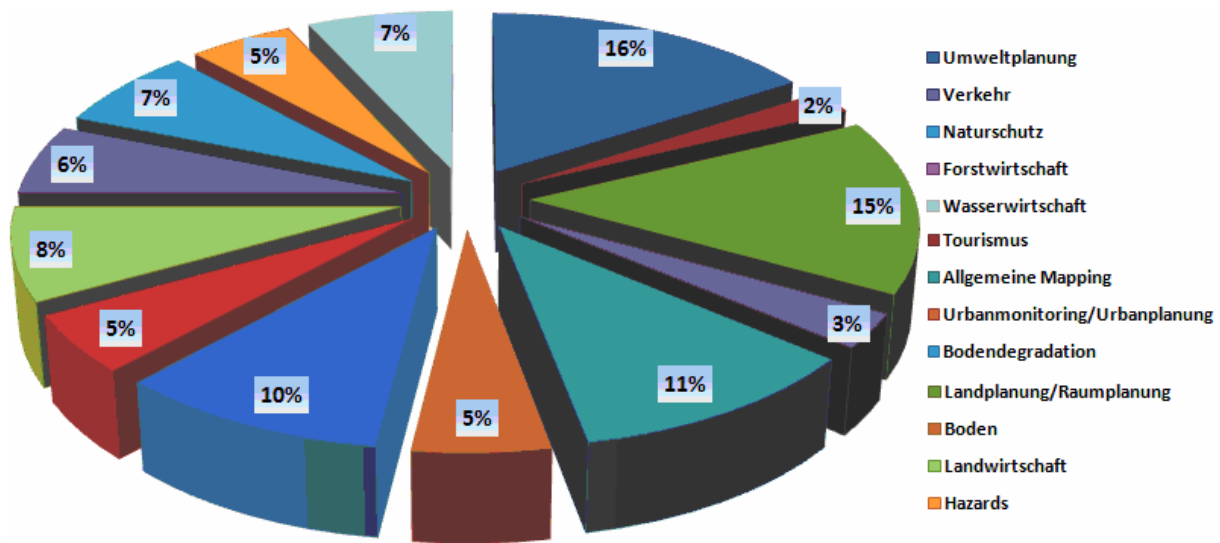


Abbildung 4.5: Die Verwendung der CORINE Land Cover-Datenbank in Zentral- und Osteuropäischen Ländern (Quelle: KOLÁŘ et al. 2004)

Die CLC-Datenbank hat in allen beteiligten Ländern eine wichtige Rolle bei der Unterstützung der verschiedenen Aktivitäten in dem Prozess der Harmonisierung und der Integration in die Politik der Europäischen Union. In den meisten Fällen bedienen die Anwendungen eine Reihe von Endverbrauchern. Die Ergebnisse sind von grundlegender Bedeutung für Entscheidungsträger (39%), gefolgt von Experten (37%) und die breite Öffentlichkeit (24%). (Abbildung 4.6) zeigt die Endbenutzer-Statistiken. Darüber hinaus liegt eine erhebliche Anzahl von Anwendungen im wissenschaftlichen Bereich vor.

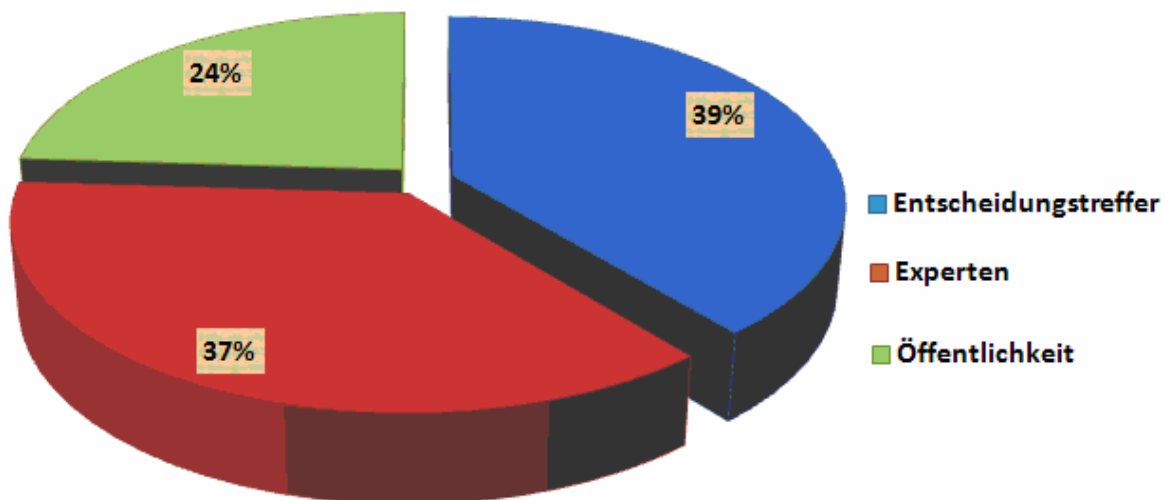


Abbildung 4.6: Endnutzer der CLC-Daten (Quelle: KOLÁŘ et al. 2004)

## 4.4.2 Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem

„ATKIS ist eine eingetragene Marke der deutschen Landesvermessung und steht für Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem. Dies ist ein bundesweit einheitliches System, mit dem geotopographische Informationen in digitaler Form erfasst und als digitale Erdoberflächenmodelle nutzungsorientiert angeboten werden.“ (BILL und ZEHNER 2001). Die Rahmenbedingungen für die beschleunigte flächendeckende Umstellung der analogen Liegenschaftskarten und topographischen Landeskarten in die digitale Form der raumbezogenen Informationssysteme ALK (*Automatisierte Liegenschaftskarte*) und ATKIS wurden in der AdV (Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Bundesländer) definiert. Sie sind auch in Mecklenburg-Vorpommern – und damit auch im Untersuchungsgebiet vorhanden - durch einen Kabinettsbeschluss eingeführt. Der bundesweiten ATKIS-Konzeption liegen zwei Ziele zugrunde:

- Die Bereitstellung aktueller topographischer Objektinformationen in digitaler Form als Basisinformationen für viele externe Anwender nach dem Grundsatz „einmalige Erfassung und mehrfache Nutzung“.
- Die rationellere und schnellere Herstellung der amtlichen topographischen Kartenwerke durch rechnerunterstützte Kartenherstellungsverfahren.

Der ATKIS-Datenbestand ist authentisch und soll aktuell gehalten werden. ATKIS gilt heute als das landschaftsbeschreibende Geo-Informationssystem (GIS) der deutschen Landesvermessung. Die Landschaftsbeschreibung erfolgt in unterschiedlichster Form und kann somit verschiedene Anwenderanforderungen erfüllen. ATKIS liefert objektbasierte, signaturbasierte und bildbasierte Beschreibungen der Erdoberfläche in Form folgender digitaler Modelle (BILL 2000):

- Digitale Landschaftsmodelle (DLM)
- Digitale Geländemodelle (DGM)
- Digitale Topographische Karten (DTK, DTK-V)
- Digitale Orthophotos (DOP)

Aufgrund der bestehenden Nachfrage aus Verwaltung und Wirtschaft hat der Aufbau der digitalen Landschaftsmodelle Vorrang vor den digitalen kartographischen Modellen, weshalb

zuerst ein digitales Landschaftsmodell (*genannt Basis-DLM*) realisiert wurde. Der Aufbau des ATKIS-Datenbestandes erfolgt stufenweise. In einer 1. Realisierungsstufe des Basis-DLM wurden ca. 65 von 170 Objektarten erfasst, ab 1999 wird in einer 2. Realisierungsstufe eine Aktualisierung und gleichzeitig eine Erweiterung um ca. 55 Objektarten vorgenommen (BILL 1999). Den Datenbestand der ersten Aufbaustufe gibt (Tabelle 4.3) wieder:

**Tabelle 4.3: Datenbestand der ersten Aufbaustufe (DLM 25/1) (Quelle: HEY 2007)**

Siedlung	Verkehr	Vegetation	Gewässer	Gebiete
<b>Baulich geprägte Flächen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ortslage</li> <li>• Wohnbaufläche</li> <li>• Industrie- und Gewerbegebiet</li> <li>• Fl. gemischter Nutzung</li> <li>• Bergbaubetrieb</li> <li>• Abfalldeponie</li> <li>• Raffinerie</li> <li>• Kraftwerk</li> <li>• Kläranlage</li> <li>• Wasserwerk</li> <li>• Abfallbeseitigungsanlage</li> </ul>	<b>Straßenverkehr</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Straße</li> <li>• Weg</li> <li>• Platz</li> <li>• Straße (komplex)</li> <li>• Straßenkörper</li> <li>• Fahrbahn</li> </ul>	<b>Vegetationsflächen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ackerland</li> <li>• Grünland</li> <li>• Gartenland</li> <li>• Heide</li> <li>• Moor, Moos</li> <li>• Sumpf, nasser Boden</li> <li>• Wald, Forst</li> <li>• Gehölz</li> <li>• Sonderkultur</li> <li>• vegetationslose Fläche</li> <li>• Fl. z. Zeit unbestimmbar</li> </ul>	<b>Wasserflächen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Strom, Fluss</li> <li>• Bach</li> <li>• Kanal (Schifffahrt)</li> <li>• Graben</li> <li>• (Wasserwirtsch.)</li> <li>• Quelle</li> <li>• Meer</li> <li>• Binnensee</li> <li>• Watt</li> </ul>	Gebietskörperschaften
	<b>Schieneverkehr</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schienenbahn</li> <li>• Bahnkörper</li> <li>• Bahnstrecke</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gemeindegrenze</li> </ul>
	<b>Flugverkehr</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Flughafen</li> <li>• Flugplatz, Landeplatz</li> </ul>			Geogr. Gebietseinheiten
	<b>Schiffsverkehr</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hafenbecken</li> <li>• Schifffahrtslinie</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insel</li> </ul>
<b>Siedlungsfreiflächen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sportanlage</li> <li>• Freizeitanlage</li> <li>• Friedhof</li> <li>• Grünanlage</li> <li>• Campingplatz</li> </ul>	<b>Anlagen u. Bauwerke für Verkehr</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bahnhofsanlage</li> <li>• Raststätte</li> <li>• Anlegestelle</li> <li>• Tunnel</li> <li>• Brücke, Überführung</li> </ul>			
<b>Bauwerke u. sonst. Einrichtungen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tagebau</li> <li>• Halde, Aufschüttung</li> <li>• Absetzbecken</li> </ul>				

Das auch für den Umweltbereich bedeutsame Basis-DLM orientiert sich inhaltlich an der Topographischen Karte 1:10 000 (TK 10). Für Mecklenburg-Vorpommern ist die erste Realisierungsstufe 1998 fertig gestellt worden. Als Erfassungsquelle diente die Topographische Karte

1:10 000 (TK 10), die eine Lagegenauigkeit von  $\pm 3$  m sicherstellt (verändert nach www.geodatenzentrum.de).

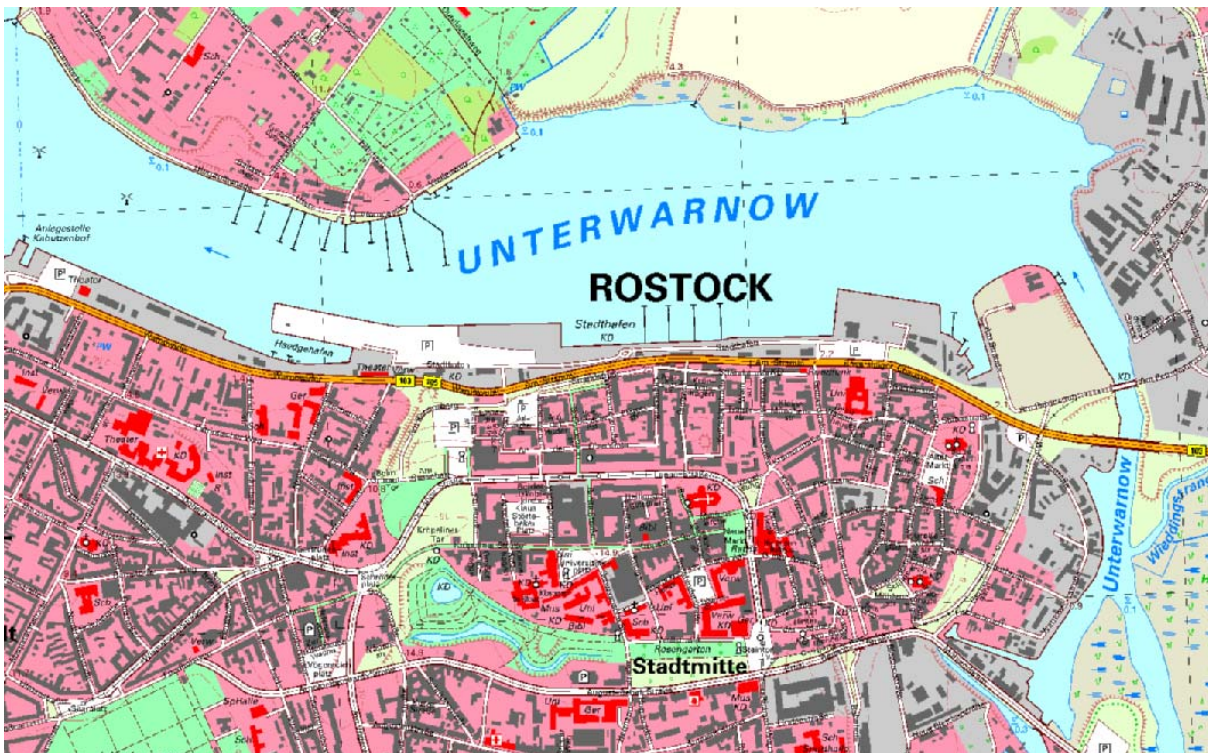
Die kartographische Darstellung des Basis-DLM erreicht aber nicht den Standard der Topographischen Karte. Dies ist aus dem reduzierten Inhalt abzuleiten, da z. B. keine Gebäude mit aufgenommen sind. In weiteren Realisierungsstufen soll der Basisdatenbestand durch Erfassung von Gebäuden und anderen Einzelobjekten aufgefüllt und verdichtet werden. Die zweite Realisierungsstufe erweitert die erste um ca. 50 Objektarten. Diese beinhaltet die folgenden Elemente (Tabelle 4.4):

**Tabelle 4.4: Datenbestand der Realisierungsstufen DLM/2 (Quelle: AdV 2007)**

<b>Siedlung</b>	Einrichtungen und Bauwerke an Gewässern
Baulich geprägte Flächen	Durchlass
Werft	Schleusenkammer
Förderanlagen	Uferbefestigung
Ausstellungs-, Messegelände	<b>Verkehr</b>
Gärtnerei	Schienenverkehr
Siedlungsfreiflächen	Seilbahn
Freilichttheater	Flugverkehr
Freilichtmuseum	Rollbahn
Stadion	Vorfeld
Sportplatz	Schiffsverkehr
Schießstand	Hafen
Schwimmbad, Freibad	Anlagen und Bauwerke für Verkehr
Zoo	Transport und Kommunikation
Freizeitpark, Safaripark, Wildgehege	Verkehrsknoten
Autokino, Freilichtkino	Grenzübergang, Zollanlage
Golfplatz	Schifffahrtszeichen
<b>Bauwerke und sonstige Einrichtungen</b>	Rohrleitung, Pipeline
Gradierwerk	Förderband, Bandstraße
Turm	Mast
Schornstein, Schlot, Esse	Radioteleskop
Durchfahrt	<b>Vegetation</b>
Brunnen	Vegetationsflächen
Stollenmundloch, Keller-,	Nasser Boden
Höhleneingang	Bäume und Büsche
Dock	Baum
Pumpe, Pumpstelle	Baumreihe
Windrad	Hecke, Knick (Wallhecke)
Denkmal, Denkstein, Standbild	<b>Gebiete</b>
Schwimmbecken	Verwaltungsgebiete
Sprungschanze	Verwaltungseinheit
Mauer	Schutzgebiete
Zaun	Nationalpark
<b>Gewässer</b>	Naturschutzgebiete
Wasserflächen	Gefahrengebiete, sonstige Sperrgebiete
Priel	Truppen-, Standortübungsplatz
Besondere Objekte in Gewässern	Relief
Standbank	Besondere Geländeoberflächenformen
Stromschnelle	Damm, Wall, Deich
Wasserfall	



Die Arbeiten an der 3. Aufbaustufe des ATKIS-Basis-DLM wurden 2004 begonnen, die weitere 15 Objektarten und eine Verdichtung mit neuen Attributen und Attributwerten enthält. Das Basis-DLM/3 (Abbildung 4.7) wird u.a. durch Objekte und Attribute aus dem Bereich des Straßen- und Wasserbaus komplettiert, wodurch die Verknüpfung dieser Fachdaten mit den Geobasisdaten deutlich erleichtert wird. Gleichzeitig werden alle in der 1. und 2. Ausbaustufe digitalisierten Objekte aktualisiert. Neben der Aktualisierung erfolgt zur Zeit eine Inhaltserweiterung um weitere Objektarten und Attribute zur dritten Realisierungsstufe (Basis-DLM/3) (LAIV 2009). Erfassungsgrundlage ist erstmals das aktuelle Digitale Orthophoto. Weitere Informationen über ATKIS sind unter [www.adv-online.de](http://www.adv-online.de) und [www.atkis.de](http://www.atkis.de) zu finden.



**Abbildung 4.7:** Automatische Präsentation der Datenbestände Basis-DLM/3 in der Hansestadt Rostock  
(Quelle: Landesamt für innere Verwaltung Mecklenburg-Vorpommern, Koordinierungsstelle Geoinformationssysteme (KGIS))

Für den integrierten GIS- und Fernerkundungsansatz in dieser Arbeit werden ATKIS-Daten für die Trainingsgebietsgenerierung und in der Kontrolle der Trainingsgebiete eingesetzt. Außerdem werden die ATKIS-Daten aufgrund ihrer hohen geometrischen Genauigkeit zur Entzerrung der Satellitendaten herangezogen. ATKIS-Daten bieten umfangreiche Informationen über Landnutzungen (Abbildung 4.9). Aus diesen Daten können ebenfalls Landnutzungsklas-



sen klassifiziert werden (Abbildung 4.10), die in der Klassifikation und Segmentierung als Zusatzdaten unterstützend eingesetzt werden. Die Nutzung derartiger Zusatzdaten zur Segmentierung ist jedoch nur sinnvoll, wenn diese hinreichend lagegenau sind und sich die Kartiereinheiten auch in den Bilddaten identifizieren lassen (NEUBERT und MEINEL 2002). Mit Hilfe von ATKIS-Daten ist die Prüfung der Genauigkeit von Klassifikationen möglich.

Zudem lassen sich aus den ATKIS-Basis-DLM-Daten auch die Flächennutzungszahlen zum Zeitschnitt 1999 ableiten, welche dann mit den anderen Geodaten verglichen werden können.

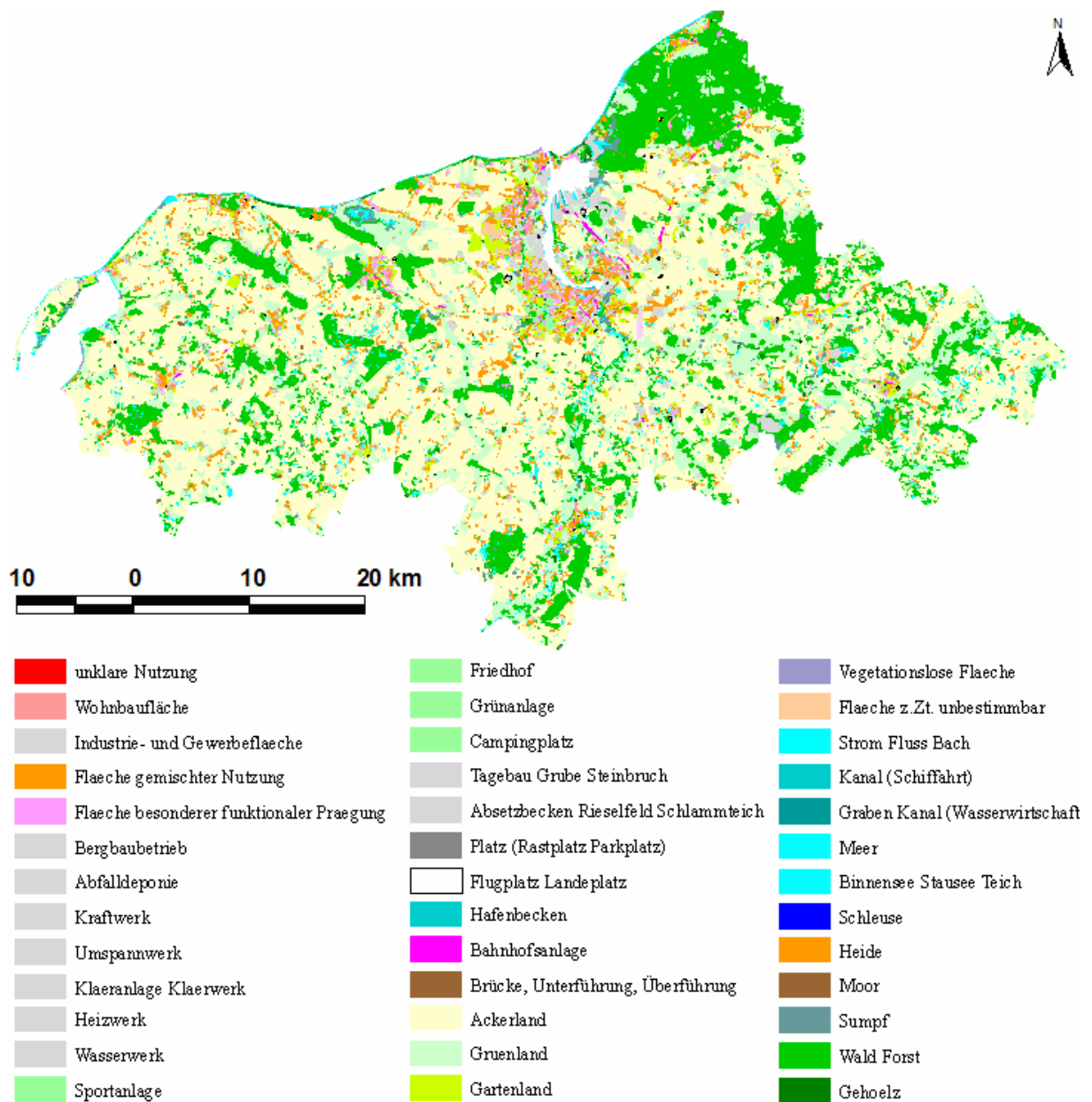


Abbildung 4.8: ATKIS-Daten des Untersuchungsgebietes für das Jahr 1999 (Quelle: eigene Darstellung)

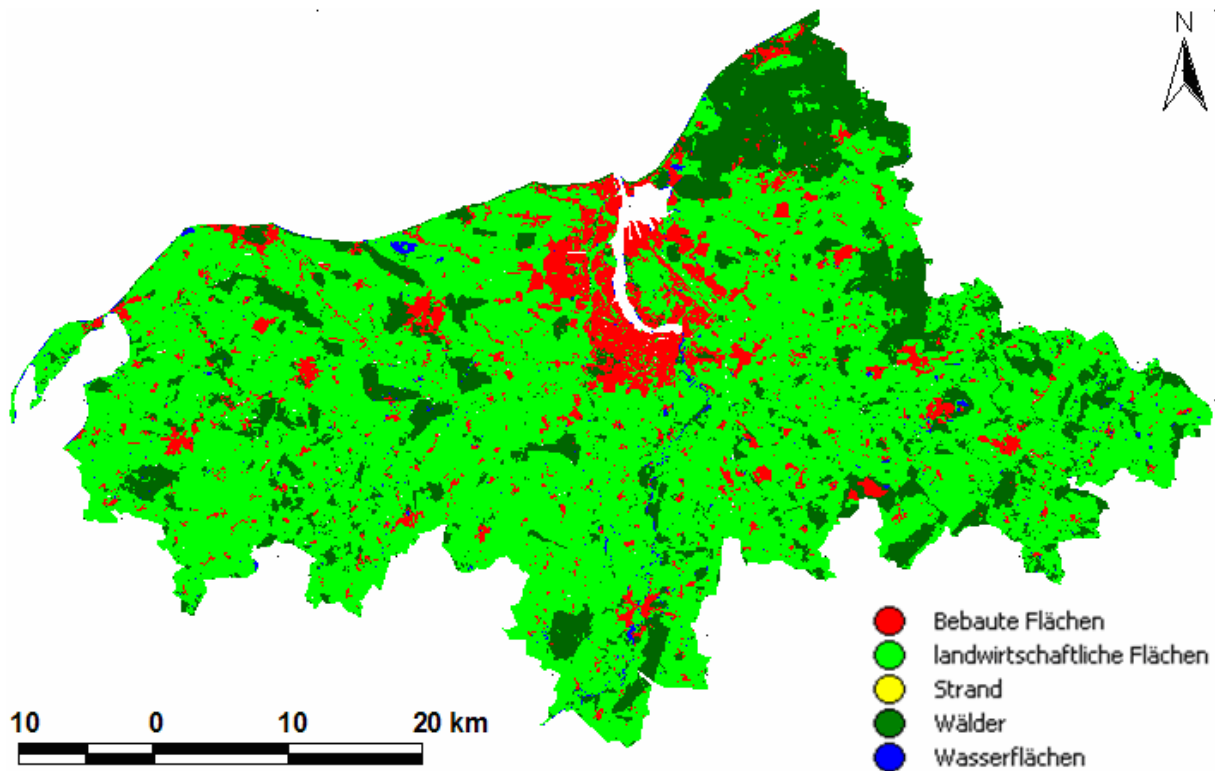


Abbildung 4.9: Reklassifizierte ATKIS-Daten des Untersuchungsgebietes für das Jahr 1999 (Quelle: eigene Darstellung)

### 4.4.3 Amtliche statistische Daten

Die amtliche Statistik ist der wichtigste offizielle Informationsdienstleister in Deutschland. Ihre Aufgabe ist es, laufend die erforderlichen statistischen Informationen über Zustand und Entwicklung von Gesellschaft, Wirtschaft, öffentlichem Sektor und Umwelt bereitzustellen. Sie schafft damit eine unverzichtbare Grundlage für demokratische Prozesse sowie für faktenbezogene politische und privatwirtschaftliche Entscheidungen (HOHMANN 2007, STATISTISCHE ÄMTER DES BUNDES UND DER LÄNDER 2003). Zur Ermittlung des quantitativen Flächenverbrauchs stehen statistische Datenquellen zur Verfügung. Sie liefern Informationen über demographische Veränderungen, Entwicklung des Wohnungsbestands, Nutzung der Wohngebäude, Gebäudeanzahl pro Bauperiode u.ä.

#### 4.4.3.1 Demographische Daten

Die Entstehung und Entwicklung urban geprägter Räume wird durch verschiedene ökonomische, politische, räumliche, soziale und ökologische Faktoren (Lagegunst, Infra- und Wirtschaftsstruktur, Dienstleistung und sozioökonomische Gegebenheiten) beeinflusst. Die Ent-

wicklung dieser Räume ist dabei aber nicht streng an die genannten Faktoren geknüpft, sondern folgt eigenen regional bedingten Gesetzmäßigkeiten. Daraus resultieren spezifische Voraussetzungen und Besonderheiten, die über die Gunst- oder Ungunstlage eines urbanen Raumes entscheiden. Wie das Beispiel Rostock zeigt, kam es vor dem Hintergrund des politischen Systemwechsels 1989 zu einer Abnahme der Bevölkerungskonzentration in den Städten, was unter anderem die Stadtentwicklung Rostocks erheblich geprägt hat.

Es stehen einige wenige statistische Datenquellen zur Ermittlung des quantitativen Flächenverbrauchs zur Verfügung. Sie liefern Informationen über:

- Bevölkerungszählung.
- Entwicklung des Wohnungsbestands.

Die statistischen Daten sind vollständig nur für Zeitpunkte der Bevölkerungszählung (d.h. für 1971, 1981, 1990, 1999, 2006) verfügbar.

Statistische Analysen können jedoch letztendlich nur eine Annäherung an die Qualität und Aussagekraft von flächenbezogenen Daten sein, da die statistischen Daten auf administrative Gebietsflächen bezogen werden, deren kleinste administrative Einheit, der Zählsprenkel, nicht weiter unterteilt werden kann. Da nicht das gesamte Gemeinde- (bzw. Bezirks- oder Zählsprenkel-) gebiet versiegelt ist, kommt es durch die Umlegung auf die gesamte administrative Gebietsfläche zu statistischen Verfälschungen bei Dichteberechnungen. (STEINNOCHER 2001). Aussagen über die statistischen Daten z.B. (Entwicklung der Bebauungsflächen, Wohnungen...) können daher nur eingeschränkt und bis zu diesem Zeitpunkt ausschließlich für 1991 getroffen werden. D.h. eine rückwirkende Interpretation der vergangenen Entwicklung ist nicht möglich. Weiter kann über diese raumbezogenen statistischen Daten die reale Verteilung innerhalb der untersuchten Raumeinheit nicht erfasst werden.

#### **4.4.3.2 Bevölkerungsentwicklung (Bevölkerungsbilanz)**

Ende 2006 lebten im Untersuchungsgebiet nach vorläufigen Angaben 319.354 Einwohner. Die Bevölkerungsdichte im Untersuchungsgebiet betrug bei einer Fläche von 1543,63 Quadratkilometern 206,9 Einwohner je Quadratkilometer verglichen mit 75 Einwohnern je Quadratkilometer im gesamten Land Mecklenburg-Vorpommern. Die Bevölkerungsdichte im Untersuchungsgebiet ist geringer als der Bundesdurchschnitt von 230 Bewohnern je Quadratki-

lometer. Die nachstehende Kurve (Abbildung 4.10) zeigt die Entwicklung der Bevölkerung in der Rostocker Region von 1971 bis 2006:

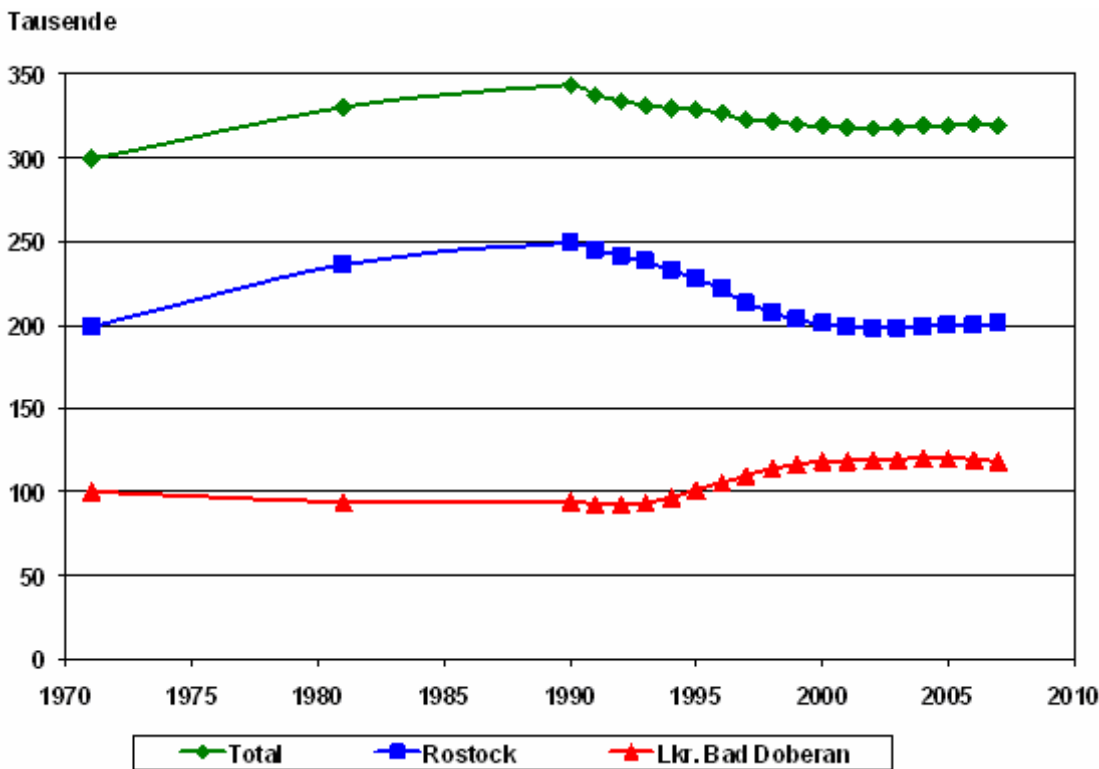
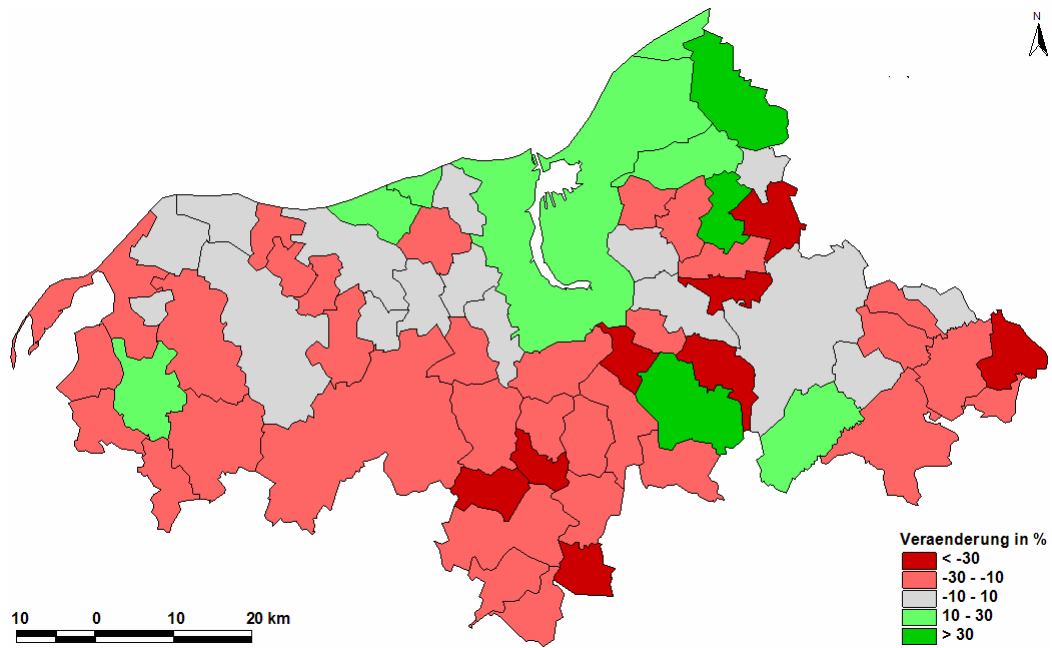


Abbildung 4.10: Die Entwicklung der Bevölkerung in der Rostocker Region von 1971 bis 2006 (Quelle: eigene Darstellung nach Daten des Statistischen Landesamtes M-V)

Während die Stadt Rostock zwischen 1990 und 2002 einen Bevölkerungsrückgang von ca. 51.000 Einwohnern zu verzeichnen hatte, ist die Bevölkerungszahl seitdem stabil. Der Landkreis Bad Doberan hat eine positive Entwicklung (ca. 25.000 Einwohner) zu verzeichnen. Die größten Gewinne dabei sind im engeren Stadt-Umland von Rostock zu verzeichnen (Abbildung 4.12). Seit 2003 hat sich die Einwohnerzahl stabilisiert. Das leichte Wachstum der Rostocker Bevölkerung, das 2003 erstmalig seit der deutschen Vereinigung zu beobachten war, setzte sich weiter fort. Bezogen auf den aktuellen Gebietstand wohnten Ende 2006 mit 199.868 Einwohnern 1609 bzw. 0,81 % mehr Menschen in der Stadt als noch Ende 2002.

Die räumliche Bevölkerungsentwicklung im Untersuchungsgebiet stellt sich nach Gemeinden im Zeitraum von 1970 bis 2006 folgendermaßen dar (Abbildung 4.11). Der wirtschaftliche Aufschwung der 1950iger ließ viele Menschen aus anderen Teilen der Deutschen Demokratischen Republik (DDR) nach Rostock kommen. Die Bevölkerungszahl stieg von etwa 130.000



**Abbildung 4.11: Bevölkerungsentwicklung im Zeitraum 1970 bis 1990 (Quelle: eigene Darstellung)**

Einwohnern überdurchschnittlich schnell auf ca. 199.000 Einwohner um 1970 und dann bis auf rund 255.000 Einwohnern im Jahre 1988. Begünstigt wurde dies dadurch, dass die Hansestadt Rostock die wirtschaftsstärkste Stadt in Mecklenburg-Vorpommern ist sowie durch die Anlage des Überseehafens, die Werften und die maritime Industrie. Nach der Wiedervereinigung sank die Bevölkerungszahl des Untersuchungsgebietes, welches ja neben Rostock auch den Landkreis Bad Doberan umfasst, gegenüber 1990 um ein Fünftel. Allerdings gibt es große regionale und lokale Unterschiede. Einige Gemeinden sind gewachsen, andere schrumpften (Abbildung 4.12). Die Bevölkerung ging in der untersuchten Region zwischen 1990 und 2006 von ca. 343.000 auf 319.000 zurück, d.h. um 24.000 bzw. 7.4 %.

Wie das Beispiel Rostocker Region zeigt, kommt es vor dem Hintergrund des politischen Systemwechsels in Deutschland zu einer Abnahme der Bevölkerung im Oberzentrum, was die Stadtentwicklung Rostocks erheblich geprägt hat. Zu Beginn der 90-er Jahre mit dem Zusammenbruch der DDR und den damit verbundenen Schwierigkeiten für die prägenden Wirtschaftszweige Rostocks führte es direkt nach der "Wende" zu einer starken Übersiedlung oder Abwanderung in die alten Bundesländern. Gleichzeitig verloren aufgrund des wirtschaftlichen Strukturwandels und der damit einhergehenden wirtschaftlichen Unsicherheit viele Menschen in der Stadt, wie im gesamten Gebiet der ehemaligen DDR, ihre Arbeitsplätze, neue konnten nicht zeitnah geschaffen werden, um die Abwanderung zu verhindern.

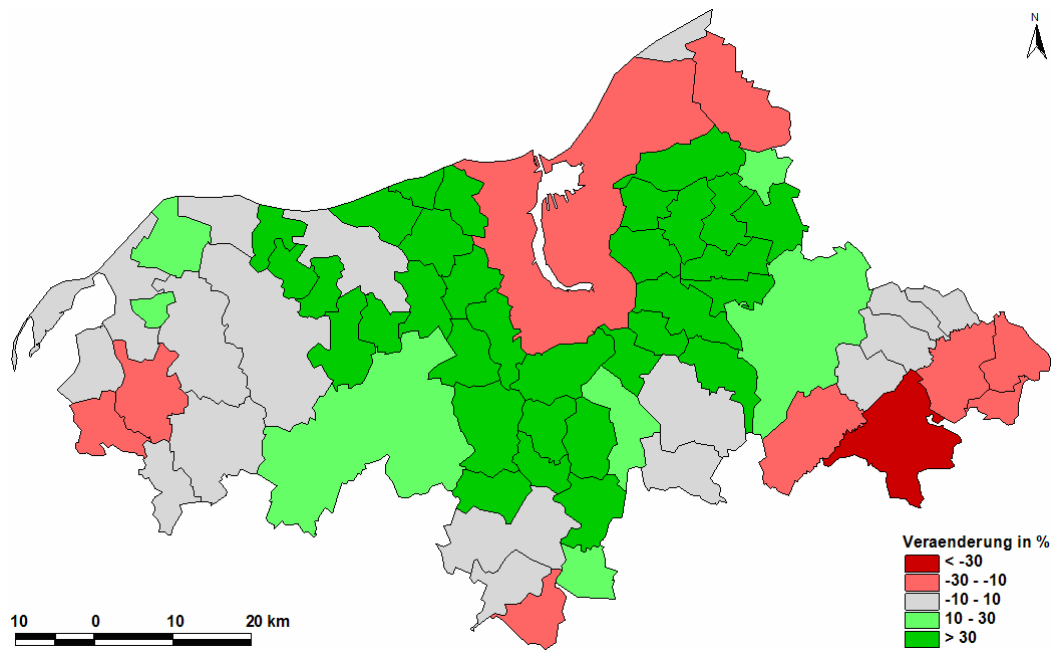


Abbildung 4.12: Bevölkerungsentwicklung 1990-2006 (Quelle: eigene Darstellung)

Die Veränderung der persönlichen Lebensziele führte darüber hinaus zu einer deutlichen Verringerung der mittleren Geburtenrate (*Geburtenzahl pro Frau*).

Außerdem gab es ab Mitte bis Ende der 90er Jahre eine ausgeprägte Stadt-Umland-Wanderung (*Suburbanisierung*), die sich inzwischen aber wieder stark abgeschwächt hat. Bedingt durch die neu entstandenen "Wohnparks" und mangelnde Alternativangebote in der Stadt zogen seit 1990 zunehmend mehr Haushalte in das Rostocker Umland.

In den letzten 15 Jahren verzeichnen die Umlandgemeinden eine durchwegs positive Bevölkerungsentwicklung.

#### 4.4.3.3 Bestimmung der Bevölkerungsdichte

Abbildung 4.13 vergleicht die Bevölkerungsdichten der Jahre 1971 und 1990. Dazu wurde für jede Gemeinde die Anzahl der Einwohner durch die gesamte Gemeindefläche dividiert und die sogenannte traditionelle Bevölkerungsdichte bestimmt.

Ein Teil der Bevölkerung, die Rostock verlassen hat, ist ins Rostocker Umland gezogen. Das ist aus den Grafiken 4.13 und 4.14 ersichtlich

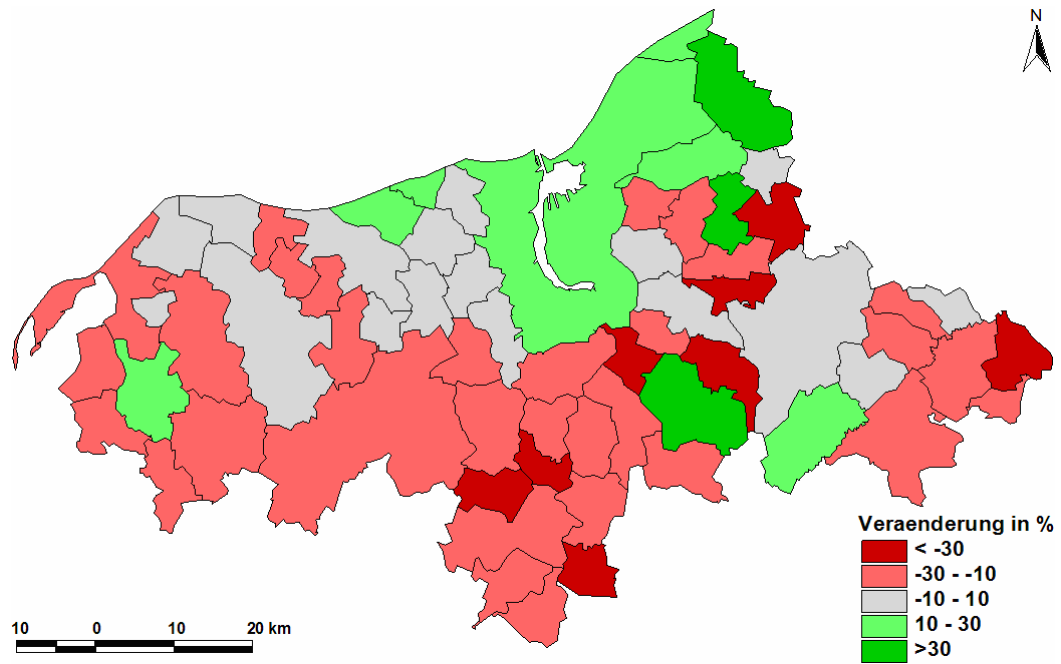


Abbildung 4.13: Veränderung der Bevölkerungsdichte zwischen 1970 und 1990 (Quelle: eigene Darstellung)

(Abbildung 4.14) zeigt die Veränderung der Bevölkerungsdichten der Jahre 1990 und 2006.

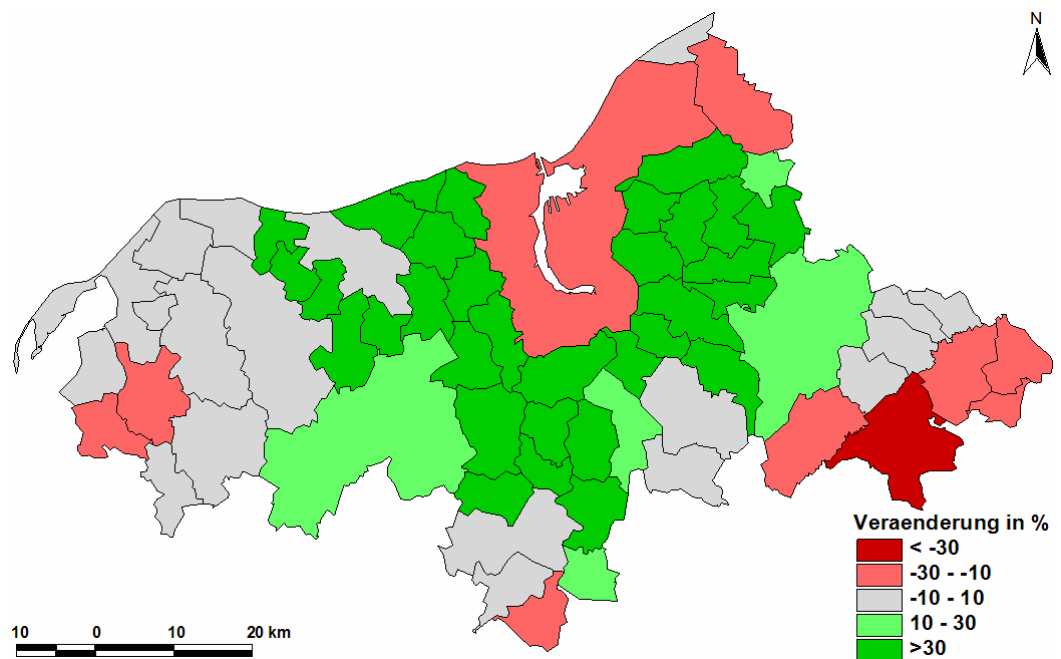


Abbildung 4.14: Veränderung der Bevölkerungsdichte zwischen 1990 und 2006 (Quelle: eigene Darstellung)

## ***5 Zur Bestimmung der Landbedeckung /-nutzung und -änderung mittels Fernerkundungsdaten in der Region Rostock von 1973 bis 1999***

### ***5.1 Satellitendatenanalyse für das Untersuchungsgebiet***

Mit Methoden der digitalen Bildverarbeitung werden digitale Bild- oder Rasterdaten computergestützt erstellt, analysiert, verbessert, interpretiert oder dargestellt (BILL und ZEHNER 2001). Die Verarbeitung der Satellitenbilder dient der Extraktion von Information, die meist als thematische aktuelle Karten visualisiert werden und oftmals die Grundlage für weiterführende Analysen liefern. Es gibt mehrere Methoden der Datenbearbeitung, die sich hinsichtlich ihres Aufwandes und ihrer Qualität der Ergebnisse voneinander unterscheiden. Die hier prinzipiellen Arbeitsschritte und methodischen Ansätze der Satellitenbildauswertung umfassen die Bildaufbereitung und die Klassifizierung. In diesem Abschnitt wird die Methodik der Datenbearbeitung zusammenfassend beschrieben und bewertet, da sie die Voraussetzung für einen multitemporalen Vergleich verschiedener Satellitendaten stellt.

#### **5.1.1 Verwendete Satellitendaten**

Zur Untersuchung der Landnutzungen im Untersuchungsgebiet wurden multispektrale Satellitendaten verwendet. Es stehen drei wolkenfreie Szenen von Landsat zur Verfügung, die in (Tabelle 5.1) beschrieben werden.

Die Satellitenbilder bedecken jeweils eine Fläche von ca. 1560 km<sup>2</sup> und liegen entsprechend dem internationalen WRS (*World Reference System*) auf Path/Row 209/022 (Landsat MSS) und Path/Row 194/022 (Landsat TM und ETM+).



**Tabelle 5.1: Eigenschaften der verwendeten Satellitendaten (Quelle: eigene Darstellung).**

Aufnahme- datum	Sensor	Path/Row	Spektrale Auflösung ( $\mu\text{m}$ )	Räumliche Auflösung (m)
29.05.1973	MSS	209/022	4 Kanäle: 0.5-1.1	79
12.06.1989	TM5	194/022	1-5,7 Kanäle: 0.45-2.35	30
			Kanal 6: 10.4-12.50	60
03.08.1999	ETM+	194/022	1-5,7 Kanäle: 0.45-2.35	30
			Kanal 6: 10.4-12.50	60
			Kanal 8: 0.52-0.90	15

Die Auswahl der Satellitendaten orientierte sich hauptsächlich an ihrer Verfügbarkeit und ihrer Qualität.

## 5.1.2 Digitale Bildverarbeitung

Um die Daten später sinnvoll auswerten zu können, müssen einige Vorprozessierungsschritte unbedingt durchgeführt werden. Die Daten stehen als GeoTIFF in einzelnen Farbkanälen zur Verfügung. Sie wurden in das Bildverarbeitungssystem ERDAS IMAGINE eingelesen und für die Weiterverarbeitung ins gängige Image Format (IMG) konvertiert. Zudem wurde eine Bandkombination (*Layer Stack*) der Multispektralkanäle durchgeführt.

### 5.1.2.1 Reprojektion der Referenzdaten

Um zu einer einheitlichen Betrachtung zu kommen, müssen alle Daten auf das gleiche Bezugssystem bezogen werden. Hier wurde das deutsche Gauß-Krüger-System der Zone 3 als gemeinsame Basis gewählt. Bei dieser Einbindung in ein geodätisches Referenzsystem wird unreferenzierten Bilddaten eine Projektion (*Transverse Mercator*) sowie ein Ellipsoid (*Bessel*) zugewiesen. Die Daten wurden aus dem UTM-Koordinaten (WGS84) in das Transverse-Mercator-Koordinatensystem transformiert.

### 5.1.2.2 Radiometrische Korrektur

Für den Zweck der Landnutzungsklassifikation ist es notwendig, den Effekt des Erdoberflächenmaterials von allen beeinflussenden Faktoren wie Fehler der Instrumente, Topographie und atmosphärischen Bedingungen zu trennen. Dadurch wird erst die Vergleichbarkeit gleicher Oberflächen zu unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkten ermöglicht. Radiometrische Korrekturen haben zum Ziel, derartige Fremdeinflüsse zu eliminieren und die originalen

spektralen Eigenschaften der Landbedeckungsklassen zurückzugewinnen. Durch die Umwandlung digitaler Graustufenwerte in Reflexionswerte können die radiometrische Korrektur, atmosphärische Korrektur, die Fehler der Instrumente und topographische Effekte berücksichtigt werden. (SCHRÖDER et al. 2006, CHANDER et al. 2004, CHANDER und MARKHAM 2003, GOWARDETAL 2001, BARKER et al. 1985, MARKHAM und BARKER 1985). Im Rahmen dieser Arbeit wird die atmosphärische und radiometrische Korrektur basierend auf dem Chavez'-Modell durchgeführt.

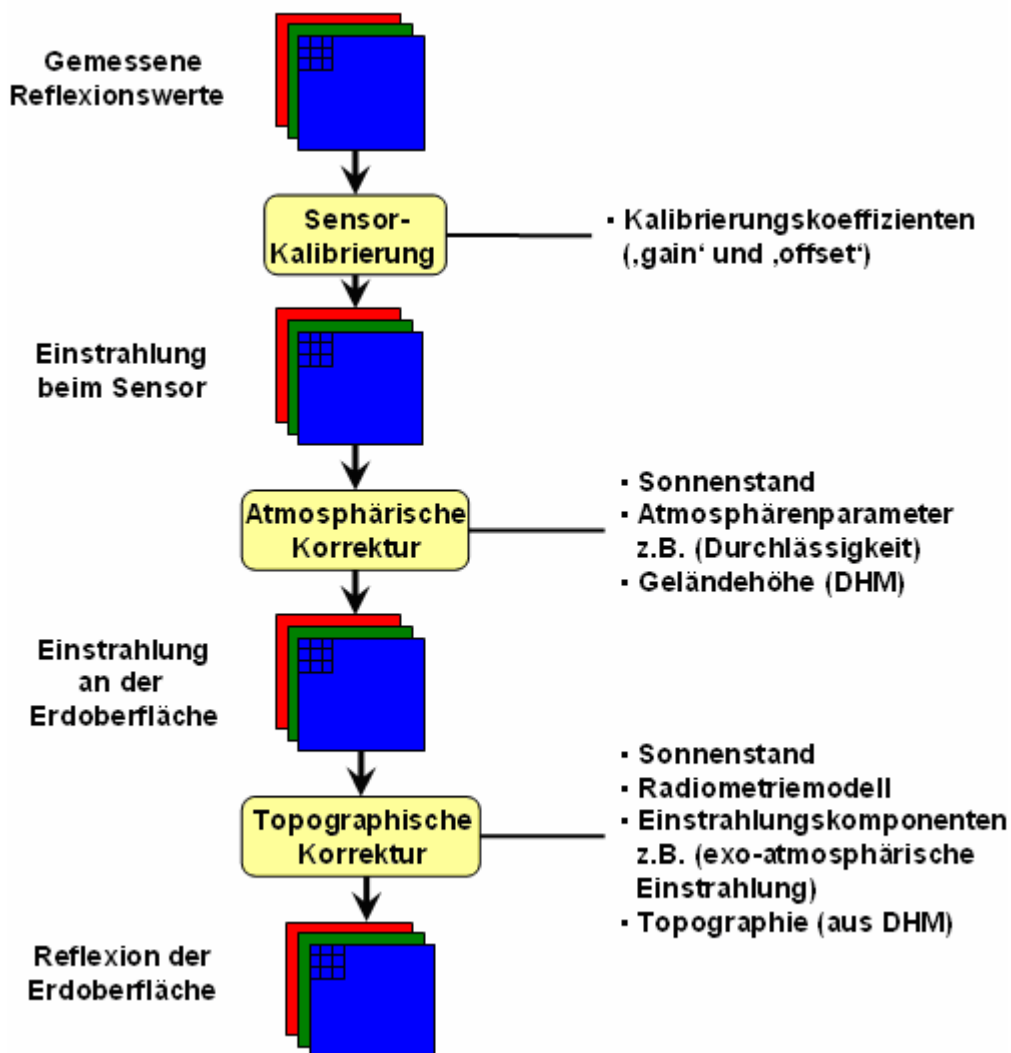


Abbildung 5.1: Datenfluss für die radiometrische Korrektur von Fernerkundungsdaten (Quelle: verändert nach Schowengerdt 1997)

Die bildbasierte Chavez'-Methode für atmosphärische Korrektur ist mit der radiometrischen Kalibrierung in einem Modell kombiniert worden, das diesen zeitintensiven Prozess berechnet und das Bildmaterial für diesen entscheidenden Verarbeitungsschritt glättet. Trotzdem sind

einige szenenabhängige Berechnungen durchzuführen. Um die notwendigen Konstanten vom Modell zu erreichen, wird die subsequente Verarbeitung der rohen DN-Werte (*DN= Digital Number*) zu atmosphärisch nachgebesserten Reflexionswerten in einem einzelnen Prozess durchgeführt (MATHER 2004). Das Modell führt die von (CHAVEZ 1996) eingeführte und verbesserte atmosphärische Korrektur für dunkle Objekte (z. B. *klare tiefe Gewässer oder sehr dunkle Schatten*) für Landsat TM5-Multispektraldaten (Kanäle 1-5 und 7) durch. Für das Eingangsbild wird angenommen, das es nur über diese sechs Kanäle verfügt.

Der Sensor des Landsat-TM codiert die reflektierte Strahlung in einem 8-bit-Signal, welches 256 Grauwerten entspricht, gegenüber den 6-bit (64 Grauwerte) des MSS-Landsat Sensors. Es gibt eine lineare Beziehung zwischen den Grauwerten und der tatsächlichen Einstrahlung. Es können mit Hilfe von Kalibrierungsfaktoren für den „Offset“ und „gain“ für jeden Kanal die Grauwerte in spektrale Strahlungswerte am Sensor ( $L_{haze}$ ) umgerechnet werden, wie sie am Sensor gemessen werden (LILLESAND und KIEFER 2004).

$$L_{sat,\lambda} = gain * DN + Offset$$

$$L_{sat,\lambda} = \frac{L_{max\lambda} - L_{min\lambda}}{255} * DN + L_{min\lambda}$$

mit:

$L_{sat,\lambda}$	spektrale Strahlung am Sensor (in $mWcm^{-2}str^{-1}\mu m^{-1}$ )
$L_{max\lambda}$	maximale vom Sensor erfassbare spektrale Strahlung (in $mWcm^{-2}str^{-1}\mu m^{-1}$ )
$L_{min\lambda}$	minimale vom Sensor erfassbare spektrale Strahlung (in $mWcm^{-2}str^{-1}\mu m^{-1}$ )
$DN$	Digital Number (Bild-Grauwert)

Eingaben zu  $L_{max}$  und  $L_{min}$  können aus speziellen Dateien (*Kalibrierungsfile - \*.cal*) entnommen werden, die alle 90 Tage neu erstellt werden und auf den LANDSAT-7 Homepages zur Verfügung stehen (<http://LANDSAT7.usgs.gov>). Die Tabelle 5.2 enthält den genannten Parameter für das ETM+ für den Zeitraum von August 1999.

**Tabelle 5.2: Spektral Radiance Range (Bereich messbarer Spektralstrahlung) für das ETM+ -Instrument des Satelliten Landsat 7 für den Zeitraum vor August 1999 (Quelle: NASA 2007).**

Kanal	Low Gain $mWcm^{-2}str^{-1}\mu m^{-1}$		High Gain $mWcm^{-2}str^{-1}\mu m^{-1}$	
	$L_{min}$	$L_{max}$	$L_{min}$	$L_{max}$
1	-0,62	29,37	-0,62	19,16
2	-0,64	30,09	-0,64	19,65
3	-0,5	23,44	-0,5	15,29
4	-0,51	24,11	-0,51	15,74
5	-0,1	4,76	-0,1	3,106
7	-0,04	1,65	-0,035	1,08

Mittels Angaben über die Radianzen ( $L_{\lambda sat}$ ) kann nun die Reflektanz pro Pixel berechnet werden, indem man Korrekturen für Sonnenstand und Atmosphäre verwendet (CHAVEZ 1996):

$$\rho_p = \frac{\pi * d^2 * (L_{\lambda sat} - L_{\lambda haze})}{TAU_v * (E_{\lambda sun} * \cos \theta_z * TAU_z + E_{down})}$$

mit:

- $\rho_p$  spektrale Reflexion der Erdoberfläche
- d Abstand Erde Sonne [Astronomische Einheiten]
- $L_{haze}$  atmosphärische Hintergrundstrahlung in Richtung Sensor (path radiance component 1)
- $TAU_v = 1.0$  atmosphärische Durchlässigkeit in Richtung Sensor
- $E_{\lambda sun}$  solare Strahlung außerhalb der Atmosphäre (je Kanal)
- $\theta_z$  Sonnenstandswinkel vom Zenit
- $TAU_z = 1.0$  atmosphärische Durchlässigkeit in Richtung Erdoberfläche (ignores atmospheric transmittance)
- $E_{down} = 0.0$  atmosphärische Hintergrundstrahlung in Richtung Erdoberfläche (sky irradiance component 1) (ignores downwelling).

Dabei ist zu beachten, dass einige Faktoren nicht exakt multipliziert werden können, wie  $TAU_v$ ,  $TAU_z$  und  $E_{down}$ . Da die Durchlässigkeit der Atmosphäre aber als multiplikativer Term das Ergebnis bis zu 30% beeinflussen kann, hat Chavez als Annäherung für die atmosphärische Durchlässigkeit den Kosinus des Sonnenstandes verwendet, der empirisch sehr gut mit  $TAU_z$  korreliert, also  $Cos\theta_z = TAU_z$ .  $E_{down}$  wird vernachlässigt (= 0,0) und  $TAU_v = 1$ , da der Aufnahmewinkel des Satelliten senkrecht ist. Die entscheidende Komponente  $L_{haze}$  wird über

einen Nullstrahler (dark object) in der Szene bestimmt, wobei eine einprozentige Reflektanz je Kanal von  $L_{haze}$  subtrahiert wird, da sich keine absoluten Nullstrahler auf der Erdoberfläche befinden.

$$L_{haze} = L_{\min} - L_{1\%}$$

$$L_{1\%} = 0,1 \frac{E_{\lambda_{sun}} * (\cos \theta)^2}{\pi * d^2}$$

$D^2$  ist das Quadrat des Abstandes zwischen Erde-Sonne in astronomischen Einheiten, es muss berechnet werden nach (MATHER 1999) zu

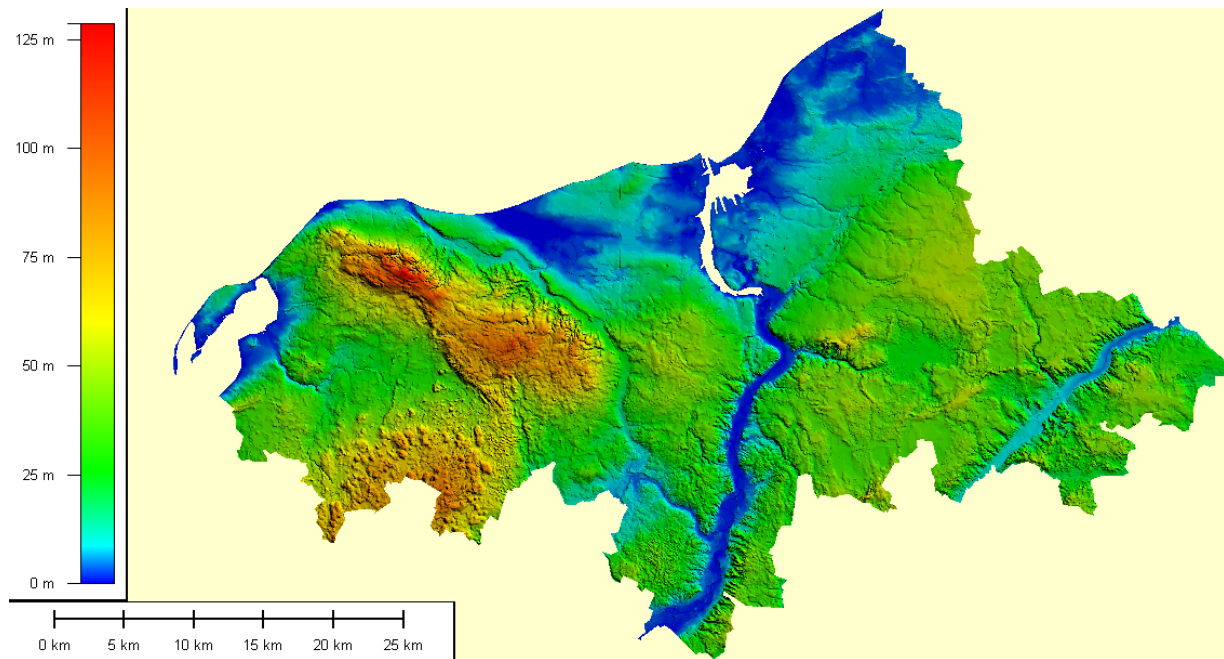
$$D^2 = \frac{1}{1 - 0.01674 * \cos(0.9856 * (DOY - 4))}$$

Der Parameter DOY entspricht dem Tag des Jahres nach dem Julianischen Kalender von 1 bis 365-366. Dieser kann anhand des Aufnahmedatums bestimmt werden. Das Datum kann entweder aus den Metadaten oder aus dem Dateinamen entnommen werden.

### 5.1.2.3 Topographische Korrektur

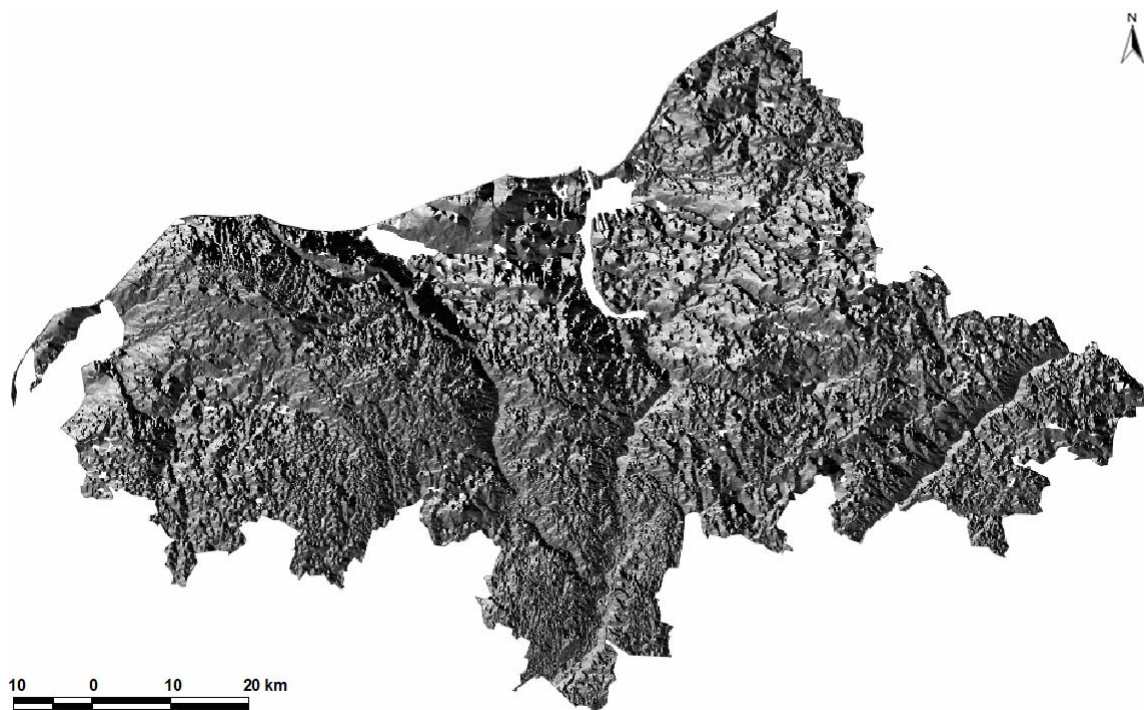
Es ist bekannt, dass unterschiedliche Hangneigungen und Expositionen in reliefiertem Gelände zu Problemen der Klassifikation von Satellitendaten führen. Bei gleicher Oberflächenbedeckung erscheinen der Sonne abgewandte Bereiche dunkler und zugewandte Bereiche heller als horizontal gelegene Flächen. Dieser sogenannte topographische Effekt ist eine Funktion der Orientierung der Oberfläche (*Hangneigung, Exposition*) in Relation zum Sonnenstand (*Azimut, Zenitwinkel*) (JUSTICE 1981). Mithilfe einer topographischen Korrektur bzw. Terrainkorrektur können die durch das Relief verursachten Beleuchtungseffekte, wie Besonnung, Beschattung sowie Terrain- oder Nachbarschaftsrückstrahlung (terrain bzw. adjacency radiation), kompensiert werden. Hierzu ist die Verwendung eines digitalen Geländemodells (DGM) notwendig (NEUBERT und MEINEL 2005).

Aus verfügbaren Höhendaten des Landesvermessungsamtes Mecklenburg-Vorpommern (DGM 25) wurde ein digitales Höhenmodell (DHM) mit einer Höhengenaugigkeit von  $\pm 3$  in einem 25m-Raster erzeugt (Abbildung 5.2).



**Abbildung 5.2:** Darstellung des Geländemodells (DGM25), Datengrundlage: LAIV, 2008 (eigene Darstellung)

Es wurden Reliefparameter, Hangneigung, Exposition und Beleuchtungsverhältnisse in ArcGIS berechnet (Abbildung 5.3).



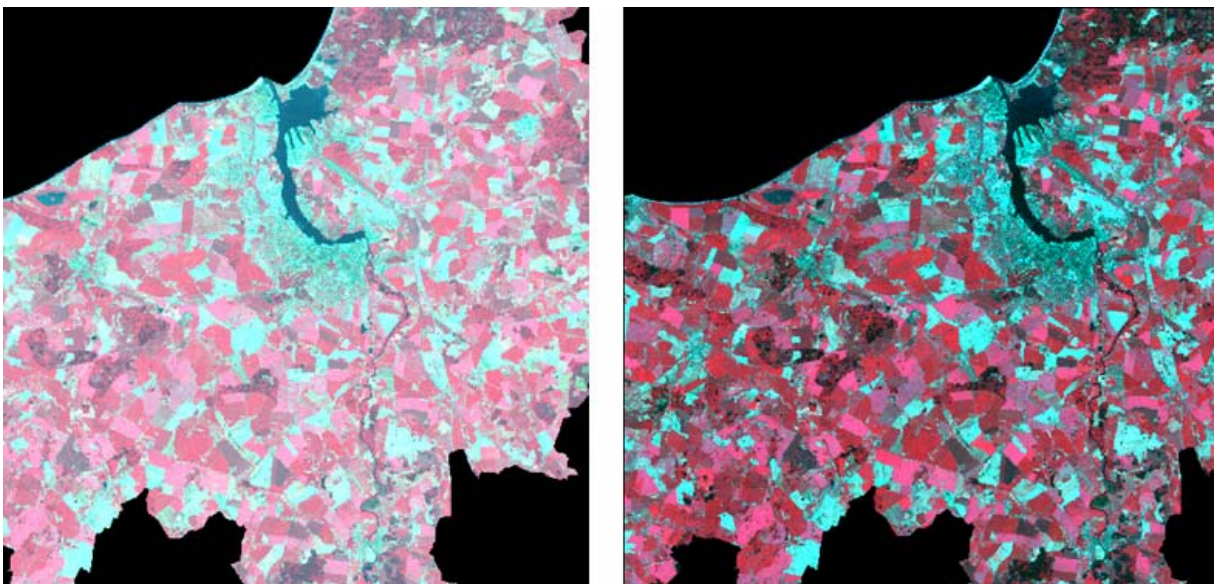
**Abbildung 5.3:** Darstellung des Beleuchtungsmodells (DGM25), Datengrundlage: LAIV, 2008 (eigene Darstellung)



In den folgenden (Abbildung 5.4) und (Abbildung 5.5) ist exemplarisch ein Vergleich zwischen einem unkorrigierten und einem atmosphärisch und topographisch aufbereiteten Satellitenausschnitt dargestellt.



**Abbildung 5.4:** Vergleich zwischen unkorrigiertem (links) und radiometrisch korrigiertem Satellitenbild (rechts) (Falschfarben-IR-Komposite = 432), dargestellt am Beispiel der Landsat 7-Teilszene 1999 (Maßstab 1:250.000 (Quelle: eigene Darstellung))



**Abbildung 5.5:** Vergleich zwischen unkorrigiertem (links) und radiometrisch korrigiertem Satellitenbild (rechts) (Falschfarben-IR-Komposite = 432), dargestellt am Beispiel der Landsat 5-Teilszene 1989 (Maßstab 1:250.000) (Quelle: eigene Darstellung))

Ergebnisse der radiometrischen und topographischen Datenaufbereitung sind Satellitenbilder, deren Spektralsignaturen weitestgehend durch Reflexionseigenschaften der Erdoberfläche, d.h. bereinigt von atmosphärischen Störungen, Beleuchtungseffekten und Sensoreigenschaften, charakterisiert sind. Dadurch können unterschiedliche Satellitendaten, die zu einem phänologisch vergleichbaren Zeitpunkt aufgenommen wurden, in einem multitemporalen Klassifikationsansatz direkt miteinander verglichen werden.

#### 5.1.2.4 Korrelationsanalyse

Gerade die Segmentierung größerer Datenmengen benötigt für die Interpretation von Fernerkundungsdaten jedoch mit rechnergestützten Methoden viel Rechenzeit. Aus diesem Grund wurde nicht der gesamte Informationsgehalt von Fernerkundungsdaten in dieser Untersuchung einbezogen. So wird die Korrelationsanalyse als statistisches Verfahren benutzt zur Beurteilung des Informationsgehaltes und Abhängigkeitsgrades der verschiedenen Spektralkanäle. Sie beruht auf dem Sachverhalt, dass ein Spektralkanal mehr oder weniger Information eines anderen Kanals beinhaltet. Mit Hilfe der Korrelationsanalyse kann der richtige und optimierte kombinierte Spektralkanal gewählt werden, um ein informatives Farbkomposit zu erstellen. Um den Grad der Korrelation zwischen den Kanälen zu bestimmen, wird der Korrelationskoeffizient  $\rho$  zwischen jeweils zwei Kanälen nach folgender Formel berechnet:

$$\rho_{1,2} = \frac{\sigma_{1,2}}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}$$

mit:  $\sigma$  = Standardabweichung

Der Mittelwert der einzelnen Kanäle  $i$  berechnet sich zu:

$$\mu_i = \frac{1}{M * N} * \sum_M \sum_N S_{m,n}$$

mit:

M = Anzahl der Spalten (m)

N = Anzahl der Spalten (n)

S = Spektralwerte



**Tabelle 5.3: Mittelwert der Kanäle für Landsat ETM+ 1999 (Quelle: eigene Berechnung)**

	B1	B2	B3	B4	B5	B7
Mittelwert je Band	26.49	24.67	26.25	30.03	29.22	27.16

Über eine Korrelationsmatrix können sämtliche unabhängigen Variablen miteinander in Beziehung gesetzt werden. Der jeweilige Korrelationskoeffizient beschreibt Stärke und Richtung eines möglichen linearen Zusammenhangs zwischen zwei metrischen Variablen. Er kann zwischen  $-1$  und  $+1$  liegen. Positive Werte stellen einen gleichläufigen, negative Werte einen gegenläufigen Zusammenhang zwischen den Variablen dar. Je näher der Betrag des Korrelationskoeffizienten bei 1 liegt, umso stärker sind die Variablen korreliert (SACHS 1997). Je kleiner der Wert von  $r$  ist, desto geringer ist die gegenseitige Abhängigkeit der Daten. In (Tabelle 5.4) sind die Korrelationskoeffizienten zwischen den 6 Multispektralkanälen der Landsat-Szenen von 1999 dargestellt.

**Tabelle 5.4: Korrelationskoeffizient zwischen den Landsat ETM+ 1999-Kanäle (Quelle: eigene Berechnung)**

	B1	B2	B3	B4	B5	B7
B1	1.00	0.84	0.80	0.80	0.84	0.72
B2	0.84	1.00	0.84	0.80	0.78	0.82
B3	0.80	0.84	1.00	0.84	0.80	0.78
B4	0.80	0.80	0.84	1.00	0.89	0.83
B5	0.84	0.78	0.80	0.89	1.00	0.86
B7	0.72	0.82	0.78	0.83	0.86	1.00

(Tabelle 5.4) veranschaulicht, dass die Kanäle 4 und 5 noch hoch ( $r=0.98$ ) miteinander korreliert sind. Der 4. Kanal ist am wenigsten mit anderen Kanälen korreliert.

### 5.1.2.5 Der Optimum-Index-Faktor (OIF)-Algorithmus

Benachbarte Spektralkanäle sind zumeist hoch miteinander korreliert. Um ein mathematisch objektives Auswahlkriterium für die optimale Farbkomposition zu ermitteln, lässt sich die Methode des OIF (*Optimum-Index-Faktors*) auf multispektrale Dreikanaldarstellungen anwenden (PRINZ 1996). OIF bietet generell eine Möglichkeit, derartige Redundanzen zu beseitigen. Dabei bekommt man eine geringe Korrelation und damit erhöhten Informationsgehalt, ohne dass große Informationsverluste auftreten. So lässt sich der Informationsgehalt eines multispektralen Landsat-Bildes auf 3 Kanäle reduzieren. Für dieses Ziel wurde Kanal 6 aufgrund seiner geringen Auflösung von der Segmentierung entfernt. Bei den anderen Kanä-

len wurde überprüft, inwieweit sie untereinander korreliert sind. Anschließend können die Kanäle miteinander in Beziehung gebracht werden.

(CHAVEZ et al. 1982) hat einen statistischen Wert publiziert, der als Optimum-Index-Faktor (OIF) bezeichnet wird. Der Optimum-Index-Faktor (OIF) wird unter Berücksichtigung der Standardabweichung (Tabelle 5.5) und Korrelationskoeffizienten zwischen jeweils zwei von drei Kanälen berechnet und gibt diejenige Kombination dreier Kanäle an, welche die meiste Information enthält (CHAVEZ 1982, JENSEN 1996). Dieser Parameter wird durch eine Division der Summe der Standardabweichung durch die Summe der Korrelationskoeffizienten zwischen jeweils zwei von drei Kanälen nach folgender Formel berechnet:

$$OIF = \frac{Std_i + Std_j + Std_k}{|Corr_{i,j}| + |Corr_{i,k}| + |Corr_{j,k}|}$$

Dann wird OIF für jede Kombination von drei Kanälen errechnet zu:

- $Std_i$  Standardabweichung von Kanal i
- $Std_j$  Standardabweichung von Kanal j
- $Std_k$  Standardabweichung von Kanal k
- $Corr_{i,j}$  Korrelationskoeffizient von Kanälen i und j
- $Corr_{i,k}$  Korrelationskoeffizient von Kanälen i und k
- $Corr_{j,k}$  Korrelationskoeffizient von Kanälen j und k

**Tabelle 5.5: Standardabweichung der Kanäle für Landsat ETM+ 1999 (Quelle: eigene Berechnung)**

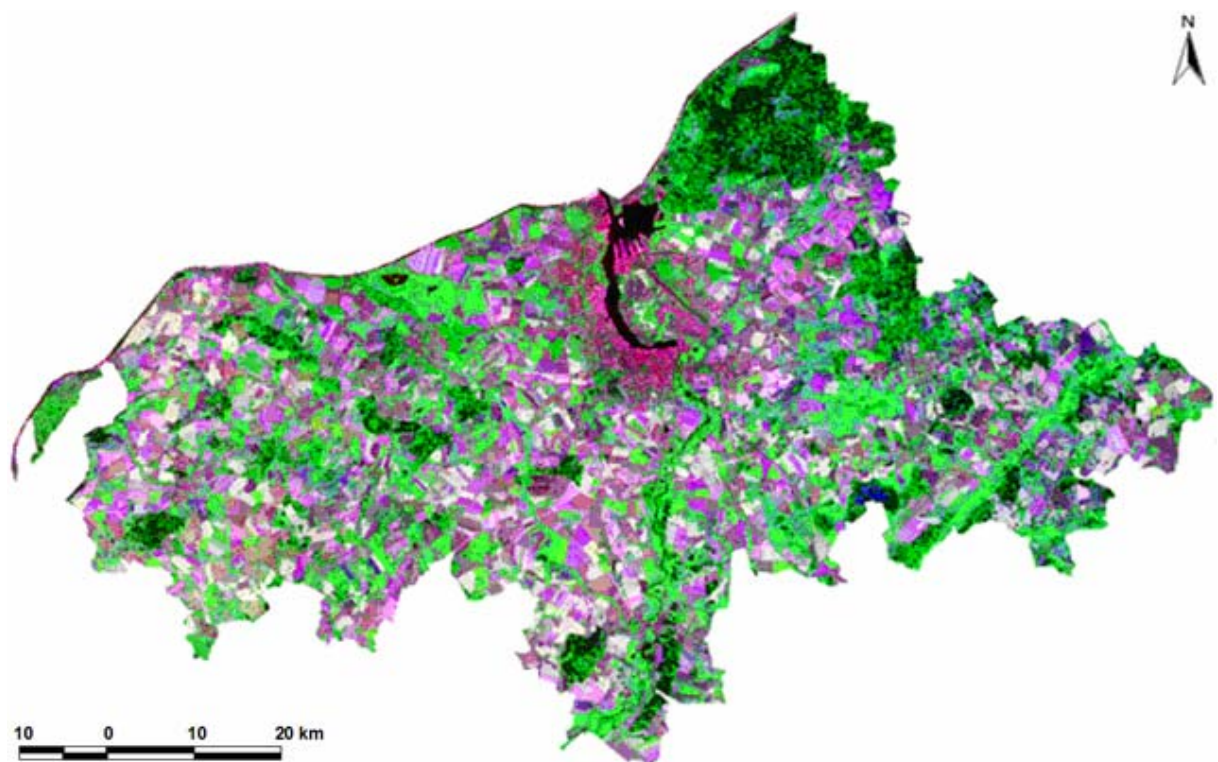
	B1	B2	B3	B4	B5	B7
Standardabweichung je Band	43.91	41.16	43.36	48.08	47.22	44.83

Die folgende (Tabelle 5.6) macht die OIF-Verteilung für jeweils drei Kanalkombinationen des 1999er Bildes deutlich.

**Tabelle 5.6: OIF-Verteilung für drei Kanalkombinationen des 1999er Bildes (Quelle: eigene Berechnung)**

	Kanalkombination	OIF-Wert
1	1, 4, 7	58.17
2	1, 3, 7	57.35
3	1, 5, 7	56.39
4	3, 5, 7	55.59
5	3, 4, 7	55.56
6	2, 4, 7	55.37

Der höchste Wert ergibt sich für die Kombination von Kanal 1, 4 und 7 in dem ETM7-1999-Bild (Abbildung 5.6). Daher werden diese drei Kanäle für die Segmentierung eingesetzt.



**Abbildung 5.6: Die höchste Kombination von Kanal 1, 4 und 7 in dem ETM7-1999er Bild (Quelle: eigene Darstellung)**

### 5.1.2.6 Bildfusionstechnik

Durch Bildfusionsverfahren kann die Abgrenzungsschärfe der hochauflösenden panchromatischen Bilddaten mit den gering auflösenden Multispektralinformationen kombiniert werden. Ziel von Bildfusionsverfahren ist letztlich eine hohe geometrische/strukturelle Bildgüte (*Beibehaltung der PAN-Information*) bei hoher spektraler/radiometrischer Bildgüte (*Beibehaltung der multispektralen Information*) des Fusionsprodukts (MEINEL et al. 1999). In dieser Untersuchung wurde der Zhang-Algorithmus (ZHANG 2002, 2004) verwendet.

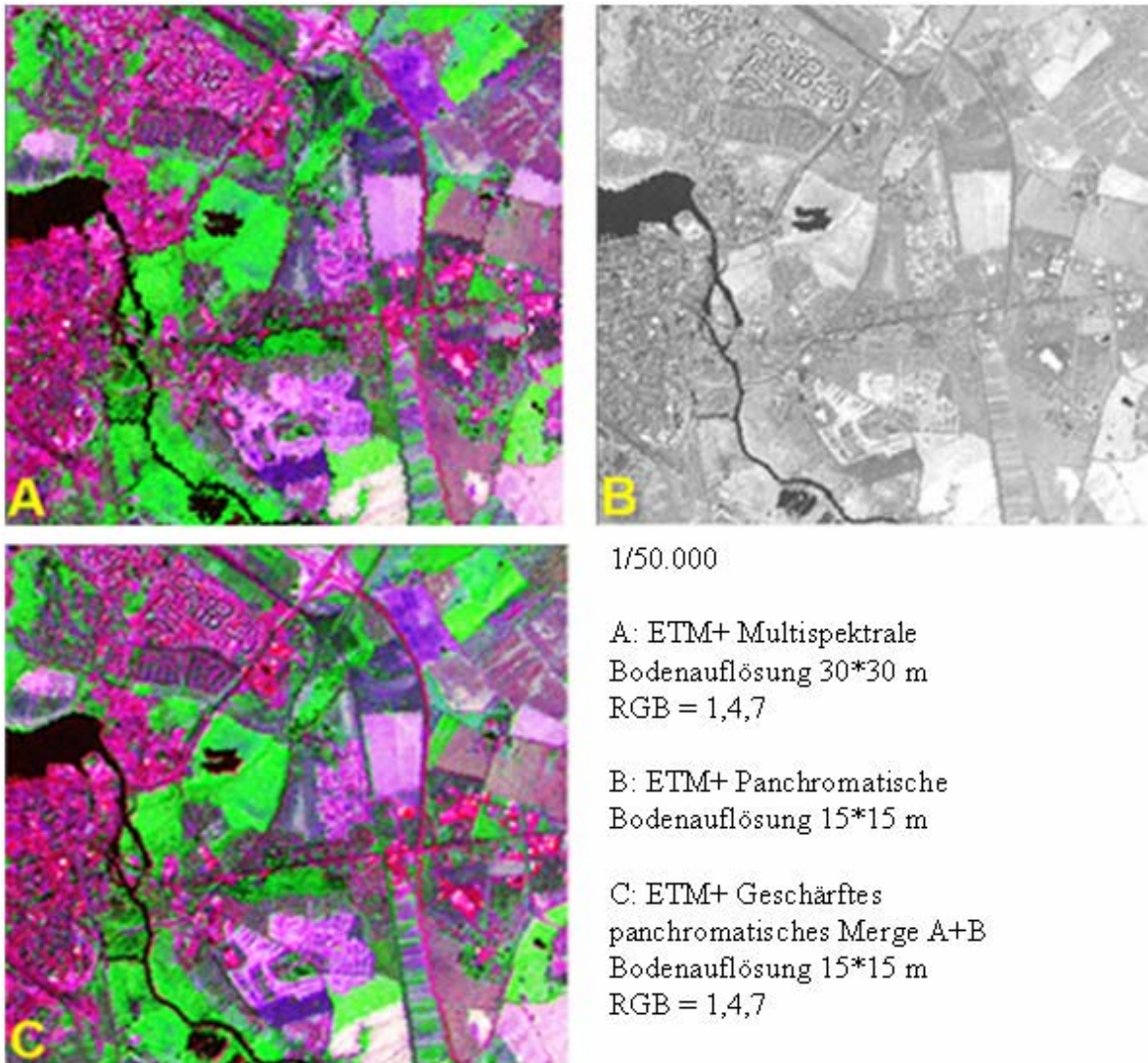


Abbildung 5.7: Fusion von Landsat ETM+ Satellitendaten: multispektrale Originaldaten (A), panchromatischer Kanal (B) und Zhang-Fusion (C) (Ausschnitt des Untersuchungsgebietes) (Quelle: eigene Darstellung)

### 5.1.3 Indexbildung

„Zu den Verfahren der Bildtransformation, bei denen aus einem mehrkanaligen Bilddatensatz zu einem oder zu verschiedenen Aufnahmezeitpunkten (*mono- oder multitemporal*) neue Bilddaten entstehen können, zählt die Berechnung von Indizes.“ (DE LANGE 2006). Mithilfe der Ratio-Bildung werden oft Vegetationsindizes ermittelt, die für Vegetations- und Landnutzungskartierung und andere vegetationsbezogene Untersuchungen wichtig sind. (LÖFFLER et al. 2005). Für Landsat-Daten wird oftmals der Vegetationsindex „*Normalized Difference Vegetation Index*“ (NDVI) als bekanntester Parameter folgendermaßen errechnet: (HILDEBRANDT 1996, COENRADIE et al. 2002).



$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

NIR = (naher) Infrarot-Kanal (z.B. Kanal 4 beim TM, Kanal 3 beim MSS),

R = Rot-Kanal, z.B. (Kanal 3 beim TM, Kanal 2 beim MSS).

Die Vorteile des NDVI sind seine Anwendbarkeit und die Reduzierung von Kalibrierungsfehlern der Sensoren (LÖFFLER et al. 2005) sowie die Reduzierung der Beleuchtungsunterschiede, welche durch das Geländere relief verursacht werden (Abbildung 5.8).

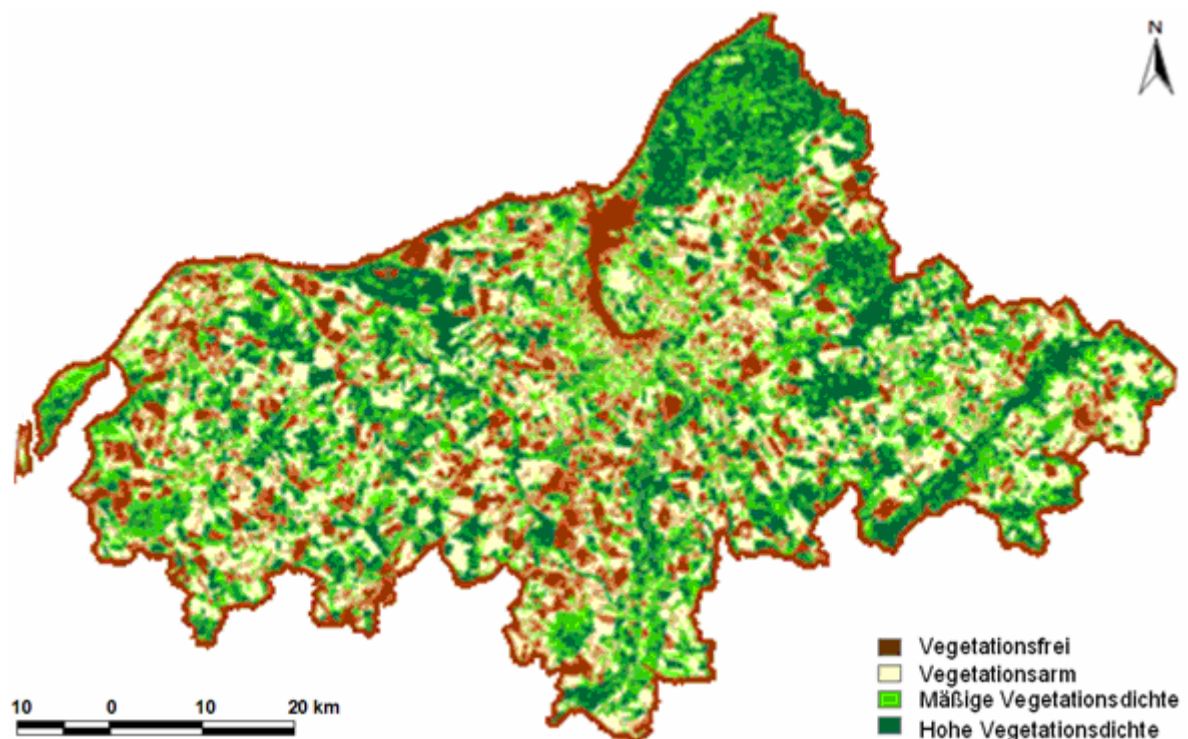


Abbildung 5.8: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI 1999) (Quelle: eigene Darstellung)

## 5.2 Klassifizierung/Segmentierung

Zunehmend tritt die objektorientierte Bildklassifikation an die Stelle der bisher zumeist genutzten pixelbasierten Methoden. Dies soll auch hier genutzt werden. Mittels objektorientierter Bildklassifikation können einige Schwächen der klassischen, pixelbasierten Klassifikationsansätze vermieden werden. Durch die Möglichkeit, nicht allein die spektrale Signatur als Klassifikationsmerkmal, sondern auch verschiedene Parameter wie z. B. Farbe, Textur, Form-

faktoren, Flächengrößen, Nachbarschafts- und Hierarchiebeziehungen zu nutzen, wird dieser Ansatz der steigenden Komplexität der Bilddaten besser gerecht als pixelbasierte Klassifikationsansätze. Durch diesen Bearbeitungsschritt wird ein Bild in mehrere Segmente unterteilt (DEFINIENS 2004, KIRSTEIN 2004, KOCH et al. 2003).

Ein großes Probleme im herkömmlichen pixelbasierten Verfahren wie z. B. der Maximum-Likelihood-Klassifikation sind sogenannte „Salz und Pfeffer-Resultate“ (SCHIEWE und TUFTE 2002). (Abbildung 5.9) zeigt diesen Effekt bei einer Maximum-Likelihood-Klassifizierung. Dies lässt sich durch objektorientierte Bildanalyse minimieren.

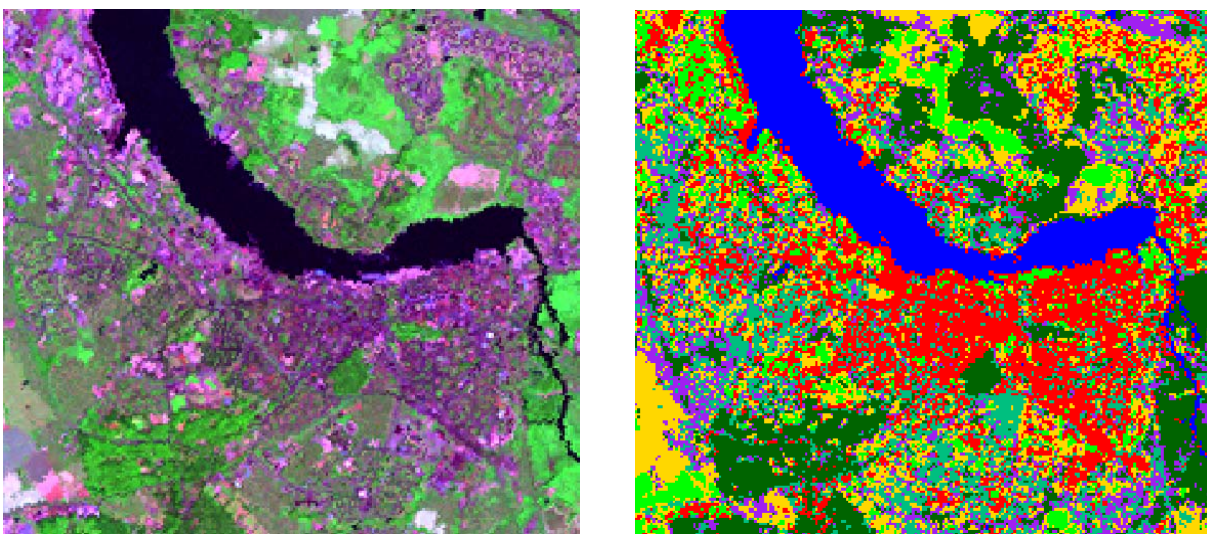


Abbildung 5.9: Salz und Pfeffer-Effekt bei einer Maximum-Likelihood-Klassifizierung (Quelle: eigene Darstellung)

### 5.2.1 Segmentierung in eCognition

Zur Segmentierung kommt eCognition Professional Version 4.0 zum Einsatz, ein kommerzielles Produkt der Firma Definiens Imaging AG (<http://www.definiens.com>) auf dem Gebiet der objektbasierten Bildanalyse für Segmentierung und Klassifizierung von Bilddaten im Bereich der Fernerkundung. Die Bildinterpretation in eCognition wird in zwei Stufen unterteilt: die Segmentierung und die Klassifikation (Abbildung 5.10).

Im ersten Schritt, nach dem Laden der Bilddaten in eCognition, erfolgt die Durchführung der Bildsegmentierung als „*Multiresolution Segmentation*“. Die „*Multiresolution Segmentation*“ ist die Zuordnung von benachbarten Pixeln zu zusammenhängenden homogenen Regionen oder Segmenten unter Berücksichtigung eines Homogenitätskriteriums.

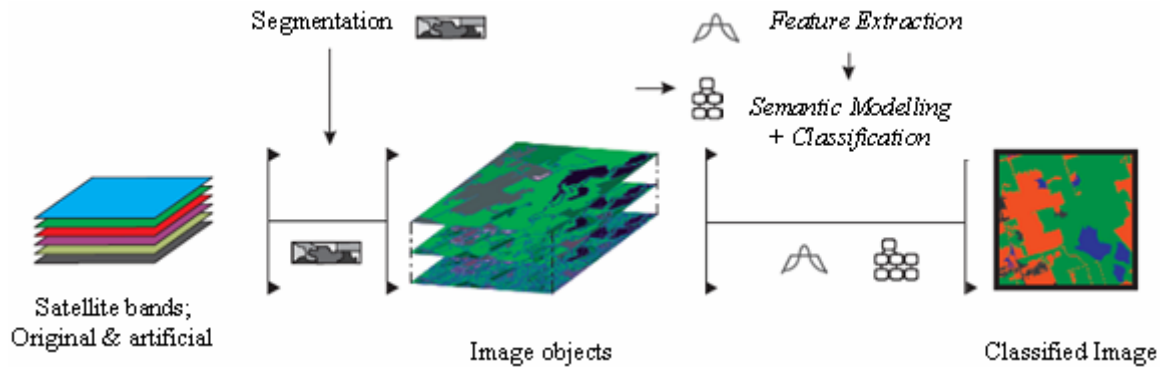


Abbildung 5.10: Ablaufschema von objektbasierter Bildanalyse in eCognition (Quelle: NUSSBAUM 2008)

Weitere Informationen über Segmentierung finden sich in (SCHIEWE 2002, BLASCHKE 2000). Für die Bildsegmentierung werden die folgenden Parameter benötigt:

- Gewichtung der Eingangslayer
- Art der Segmentation (Normal / Sub Object line analysis).
- Skalierungsparameter: Dieser Parameter ist ein abstrakter Wert, der die maximal mögliche Änderung der Heterogenität der zu verschmelzenden Objekte darstellt. Somit werden indirekt zwei Parameter einbezogen, die Heterogenität und Größe der Objekte. Ein gleich hoher Skalierungsparameter würde bei Radardaten auf Grund der höheren Heterogenität kleinere Segmente ergeben.
- Mit den Kriterien Farbe und Form soll ausgewogen werden, welches der Elemente einen wichtigeren Platz bei der Klassifikation einnimmt (aufsummiert zu 1). Die Form wird zusätzlich untergliedert in Smoothness und Compactness.

Die Abbildung 5.11 zeigt die Vorgehensweise bei der Definition der Homogenitätskriterien Farbe und Form. Die Form kann noch über die Glattheit und Kompaktheit genauer angegeben werden.

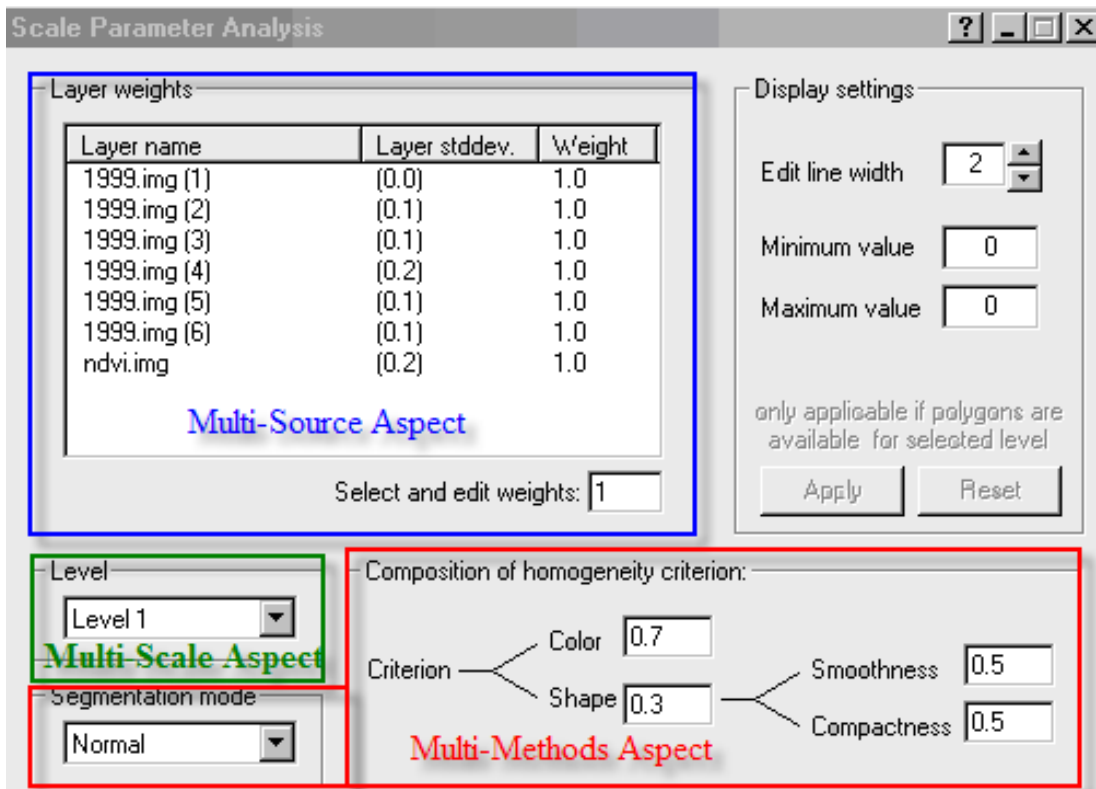


Abbildung 5.11: Dialogfenster zur Multiresolution Segmentation in eCognition 4.0

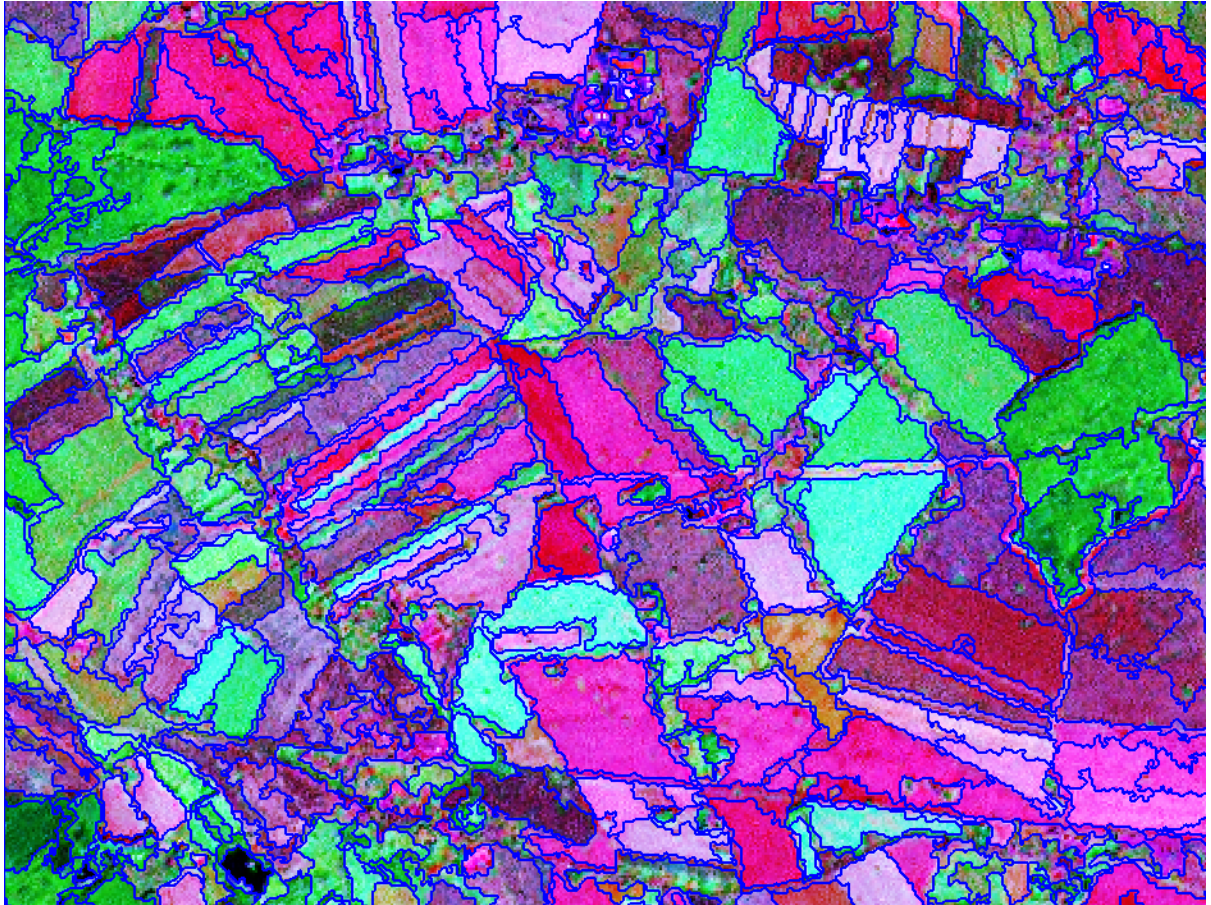
Die Segmentierung der vorliegenden Bilder erfolgt auf der Grundlage der NDVI und aller Kanäle. In der folgenden (Tabelle 5.7) sind die Segmentierungsparameter und die Definition der Homogenitätskriterien für alle Bilddaten dargestellt.

Tabelle 5.7: Segmentierungseinstellungen für die Bilddaten

Bild	Scale Parameter	Color	Shape	Smoothness	Compactness
1973	20	0,7	0,3	0,1	0,9
1989	15	0,7	0,3	0,1	0,9
1999	10	0,7	0,3	0,9	0,1

Die (Abbildung 5.12) zeigt die Segmentierungsergebnisse von Bilddaten. Sie wurden in RGB der Kanäle 1,4,7 dargestellt.





*Abbildung 5.12: Segmentierungsergebnis mit den in der Tabelle (4.6) angegebenen Parametern, im Hintergrund die CIR--Darstellung des Untersuchungsgebiets (Quelle: eigene Darstellung)*

## **5.2.2 Objektorientierte Klassifikation**

Nachdem die Segmentierung von Bilddaten abgeschlossen ist, kann die Klassifizierung beginnen. Die verwendete Bildanalysemethode in eCognition für die Klassifizierung ist der objektorientierte Ansatz, bei dem das Wissen in einem so genannten semantischen Netz dargestellt wird. „Semantische Netze sind markierte Graphen. Die Knoten stellen die Repräsentation von Objekten, Ereignissen, Situationen etc. dar, während die Kanten im Graph die Beziehungen zwischen den Knoten verdeutlichen“ (BILL 1999).

### **5.2.2.1 Auswahl eines Klassifikationsschlüssel**

Im nächsten Schritt wird zunächst die Definition der Klassen als Wissensbasis notwendig. In eCognition werden die einzelnen Klassen hierarchisch durch eine „*Class Hierarchy*“ gebildet, beginnend mit einer groben Klassifikation auf der obersten Ebene in Abbildung 5.13:

- Bebauungsfläche (Straßen und Gebäude)
- Landwirtschaftsfläche (Äcker, Grünland und Wiesen)
- Strand
- Wälder (Wald, Einzelbäume und Hecken)
- Wasserflächen (Flüsse und Seen)



Abbildung 5.13: Klassenhierarchie der Flächennutzung – oberste Ebene

In dieser Arbeit werden die vorverarbeiteten Satellitenbilder nur auf der obersten Hierarchieebene klassifiziert, welches folgende Gründe hat:

- Die Klassifikation ist abhängig vom Maßstab resp. der räumlichen Auflösung (*Pixelgröße*). Diese ist extrem unterschiedlich bei den Satellitenbildern über die dreißig Jahre (Landsat MSS 79m, Landsat TM 30m, Landsat ETM+ 15m).
- Unterschiedlicher Aufnahmezeitpunkte der Bilddaten: Die Struktur des eingerichteten Landnutzungsinformationssystems erlaubt ebenfalls die Einbeziehung von Klassifizierungsergebnissen verschiedener Jahre. Auf diese Weise kann die zeitliche Veränderung bestandesweise nachvollzogen werden und bildet die Grundlage für die Landnutzungsforschung. Dazu sind Satellitenbilder einer Zeitreihe und die Landbedeckungseinheiten der entsprechenden Perioden erforderlich. Der Vergleich von Satellitenbildern aus verschiedenen Jahren ist nicht ohne weiteres möglich. Die Sensoren der Aufnahmegerate messen neben der Reflexion der Erdoberfläche auch die Einflüsse der Atmosphäre, welche sich im Zeitablauf unterscheiden.
- Kompatibilität und Vergleichbarkeit für das Monitoring der Urbanisierung mit anderen Arbeiten.

- Die radiometrische Anpassung der Vergleichsszenen spielt für die Auswertung eine wichtige Rolle, da temporale Vergleiche angestellt werden. Neben fernerkundlichem Bildmaterial sind zur Bestimmung der Flächennutzung häufig zusätzliche Informationen notwendig. Durch Umfang, Qualität und Aktualität der Zusatzdaten wird die Güte der Flächenbestimmung beeinflusst. Aufgrund des Rückblicks in die Vergangenheit gibt es aber keine zusätzlichen Informationen zu den Landnutzungssituation für die Jahre 1973 und 1989.

### 5.2.2.2 Standard Nearest Neighbour (SNN)

Die Standard Nearest Neighbor Funktion in eCognition bildete die Grundlage der Klassifikation der in dieser Arbeit verwendeten Daten. Der Standard Nearest Neighbour (SNN) wird für alle Klassen gleich festgelegt und bildet so einen einheitlichen Merkmalsraum (*Feature Space*). Dies hat den Vorteil, dass für die jeweiligen Klassen nicht immer wieder die gleichen Merkmale ausgewählt werden müssen.

### 5.2.2.3 Auswahl der Referenzflächen (Trainingsgebiete)

Die Standard Nearest Neighbor-Klassifikation im eCognition (siehe DEFINIENS 2004) ist ähnlich zur überwachten Klassifikation in der allgemeinen Bildanalysesoftware. Für die Standard Nearest Neighbor-Klassifikation müssen die Referenzflächen - sogenannte Trainingsgebiete, von denen bekannt ist, welcher Objektklasse sie angehören - manuell festgelegt werden. Es ist wichtig, dass die im Bild vorhandenen Klassen durch diese einzelnen Trainingsgebiete als Polygone komplett erfasst wurden, um Unterscheidungskriterien festzulegen. Bei überwachten Klassifikationsverfahren können verschiedene methodische Ansätze zur Klassenzuweisung in Betracht gezogen werden. Um die fünf Klassen zu definieren, können Trainingsgebiete der bekannten Flächen im Bild hergestellt werden. Dies geschieht durch einfache Zuordnung der Polygone zur jeweiligen Klasse.

Nachdem die Bestände der Trainingsgebiete dem jeweiligen Klassenaufbau zugeordnet wurden, kann die Spektralverteilung der einzelnen Klassen in den verschiedenen Kanälen dargestellt werden. Auf Basis dieser Verteilung wurden für alle Spektralkanäle nachfolgende Zuordnung erstellt (Abbildung 5.14).

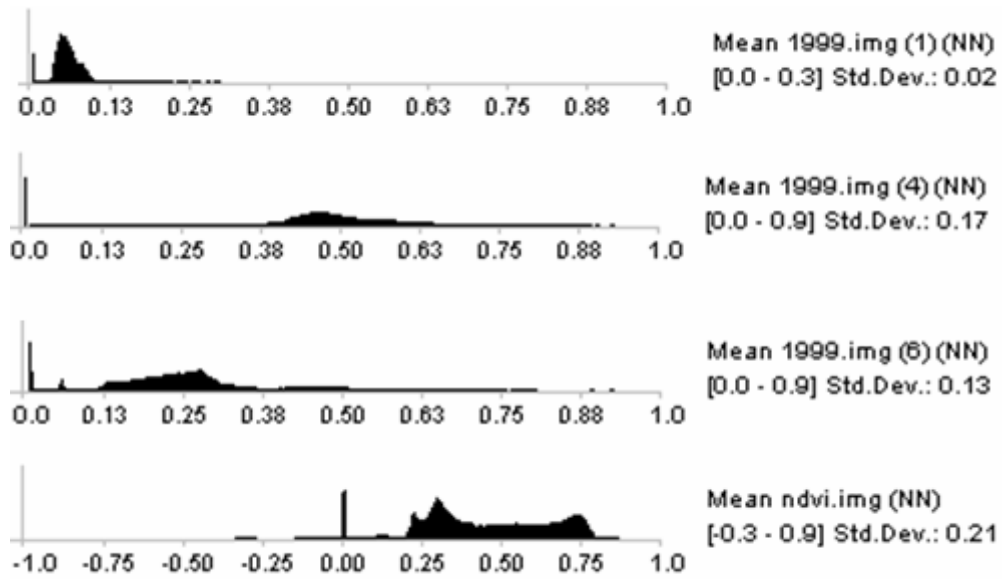


Abbildung 5.14: Spektralverteilung in den Kanälen (ETM 1999) 1,4,7, NDVI

Um die fünf Klassen zu definieren, können Trainingsgebiete der bekannten Flächen im Bild durch einfache Zuordnung der Polygone zur jeweiligen Klasse hergestellt werden.

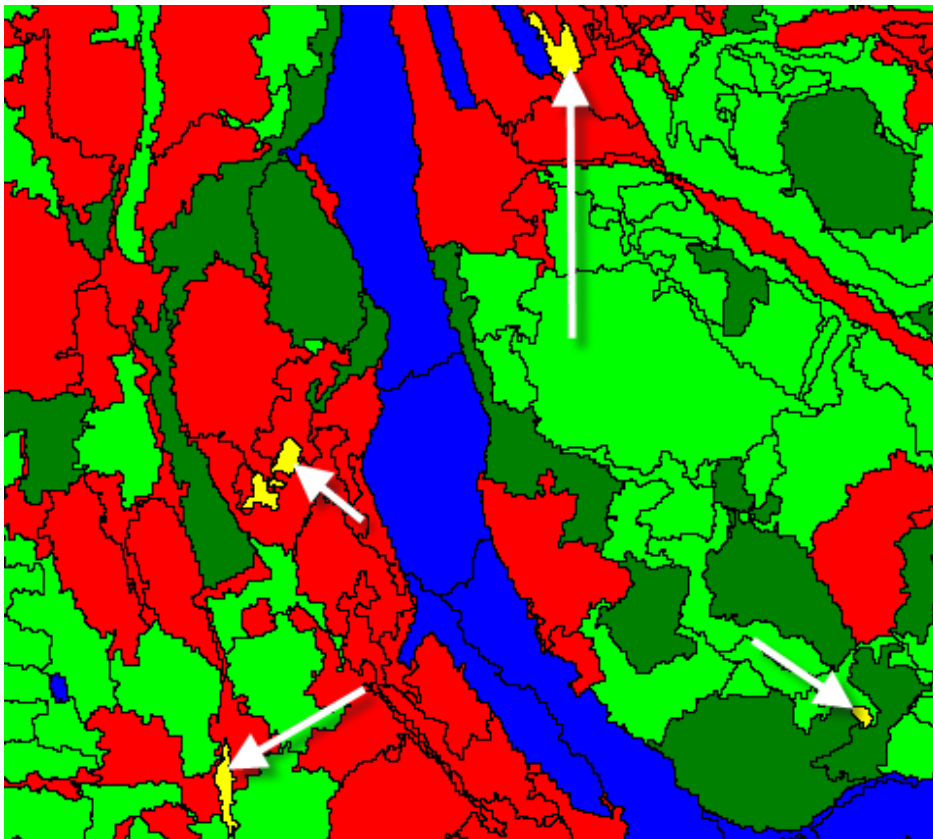
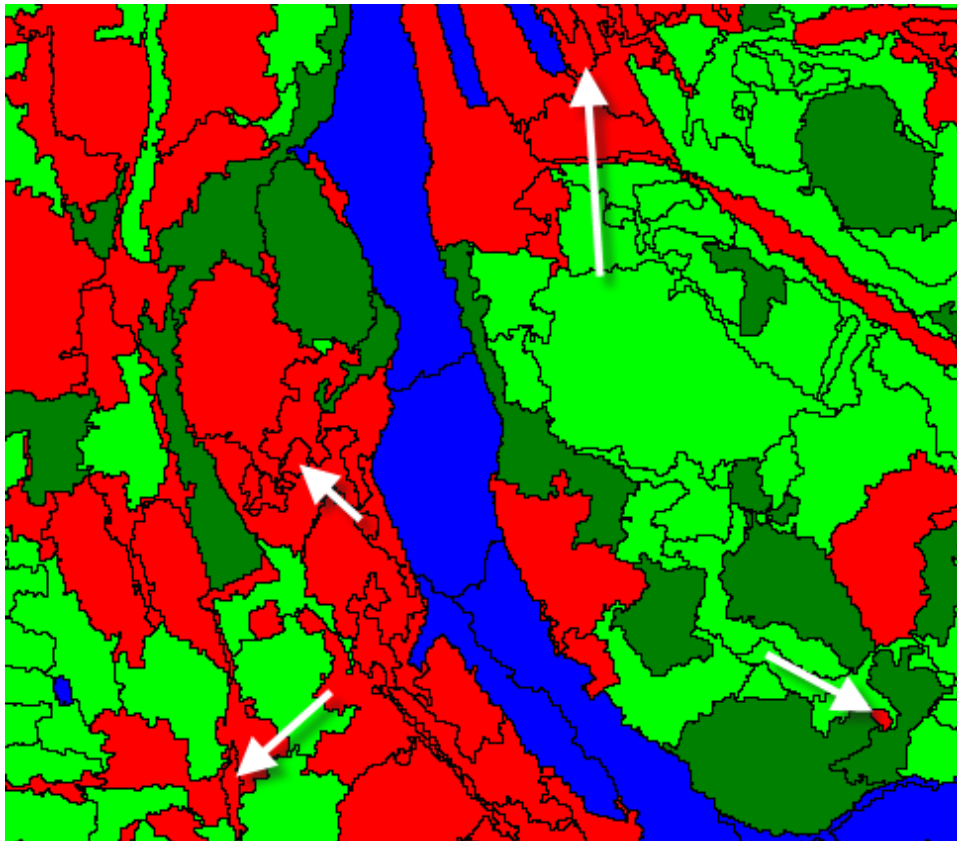


Abbildung 5.15: Klassifikationsergebnis der Segmentierung nach einem Klassifikationsdurchlauf (Quelle: eigene Darstellung)

Im ersten Klassifikationsdurchlauf (Abbildung 5.15) geben die gelben Flächen falsch klassifizierte Segmente an. Fehlerhaft klassifizierte Flächen bedürfen einer Veränderung der Klassenbeschreibung. Die Software eCognition bietet dazu die Möglichkeit, die Zugehörigkeiten von Segmenten manuell am Bildschirm zu verändern. (Abbildung 5.16) zeigt das auf diese Weise manuell nachbearbeitete Endergebnis einer mit der ersten Segmentierung durchgeführten Klassifizierung.



*Abbildung 5.16: Klassifikationsergebnis der Segmentierung nach manueller Nachbearbeitung (Quelle: eigene Darstellung)*

Verschiedene Faktoren können die Zuweisung von Klassen negativ beeinflussen. Die natürliche Abwandlung der spektralen Merkmale von verschiedenen Landnutzungsklassen bestimmt entscheidend die Genauigkeit. Fehler können z. B. auftreten, wenn verschiedene Oberflächen ein mehr oder weniger gleiches spektrales Verhalten aufweisen oder als homogen angesehene Oberflächen Anteile signifikant verschiedener Klassen enthalten. Neben der unsicheren Klassenzuweisung können auch bei der benutzerabhängigen Klassendefinition unscharfe Aussagen das Klassifikationsergebnis beeinträchtigen.



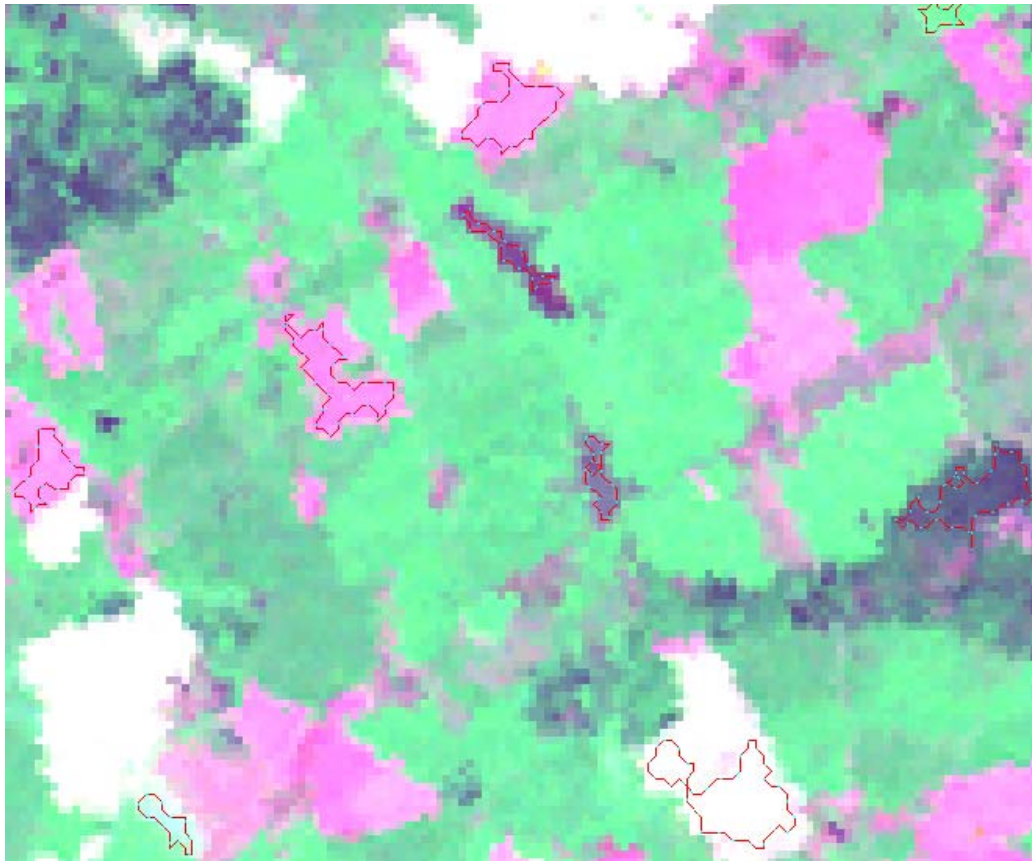
### 5.2.3 Accuracy Assessment (Klassifikationsgenauigkeit)

Die Bewertung der Genauigkeiten einzelner Landnutzungsklassifikationsergebnisse ist ein sehr wichtiger Arbeitsschritt im Klassifikationsverfahren. Zur Bewertung der Klassifikationsgenauigkeit (*Accuracy Assessment*) können die Fehlermatrizen (*Error Matrix*) genutzt werden. Zur Bewertung der Genauigkeiten einzelner Landnutzungsklassen wurde auf zwei unterschiedliche, in der Fernerkundung übliche Validierungsparameter zurückgegriffen. Die „*User Accuracy*“ bewertet aus der Sicht des Nutzers den Anteil richtig klassifizierter Pixel in Abhängigkeit zu allen im Ergebnisbild dargestellten und kontrollierten Pixel einer Landnutzungs-klasse. Die „*Producers Accuracy*“ zeigt dagegen dem Bildinterpreten an, wie viel Prozent der ausgewählten Referenzpixel einer Nutzungsform auch tatsächlich der entsprechenden Nutzung zugewiesen wurden (CONGATON 1991). Diese Bewertungsparameter sind nur zur getrennten Betrachtung einzelner Nutzungsklassen geeignet und zeigen zum Teil erhebliche Differenzen innerhalb einzelner Klassen.

Um die Genauigkeitsanalysen der Klassifikationsergebnisse durchführen zu können, sind Ground Truth-Daten unabdingbar (NASA 2007). Als optimales Verfahren wird derzeit der Vergleich der thematischen Satellitenbilddauswertung mit unabhängigen Kontrollflächen auf Stichprobenbasis angesehen (JENSEN 1996). Derartige Verfahren basieren auf dem Vergleich zwischen dem Klassifikationsergebnis und Referenzdaten, die aus als korrekt angenommenen Quellen stammen (z. B. *eigene Kartierung, digitaler ATKIS-Datensatz, Biotoptypenkartierung, topographische Karten*) (DE LANGE 2006). Auf Grund der großen Zeitspanne zwischen dem Aufnahmezeitpunkt der Satellitenbilder und der Verarbeitung der Bilder konnten vor Ort im Untersuchungsgebiet keine Referenzdaten (*ground truth*) erfasst werden. Deshalb wurde zur Ableitung von Referenzdaten auf vorhandene Geoinformationen aus Corine Land Cover 1990 und ATKIS 1999 zurückgegriffen. Die Referenzgebiete sollten „sicher“ erkannt werden und möglichst „mustergültige“ Referenzflächen für die jeweilige Klasse sein.

Bevor die Referenzgebiete festgelegt wurden, wurde an einer Analyse (*spektral und topologisch*) der einzelnen Corine Land Cover-Klassen und ATKIS für das Untersuchungsgebiet gearbeitet, um eine spätere Generierung von Corine Land Cover-Objekten aus Landnutzungsklassen zu gewährleisten. Hierzu wurden in ArcGIS aus ATKIS-1999 und Corine Land Cover 1990 einzelne Referenzgebiete ausgewiesen und für die fünf Klassen im grid-Format festgelegt. Diese Vorgehensweise erweist sich gegenüber der szenenspezifischen Auswahl von Re-

ferenzgebieten dann als vorteilhaft, wenn keinerlei Informationen über die zu analysierende Aufnahme vorliegen (NIEMEYER 2001). Hingegen wurden für das Bild 1973 Referenzgebiete visuell aus dem Satellitenbild selbst ermittelt und auch als grid-File festgelegt. Um für alle Klassen vollkommen ausreichende Referenzgebiete zu bekommen, werden zuerst die Flächen für alle Klassen gesucht und dann, innerhalb dieser Flächen, die Referenzgebiete interaktiv vom Autor, zufällig verteilt. (Abbildung 5.17).



**Abbildung 5.17: Referenzgebiete im Satellitenbild 1973 (Quelle: eigene Darstellung)**

Zur Beurteilung eines Klassifikationsgüte ist die Fehler-Matrix (*Konfusionstafel*) (engl. *Error Matrix*) ein geeignetes Mittel (GANGKOFNER 1996). In ihr werden das Klassifikationsergebnis und die Referenzdaten gegenübergestellt. Zum Erzeugen von Referenzdaten werden für alle in der Realität vorkommenden Klassen Stichproben genommen, deren Lage zufällig ist. Um für alle Klassen ausreichend Stichproben zu bekommen, werden zuerst die Flächen für alle Klassen gesucht und dann, innerhalb dieser Flächen, die Stichproben zufällig verteilt. Dieser Schritt ist notwendig, weil sonst die Klassen, die nur wenig Fläche bedecken, zu wenig Stichproben bekommen würden oder aber die Anzahl der Stichproben zu groß werden würde. Die Klassenzuordnung der Stichproben erfolgte mit Hilfe der Landsat-Daten, der ATKIS-

Daten und der CORINE-Daten. Die Stichproben können als TTA (*Training and Test Area*) (Abbildung 5.18) in eCognition importiert werden.

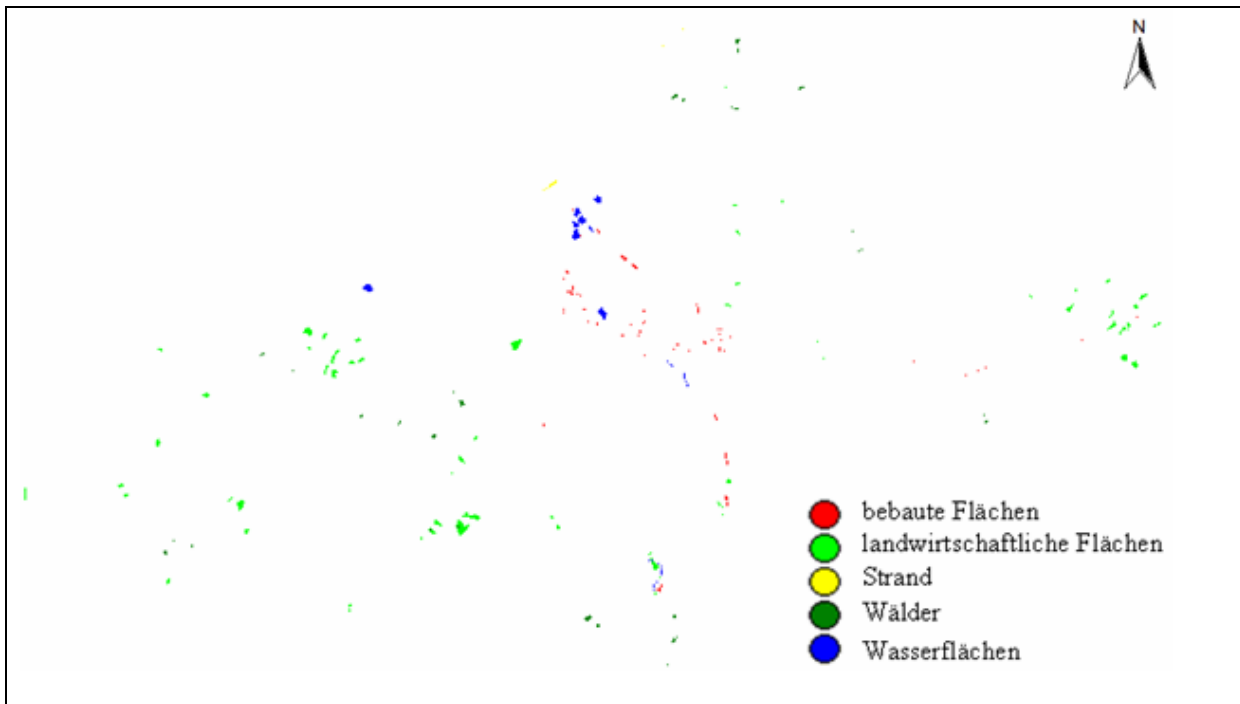


Abbildung 5.18: TTA-Maske für die Konfusionstafel (Error Matrix) für Satellitenbild 1999 (Quelle: eigene Darstellung)

Tabelle 5.8: Fehlermatrix der Landnutzungsklassifikation von Landsat-MSS 1973

Fehler-Matrix basiert auf TTA Mask						
Nutzer/Referenz	Bebaute Flächen	Landwirtschaftliche Flächen	Wälder	Wasserflächen	Strand	Summe
Konfusionmatrix						
Bebaute Flächen	554	63	44	15	0	676
Landwirtschaftliche Flächen	34	9250	500	14	6	9804
Wälder	0	68	9556	1	1	9626
Wasserflächen	29	0	88	938	6	1061
Strand	0	0	0	0	85	85
unklassifiziert	0	1	0	0	0	1
Summe	617	9382	10188	968	98	
Genauigkeit						
Producer	0,8979	0,8959	0,9380	0,969	0,8673	
Nutzer	0,8195	0,9435	0,9927	0,884	1	
KIA pro Klasse	0,8945	0,9739	0,8866	0,9674	0,8668	
Gesamt						
Gesamtgenauigkeit	0,959					
KIA	0,9289					



Tabelle 5.9: Fehlermatrix der Landnutzungsklassifikation von Landsat-TM 1989

Fehler-Matrix basiert auf TTA Mask						
Nutzer/Referenz	Bebaute Flächen	Landwirtschaftliche Flächen	Wälder	Wasserflächen	Strand	Summe
Konfusionmatrix						
Bebaute Flächen	251	0	0	4	1	256
Landwirtschaftliche Flächen	8	2228	0	0	0	2236
Wälder	2	27	1295	0	3	1327
Wasserflächen	0	0	0	340	0	340
Strand	0	0	0	0	147	147
unklassifiziert	0	0	0	0	0	0
Summe	261	2255	1295	344	151	
Genauigkeit						
Producer	0,9617	0,988	1	0,9884	0,9735	
Nutzer	0,9805	0,9964	0,9759	1	1	
KIA pro Klasse	0,9593	0,975	1	0,9874	0,9726	
Gesamt						
Gesamtgenauigkeit	0,9895					
KIA	0,9833					

Tabelle 5.10: Fehlermatrix der Landnutzungsklassifikation von Landsat-ETM 1999

Fehler-Matrix basiert auf TTA Mask						
Nutzer/Referenz	Bebaute Flächen	Landwirtschaftliche Flächen	Wälder	Wasserflächen	Strand	Summe
Konfusionmatrix						
Bebaute Flächen	449	0	0	0	0	449
Landwirtschaftliche Flächen	11	7448	33	0	0	7492
Wälder	7	131	3337	0	0	3475
Wasserflächen	7	0	0	781	1	789
Strand	0	0	0	0	27	27
unklassifiziert	0	0	0	0	0	0
Summe	47	7579	3370	781	28	
Genauigkeit						
Producer	0,9473	0,9827	0,9902	1	0,9643	
Nutzer	1	0,9941	0,9603	0,9899	1	
KIA pro Klasse	0,9452	0,9554	0,9863	1	0,9642	
Gesamt						
Gesamtgenauigkeit	0,9845					
KIA	0,971					

## 5.2.4 Klassifizierungsergebnisse

Die Landnutzungen und deren Veränderung wurden durch die Klassifikation der Landsat-Daten (1973, 1989, 1999) ermittelt. Dabei wurde zum Teil ein sehr starker Anstieg der Bebauungsfläche im Untersuchungsgebiet Rostocker Region festgestellt. Die durchschnittlichen

jährlichen Zunahmeraten der Bebauungsflächen liegen zwischen 80 und 160 ha. Damit kann die Bebauungsflächenausdehnung als eine der Hauptursachen der Landnutzungsveränderung identifiziert werden

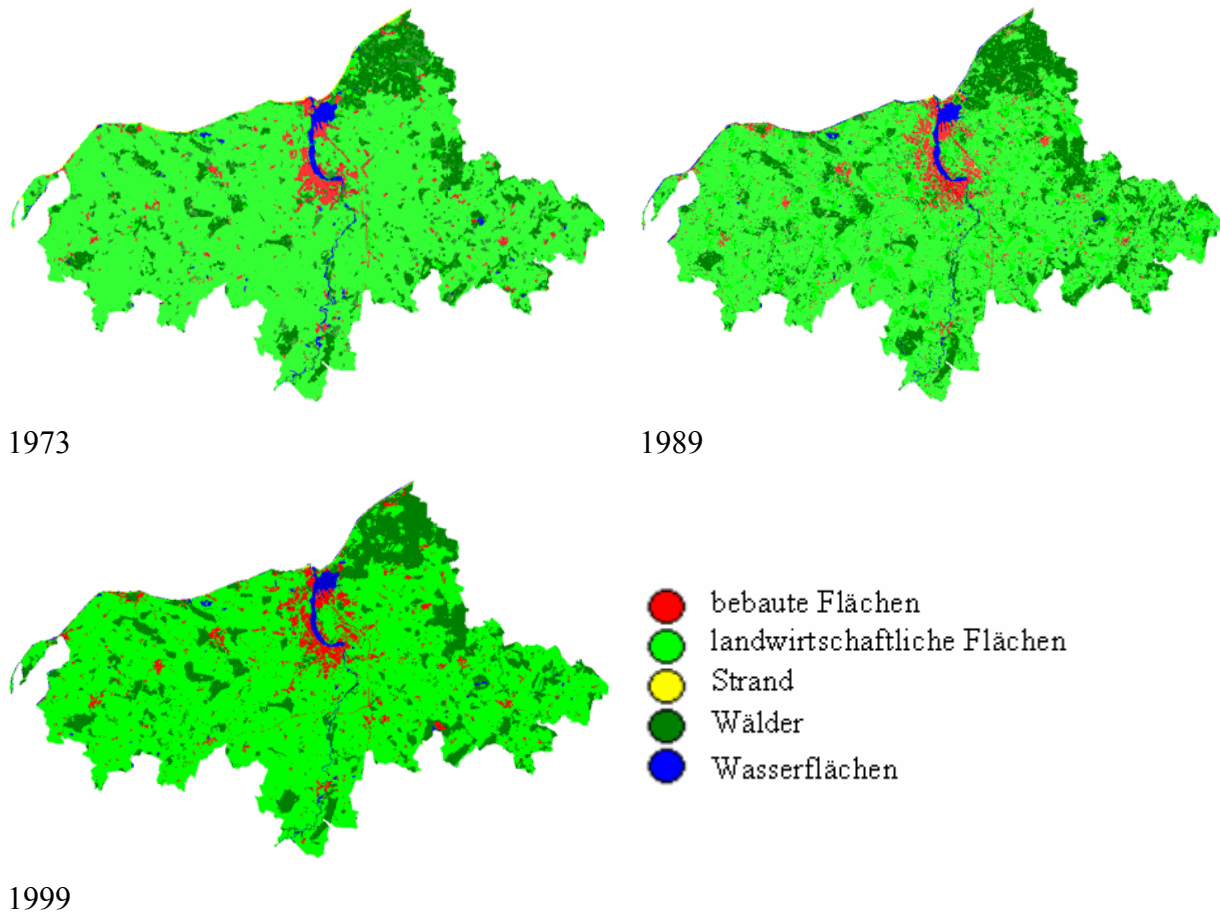


Abbildung 5.19: Landnutzungsklassifikationen 1973, 1989 und 1999 (Quelle: eigene Darstellung)

#### 5.2.4.1 Klassifikationsergebnisse 1973

Das Ergebnis der Landnutzungsklassifikationen lieferte graphisch und tabellarisch mit 5 Landnutzungsklassen (Abbildung 5.20) folgende Ergebnisse (vgl. Klassifikationsschema in (Tabelle 5.11): Bebauungsflächen 3,7 %, Landwirtschaftsfläche 77,5 %, Waldfläche 17,2 %, Wasserfläche 1,4 % und Strand 0,2 % der Gesamtfläche. Die Statistik mit Angaben für jede Klasse zeigt (Abbildung 5.20).

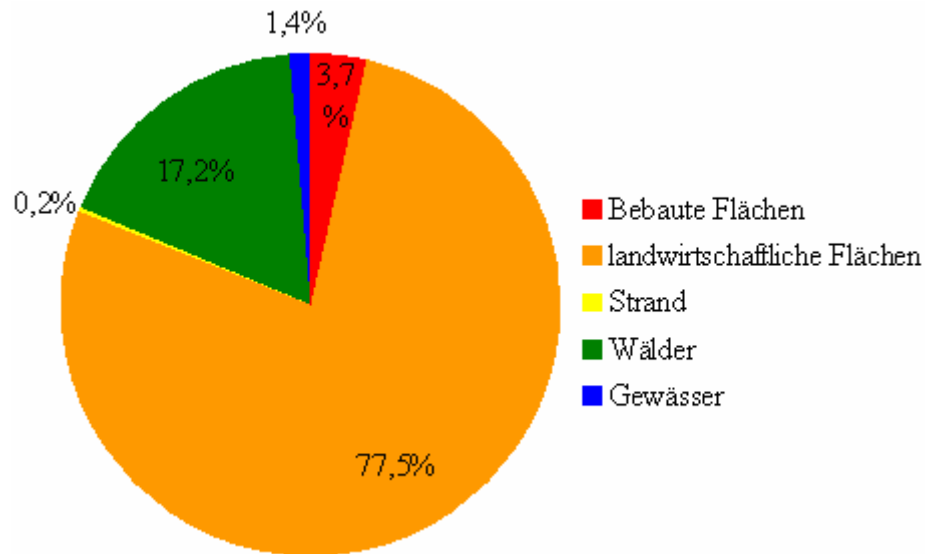


Abbildung 5.20: Flächenanteil der Landnutzung 1973 (Quelle: eigene Darstellung)

#### 5.2.4.2 Klassifikationsergebnisse 1989

Die folgende Abbildung 5.21 zeigt die Landnutzung in der Untersuchungsgebiet 1989; die bebaute Flächen ist 4,5 % (70,5 km<sup>2</sup>), die landwirtschaftliche Fläche ist 76,7 % (1192 km<sup>2</sup>).

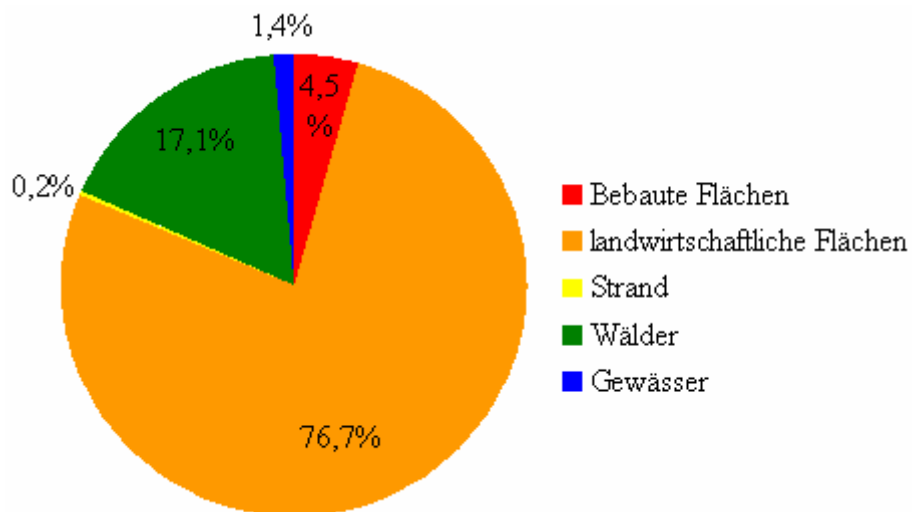


Abbildung 5.21: Flächenanteil der Landnutzung 1989 (Quelle: eigene Darstellung)

### 5.2.4.3 Klassifikationsergebnisse 1999

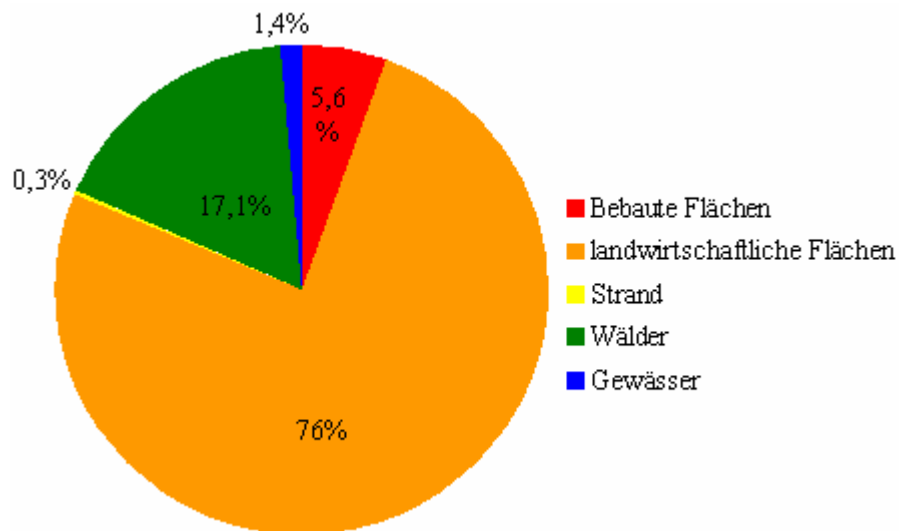


Abbildung 5.22: Flächenanteil der Landnutzung 1999 (Quelle: eigene Darstellung)

Die Ergebnisse der Landnutzungs-klassifikationen sind statistisch in der folgenden Tabelle 5.11 angegeben.

Tabelle 5.11: Flächenanteile der Landnutzungs-klassen für 1973, 1989, 1999

	1973		1989		1999	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
Bebaute Flächen	57,7	3,7	70,5	4,5	86,7	5,6
Landwirtschaftliche Flächen	1204,00	77,5	1192,4	76,8	1177,00	75,8
Strand	3,1	0,2	3,2	0,2	3,2	0,2
Wälder	267,1	17,2	265,9	17,1	265,1	17,1
Wasserflächen	21,1	1,4	21,00	1,4	21,00	1,4

# ***6 Multitemporale Landnutzungs- auswertungen und vergleichende Unter- suchungen***

## ***6.1 Landbedeckung und Landnutzung***

Beim Thema Klassifikation und dem Vergleich verschiedener Methoden zur temporalen Nutzungsauswertung ist es notwendig, vorab die Begriffe Landbedeckung (engl. *land cover*) und Landnutzung (engl. *land use*) voneinander zu unterscheiden. Beide Begriffe werden häufig im Zusammenhang mit Klassifikation von Fernerkundungsdaten verwendet. Nicht selten kommt es zu Verwechslungen dieser Termini.

Unter Landbedeckung versteht man die Art und die Ausstattung der Geländeoberfläche, den biophysikalischen Ist-Zustand der Geländeoberfläche (SCHNEIDER 2003) oder die physische Beschreibung des Raums, also die beobachtete (bio-)physische Bedeckung der Erdoberfläche. Man unterscheidet im Wesentlichen die biophysischen Kategorien Vegetationsflächen, unbewachsene Flächen, feste Oberflächen (*Felsen, Gebäude*) sowie Feuchtgebiete und Gewässer. Die Flächenbedeckung kann mit unterschiedlichem Abstand zur Erdoberfläche „beobachtet“ werden: durch Begehung, durch Luftbilder oder mittels Satellitensensoren.

Bei der Landnutzung erfolgt die Beschreibung der funktionalen Geländeoberfläche, also hinsichtlich der sozioökonomischen (*wirtschaftlichen, sozialen, kulturellen*) Nutzung. Die wichtigsten Landnutzungskategorien sind etwa Wohngebiet, Industriegebiet oder Gewerbeflächen, land- oder forstwirtschaftliche Gebiete, Erholungs- oder Schutzgebiete. Die Landnutzung kann im Gegensatz zur Landbedeckung nur teilweise, oft aber gar nicht unmittelbar beobachtet werden. Häufig sind zusätzliche Informationen notwendig (man kann die Landbedeckung allein aus Fernerkundungsdaten ableiten, aber für die Landnutzung benötigt man Zusatzinformationen). Teilweise kann man von der Landnutzung auf die Landbedeckung schließen und umgekehrt, doch oft ist die Verbindung nicht eindeutig bzw. offensichtlich. So kann bei einer Fläche, die von einem Weizenfeld bedeckt wird, auf eine landwirtschaftliche Nutzung geschlossen werden. Andererseits wird ein forstwirtschaftlich genutztes Gebiet der biophysi-

schen Klasse des Typs „Baum“ entsprechen. In anderen Fällen kann eine biophysische Kategorie (*Landbedeckung*) jedoch einer großen Anzahl funktionaler Kategorien (*Landnutzung*) entsprechen. Bei mit Gras bewachsenen Flächen kann es sich zum Beispiel um einen Rasen in einem städtischen Umfeld, um das Rollfeld eines Flugplatzes, eine Wiese, einen Golfplatz oder ein begrüntes Hausdach handeln. Aber auch eine funktionale Klasse kann sich über mehrere biophysische Kategorien erstrecken: so kann z. B. ein Wohngebiet aus Rasenflächen, Gebäuden, asphaltierten Straßen, Bäumen und offenen Flächen bestehen. Dieser in vielfacher Weise mehrdeutige Zusammenhang zwischen Bedeckung und Nutzung führt dazu, dass diese letztlich getrennt aufgenommen werden müssen.

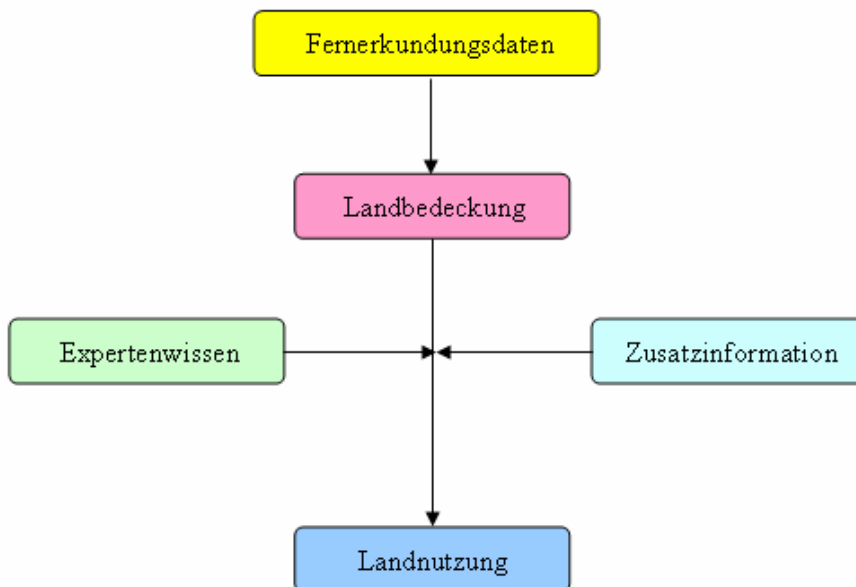


Abbildung 6.1: Erfassungsmethoden für Landbedeckung und Landnutzung

## 6.2 Landnutzung mittels Fernerkundungsansatz

### 6.2.1 Veränderungen von 1973 bis 1999

Für die Ermittlung von Veränderungen in der Landnutzung stehen die ermittelten Flächen zur Verfügung. Es sollen die Veränderungen, die durch den Vergleich der Klassifikation der drei Zeitpunkte ermittelt werden können, beschrieben werden.

### 6.2.1.1 Entwicklung der Bebauungsflächen

Ein Vergleich der Zeitschnitte zeigt, dass sich die Fläche der Bebauung von 57,5 km<sup>2</sup> im Jahr 1973 auf 70,5 km<sup>2</sup> im Jahr 1989 und 86,7 km<sup>2</sup> im Jahr 1999 erhöht hat (Abbildung 6.2), was einer Steigerung um über 22% bis 23% entspricht.

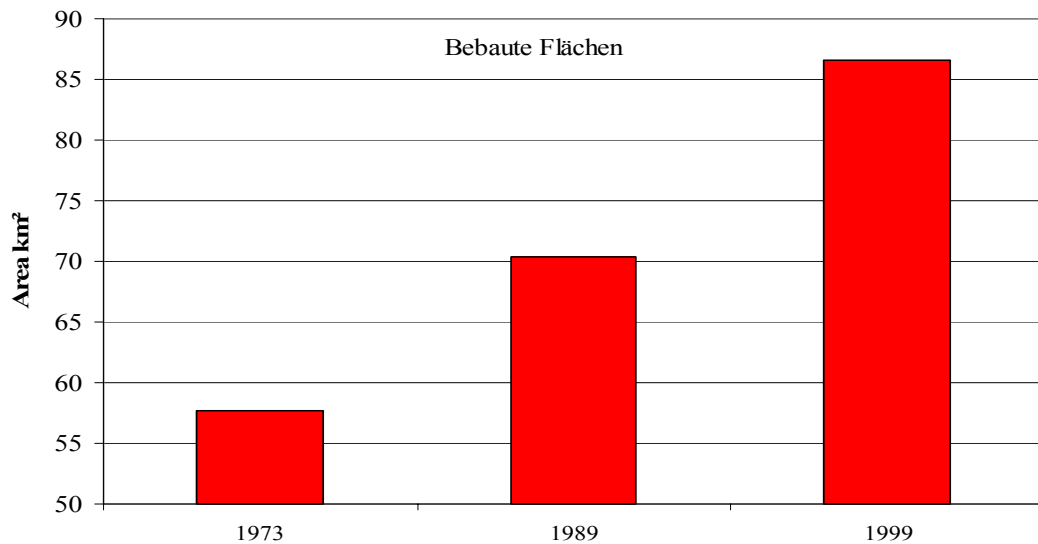


Abbildung 6.2: Zuwachs der Bebauungsflächen (Quelle: eigene Darstellung)

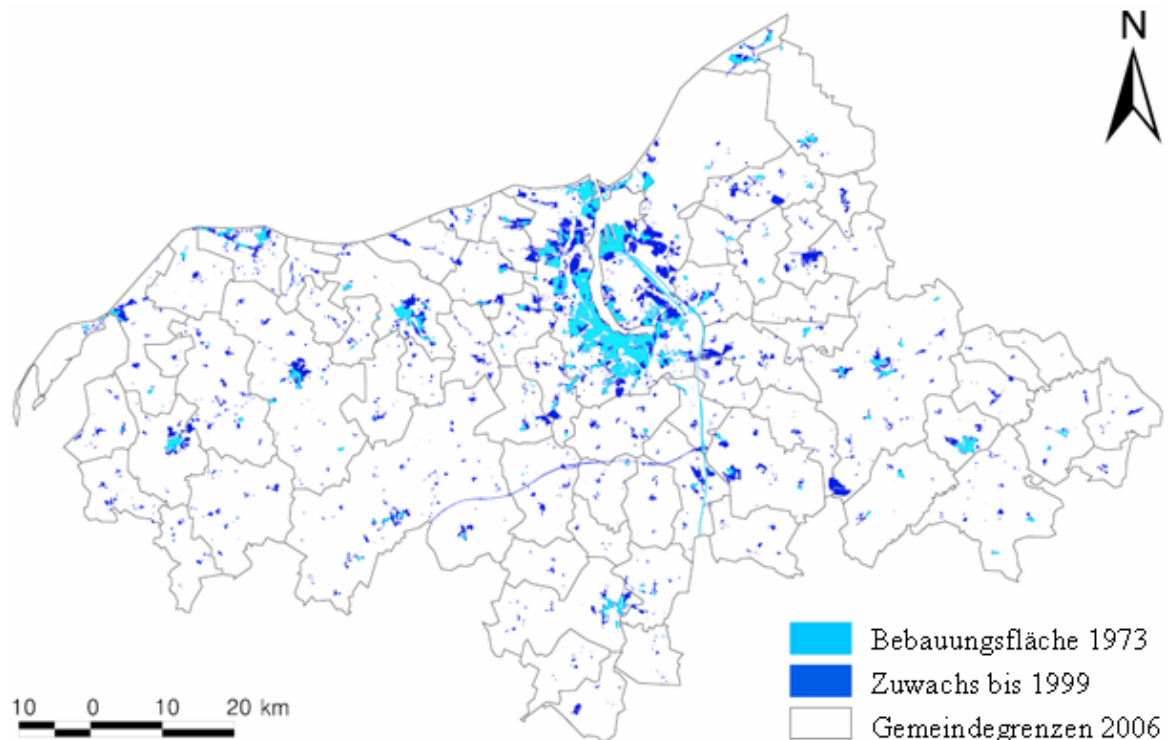


Abbildung 6.3: Entwicklung der Bebauungsflächen im Untersuchungsgebiet (Quelle: eigene Darstellung)

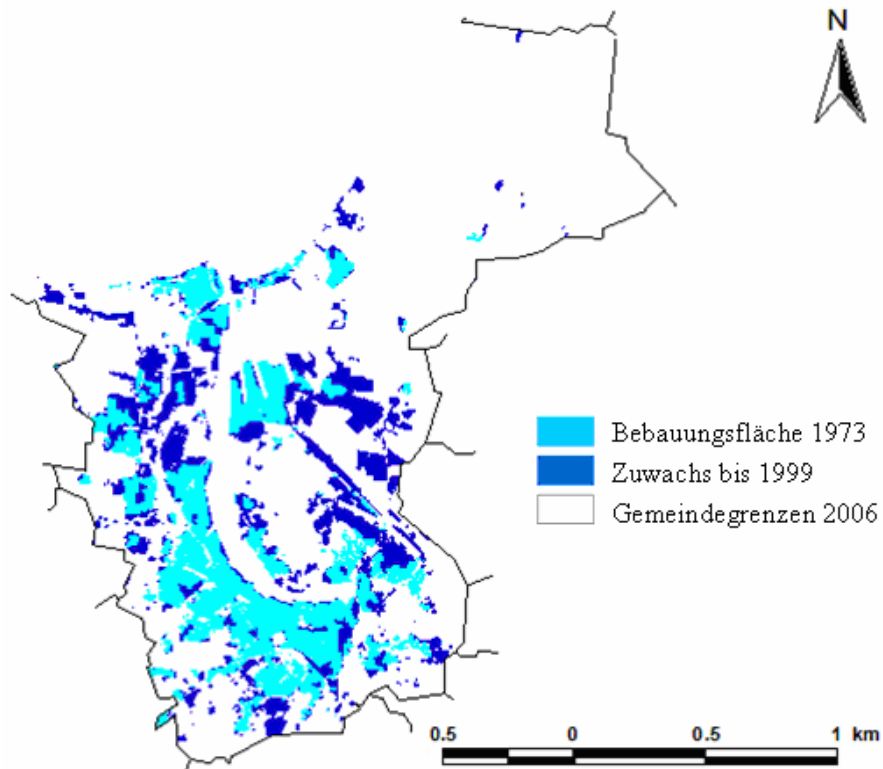


Abbildung 6.4: Entwicklung der Bebauungsflächen in der Hansestadt Rostock (Quelle: eigene Darstellung)

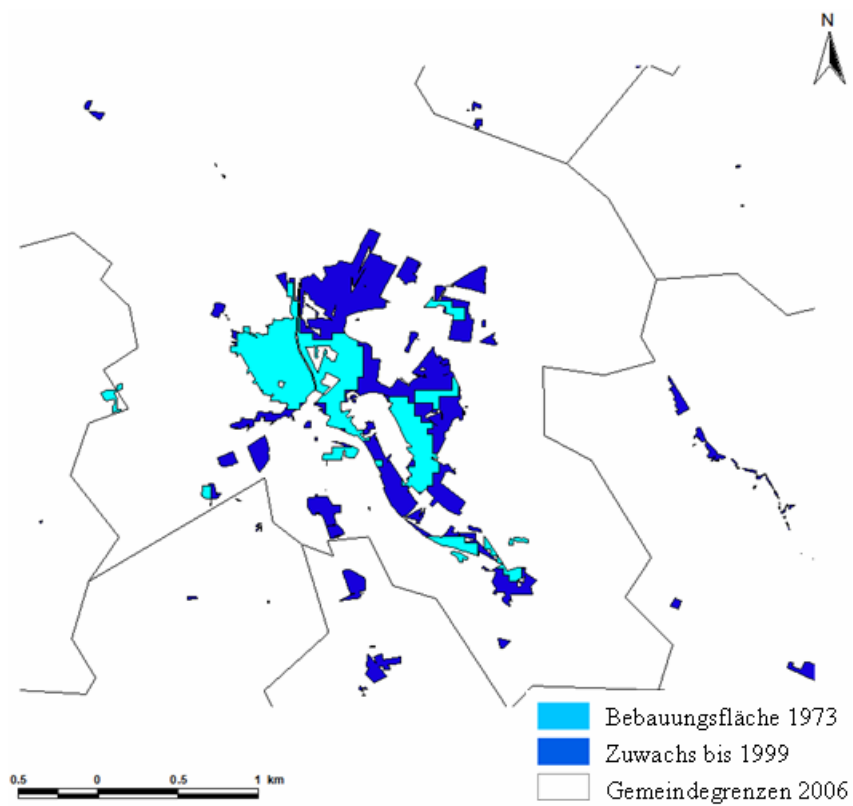


Abbildung 6.5: Entwicklung der Bebauungsflächen in der Stadt Bad Doberan (Quelle: eigene Darstellung)



### 6.2.1.2 Entwicklung der Landwirtschaftlichen Flächen

Die Landwirtschaftlichen Flächen haben von 1204 km<sup>2</sup> im Jahr 1973, 1192 km<sup>2</sup> im Jahr 1989 auf 1177 km<sup>2</sup> im Jahr 1999 abgenommen. Die (Abbildung 6.6) zeigt die Entwicklung der Landwirtschaftsflächen.

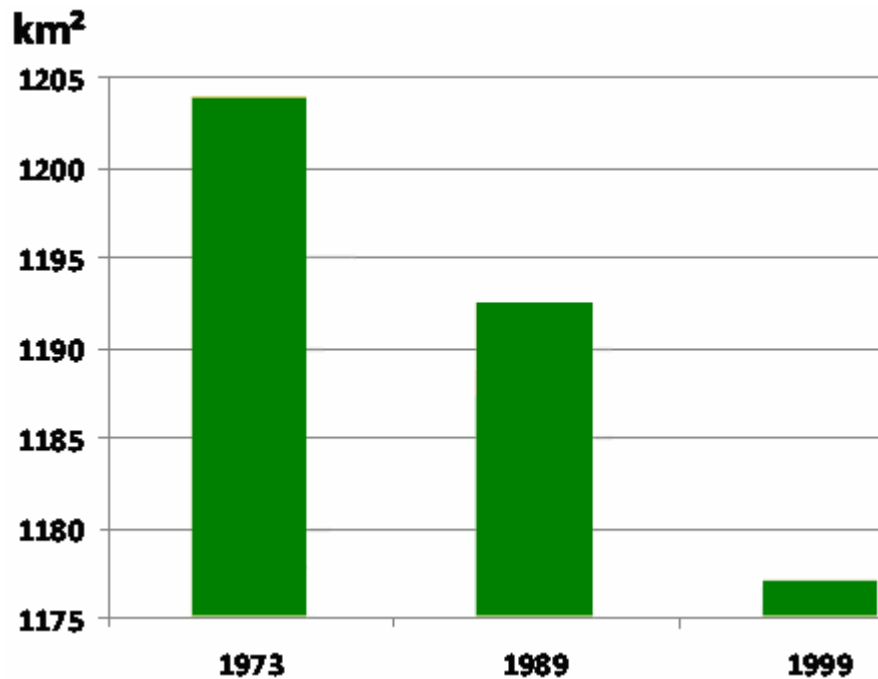


Abbildung 6.6: Abnahme der Landwirtschaftsflächen (Quelle: eigene Darstellung)

## 6.3 Landnutzungsveränderungen nach CORINE-Daten

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der CORINE-Interpretation kartographisch dargestellt und diskutiert. Für die Auswertung wurde der Gesamtdatensatz mit den Ebenen CLC1990rev und CLC2000 mit einem Datensatz der administrativen Grenzen der Gemeinden (Gebietsstand 2006) verschnitten. Aus der resultierenden Tabelle wurden alle hier dargestellten Ergebnisse abgeleitet.

Die Landnutzung wird mit 4 Landnutzungsarten der ursprünglich vorhandenen 44 Landnutzungsarten des Datenbestandes der Originalerhebung CLC 1990 und CLC 2000 reklassifiziert.

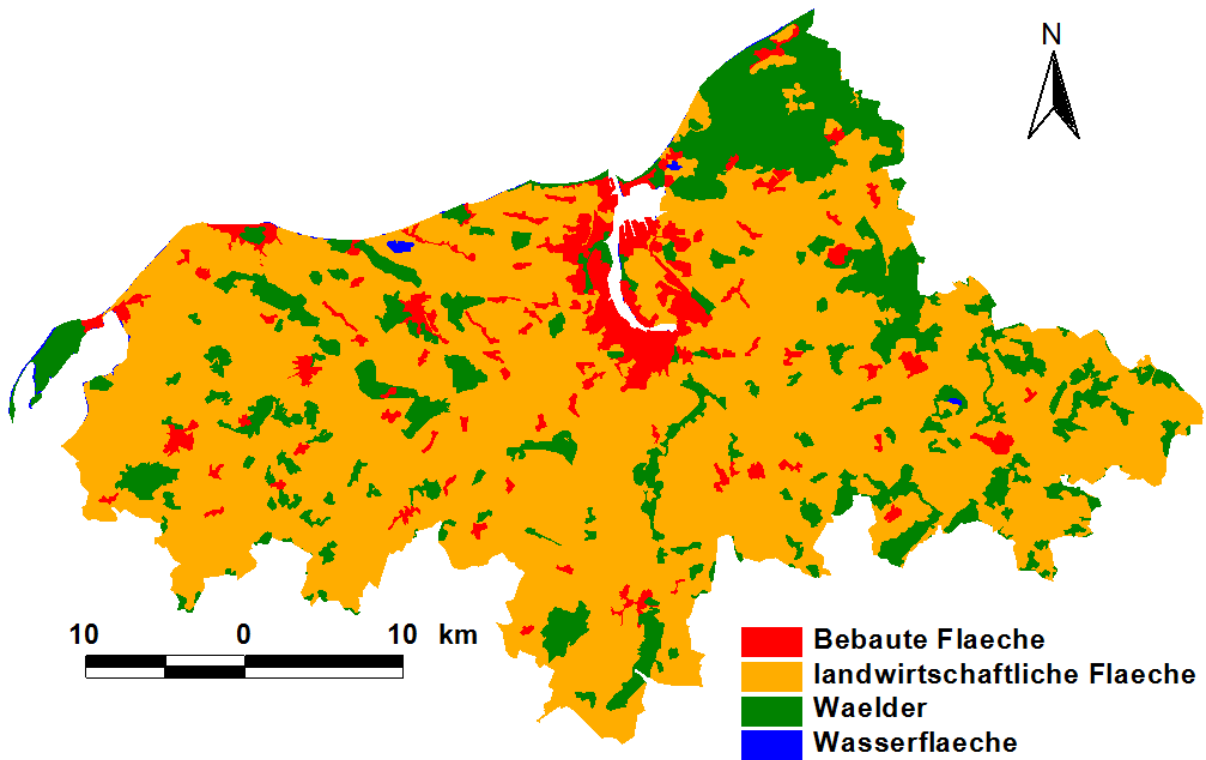


Abbildung 6.7: Reklassifizierte CORINE-LC 1990 (Quelle: eigene Darstellung)

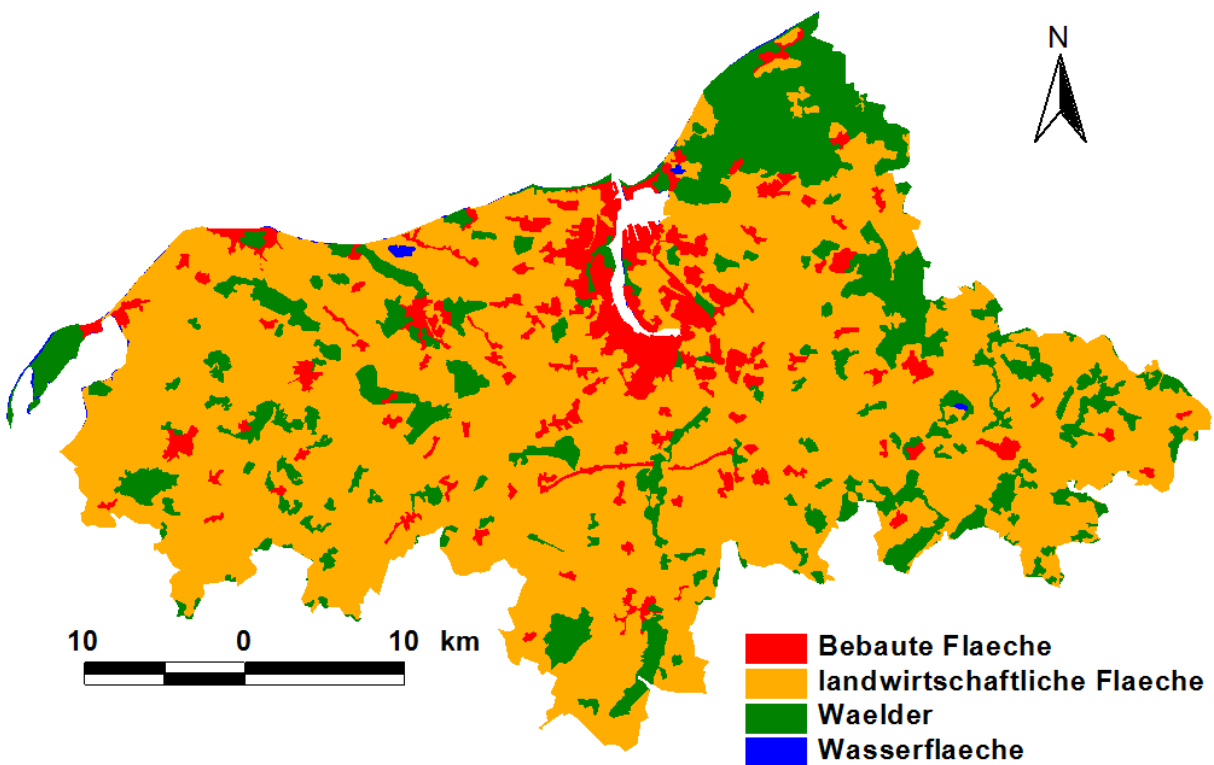
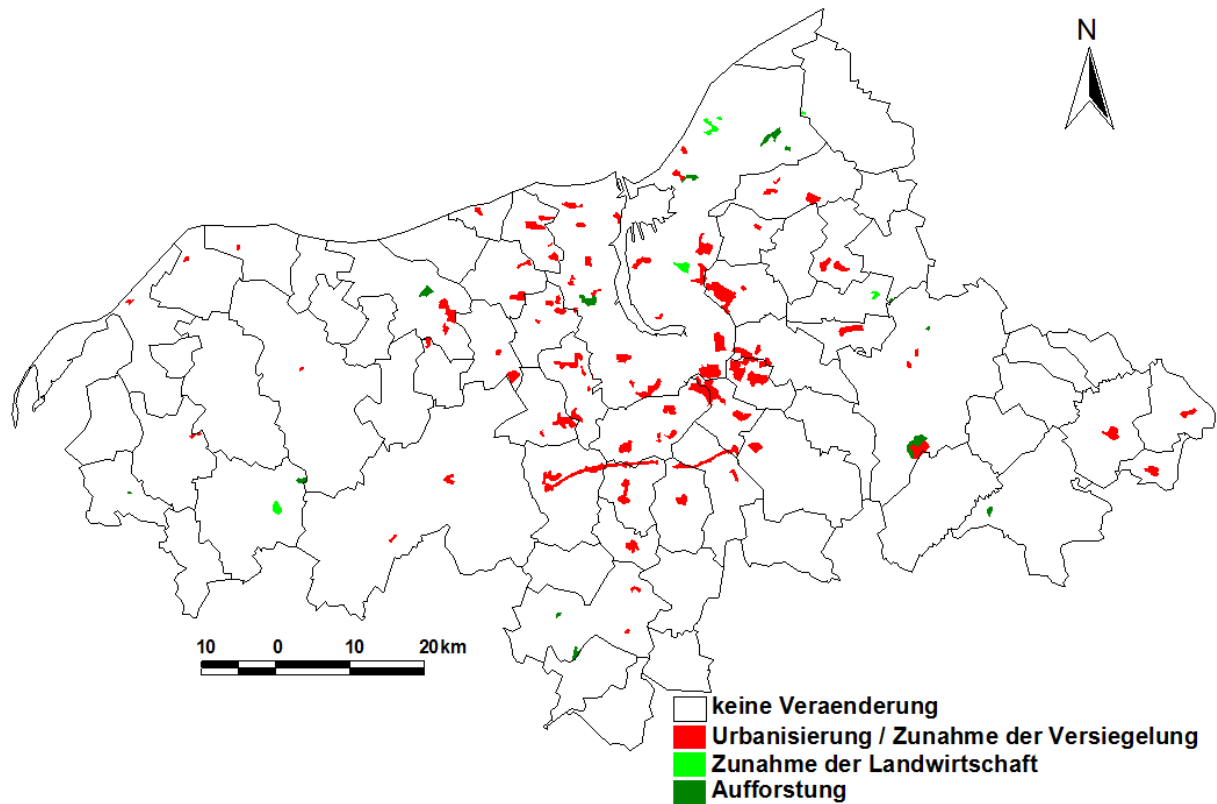


Abbildung 6.8: Reklassifizierte CORINE-LC 2000 (Quelle: eigene Darstellung)

Änderungsflächen (Corine Land Cover changes) wurde als Differenzflächen zwischen Corine Land Cover 1990 und Corine Land Cover 2000 detektiert (Abb. 6.9)



**Abbildung 6.9:** Landnutzungsveränderungen nach CORINE 1990 und 2000 (Level 1) (Quelle: eigene Darstellung)

Im Untersuchungsgebiet wird betrachtet, dass sich nach der Wiedervereinigung verschiedene Transformationsprozesse nachweisen lassen. Die Ausdehnung der Hansestadt Rostock ins Umland mit den neu urbanisierten Flächen (Wohngebieten und Industrie- und Gewerbeflächen) wird deutlich.

Die Landnutzungsänderungen zwischen 1990 und 2000 auf CLC Level 3 wurden in der Abbildung 6.10 dargestellt

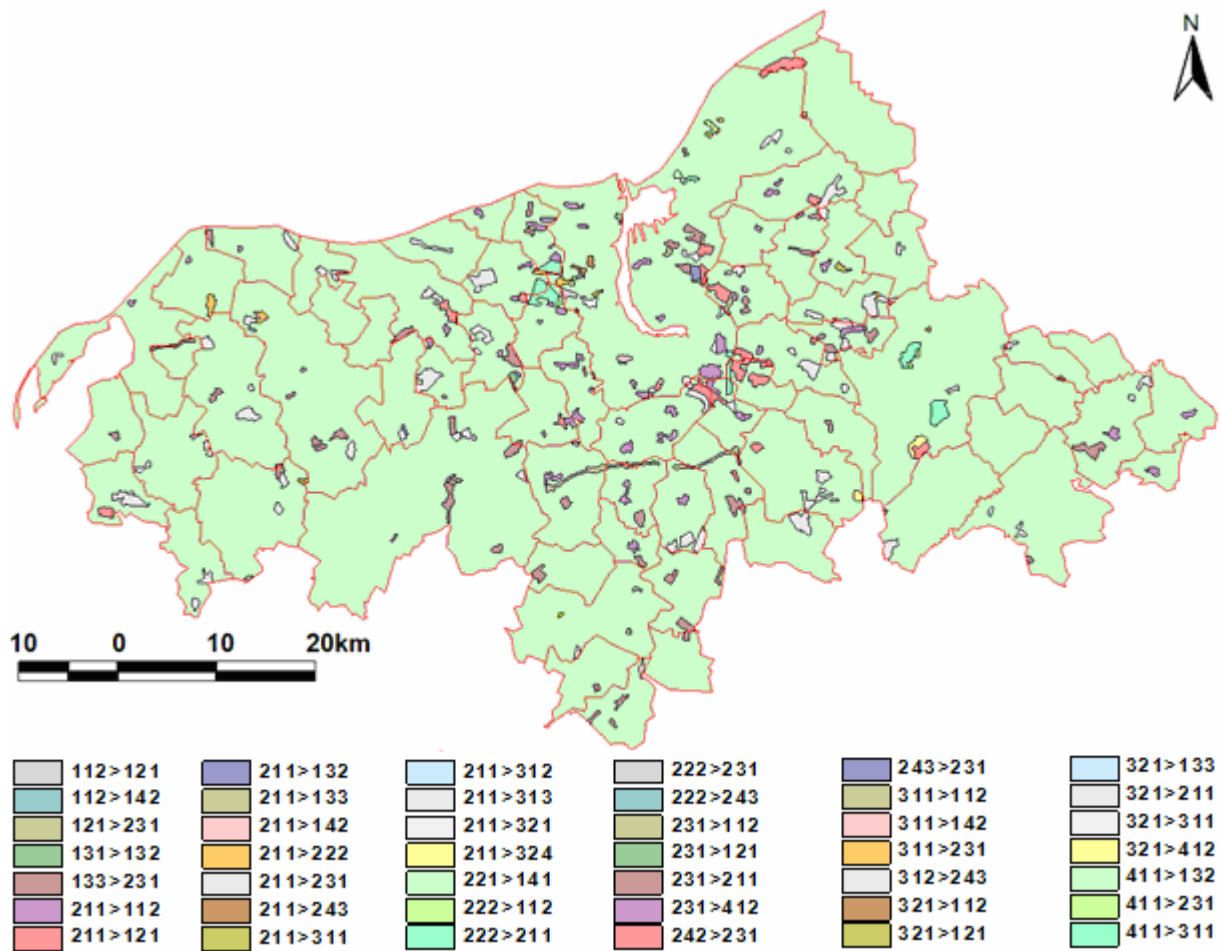


Abbildung 6.10: Landnutzungsveränderungen nach CORINE 1990 und 2000 (Level 3) (Quelle: eigene Darstellung)

### 6.3.1 Statistische CORINE-Datenauswertung

Die Flächengrößen und die Anteile an der Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes zum Status 1990 und 2000 können (Tabelle 6.1) und (Tabelle 6.2) entnommen werden. Die Werte wurden aus den Datensätzen (CLC1990, CLC2000) abgeleitet. Die CLC-Codes beziehen sich auf die Nomenklatur laut (Tabelle 4.2).

Tabelle 6.1: Flächenanteile und Änderungen ausgewählter Klassen zwischen 1990 und 2000 für das Untersuchungsgebiet (Quelle: eigene Berechnung)

CLC Code	1990		2000		relative Änderung
	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Anteil	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Anteil	
Bebaute Flächen (1xx)	106.05	6.91	131.97	8.60	24.45
Landwirtschaftliche Flächen (2xx)	1151.06	75.02	1126.67	73.43	-2.12
Wälder / naturnahe Flächen (3xx)	262.71	17.12	261.65	17.05	-0.40
Feuchtflächen (4xx)	10.87	0.71	10.39	0.68	-4.39
Wasserflächen (5xx)	3.71	0.24	3.71	0.24	0.00

**Tabelle 6.2: Flächennutzung und Änderungen nach Level 3-CLC zwischen 1990 und 2000 für das Untersuchungsgebiet (Quelle: eigene Berechnung)**

CLC Code	1990		2000		relative Änderung
	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Anteil	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Anteil	
111	2.24	0.15	2.24	0.15	0
112	71.73	4.67	85.94	5.6	19.82
121	15.5	1.01	24.13	1.57	55.7
122	1.87	0.12	1.87	0.12	0
123	2.4	0.16	2.4	0.16	0
131	0.25	0.02	0	0	
132	0.63	0.04	1.24	0.08	98.66
133	0.84	0.05	3.03	0.2	260.57
141	1.94	0.13	2	0.13	2.86
142	8.66	0.56	9.12	0.59	5.39
211	937.9	61.13	906.46	59.08	-3.35
222	9.83	0.64	4.08	0.27	-58.46
231	169.12	11.02	183.5	11.96	8.5
242	3.38	0.22	1.28	0.08	-62.14
243	30.84	2.01	31.35	2.04	1.67
311	116.18	7.57	116.63	7.6	0.38
312	68.68	4.48	68.61	4.47	-0.1
313	59.6	3.88	60.14	3.92	0.91
321	15.66	1.02	12.98	0.85	-17.15
324	1.33	0.09	2.03	0.13	53.26
331	1.26	0.08	1.26	0.08	0
411	8.95	0.58	8.1	0.53	-9.45
412	1.92	0.12	2.29	0.15	19.46
512	1.4	0.09	1.4	0.09	0
521	1.09	0.07	1.09	0.07	0
523	1.22	0.08	1.22	0.08	0

Aus beiden Tabellen (Tabelle 6.1 und Tabelle 6.2) wird folgendes ersichtlich:

- Die Anteile der bebauten Fläche weisen deutlich höhere Zuwächse auf, insbesondere der Anteil der Baustellen, Deponien und Abraumhalden und Industrie- und Gewerbeflächen. Die Anteile der landwirtschaftlichen Flächen, Wälder/naturnahe Flächen und der Feuchtflächen sind rückläufig.
- Der Anteil der Abbauflächen ist jeweils wesentlich höher, nimmt aber ab.
- Der Anteil an Feuchtflächen nimmt stark ab.
- Der Anteil der landwirtschaftlichen Fläche nimmt auch etwas ab. Allerdings ist die Struktur der landwirtschaftlichen Fläche stark unterschiedlich. Der Anteil an Grünland ist stark ansteigend.

- Der Anteil der Wälder/naturnahe Flächen nimmt ganz leicht ab. Allerdings ist die Struktur der Wälder/naturnahe Flächen stark unterschiedlich. Der Anteil der Wälder und Wald-Strauch-Übergangsstadien nimmt stark zu.

Als ein Beispiel für die Ausdehnung urbaner Räume wird hier die Hansestadt Rostock betrachtet, die nach der Wiedervereinigung in Deutschland verschiedene Transformationsprozesse aufzuweisen hat. Die CLC 1990 und 2000, in (Abbildung 6.11) oben dargestellt, und ihre Änderungen sind in der (Abbildung 6.11) unten, in der Transformationsklasse „Urbanisierung“ zusammengefasst.

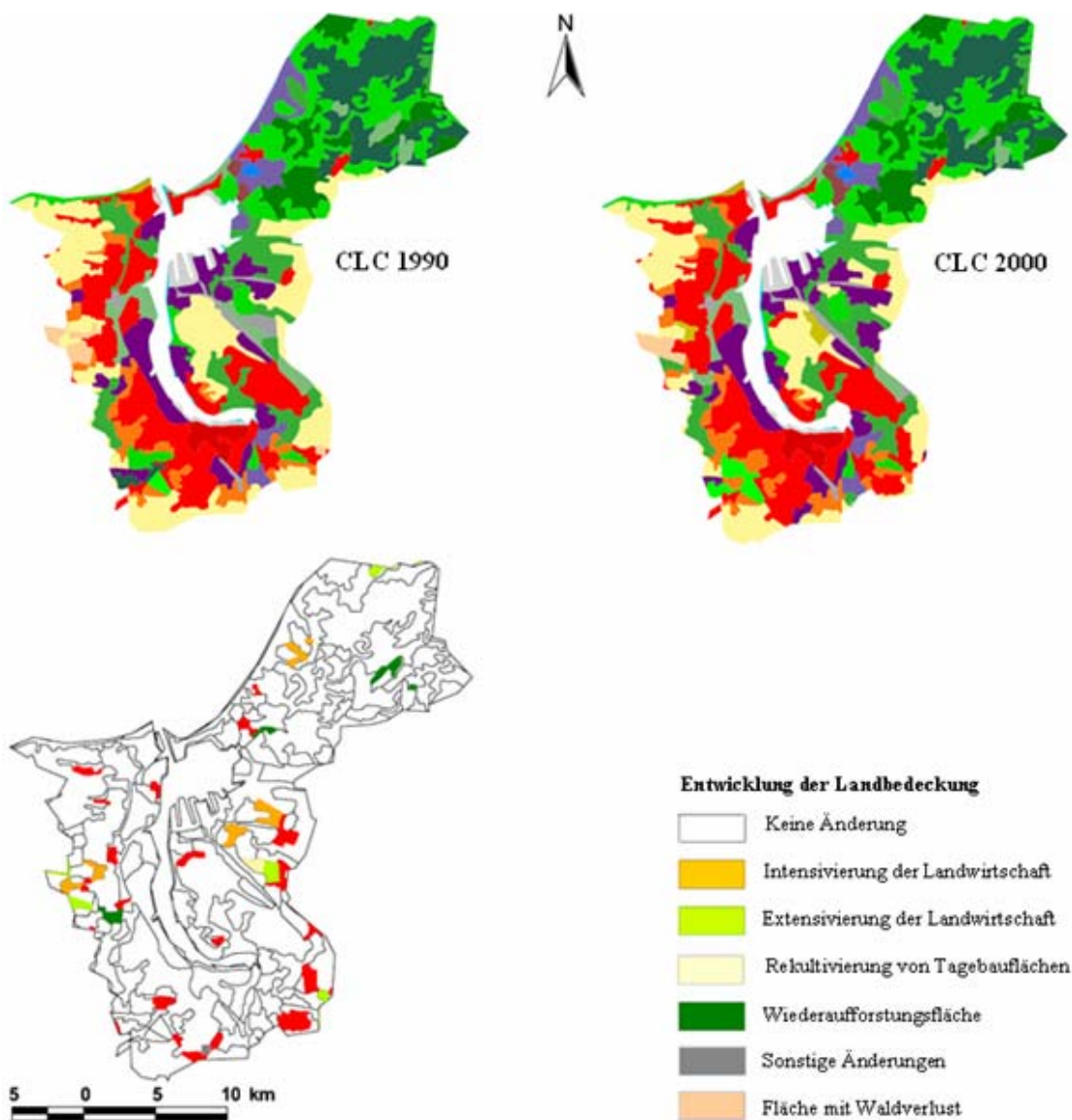


Abbildung 6.11: Die Hansestadt Rostock in den Kartierungen CLC 1990 und 2000 sowie abgeleitete Entwicklungen der Landbedeckung in generalisierten Transformationsklassen (Quelle: eigene Darstellung)

## 6.4 Landnutzung mittels Amtlicher Statistik

### 6.4.1 Bestimmung der realen Bevölkerungsdichte von Siedlungen

Fernerkundungsdaten stellen für räumliche Analysen eine wesentliche Grundlage dar, da sie ein Bild der realen Raumstrukturen wiedergeben. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Aussagekraft vom Grad der Übereinstimmung mit den tatsächlich vorherrschenden Flächenverteilungen abhängt. Dichteberechnungen bezogen auf administrative Gebietsgrenzen können nur verfälschte oder sogar fehlerhafte Ergebnisse liefern (STEINNOCHER et al. 2000).

Die Bevölkerungsdichte, die sich als Quotient aus Einwohnerzahl und Flächengröße ergibt, wurde für jede einzelne statistische Gemeinde ermittelt. Eine Bevölkerungszunahme bedeutet immer eine Verdichtung. Zuordnungsprobleme ergaben sich bei denjenigen statistischen Gemeinden, deren Abgrenzung und/oder Nummerierung seit 1990 durch das Statistische Landesamt verändert wurden. Um die Bevölkerungszahlen, die sich auf die Gemeindeabgrenzungen des Statistischen Landesamtes vor 2006 beziehen, an die Gemeindeabgrenzungen und -nummerierungen des Jahres 2006 anzupassen, wurde die folgende Methode angewandt:

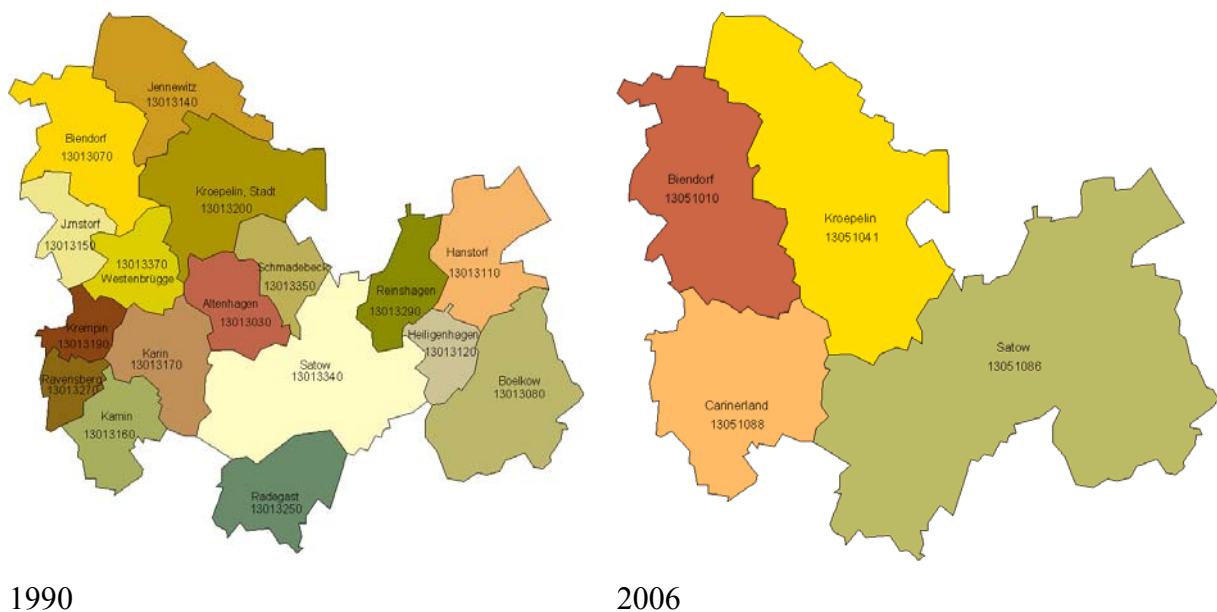


Abbildung 6.12: Zuordnung von Einwohnerzahlen bei veränderten Gemeinden über die Gemeindekennziffer (Quelle: eigene Darstellung)

Wenn mehrere Gemeinden seit 1990 vom Statistischen Landesamt zu einer neuen statistischen Gemeinde zusammengefasst wurden, wurden die Bevölkerungszahlen der entsprechen-



den neuen Gemeinden addiert und der alten Gemeindenummer und -abgrenzung nach der administrativen Abgrenzung 2006 zugeordnet. Die reale Siedlungsfläche stellt jedoch nur einen Teil der administrativen Gebietsfläche dar und ist im Laufe der Zeit Veränderungen (*häufig Zuwachsen*) unterworfen. Unter Verwendung der Siedlungsmaske kann die tatsächliche Raumsituation in abstrahierter Form wiedergegeben werden. Nimmt die Siedlungsfläche stärker zu als die Einwohnerzahl, führt dies zu einer Abnahme der Einwohnerdichte. Das würde bedeuten, dass die Siedlungserweiterung hauptsächlich auf flächenverbrauchende Neubauten für nur wenige Bewohner – vorwiegend freistehende Einfamilienhäuser - zurückzuführen ist. Durch die Verwendung satellitenbasierter Daten kann das Siedlungsgeschehen in differenzierter Form nachvollzogen werden, wodurch Rückschlüsse auf die realräumliche Entwicklung ermöglicht werden (STEINNOCHER 2002). Abbildung 6.13 zeigt die Entwicklung der realen Einwohnerdichte, die auf der Siedlungsmaske in (Abbildung 6.13) und (Abbildung 6.14) und den Zensusdaten basiert. Deutlich zu sehen ist die Abnahme der Bevölkerungsdichte bezogen auf die reale Siedlungsfläche, die sich aus einer starken Siedlungsausdehnung bei mäßigem Bevölkerungswachstum ergibt.

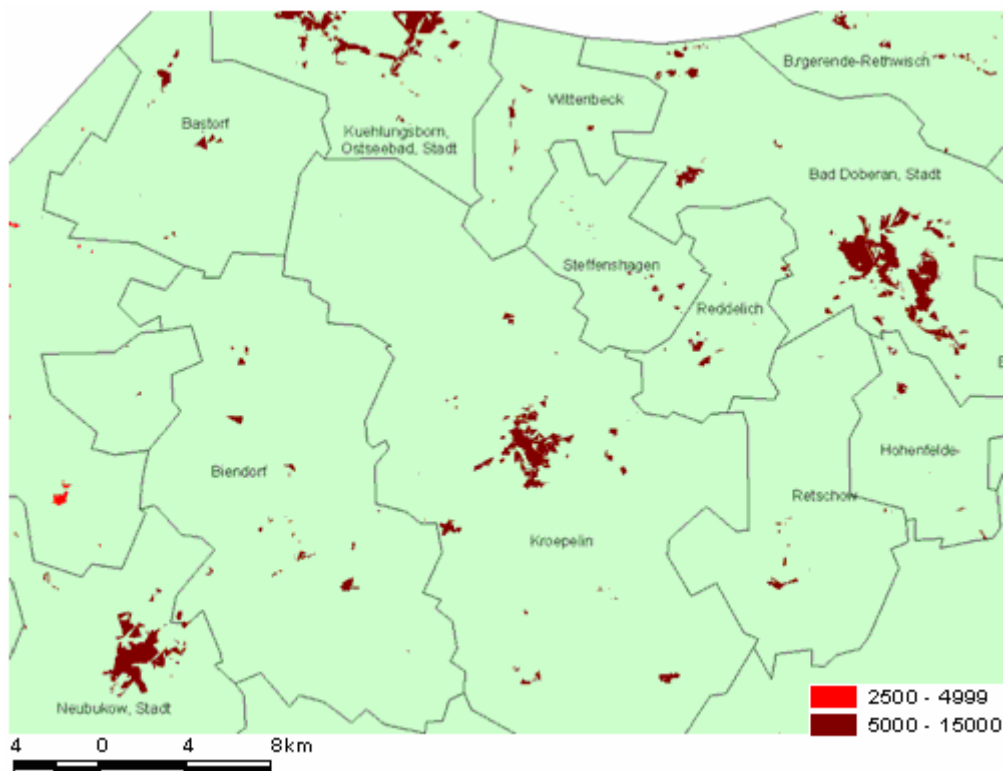


Abbildung 6.13: Vergleich der realen Bevölkerungsdichte (Ein/km<sup>2</sup>) für 1989 (Quelle: eigene Darstellung)



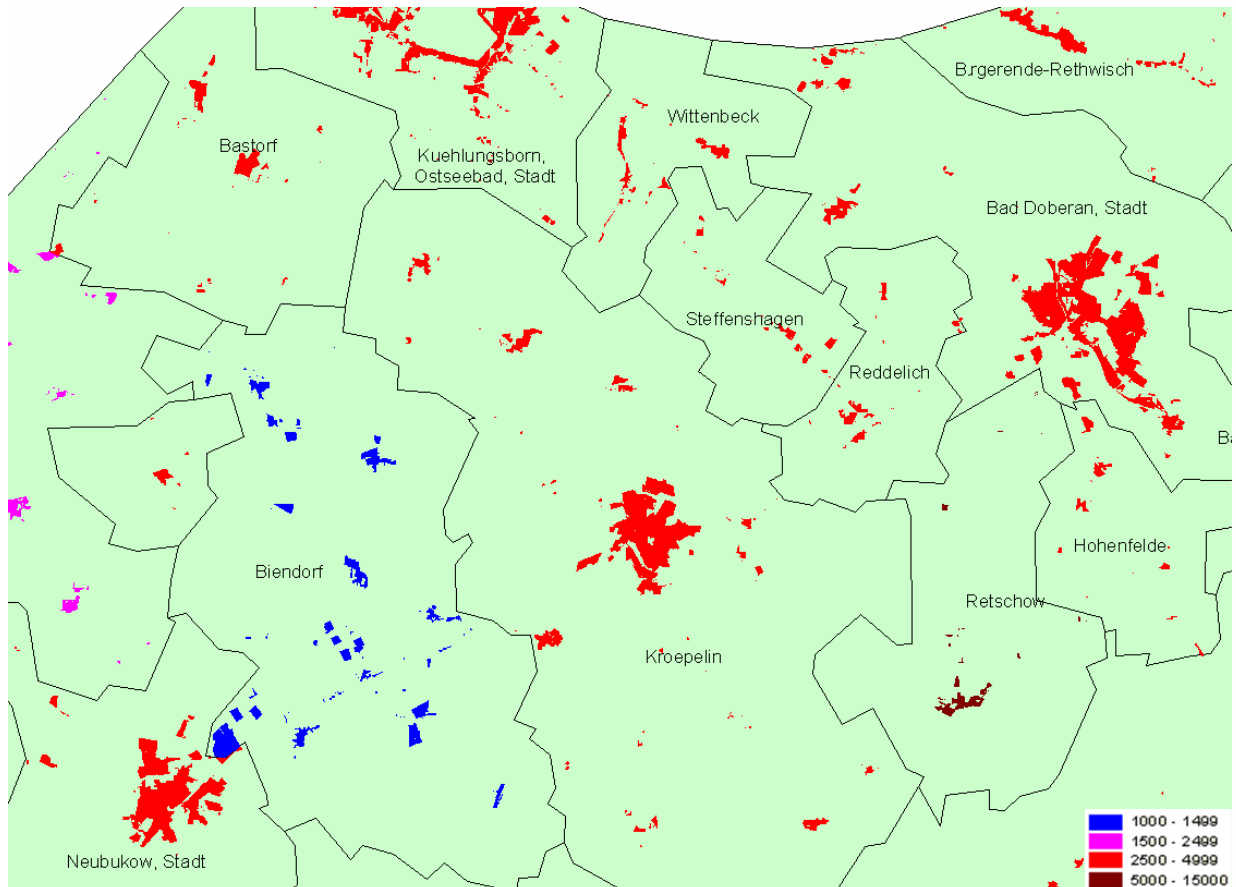


Abbildung 6.14: Vergleich der realen Bevölkerungsdichte (Ein/km<sup>2</sup>) für 1999 (Quelle: eigene Darstellung)

## 6.4.2 Analyse des Flächenverbrauches

Analysiert man die Entwicklung auf Gemeindeebene, so lassen sich regionale Trends ablesen. (Abbildung 6.15) stellt die relative Entwicklung der Siedlungsflächen der relativen Bevölkerungsentwicklung pro Gemeinde gegenüber. Während eine Zunahme der Siedlungsflächen vor allem in der Umgebung der Hansestadt Rostock beobachtet wurde (Abbildung 6.15), zeigt der Bevölkerungsanstieg ein gleiches Muster mit Umgebung der Hansestadt Rostock (Abbildung 6.16). In der Hansestadt Rostock selbst dominiert ein Bevölkerungsrückgang.

Das unmittelbare Umland der Stadt Rostock (der so genannte „Speckgürtel“ um die Ballungszentren) weist ein signifikantes Wachstum der Siedlungsfläche auf (Abbildung 6.16). Es ist ein deutliches Muster zu erkennen, wo es regional zu einer hohen Zunahme von Siedlungsflächen und einem starken Bevölkerungsanstieg kommt. Diese Entwicklung dürfte von der Suburbanisierung getragen werden.

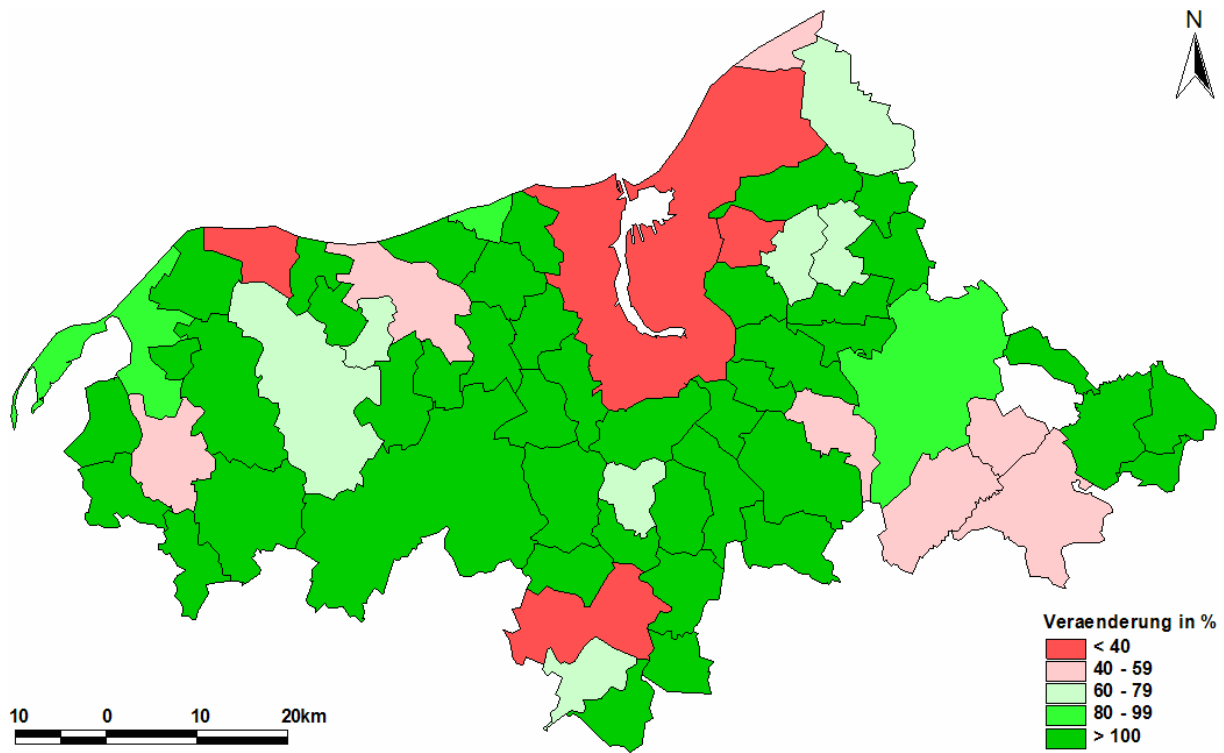


Abbildung 6.15: Entwicklung der Siedlungsfläche 1989-1999 im Untersuchungsgebiet (Quelle: eigene Darstellung)

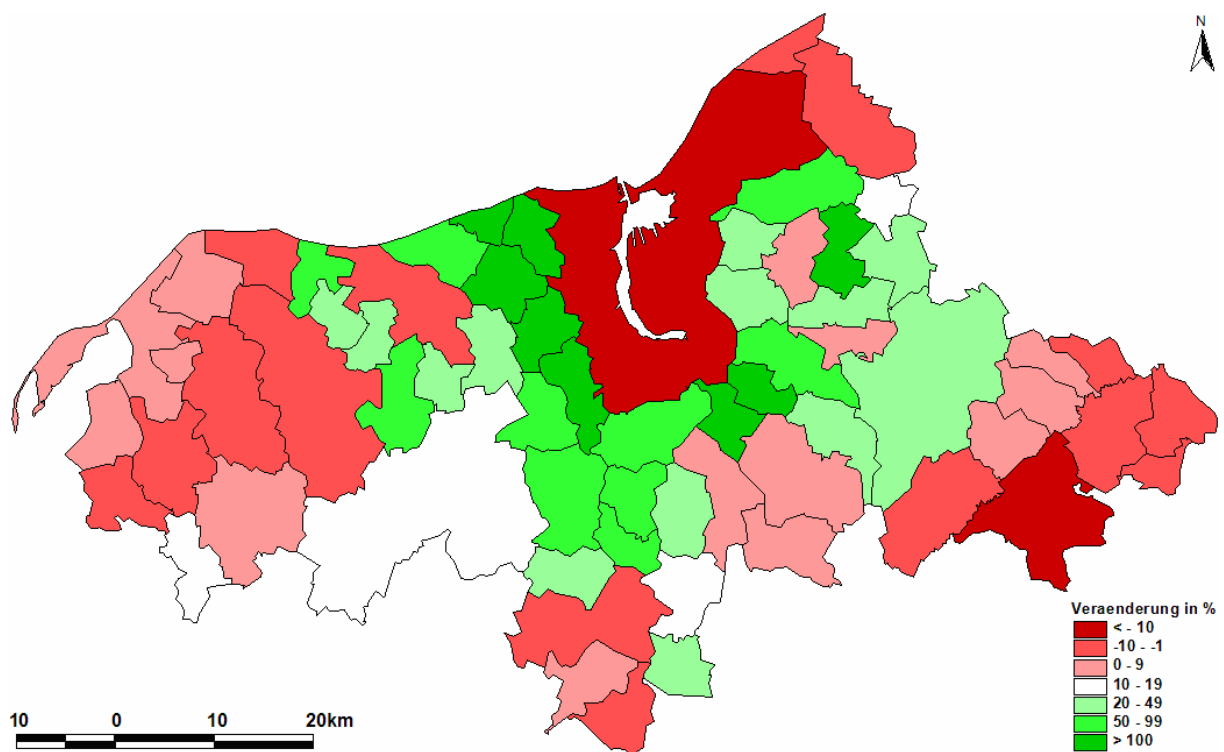


Abbildung 6.16: Entwicklung der Bevölkerung 1989-1999 im Untersuchungsgebiet (Quelle: eigene Darstellung)

### 6.4.2.1 Entwicklung des Wohnungsbestandes

In den letzten zehn Jahren wurde im Wohnungsbestand die Trendwende hin zu sinkenden Zahlen erreicht. Entscheidender Faktor für die Bestandesreduzierung ist der Stadtumbauprozess mit den Wohnungsabrissen (mit *Fördermitteln des Stadtumbau-Ost-Programms*).

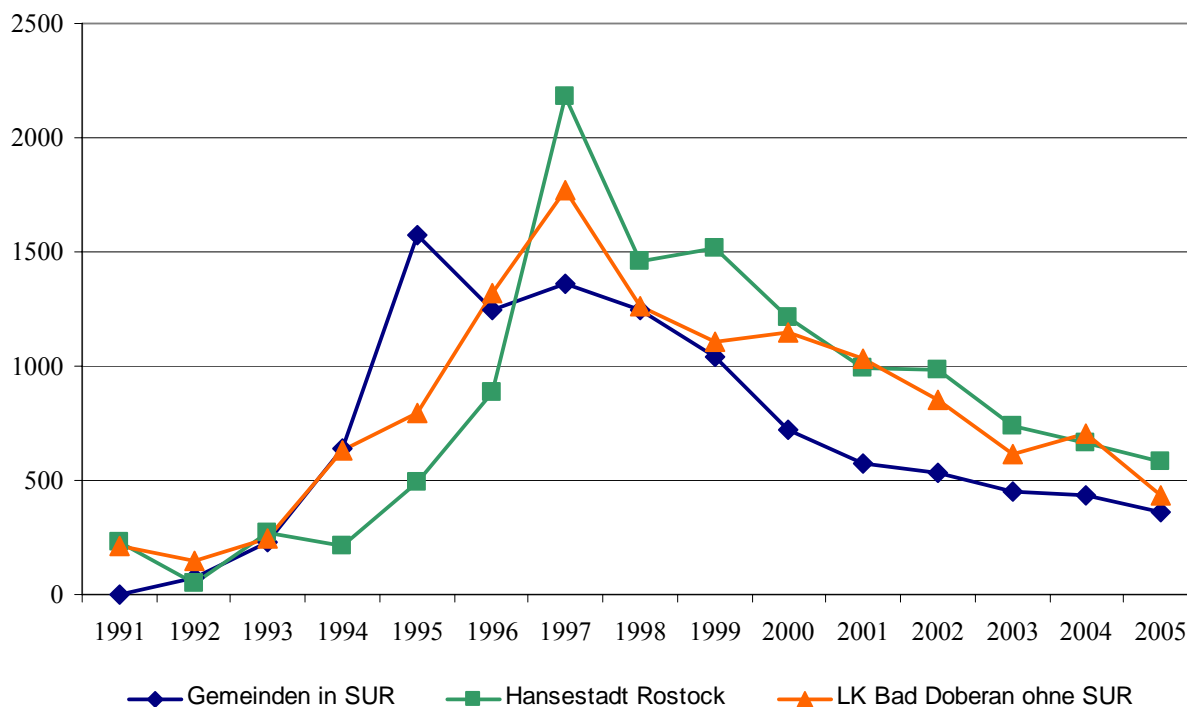


Abbildung 6.17: Wohnungsbau (fertiggestellte Wohnungen) (Quelle: Entwicklung und Kooperationen innerhalb von Stadt-Umland-Räumen 2006)

Im Untersuchungsgebiet hat sich die Zahl der fertiggestellten Wohnungen von 1991 bis 2005 auf einen Wert von etwa 1500 pro Jahr bei fallender Tendenz eingepegelt.

Bei der Betrachtung der vom Statistischen Landesamt herausgegebenen Berichte für den Zeitraum 31.12.1991 bis 31.12.2005 über fertiggestellte Wohnungen in Wohngebäuden für die Gemeinde und Stadtkreise des M-V (Abbildung 6.17) ergibt sich ein beachtlicher Zuwachs des Wohnungsbestandes im Rostocker Umland in den ersten Jahren nach der Wende. Nach Auswertung des Statistischen Landesamtes setzte sich der seit 1997 anhaltende Rückgang bei den Baugenehmigungen in der Region nochmals fort. Die Zahl der im Wohnungsneubau in der Rostocker Region insgesamt fertiggestellten Wohnungen lag im Jahr 2005 um 31 % (HRO um 12%, Gemeinde im SUR 18%, LK Bad Doberan ohne SUR 39%) unter dem Fertigstellungsergebnis des Vorjahres.

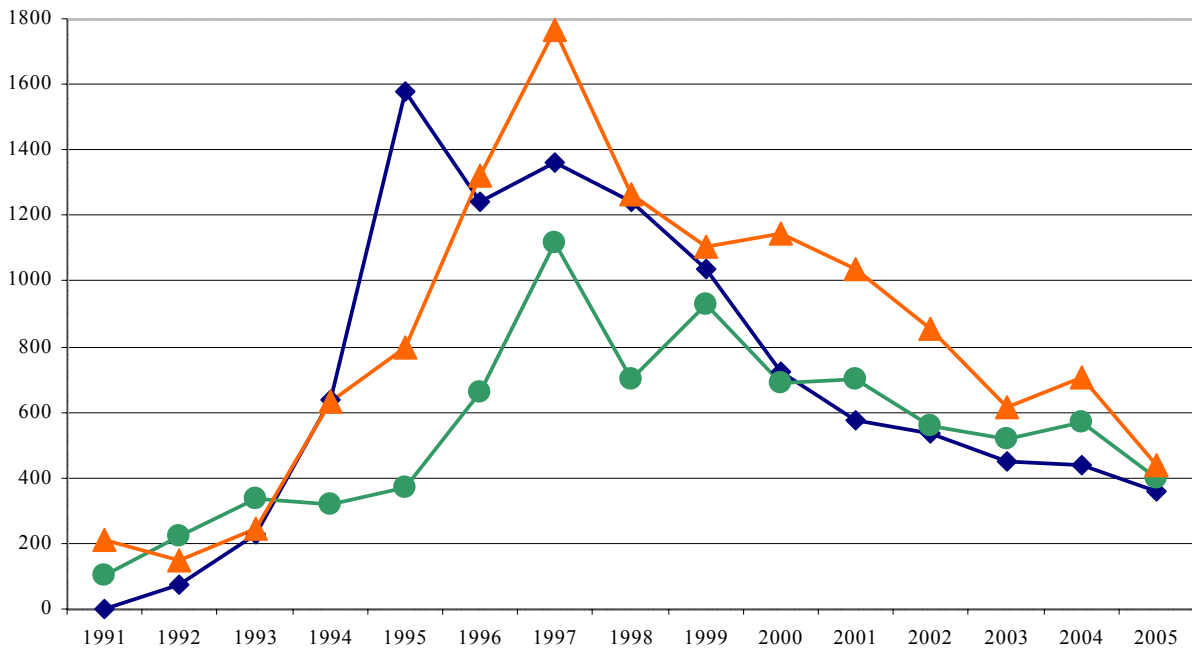


Abbildung 6.18: Fertiggestellte Wohngebäude<sup>2</sup> 1991-2005 (Quelle: Entwicklung und Kooperationen innerhalb von Stadt-Umland-Räumen 2006)

Zwischen 1991 und 2005 wurden im Untersuchungsgebiet insgesamt 47.549 Wohnungen fertig gestellt. Die Betrachtung eines Zeitraums von 15 und mehr Jahren erlaubt die Identifizierung längerfristiger Trends unabhängig von Spitzenwerten einzelner Jahre. Grundlage der Betrachtung ist der Zuwachs an neu gebauten Wohnungen. Die entsprechende Erteilung der Baugenehmigungen wird naturgemäß in den Vorjahren liegen.

#### 6.4.2.2 Wohnungen je 1000 Einwohner

Betrachtet sei nun die Entwicklung des Wohnungsbestands je 1000 Bewohner in den letzten zehn Jahren (vgl. Abbildung 6.19). Zunächst zeigt sich, dass für jeweils 1000 Einwohner im Jahr 1997 durchschnittlich 411 Wohnungen im LK Bad Doberan und 502 Wohnungen in der Hansestadt Rostock zur Verfügung standen. In den genannten Angaben sind auch leerstehende Wohnungen einbezogen.

Die Wohnungszahl je 1000 Einwohner stieg im gleichen Zeitraum (1997-2006) von 411 auf 502 Wohnungen (19%) für Bad Doberan und von 502 auf 569 Wohnungen (13%) für Rostock an, auch durch den Rückgang der Bevölkerung.

<sup>2</sup> Wohn- und Nichtwohnbau einschl. Baumaßnahmen an bestehenden Gebäuden.

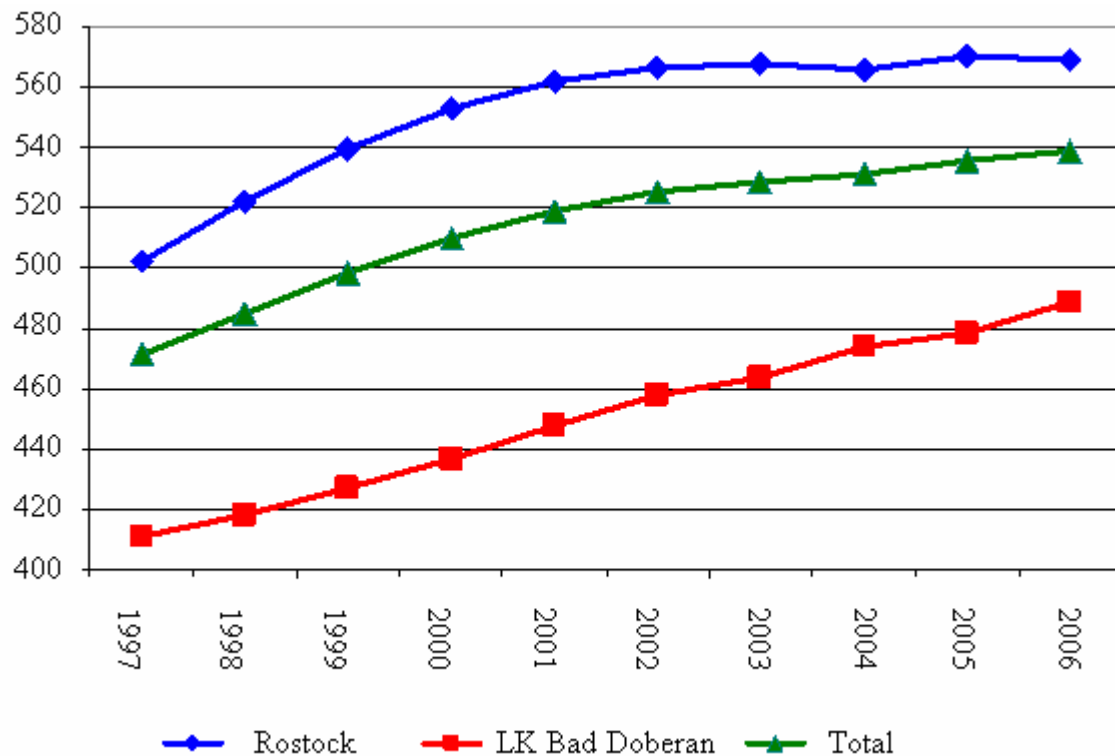


Abbildung 6.19: Entwicklung Wohnungszahl je 1000 Einwohner (Quelle: eigene Darstellung nach Daten des Statistischen Bundesamtes M-V)

#### 6.4.2.3 Wohnfläche je Einwohner

Die Wohnfläche je Einwohner, welche als ein wichtiger Indikator der Wohnversorgung gilt, ist im Zeitraum 1991-2006 um 51,6 % von 24,4 m<sup>2</sup> auf 37,1 m<sup>2</sup> gestiegen - im gleichen Zeitraum von 23,7 auf 35,1 Quadratmeter für Rostock und von 26,6 auf 40,4 Quadratmeter für Bad Doberan (Abbildung 6.20 und Abbildung 6.21). Die Wohnversorgung der Rostocker Bevölkerung stieg bis in die zweite Hälfte der 1990er-Jahre noch sehr deutlich an, da in diesen Jahren die Einwohnerzahl des Untersuchungsgebiets rückläufig war. Während dieser Zeit kam es immer noch zu einer nennenswerten Neubautätigkeit.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich die durchschnittliche Haushaltsgröße im selben Zeitraum verringert hat, sich die Nachfrager also größere Wohnungen leisten.

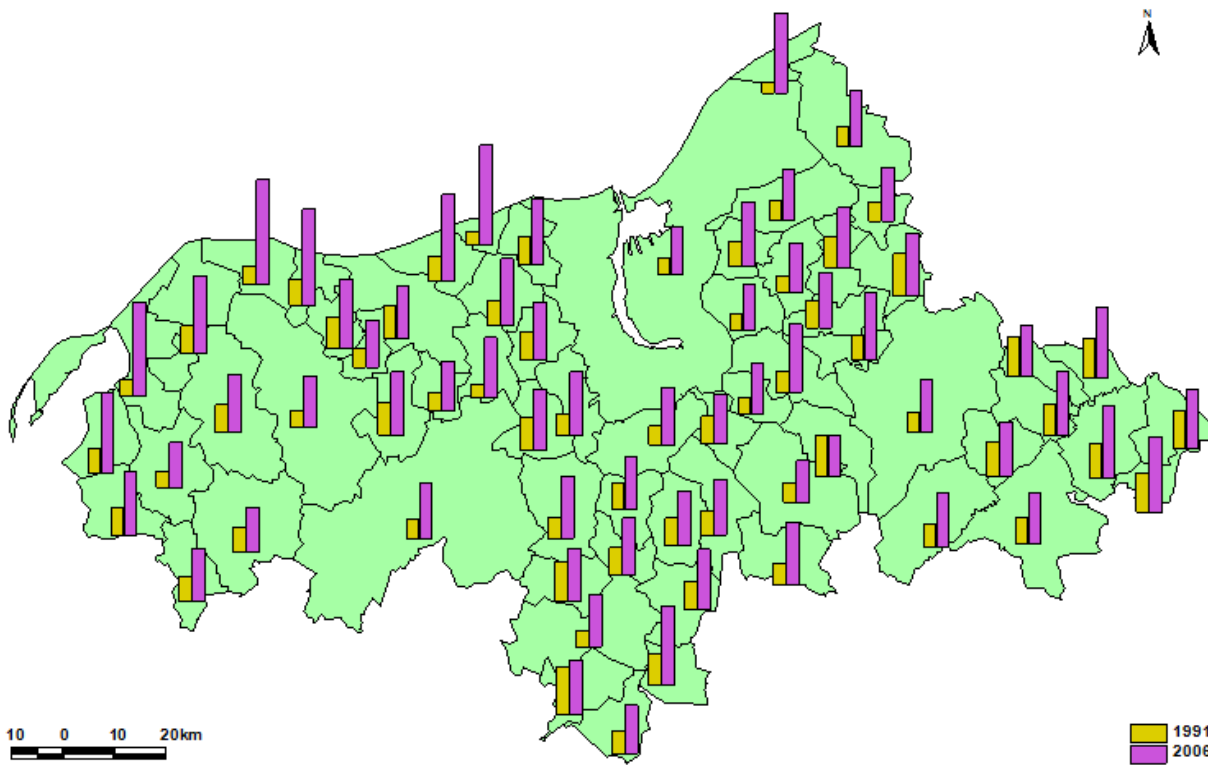


Abbildung 6.20: Wohnfläche je Einwohner 1991 bis 2006 (m<sup>2</sup>) (Quelle: eigene Darstellung)

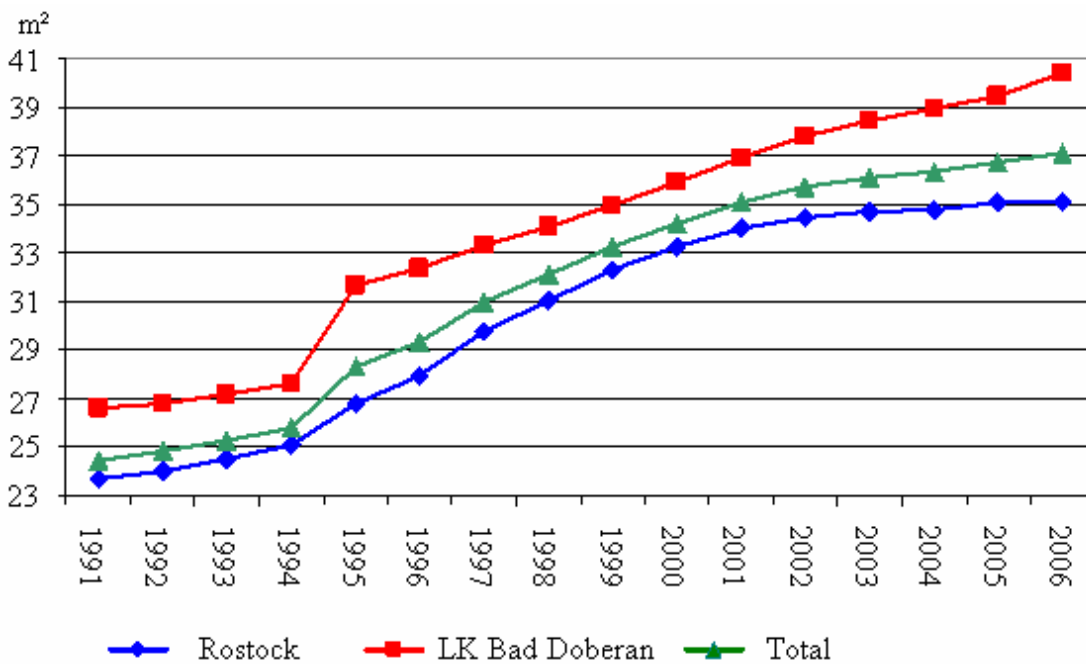


Abbildung 6.21: Entwicklung Wohnfläche je Einwohner 1991 bis 2006 (m<sup>2</sup>) (Quelle: eigene Berechnung und Darstellung nach Daten des Statistischen Bundesamtes M-V)

Der Indikator beschreibt, wie viel Wohnfläche jedem Einwohner im Durchschnitt zur Verfügung steht. Die Wohnfläche je Einwohner erhöhte sich in den letzten Jahren stetig. Sie stieg –

vor allem auch durch den Rückgang der Bevölkerung - von 29,8 auf 35,1 Quadratmeter für Rostock und von 32,9 auf 40,4 Quadratmeter für Bad Doberan (Abbildung 6.21).

Der kontinuierliche Anstieg hängt einerseits mit der zunehmenden Wohnflächeninanspruchnahme der größeren Haushalte (3 und mehr Personen) zusammen (Abbildung 6.22), andererseits mit dem Anstieg der Einpersonenhaushalte (Tabelle 6.3) und (Tabelle 6.4).

**Tabelle 6.3: Baufertigstellungen und Baugenehmigungen in der Hansestadt Rostock (Quelle: eigene Berechnung nach Daten des Statistischen Bundesamtes M-V)**

Jahr	2002	2004	2006
Wohnungen insgesamt	986	663	398
darunter			
in 1-2-Familienhäusern	425	423	233
in Mehrfamilienhäusern	295	241	90
Anteil in 1-2-Familienhäusern	0.59	0.64	0.72
Wohnungen pro 1.000 Ew.	5.0	3.3	2.0

**Tabelle 6.4: Baufertigstellungen und Baugenehmigungen in Gemeinden im Rostocker Umland (Quelle: eigene Berechnung nach Daten des Statistischen Bundesamtes M-V)**

Jahr	2002	2004	2006
Wohnungen insgesamt	536	437	316
darunter			
in 1-2-Familienhäusern	437	380	283
in Mehrfamilienhäusern	69	31	18
Anteil in 1-2-Familienhäusern	0.86	0.92	0.94
Wohnungen pro 1.000 Ew.	13.3	10.6	7.6

#### 6.4.2.4 Wohnungsbestandsstruktur nach Raumzahl

Der Wohnungsbestand ist 2003 geprägt durch die hohe Zahl von 52156 Wohnungen mit vier Räumen (inklusive Küche). Dem folgen Wohnungen mit fünf und mehr Räumen (46751) und Dreiraumwohnungen (43321). Kleine Ein- und Zweiraumwohnungen haben, wie bereits in den Jahren zuvor, für die Wohnbestandsstruktur nur eine geringe Bedeutung (6765 bzw. 12221 Wohnungen).

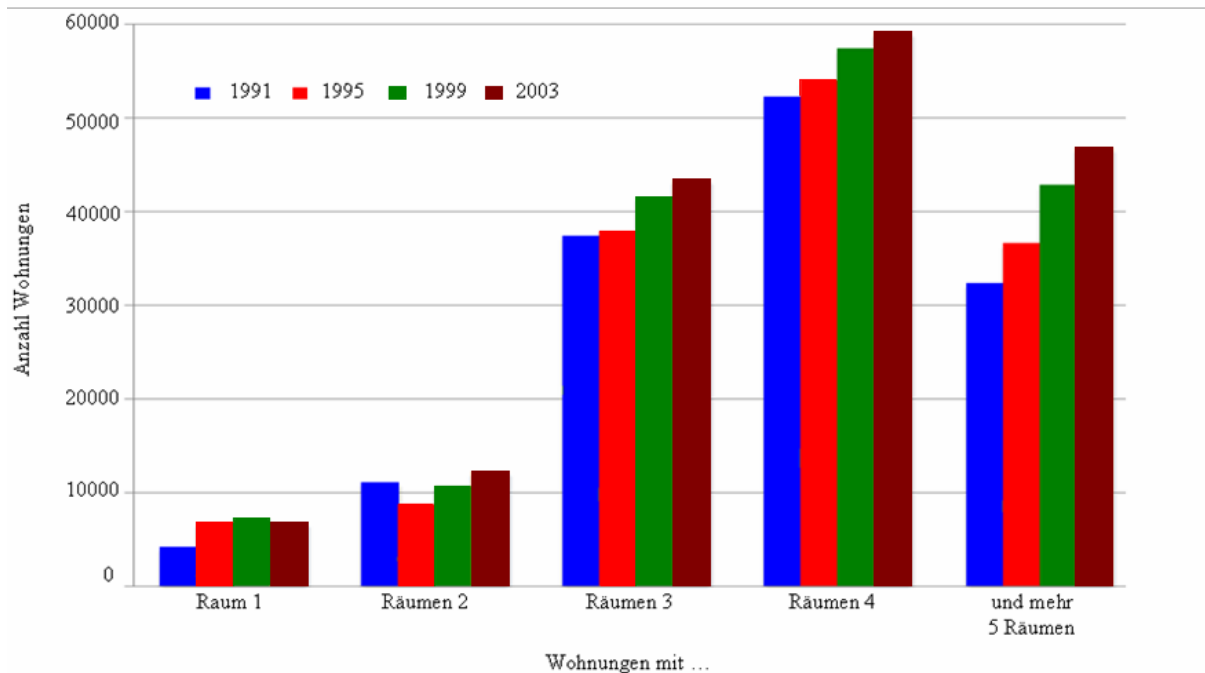


Abbildung 6.22: Wohnungsbestandsstruktur nach Raumzahl 1991 und 2003 (Quelle: eigene Darstellung nach Daten des Statistischen Bundesamtes M-V)

#### 6.4.2.5 Wohnfläche je Wohnung

Die Versorgung der Bevölkerung mit Wohnraum hat sich entsprechend bundesweiter Trends in der Rostocker Region in den vergangenen Jahren kontinuierlich verbessert. So stieg die durchschnittliche Wohnungsgröße von 1991 bis 2003 um 13,5% von 63 m<sup>2</sup> auf 71,5 m<sup>2</sup> an.

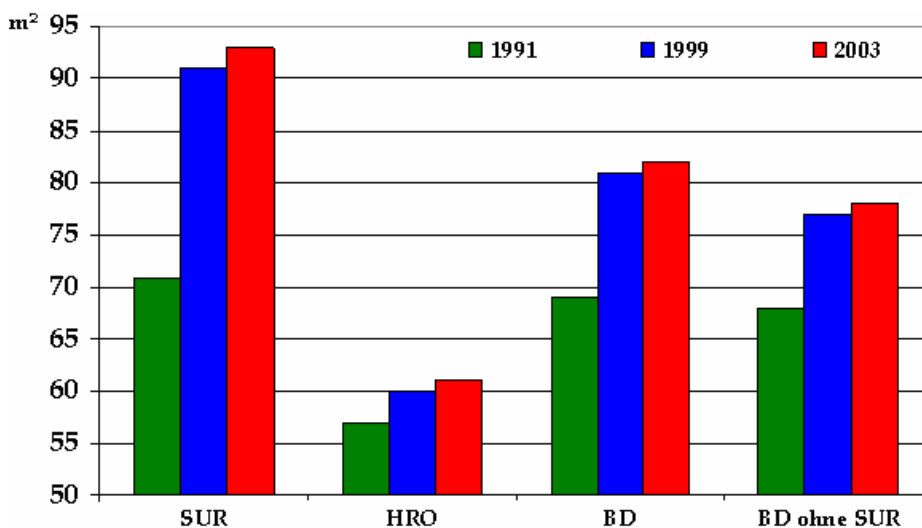


Abbildung 6.23: Entwicklung der Wohnfläche je Wohnung (1991-2003) (Quelle: eigene Berechnung und Darstellung nach Daten des Statistischen Bundesamtes M-V)



Die Wohnfläche je Wohnung hat mit einem durchschnittlichen jährlichen Zuwachs 1.1 % für das ganze Untersuchungsgebiet und mit 2,3% für das SUR (Stadt-Umland-Rostock) damit nur moderat zugenommen.

## 6.5 Vergleichende Gegenüberstellung verschiedener Ansätze

### 6.5.1 Auswertung der amtlichen Statistik

Es liegen die prozentualen Anteile der Siedlungsfläche an der Gesamtfläche der Gemeinden vor, und zwar aus den Datenbanken CORINE (2000), ATKIS (1999) und der Satellitendaten (1999) sowie ermittelt aus der amtlichen Statistik (1999).

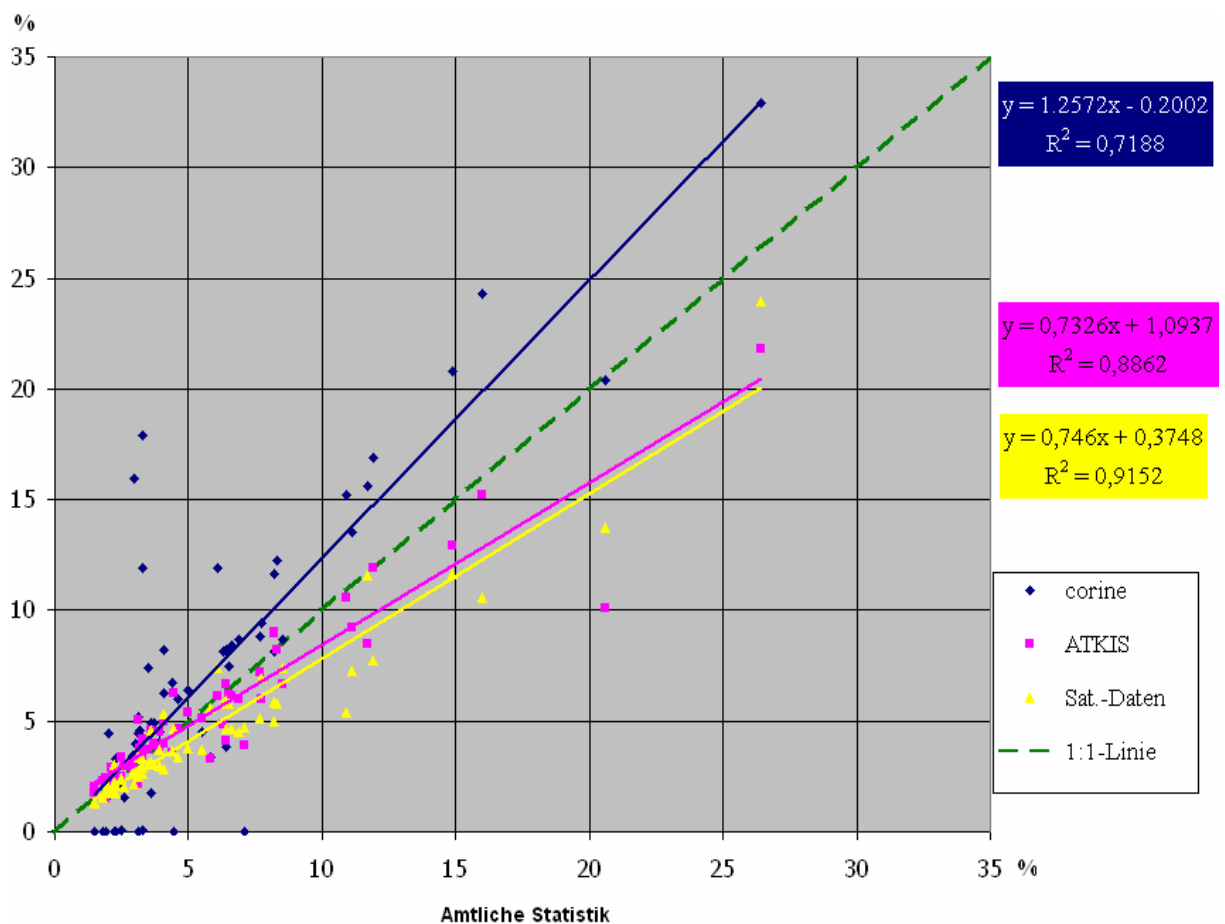
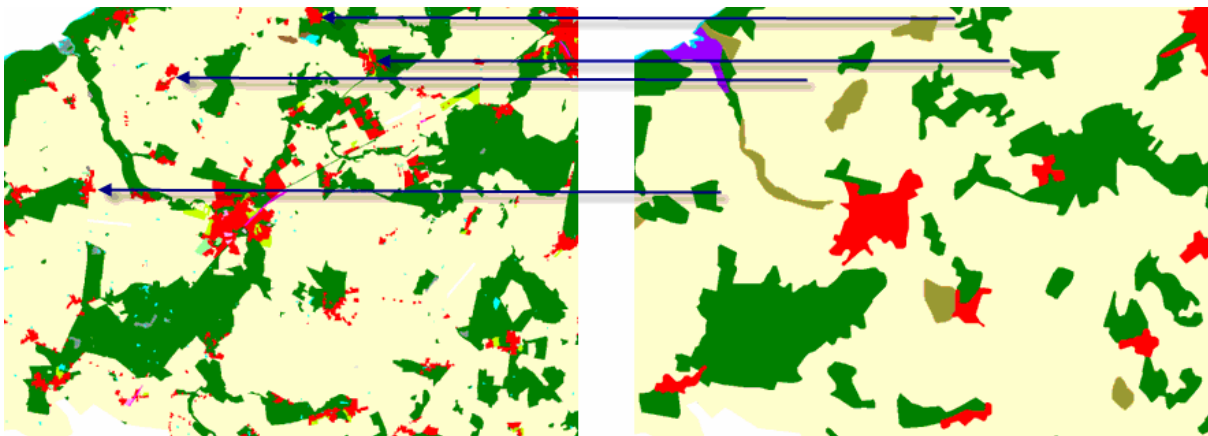


Abbildung 6.24: Der lineare Zusammenhang zwischen den prozentualen Anteilen der Siedlungsfläche aus der amtlichen Statistik und den drei anderen Datenquellen für die Gemeinden (Quelle: eigene Darstellung)

Dargestellt ist der lineare Zusammenhang zwischen der amtlichen Statistik und den drei anderen Datenquellen für diese Gemeinden. Es ergeben sich hohe Werte für das lineare Bestimmtheitsmaß  $R^2$  für alle drei Vergleiche.

Allerdings liegen die Werte aus CORINE um etwa 71 Prozent (Faktor 1,6) über denen, die aus der amtlichen Statistik ermittelt wurden. Der CORINE-Datensatz ist aufgrund des Erhebungsmaßstabs von 1:100.000 weniger detailliert, da mit 25 ha die kleinste berücksichtigte Flächeneinheit erfasst ist. Diese gegebene räumliche Auflösung der CORINE-Daten entspricht einem 500 x 500 m großem Quadrat oder einem Kreis mit einem Radius von 282 m. Bei der Aktualisierung werden Änderungen, deren Flächeninhalt mindestens 5 ha groß oder mindestens eine Breite von 100m haben, erfasst (MOHAUPT-JAHR 2000). Aufnahmeschlüssel und Methodik entsprechen denen der Ersterhebung. Flächennutzungen, die unterhalb der Erfassungsuntergrenze liegen, d.h. kleiner als 25 ha oder schmaler als 100 m waren, wurden bei der Ersterhebung ihren jeweiligen dominanten Nachbarflächen zugeschlagen (Abbildung 6.25).



*ATKIS-Daten*

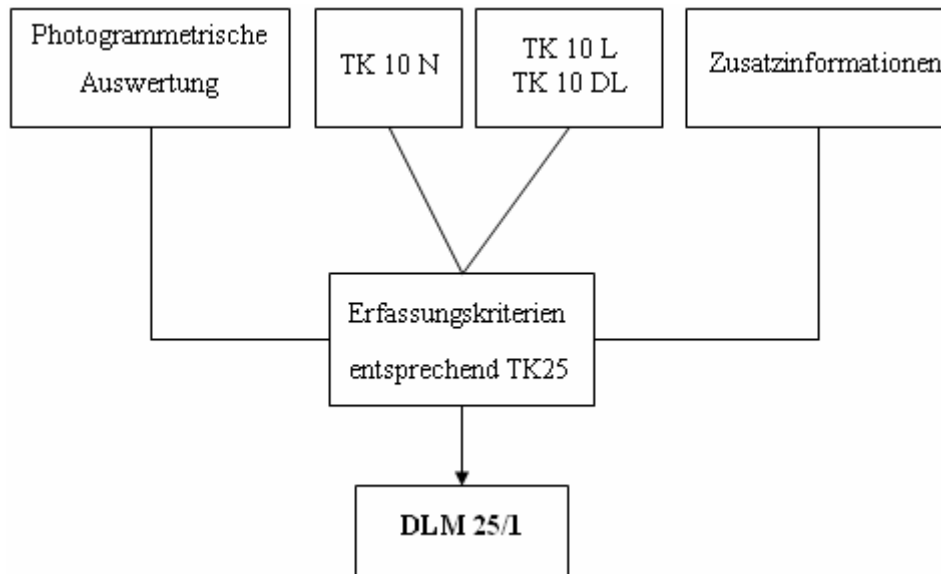
*CORINE-Daten*

**Abbildung 6.25: Nicht erfasste Siedlungsflächen der CORINE-Daten (Quelle: eigene Darstellung)**

Bei ATKIS ist der lineare Zusammenhang noch stärker ( $R^2=0,8862$ ). Hier liegt eine Untererfassung gegenüber der amtlichen Statistik vor, es werden nur etwa 90 Prozent der amtlichen Statistik als Siedlungsfläche erreicht.

In Mecklenburg-Vorpommern wurden als Strukturierungsgrundlage für ATKIS hauptsächlich die TK 10 und die Luftbildkarte 1:10.000 (*TK 10L*, *TK 10 DL*) sowie zusätzliche Informatio-

nen aus Luftbildern, topografische Karten 1:25.000, thematische Karten und Verzeichnisse verwendet (Abbildung 6.26). Der Erfassungsmaßstab liegt entsprechend bei 1:10.000.



**Abbildung 6.26:** Schematischer Überblick über die DLM-Datenerhebung in Mecklenburg-Vorpommern (Quelle: GOLLA 1999)

Der ATKIS-OK ist attributorientiert aufgebaut. Die Strukturierung erfolgt von Objektbereichen über Objektgruppen, Objektarten zu Objekten mit evtl. noch zugehörigen Attributen. Mit den aufgeführten Objektarten kann die Landschaft lückenlos beschrieben werden. Dieser Aufbau erlaubt die Selektion von Objekten nach topografischen und, soweit bereits integriert, auch anderen thematischen Inhalten. Damit ist neben der rein topografischen Aufgabe des Modells auch die Möglichkeit der Fachdatenintegration gegeben. Das Datenmodell sieht eine punkt-, linien- und flächenförmige Abbildung der Objektarten vor. Dies ist im ATKIS-OK mit dem Objekttyp definiert wird. (Abbildung 6.27) verdeutlicht das Strukturierungsprinzip am Beispiel der Objektart Wald, Forst.

Die geometrische Genauigkeit für die wesentlichen linearen Objekte wird in Abhängigkeit von den Datenquellen und Datenerfassungsverfahren (*Erfassungsmaßstab!*) der Vermessungsverwaltungen der Bundesländer mit  $\pm 3$  bis 15 m angegeben (ADV 2003). Für Mecklenburg-Vorpommern wird eine Lagegenauigkeit von 5 bis 10 m angegeben, hier wurde einheitlich auf Basis der TK 10 gearbeitet, sowohl für die erste als auch die zweite Ausbaustufe (BKG 2005).

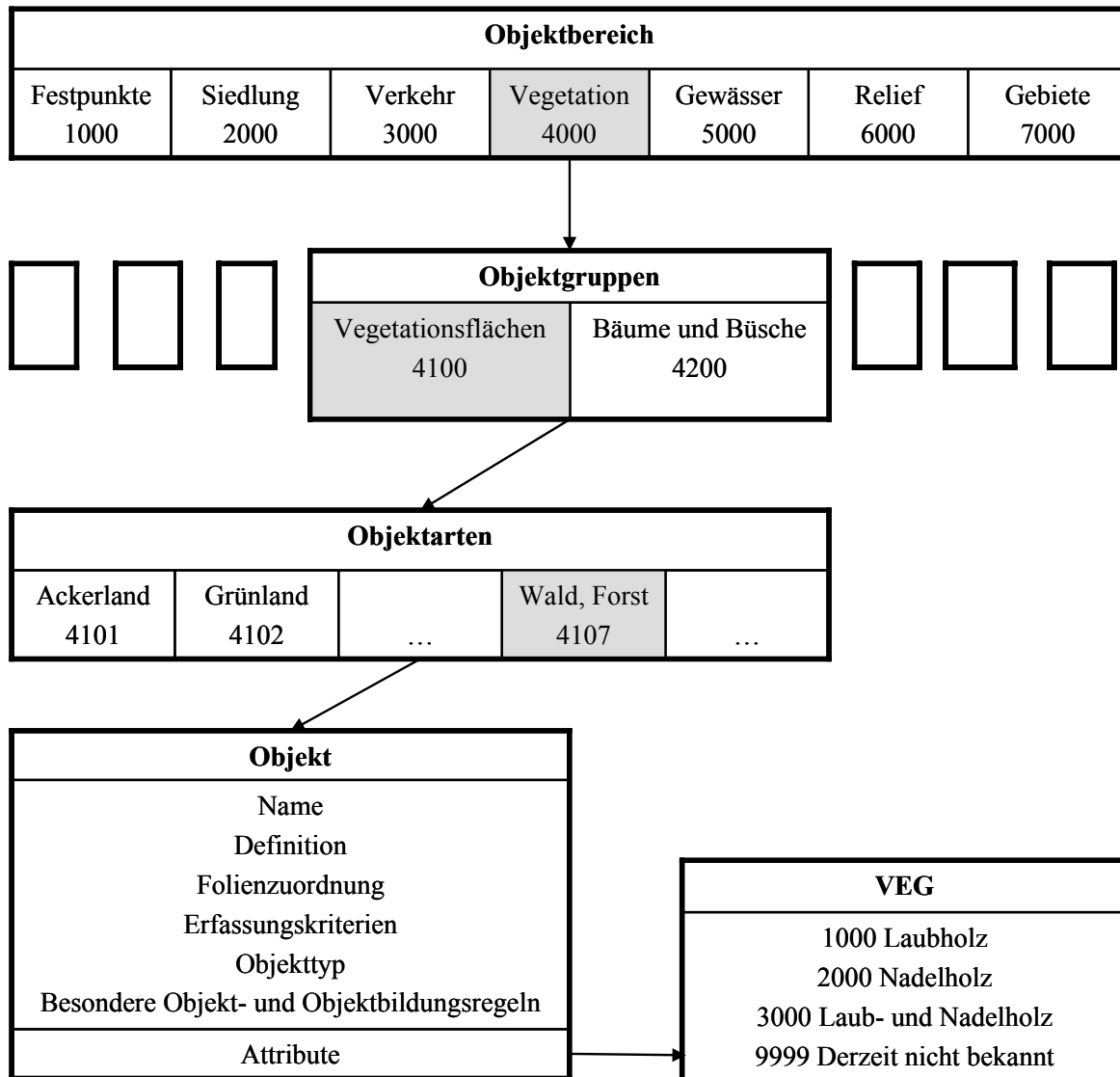


Abbildung 6.27: Aufbau des ATKIS-Objektartenkatalogs (ATKIS-OK) am Beispiel der Objektart Wald, Forst (Quelle: nach ADV 2004, BILL 1999)

Die Minimalgrößen zur Erfassung von Objekten sind im Objektkatalog (OK) festgelegt. Im Allgemeinen gilt, dass sie für flächenförmige Objekte 1 ha (Objektart Wald/Forst 0,5 ha) beträgt. Für linien- und punktförmige Objekte wurden keine festen Erfassungsuntergrenzen festgelegt, da i.d.R. Objekte flächenförmig abzubilden sind, wenn sie eine Breite größer 12 m besitzen. Für alle anderen Fälle werden die Grenzen spezifisch festgesetzt.

Der Vergleich mit den Satellitendaten liefert den stärksten linearen Zusammenhang ( $R^2=0,9152$ ). Allerdings liegen die Anteile aus den Satellitendaten um etwa 23 Prozent unter denen, die aus der amtlichen Statistik ermittelt wurden.

**Tabelle 6.5: Gegenüberstellung der Objektklassenzuordnung ATKIS/CORINE/Statistik (Quelle: eigene Darstellung)**

ATKIS und CORINE LAND COVER Nomenklatur der Bodenbedeckungen		
Ebene 1	ATKIS	CORINE
1. Bebaute Flächen	2112 Industrie- und Gewerbefläche 3501 Bahnhofsanlage 2111 Wohnbaufläche 2126 Kraftwerk 4103 Gartenland 2113 Fläche gemischter Nutzung 2114 Fläche besonderer funktionaler Prägung 2115 Fläche besonderer funktionaler Prägung 2116 Fläche besonderer funktionaler Prägung 2121 Bergbaubetrieb 2122 Abfalldeponie 2126 Kraftwerk 2127 Umspannwerk 2129 Kläranlage Klärwerk 2133 Heizwerk 2134 Wasserwerk 2201 Sportanlage 2202 Freizeitanlage 2213 Friedhof 2227 Grünanlage 2228 Campingplatz 2301 Tagebau Grube Steinbruch 2302 Halde Aufschüttung 2314 Absetzbecken Rieselfeld Schlammteich 3103 Platz (Rastplatz Parkplatz) 3302 Flugplatz Landeplatz 3402 Hafenbecken 3514 Brücke Unter-/Überführung	111 Durchgängig städtische Prägung 112 Nicht durchgängig städtische Prägung 121 Industrie- und Gewerbeflächen 122 Straßen, Eisenbahnnetze und funktionell zugeordnete Flächen 123 Hafengebiete 124 Flughäfen 131 Abbauflächen 132 Deponien und Abraumhalden 133 Baustellen 141 Städtische Grünflächen 142 Sport- und Freizeitanlagen
2. Landwirtschaftl. Flächen	4101 Ackerland 4102 Grünland 4105 Moor 4106 Sumpf 4109 Sonderkultur	211 Nicht bewässertes Ackerland 212 Regelmäßig bewässertes Ackerland 213 Reisfelder 221 Weinbauflächen 222 Obst- und Beerenobstbestände 223 Olivenhaine 231 Wiesen und Weiden 241 Einjährige Kulturen in Verbindung mit Dauerkulturen 242 Komplexe Parzellenstrukturen 243 Landwirtschaftlich genutztes Land mit Flächen natürl. Bodenbedeckung von signif. Größe 244 Land- und Forstwirtschaftliche Flächen

## 6 Multitemporale Landnutzungsauswertungen und vergleichende Untersuchungen

---

3. Wälder und naturnahe Flächen	4107 Wald Forst 4108 Gehölz	311 Laubwälder 312 Nadelwälder 313 Mischwälder 321 Natürliches Grünland 322 Heiden- und Moorheiden 323 Hartlaubbewuchs 324 Wald-Strauch-Übergangsstadien 331 Strände, Dünen und Sandflächen 332 Felsflächen ohne Vegetation 333 Felsflächen mit spärlicher Vegetation 334 Brandflächen 335 Gletscher- und Dauerschneegebiete
4. Strand	4120 Vegetationslose Fläche 4199 Fläche z.Zt. unbestimmbar	331 Strände, Dünen, Sandflächen 411 Sümpfe 412 Torfmoore
5. Wasserflächen	5111 Meer 5101 Strom Fluss Bach 5103 Graben Kanal (Wasserwirtschaft) 5112 Binnensee Stausee Teich 5303 Schleuse	511 Gewässerläufe 512 Wasserflächen 521 Lagunen 522 Mündungsgebiete 523 Meere und Ozeane

# ***7 Zusammenfassung und Ausblick***

## ***7.1 Zusammenfassung***

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Analyse der Landnutzung und der Landnutzungsveränderungen mittels Fernerkundung und Geoinformationen. Die Satellitenfernerkundung besitzt für das Umweltmonitoring bzw. die Landnutzungsbeobachtung ein hohes Anwendungspotenzial. Durch die Verwendung und Verarbeitung von Zeitreihen aus Satellitenbildern können Informationen über die Veränderungen der Landnutzungen über einen längeren Zeitraum gewonnen werden. Mit der Methode werden die Vorteile der Fernerkundung (*Aktualitätsgrad, Kostenvorteil, hohe Repetitionsrate, große Flächenleistung etc.*) genutzt; diese können unkompliziert in die Landnutzungsplanung integriert werden. Durch die Verknüpfung der Verarbeitung von Raster- und Vektordaten erfahren sowohl statistische als auch fernerkundliche Daten gegenseitig eine sinnvolle Ergänzung.

Die Fernerkundung mit multitemporalen Satellitendaten in Geo-Informationssystemen bietet eine reelle Möglichkeit für die Dokumentation, das Monitoring der Landnutzung sowie ihrer Veränderungen auf regionaler Ebene an. Dabei können flächendeckende Daten schneller und rationeller als bei rein terrestrischen Untersuchungen erhoben und die daraus gewonnenen Informationen als eine wichtige Datengrundlage für die Entscheidungsfindung auf unterschiedlichen Ebenen der Landentwicklung und Landnutzungsplanung herangezogen werden.

Als Untersuchungsgebiet wurde die Rostocker Region mit einer ungefähren Größe von 1560 km<sup>2</sup> ausgewählt, die durch große Landnutzungsänderungen speziell in den letzten Jahrzehnten geprägt ist. Ausgehend vom Jahr 1973 wurde die Entwicklung der Landnutzung bis 1999 analysiert. Dafür wurden Fernerkundungsdaten der Landsat-Satelliten untersucht. Im Rahmen dieser Arbeit standen Satellitenbilder unterschiedlicher Jahre (multispektrale Landsat-MSS-Aufnahme von 1973, multispektrale Landsat-TM-Aufnahme von 1989 und multispektrale Landsat-ETM+-Aufnahme von 1999) zur Verfügung. Die Zeitspanne der verwendeten Satellitenbildszenen ist mit 26 Jahren als solide zu bezeichnen, um Veränderungen in der Region in einzelnen Zeitabschnitten aufzeigen zu können.

Um den Informationsgehalt multitemporaler Datensätze nutzen zu können ist eine intensive Datenaufbereitung notwendig. Die einzelnen Szenen müssen geometrisch entzerrt und in einem einheitlichen Koordinatensystem dargestellt werden. Anschließend können sie übereinander gelegt und geometrisch verglichen werden. Auch ist so die Vergleichbarkeit mit weiteren Geodaten gewährleistet, soweit diese auch in dem gewählten Koordinatensystem vorliegen (z. B. ATKIS, CORINE, Trainingsflächen, DGM,...), zu ermöglichen. Diese Form der Datenaufbereitung, die sog. Georeferenzierung, ist eine standardisierte Methode in der Satellitenbildauswertung und wurde auch im Rahmen dieser Arbeit angewendet.

Die radiometrische Korrektur von Satellitenrohdaten gewinnt dagegen in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung. Sie beinhaltet eine Sensorkalibrierung, eine atmosphärische Korrektur und die Beseitigung von Beleuchtungsunterschieden. Die Zielsetzung einer umfassenden radiometrischen Korrektur ist die Vergleichbarkeit der am Sensor erfassten Messdaten unterschiedlicher Satellitenbildaufnahmen. In der vorliegenden Arbeit war das primäre Ziel der radiometrischen Datenaufbereitung die Beseitigung von jahreszeitlichen Beleuchtungsdifferenzen, die Minimierung von Reliefeinfluss und die Korrektur atmosphärischer Störungen, um eine direkte (*quantitative*) Vergleichbarkeit der multispektralen Messdaten zu ermöglichen. Die in dieser Arbeit verwendete Methode zur radiometrischen Korrektur basierte ausschließlich auf dem Informationsgehalt der Satellitenrohdaten und allgemein bekannter Aufnahmebedingungen. Im Rahmen dieser Arbeit wird die atmosphärische und radiometrische Korrektur basierend auf dem Chavez'-Modell durchgeführt.

Auf der Grundlage der aufbereiteten Landsat-Daten erfolgte die Landnutzungsklassifikation. Mittels objektorientierter Bildklassifikation können einige Probleme der klassischen pixelbasierten Klassifikationsansätze umgangen werden. Durch die Möglichkeit, nicht allein die spektrale Signatur als Klassifikationsmerkmal, sondern auch verschiedene Parameter wie z. B. Farbe, Textur, Formfaktoren, Flächengrößen, Nachbarschaftsbeziehungen zu nutzen, wird die Qualität der gewonnenen Daten besser, was eine bessere Zuordnung der untersuchten Flächen zur jeweiligen Landnutzung ermöglicht. Dazu wurden objekt-orientierte Klassifikationsverfahren angewendet.

Die zur Verfügung stehenden Daten wurden mit Hilfe der Software ERDAS Imagine V8.7 importiert und in Imagedateien konvertiert, reprojiziert und mittels weiterer Vorverarbeitung in einem atmosphärisch und radiometrisch vergleichbaren Zustand gebracht. Die anschließen-



de Auswertung erfolgte nicht pixelorientiert, sondern als objektorientierte Klassifikation mittels der Bildverarbeitungssoftware eCognition 4.0. Im Zuge der Arbeit wurden alle drei Bilder in eCognition segmentiert. Als zu untersuchende Klassen wurden Bebauung, Landwirtschaftsflächen, Strand, Wald und Wasser gebildet. Diese sogenannten Features umfassen die spektralen Eigenschaften der Objekte, die Objektform sowie deren Beziehungen zu Nachbarobjekten. Da durch das schlechte Bildmaterial kein umfassend zufrieden stellendes Ergebnis erzielt werden konnte, wurden die Bilder manuell in eCognition nachbearbeitet. Der Zeitaufwand hielt sich dabei in Grenzen und die Qualität der Klassifikation konnte erheblich verbessert werden, wie durch eine in eCognition durchgeführte Genauigkeitsabschätzung bestätigt werden konnte.

Auf Grund der guten Datengrundlage erwies sich die Wahl des Untersuchungsgebietes als positiv, da dies eine Basis für die Durchführung eines Monitoring der Landnutzungsveränderung darstellt. Innerhalb dieser Arbeit wurde deutlich, dass für eine Klassifizierung zur Ausweisung und Überprüfung von Testgebietssignaturen zusätzliche Informationsebenen (CORINE oder ATKIS des Bundeslandes Mecklenburg-Vorpommern) zwingend erforderlich sind.

Zum Vergleich dienen Daten der amtlichen Statistik in Mecklenburg-Vorpommern von 1973 bis 2006. Durch die Möglichkeit der kombinierten Betrachtung und Auswertung wird die Bevölkerungsstatistik mit einem räumlichen Bezug verknüpft. Die reinen Zahlen erhalten wertvolle Zusatzinformationen. Insbesondere die Veränderungen der Bevölkerungszahl und die mit diesen verbundenen Veränderungen der Landnutzung können mit der vorgestellten Methode im zeitlichen Vergleich erkannt und analysiert werden. Statistische Daten sind eine fundierte Grundlage für das Erkennen von Problembereichen. Eine dies beachtende gerichtete Planung wird durch eine temporale Untersuchung unterstützt. Andererseits können die Landnutzungsveränderungen temporal auf ihre Ursache hin überprüft werden. Liegt beispielsweise in einem Gebiet das Potential für Landnutzungsveränderungen vor, gibt das dargestellte Bevölkerungspotential einen Aufschluss über eine mögliche, dies begründende Veränderung (Wohnungs- und Einfamilienhäuser-Neubau). Zudem verdeutlicht die Darstellungsweise die direkte Abhängigkeit zwischen den Bevölkerungsaktivitäten und mit ihr einhergehenden Veränderungen der Landbedeckung. Unterschiedliche Auswirkungen von Neuansiedlungen von Gewerbe und Wohnbebauung können verdeutlicht werden.

Während multitemporale Auswertungen der Fernerkundungsdaten nur mit Urbanisierungsprozessen einhergegangene Veränderungen der Landbedeckung aufzeigen, wird mit der Methode einer GIS-Verknüpfung mit statistischen Bevölkerungszahlen ein direkter Flächenbezug erzielt. Veränderungen in der Bevölkerungsdichte pro Fläche sind genauso erkennbar, wie die Abnahme landwirtschaftlich genutzter Gebiete bei neuen versiegelten Flächen.

## **7.2 Schlussfolgerung/Erkenntnisse**

Die in dieser Arbeit vorgestellten speziellen Untersuchungen der Landnutzungsänderungen mit Fernerkundungsdaten haben gezeigt, dass die Einsatzbereiche der Fernerkundung für die Untersuchung von Landnutzungsveränderungen zahlreich sind. Statistische Daten sind für die Untersuchung der Urbanisierungsprozesse und ihrer Ursachen ebenfalls geeignet.

Die Ergebnisse geben einen ersten Eindruck der Landnutzungsänderungen, die in den letzten drei Jahrzehnten in der Rostocker Region stattgefunden haben.

Die Rostocker Region hat sich als gutes Arbeitsgebiet für das methodische Monitoring der Landnutzung mit Fernerkundungsmethoden erwiesen. Die gefundenen Landnutzungsänderungen vollziehen sich in den neuen Bundesländern, und damit auch in Rostock, innerhalb kurzer Zeitspannen.

In der Rostocker Region besteht die dringende Notwendigkeit, flächenbezogene Daten unterschiedlichster Maßstabsebenen zu erfassen, auf aktuellen Stand zu halten sowie eine Auswertung und Analyse des Materials durchzuführen. Dies kann jedoch nur durch den Einsatz neuer Erfassungs- und Analysemethoden erreicht werden.

Ein Nachteil von eCognition ist der Mangel an der Fähigkeit für die notwendigen Vorverarbeitungen der Fernerkundungsdaten. Diese Vorverarbeitungsschritte sind für die Fernerkundung von großen Gebieten und besonders für das Feld der Veränderungsdetektion (*change detection*) unentbehrlich. Dies bedeutet, dass Ressourcen immer mit einem zusätzlichen Fernerkundungsprogramm bearbeitet werden müssen, und es ist deshalb kaum möglich, mit eCognition allein im Bereich der Fernerkundung zu arbeiten. Es muss auch erwähnt werden, dass es keine Möglichkeit unabhängiger Reproduzierbarkeit gibt. Weiterhin gibt es kein umfassendes, statistisches oder wirklich befriedigendes Werkzeug für den Bereich der Objektex-

traktion. Es ist sehr mühsam und zeitaufwendig, Objekte und Schwellenwerte zu filtern, die gut von der großen Anzahl von möglichen (vorher definierten) Objekten und Werten eine Objektklasse beschreiben.

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen haben zahlreiche Ergebnisse erbracht, die einerseits eine anwendungsorientierte und andererseits eine fernerkundungsmethodische Komponente haben.

### ***7.3 Ausblick auf zukünftige Forschungen***

Unter Berücksichtigung der vorgestellten Ergebnisse können für zukünftige Untersuchungen im Rahmen des Untersuchungsgebietes folgende Arbeitsschwerpunkte formuliert werden:

- Untersuchung des Anwendungspotentials neuerer hoch auflösender satellitenbasierter Fernerkundungssysteme (z.B. *RapidEye*, *IKONOS*, *QuickBird*) oder flugzeuggestützter Aufnahmeverfahren inklusive Airborne Laser Scanning.
- Klassifizierung der Landnutzung mit anderen Methoden, z.B. neuronalen Netzen.
- In den kommenden Jahren werden weitere räumlich und spektral hochauflösende Satellitensensoren in Umlaufbahnen gebracht: Mit diesen Daten können einige Klassifikationsprobleme gelöst werden, welche zur Zeit die Folge von Mischpixeln sind. Doch werden gleichzeitig neue Probleme hinzukommen. Die Informationsmenge wird in Zukunft größer, Textur- und Formmerkmale sowie die hyperspektralen Eigenschaften der Objekte werden an Bedeutung gewinnen. Neue Probleme kommen hinzu. Mit einer Steigerung der geometrischen Auflösung werden Schatten sichtbar, die Kanten- und Linieninformationen muss mit beachtet werden, eine geometrische Entzerrung sollte die Höheninformation der Geländeoberfläche mit einbeziehen.
- Untersuchung von Antriebsfaktoren (*anthropogener Antriebsfaktoren*).
- Die Resultate dieser Untersuchung können die statistischen Landesämter dazu motivieren, die Landnutzung mit Hilfe von digitalen Satellitendaten zu ermitteln.
- Die hier durchgeführten Untersuchungen lassen sich zudem auf das Heimatland des Doktoranden übertragen. Auf Grund der demographischen Entwicklung (natürliche Bevölkerungswachstumsrate 2,3%), der zunehmenden Abwanderung aus den ländlichen Regionen und der Emigration von Kriegsflüchtlingen (Palästina-Flüchtlinge (1948, 1976), Golan-

Flüchtlinge 1973, Irak-Flüchtlinge seit 2003 und Libanon-Flüchtlinge (1978, 1982, 2006)) nach Syrien in die Städte (insbesondere Hauptstadt Damaskus und Aleppo) verläuft der Urbanisierungsprozess in Syrien rasant. Die syrischen Städte wachsen derzeit jährlich um etwa fünf Prozent. Ungeordnet entstehen dadurch immer mehr Siedlungsgebiete mit schwacher Infrastruktur. Die Altstädte, durch unsichere Bauformen, eine hohe Siedlungsdichte und zunehmenden Tourismus geprägt, weisen eine mangelhafte Versorgungslage sowie sinkende Lebensqualität auf. Zwar erkennen die regionalen Verwaltungen die dringenden Probleme, deren Leistungsfähigkeit und Kompetenzen sind jedoch unzureichend. Zuständige Ministerien sind kaum imstande, die urbane Entwicklung nachhaltig zu steuern. In diesem Zusammenhang erlebt Syrien immense Landnutzungsänderungen. Damaskus war zum Beispiel bis 1980 nahezu vollständig von landwirtschaftlichen Flächen umgeben. Die drastischen Verstädterungsprozesse der jüngsten Vergangenheit führten zu einem Verlust eben dieser Flächen. Weiterhin hatten sie einen Nutzungswandel zur Folge, der wesentlich durch die Wandlung von landwirtschaftlichen Flächen zu bebauten Flächen geprägt ist. In der Stadt und zunehmend im Umland vollzog sich dieser Wandel rasant, unkontrolliert und unsystematisch. Eine Dokumentation (Monitoring) solcher räumlichen Entwicklungen und Probleme in großräumigen, städtischen Gebieten erlaubt es, großflächige und multitemporale Analysen der Erdoberfläche und der Landnutzungsänderungen durchzuführen. Seither werden fernerkundliche Daten genutzt, um Landnutzungsänderungen festzustellen. Ferner werden fernerkundliche Daten herangezogen, um regionale Umweltveränderungen zu erfassen und die Daten in Form von spektralen Informationen zwecks Weiterverarbeitung in Planungsszenarien zur Verfügung zu stellen.

## *Summary*

This work is dedicated to the analysis of land use/land cover changes based on Remote Sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS). Satellite remote sensing can provide useful information for the environmental monitoring or the land use/cover changes over a longer period. The advantages of remote sensing data (acquiring up-to-date information, cost benefit, high repetition rate, large areas etc.) can be easily integrated into a relatively simple and at the same time useful land use monitoring program. Image processing of remotely sensed images using raster and vector data processing plays a significant role in land use/ land cover mapping.

Multi-temporal satellite data coupled with GIS offers a real opportunity for the documentation and monitoring of land use/land cover at different scales. Nationwide data collection is faster and economically more efficient compared to pure terrestrial studies and can be used as an important database for decision making, at different regional levels for the land use / land cover planning.

The test area of this study is the region around the city of Rostock and covers 1.560 km<sup>2</sup>. The study area is characterized by large land use/ land cover changes in a period between 1973 and 1999. LANDSAT satellite data was used in this study. The dataset consists of the following satellite images: Multi-spectral Sensor (MSS) of 1973, Thematic Mapper (TM) of 1989 and Enhanced Thematic Mapper (ETM+) of 1999. The images cover a time interval of 26 years, well suited for analysis of land use changes in the region at several distinct time frames.

An intensive data pre-processing is necessary for information extraction from multi-temporal data. Each scene must be geometrically corrected and represented in a uniform coordinate system. Subsequently, images can be overlaid and geometrically compared. The comparability with other geo-data (e.g. ATKIS, CORINE, training areas, DGM...) can be only ensured when all datasets are in the same coordinate system. This form of data processing, so-called geo-referencing, is a standardized method in the satellite image analysis and was also applied in this work. The radiometric correction of raw satellite data also becomes extremely meaningful in the recent years.

The radiometric corrections included a sensor calibration, an atmospheric correction and the removal of sun illumination differences. The objective of a comprehensive radiometric correction is the comparability of the measured data of different satellite images. The primary goal of this study for radiometric data processing is removal of seasonal lighting differences, the minimization of terrain influences and the correction of atmospheric disturbances, in order to make multi-spectral data comparable. The radiometric correction of this work was based on the information from satellite raw data and data acquiring conditions. In this work the atmospheric and radiometric correction is performed using the Chavez model. Radiometrically corrected images were used for further classification.

Object-oriented image classification can avoid some problems compared to the classical pixel-based classification approach. The possibility of using not only spectral signatures as a classification criteria but also other parameters such as color, texture, surface area, neighborhood relations probably provides a better class assignment of the respective land use/ land cover category. For this reason the object-oriented classification was used in this study.

The available raw data were imported into ERDAS IMAGINE V8.7 and converted into image files, re-projected and atmospherically and radiometrically corrected. Object-oriented classification and further segmentation was carried out in eCognition V4.0 software. The following classes were used in the classification: Settlement, agricultural area, beach, forest and water. These features include the spectral properties of the objects and their relations to neighbouring objects. Due to poor image material no comprehensively satisfying result could be obtained. The images were manually post processed in eCognition. With little manual effort the quality of the classification could be significantly improved. This was confirmed by an accuracy assessment carried out with the eCognition software.

Within this work it became clear that additional data for the classification and check (review) of training areas signatures are necessary. Such additional data layers are CORINE or ATKIS of the Federal state Mecklenburg-Western Pomerania. For the comparison population data from the official statistics in Mecklenburg-Western Pomerania from 1973 to 2006 was used. For combined observation and analysis the demographic statistics were linked to spatial data. The pure numbers obtained provide valuable additional information. In particular the population development connected with the land use changes can be identified and analyzed with the proposed method in the temporal data analysis. Statistical data is a substantial basis for the

recognition of problem areas. Considering this arranged planning is supported by a temporal study.

On the other hand the land use changes can be temporally tested against possible reasons. For example if the potential for land use changes exist in an area, the represented potential population gives about a possible, this justifying (causal) change (housing and single family house and new building). Besides the representation clarifies (illustrates) direct dependence between the population activities and associated land cover changes. Different effects of new settlements of industrial and residential buildings can be clarified.

Multi-temporal analysis of the remote sensing data only identifies urbanization processes accompanied with land cover changes. With the method of a GIS linkage to statistical population information a direct areal information is obtained. Changes in the population density per area are just as recognizable, as the decrease of agricultural areas converted into impervious surfaces.

# Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 2.1: Änderungen ausgewählter Landnutzungsformen über die letzten 300 Jahre...</i>	6
<i>Abbildung 2.2: Urban population of the world (1950-2005).....</i>	8
<i>Abbildung 2.3: Entwicklung der Megastädte in der Welt.....</i>	9
<i>Abbildung 2.4: Landbedeckung in Deutschland im Jahr 2005.....</i>	10
<i>Abbildung 2.5: Anteil der tatsächlichen Landnutzung in Deutschland und in den Bundesländern 2005.....</i>	11
<i>Abbildung 2.6: Anteil der Landnutzungsänderungen in Deutschland (1992-2004).....</i>	12
<i>Abbildung 2.7: Landnutzungsänderungen in Deutschland bezogen auf 1992.....</i>	13
<i>Abbildung 2.8: Durchschnittliche tägliche Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche in Deutschland.....</i>	14
<i>Abbildung 2.9: Jährliche Änderungen der Siedlungs- und Verkehrsfläche in Deutschland bezogen auf 2001 und deren Anteile .....</i>	14
<i>Abbildung 2.10: Landbedeckung in M-V im Jahr 2005.....</i>	15
<i>Abbildung 2.11: Landnutzungsänderungen in M-V zwischen 1992 und 2005 .....</i>	16
<i>Abbildung 2.12: Anteil der Siedlungs- und Verkehrsflächen in Deutschland nach Bundesländern im 2005.....</i>	17
<i>Abbildung 2.13: Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche in M-V von 1992 bis 2004 (ha/Tag).....</i>	18
<i>Abbildung 3.1: Das elektromagnetische Spektrum und die Bereiche verschiedener Sensoren. Den Wellenlängenbereichen des elektromagnetischen Spektrums sind die Strahlungsenergie der Sonne und die Durchlässigkeit der Atmosphäre gegenübergestellt .....</i>	20
<i>Abbildung 3.2: Reflektionsverhalten an einer Oberfläche.....</i>	21
<i>Abbildung 3.3: Interaktionen der Solarstrahlung mit der Atmosphäre.....</i>	23



<i>Abbildung 3.4: Spektraler Reflexionsgrad verschiedener Oberflächen in Abhängigkeit von der Wellenlänge .....</i>	<i>24</i>
<i>Abbildung 3.5: Arten des Umlauf.....</i>	<i>26</i>
<i>Abbildung 3.6: Der aufgenommene Geländestreifen war 185 km breit, das einzelne Bildelement etwa 80*80 m<sup>2</sup> groß.....</i>	<i>28</i>
<i>Abbildung 3.7: Die Orbit Parameter des Landsat TM.....</i>	<i>29</i>
<i>Abbildung 3.8: Aufnahmeverfahren der HRSC-A .....</i>	<i>33</i>
<i>Abbildung 3.9: Aktive und passive Aufzeichnungssysteme.....</i>	<i>34</i>
<i>Abbildung 3.10: Multispektrale Klassifikation.....</i>	<i>39</i>
<i>Abbildung 3.11: Überwachte Klassifikationsverfahren .....</i>	<i>41</i>
<i>Abbildung 4.1: Rostocker Region.....</i>	<i>46</i>
<i>Abbildung 4.2: Administrative Gliederung des Gebietes im Landkreis Bad Doberan 2006 ...</i>	<i>47</i>
<i>Abbildung 4.3: Das Ergebnis der Interpretation für das Untersuchungsgebiet für das Jahr 1990 .....</i>	<i>57</i>
<i>Abbildung 4.4: Das Ergebnis der Interpretation für das Untersuchungsgebiet für das Jahr 2000 .....</i>	<i>58</i>
<i>Abbildung 4.5: Die Verwendung der CORINE Land Cover-Datenbank in Zentral- und Osteuropäischen Ländern.....</i>	<i>60</i>
<i>Abbildung 4.6: Endnutzer der CLC-Daten.....</i>	<i>60</i>
<i>Abbildung 4.7: Automatische Präsentation der Datenbestände Basis-DLM/3 in der Hansestadt Rostock.....</i>	<i>64</i>
<i>Abbildung 4.8: ATKIS-Daten des Untersuchungsgebietes für das Jahr 1999 .....</i>	<i>65</i>
<i>Abbildung 4.9: Reklassifizierte ATKIS des Untersuchungsgebietes für das Jahr 1999.....</i>	<i>66</i>
<i>Abbildung 4.10: Die Entwicklung der Bevölkerung in der Rostocker Region von 1971 bis 2006 .....</i>	<i>68</i>
<i>Abbildung 4.11: Bevölkerungsentwicklung im Zeitraum 1970 bis 1990.....</i>	<i>69</i>
<i>Abbildung 4.12: Bevölkerungsentwicklung 1990-2006.....</i>	<i>70</i>

<i>Abbildung 4.13: Veränderung der Bevölkerungsdichte zwischen 1970 und 1990 .....</i>	71
<i>Abbildung 4.14: Veränderung der Bevölkerungsdichte zwischen 1990 und 2006 .....</i>	71
<i>Abbildung 5.1: Datenfluss für die radiometrische Korrektur von Fernerkundungsdaten.....</i>	74
<i>Abbildung 5.2: Darstellung des Geländemodells .....</i>	78
<i>Abbildung 5.3: Darstellung des Beleuchtungsmodells .....</i>	78
<i>Abbildung 5.4: Vergleich zwischen unkorrigiertem (links) und radiometrisch korrigiertem Satellitenbild (rechts) (RGB = 432), dargestellt am Beispiel der Landsat 7- Teilszene 1999 (Maßstab 1:250.000) .....</i>	79
<i>Abbildung 5.5: Vergleich zwischen unkorrigiertem (links) und radiometrisch korrigiertem Satellitenbild (rechts) (RGB = 432), dargestellt am Beispiel der Landsat 5- Teilszene 1989 (Maßstab 1:250.000) .....</i>	79
<i>Abbildung 5.6: Die höchste Kombination von Kanal 1, 4 und 7 in dem ETM7-1999er Bild..</i>	83
<i>Abbildung 5.7: Fusion von Landsat ETM+ Satellitendaten: multispektrale Originaldaten (A), panchromatischer Kanal (B) und Zhang-Fusion (C) (Ausschnitt des Untersuchungsgebietes) .....</i>	84
<i>Abbildung 5.8: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI 1999).....</i>	85
<i>Abbildung 5.9: Salz und Pfeffer-Effekt .....</i>	86
<i>Abbildung 5.10: Ablaufschema von objektbasierten Bildanalyse in eCognition.....</i>	87
<i>Abbildung 5.11: Dialogfenster zur Multiresolution Segmentation in eCognition 4.0.....</i>	88
<i>Abbildung 5.12: Segmentierungsergebnis mit den in der Tabelle (4.6) angegebenen Parametern, im Hintergrund die RGB-Darstellung.....</i>	89
<i>Abbildung 5.13: Klassenhierarchie der Flächennutzung – oberste Ebene .....</i>	90
<i>Abbildung 5.14: Spektralverteilung in den Kanälen (ETM 1999) 1,4,7, NDVI.....</i>	92
<i>Abbildung 5.15: Klassifikationsergebnis der Segmentierung nach einem Klassifikationsdurchlauf.....</i>	92
<i>Abbildung 5.16: Klassifikationsergebnis der Segmentierung nach manueller Nachbearbeitung .....</i>	93
<i>Abbildung 5.17: Referenzgebiete im Satellitenbild 1973.....</i>	95

<i>Abbildung 5.18: TTA-Maske für die Konfusionstafel (Error Matrix) für Satellitenbild 1999</i>	96
<i>Abbildung 5.19: Landnutzungsklassifikationen 1973, 1989, und 1999</i>	98
<i>Abbildung 5.20: Flächenanteil der Landnutzung 1973</i>	99
<i>Abbildung 5.21: Flächenanteil der Landnutzung 1989</i>	99
<i>Abbildung 5.22: Flächenanteil der Landnutzung 1999</i>	100
<i>Abbildung 6.1: Erfassungsmethoden für Landbedeckung und Landnutzung</i>	102
<i>Abbildung 6.2: Zuwachs der Bebauungsflächen</i>	103
<i>Abbildung 6.3: Entwicklung der Bebauungsflächen im Untersuchungsgebiet</i>	103
<i>Abbildung 6.4: Entwicklung der Bebauungsflächen in der Hansestadt Rostock</i>	104
<i>Abbildung 6.5: Entwicklung der Bebauungsflächen in der Stadt Bad Doberan</i>	104
<i>Abbildung 6.6: Abnahme der Landwirtschaftsflächen</i>	105
<i>Abbildung 6.7: Reklassifizierte CORINE-LC 1990</i>	106
<i>Abbildung 6.8: Reklassifizierte CORINE-LC 2000</i>	106
<i>Abbildung 6.9: Landnutzungsveränderungen nach CORINE 1990 und 2000 (Level 1)</i>	107
<i>Abbildung 6.10: Landnutzungsveränderungen nach CORINE 1990 und 2000 (Level 3)</i>	108
<i>Abbildung 6.11: Die Hansestadt Rostock in den Kartierungen CLC 1990 und 2000 sowie abgeleitete Entwicklungen der Landbedeckung in generalisierten Transformationsklassen</i>	110
<i>Abbildung 6.12: Zuordnung von Einwohnerzahlen bei veränderten Gemeinden</i>	111
<i>Abbildung 6.13: Vergleich der realen Bevölkerungsdichte (Ein/km<sup>2</sup>) für 1989</i>	112
<i>Abbildung 6.14: Vergleich der realen Bevölkerungsdichte (Ein/km<sup>2</sup>) für 1999</i>	113
<i>Abbildung 6.15: Entwicklung der Siedlungsfläche 1989-1999 im Untersuchungsgebiet</i>	114
<i>Abbildung 6.16: Entwicklung der Bevölkerung 1989-1999 im Untersuchungsgebiet</i>	114
<i>Abbildung 6.17: Wohnungsbau (fertiggestellte Wohnungen)</i>	115
<i>Abbildung 6.18: Fertiggestellte Wohngebäude 1991-2005</i>	116
<i>Abbildung 6.19: Entwicklung des Wohnungsbaus</i>	117

<i>Abbildung 6.20: Wohnfläche je Einwohner 1991 bis 2006 (m<sup>2</sup>)</i> .....	118
<i>Abbildung 6.21: Wohnfläche je Einwohner 1991 bis 2006 (m<sup>2</sup>)</i> .....	118
<i>Abbildung 6.22: Wohnungsbestandsstruktur nach Raumzahl 1991 und 2003)</i> .....	120
<i>Abbildung 6.23: Entwicklung der Wohnfläche je Wohnung (1991-2003)</i> .....	120
<i>Abbildung 6.24: Der lineare Zusammenhang zwischen der amtlichen Statistik und den drei anderen Datenquellen für Gemeinden</i> .....	121
<i>Abbildung 6.25: Nicht erfasste Siedlungsflächen der CORINE-Daten</i> .....	122
<i>Abbildung 6.26: Schematischer Überblick über die DLM-Datenerhebung in Mecklenburg- Vorpommern</i> .....	123
<i>Abbildung 6.27: Aufbau des ATKIS-Objektartenkatalogs (ATKIS-OK) am Beispiel der Objektart Wald, Forst</i> .....	124

# **Tabellenverzeichnis**

<i>Tabelle 3.1: Landsat-Satelliten, ihre Operationsperiode und ihre Instrumente .....</i>	<i>27</i>
<i>Tabelle 3.2: Anwendungsgebiete der Kanäle des Thematic-Mapper.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabelle 3.3: Technische Parameter der HRSC-A, -AX, -AW-Flugzeugscanner .....</i>	<i>33</i>
<i>Tabelle 4.1: Versiegelungstreue der Wohnbebauung in Rostock.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabelle 4.2: Corine Land Cover Nomenklatur.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabelle 4.3: Datenbestand der ersten Aufbaustufe (DLM 25/1) .....</i>	<i>62</i>
<i>Tabelle 4.4: Datenbestand der Realisierungsstufen DLM .....</i>	<i>63</i>
<i>Tabelle 5.1: Eigenschaften der verwendeten Satellitendaten.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabelle 5.2: Spektral Radiance Range (Bereich messbarer Spektralstrahlung) für das ETM+ - Instrument des Satelliten Landsat 7 für den Zeitraum vor August 1999 .....</i>	<i>76</i>
<i>Tabelle 5.3: Mittelwert der Kanäle für Landsat ETM+ 1999.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabelle 5.4: Korrelationskoeffizient zwischen den Landsat ETM+ 1999-Kanäle .....</i>	<i>81</i>
<i>Tabelle 5.5: Standardabweichung der Kanäle für Landsat ETM+ 1999.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabelle 5.6: OIF-Verteilung für drei Kanalkombinationen des 1999er Bildes.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabelle 5.7: Segmentierungseinstellungen für die Bilddaten.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabelle 5.8: Fehlermatrix der Landnutzungsklassifikation von Landsat-MSS 1973 .....</i>	<i>96</i>
<i>Tabelle 5.9: Fehlermatrix der Landnutzungsklassifikation von Landsat-TM 1989 .....</i>	<i>97</i>
<i>Tabelle 5.10: Fehlermatrix der Landnutzungsklassifikation von Landsat-ETM 1999.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabelle 5.11: Flächenanteile der Landnutzungsklassen für 1973, 1989, 1999.....</i>	<i>100</i>
<i>Tabelle 6.1: Flächenanteile und Änderungen ausgewählter Klassen zwischen 1990 und 2000 für das Untersuchungsgebiet .....</i>	<i>108</i>
<i>Tabelle 6.2: Flächennutzung und Änderungen nach Level 3-CLC zwischen 1990 und 2000 für das Untersuchungsgebiet.....</i>	<i>109</i>
<i>Tabelle 6.3: Baufertigstellungen und Baugenehmigungen in der Hansestadt Rostock .....</i>	<i>119</i>

*Tabelle 6.4: Baufertigstellungen und Baugenehmigungen in Gemeinden im Rostocker Umland*  
..... 119

*Tabelle 6.5: Gegenüberstellung der Objektklassenzuordnung ATKIS/CORINE/Statistik.....* 125

# *Literaturverzeichnis*

- ACHARD, F.; EVA, H. D.; STIBIG, H. J.; MAYAUX, P.; GALLEGU, J.; RICHARDS, T.; MALINGREAU, J. P. (2002): Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. *Science* 297: Pages 999–1002. American Association for the Advancement of Science.
- ALBERTZ, J. (1991): Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. Eine Einführung in die Fernerkundung- Darmstadt, 204 Seiten.
- ALBERTZ, J. (2001): Einführung in die Fernerkundung - Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. - 2. Auflage. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt. 250 Seiten.
- ALBERTZ, J. (2007): Einführung in die Fernerkundung - Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. - 3. Auflage. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt. 254 Seiten.
- AMT FÜR RAUMORDNUNG UND LANDESPLANUNG MITTLERES MECKLENBURG/ROSTOCK (2006): Entwicklung und Kooperationen innerhalb von Stadt-Umland-Räumen.
- ARBEITSGEMEINSCHAFT DER VERMESSUNGSVERWALTUNGEN DER LÄNDER DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (AdV) (2004): ATKIS Objektartenkatalog 250 (ATKIS-OK 250) Teil D3 Version x.x.
- AUBRECHT, P. (1996): Das europäische Landnutzungsprojekt CORINE Landcover und erste Ergebnisse für Österreich. *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung VIII = Salzburger Geographische Materialien*, Heft 24.
- BAATZ, M., SCHÄPE, A. (2000): Multiresolution Segmentation: An Optimization Approach for High Quality Multi-scale Image Segmentation. In: *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII, Beiträge zum AGIT Symposium Salzburg, 2000*, Heidelberg, Seite 12-23.

- BÄHR, H. P., VÖGTLE, T. (HRSG.) (1991): Digitale Bildverarbeitung. Anwendungen in Photogrammetrie, Kartographie und Fernerkundung. 2. Auflage. Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- BÄHR, H. P., VÖGTLE, T. (HRSG.) (1998): Digitale Bildverarbeitung. Anwendung in Photogrammetrie, Kartographie und Fernerkundung - Heidelberg, 360 Seiten.
- BANZHAF, E., MARTINI, M. (2006): Objektorientierte Klassifikation von Stadtstrukturtypen für die Stadt Leipzig mittels sehr hochauflösender Fernerkundungsdaten. 4. Jahrestagung des Arbeitskreises Fernerkundung (AKF), Institut für Geoinformatik und Fernerkundung, Universität Osnabrück.
- BARKER, J. L., BALL, D. L., LEUNG, K. C., WALKER, J. A. (1985): Proceedings of the Landsat-4 Science Characterization Early Results Symposium. Feb. 1983, NASA Goddard, NASA Conference Publication 2355.
- BAUER, T., STEINNOCHER, K., (1999): Analyse urbaner Strukturen in hochauflösenden Fernerkundungsdaten. In Strobl, J. & Blaschke, T. (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XI, Wichmann Verlag, Heidelberg: Seite 11-22.
- BERLEKAMP, L.-R., PRANZAS, N. (1992): Erfassung und Bewertung von Bodenversiegelungen unter hydrologisch-Stadtplanerischen Aspekten am Beispiel eines Teilraums von Hamburg. Dissertation, Hamburg.
- BILL, R. (1999): Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Band 1: Hardware, Software und Daten. 2. Auflage, Wichmann-Verlag, Heidelberg. 454 Seiten.
- BILL, R. (1999): Grundlagen der Geo-Informationssysteme, Band 2, Analysen, Anwendungen und neue Entwicklungen, 2. Auflage, Wichmann-Verlag, Heidelberg. 475 Seiten.
- BILL, R. (2000): ATKIS - Stand und Fortführung : Beiträge zum 51. DVW-Seminar am 25. und 26. September 2000 an der Universität Rostock.
- BILL, R., GRENZDÖRFFER, G., GELDNER, M., SCHWARZ, M. (1998): Satellitenbildgestützte Flächenbilanzierung der Hansestadt Rostock als Beitrag zum vorsorgenden Bodenschutz und zur nachhaltigen Umweltplanung. - Studie im Auftrag des Umweltamts der Hansestadt Rostock, 35 Seiten.
- BILL, R., ZEHNER, M. L. (2001): Lexikon der Geoinformatik. Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 310 Seiten.



- BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie) (2005): Metadateninformation zum Basis-DLM Mecklenburg-Vorpommern. [www.geodatenzentrum.de/geodaten/metainfo.htm](http://www.geodatenzentrum.de/geodaten/metainfo.htm)
- BLANCHARD, L. E., WEINSTEIN, O. (1980): Design challenges of the thematic mapper. Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Geoscience and Remote Sensing Ge-18, 146-60.
- BLASCHKE, T. (2000): Objektextraktion und regelbasierte Klassifikation von Fernerkundungsdaten: Neue Möglichkeiten für GIS-Anwender und Planer. Tagungsband 5. Symposium Computergestützte Raumplanung - CORP2000, 16.-18.2.2000, Wien.
- BLASCHKE, T., GLÄSSER, C., LANG, S. (HRSG.) (2002): Fernerkundung und GIS – Neue Sensoren – Innovative Methoden. - Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg. 260 Seiten.
- BLASCHKE, T., STROBL, J. (2001): What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. Journal for Spatial Information and Decision Making N. 6/01: Pages 12-17.
- (BMBF) BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (2000): Nachhaltiger Umgang mit der Ressource Wasser: Intensivierte Landnutzung, Niederschlagsvariabilität und Wasserbedarf im Voltabecken. 95 Seiten.
- (BMVBS) BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG, (BBR) BUNDESAMT FÜR BAUWESEN UND RAUMORDNUNG (2007): Nachhaltigkeitsbarometer Fläche Regionale Schlüsselindikatoren nachhaltiger Flächennutzung für die Fortschrittsberichte der Bundesregierung Forschungen, Heft 130, Bonn.
- CHANDER, G., HELDER, D., MARKHAM, B. (2004): Landsat-5 TM Reflective-Band Absolute Radiometric Calibration, IEEE Transactions on geoscience and remote sensing, Vol. 42, N. 12, December 2004, Pages 2747-2759.
- CHANDER, G., MARKHAM, B., (2003): Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Post calibration Dynamic Ranges. IEEE Transactions on geoscience and remote Sensing, Vol. 41, N. 11, November 2003, Pages 2674–2677.
- CHAVEZ, P. S. (1989): Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper multispectral images. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 55, Pages 1289-1294.

- CHAVEZ, P. S. JR. (1996): Image-based atmospheric corrections - Revisited and Improved. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 62 (9): Pages 1025-1036.
- CHAVEZ, P. S., BERLIN, G. L., SOWERS, L. B. (1982): Statistical method for selecting Landsat MSS ratios, Journal of Applied Photographic Engineering. Vol. 8, Nr.1, Pages 23–30.
- COENRADIE, B., HOFFMANN, K., SAGISCHEWSKI, H. (2002): Satellitendaten - Abschlussbericht zum Forschungsprojekt: "Verbessertes Waldzustandsmonitoring mit MOMS-Priroda Daten". Landesforstpräsidiums Sachsen, Graupa.
- CONGALTON, R. G. (1991): A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. Remote Sensing of the Environment, Vol. 37, Pages 35-46.
- DE LANGE, N. (2006): Geoinformatik in Theorie und Praxis. Springer. 422 Seiten.
- DEFINIENS IMAGING GMBH (2004): eCognition 4.0 User Guide, München.
- DOSCH, F. (2001): Flächenverbrauch in Deutschland und Mitteleuropa. Struktur, Trends und Steuerungsoptionen durch das Boden-Bündnis, Dr. Fabian Dosch, Bonn 1. Internationale Jahrestagung des Boden-Bündnis europäischer Städte und Gemeinden. 12-13.11.2001, Osnabrück.
- (EEA) EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2000): Use of CORINE Land Cover Information in the Central and Eastern European Countries.
- EHLERS, M., SCHIEWE, J., TUFTE, L. (2002): Urban Remote Sensing: New Developments and Challenges, Proceedings, 3rd International Symposium Remote Sensing of Urban Areas, Istanbul, Pages 130-137.
- ELACHI, C., YZL, J. V (1987): Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing (Wiley Series in Remote Sensing), Wiley-Interscience, USA, 432 Pages.
- ERDAS IMAGINE (2005): Tour Guides, Leica Geosystems geospatial Imaging, USA
- ERHARDT, H. (1990): Modellorientierte Entzerrung von Thematic-Mapper-Rohdaten, DLR-FB 90-55, Oberpfaffenhofen.
- (FAO) FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (2001): Deforestation continues at a high rate in tropical areas, FAO calls upon countries to fight forest crime and Geneva/Rome, 3 October 2001. - Tropical countries continue to lose their forests at a very high rate, the UN Food and Agriculture Organiza-

- tion (FAO) warned in a new issue of the “State of the World’s Forests 2001” (SOFO), which was published today.
- FIEBACH, G. (2003): Untersuchungen zur Methodik der Versiegelungskartierung in der Hansestadt Rostock, Universität Rostock. Diplomarbeit (unveröffentlicht).
- FISCHER, R., HEINECKE-HERZOG, M., SIEMER, F., BAUMANN, U. (2006): Chemie und Physik der Atmosphäre. Universität Kiel.
- GANGKOFNER, U. (1996): Methodische Untersuchungen zur Vor- und Nachbereitung der Maximum Likelihood Klassifizierung optischer Fernerkundungsdaten. –In: Münchener Geographische Abhandlungen B 24, München.
- GOLLA, B. (1999): Untersuchungen zur Vergleichbarkeit digitaler Daten zur Bodennutzung und Bodenbedeckung am Beispiel eines Testgebietes in Südwest-Brandenburg. Arbeitsmaterial zur Landschaftsplanung, Heft 10, Fachgebiet Landschaftsplanung insbesondere Landschaftspflege und Naturschutz, TU Berlin.
- GOWARD, S. N., MASEK, J. G., WILLIAMS, D. L., IRONS, J. R., THOMPSON, R. J. (2001): The Landsat 7 mission: Terrestrial research and applications for the 21st century. Remote Sensing of Environment, Vol. 78, Nos. 1-2, pp. 3-12.
- GRENZDÖRFFER, G. (2008): Skript Vorlesung Fernerkundung. Professur für Geodäsie und Geoinformatik Universität Rostock.
- GRENZDÖRFFER, G. (2005): Land use change in Rostock, Germany since the reunification – a combined approach with satellite data and high resolution aerial images.- Proceedings of the ISRPS WG VII/1 „Human Settlements and Impact Analysis“- 2005 Urban Remote Sensing Conference, 13.-16.3.2005, Tempe USA.
- GRENZDÖRFFER, G., WESSNER, A., FRANZ, S. (2003): Kombinierte visuelle und digitale Flächennutzungsklassifizierung der Hansestadt Rostock auf der Grundlage von HRSC-AX Daten. - 23. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF, 9. bis 11. September 2003 in Bochum, (= Publikationen der DGPF Band 12): Seite 203 – 210.
- HAENISCH, H. (1996): Radiometrische Optimierung und Reliefkorrektur von Landsat-TM-Daten für die Erstellung der Geologischen Karte Blatt Sinkat, NE Sudan. 1. Aufl., Köster, Berlin 1997, Freie Universität Berlin, Dissertation. 182 Seiten.

- HARRIS, P. M., VENTURA, S. J. (1995): The integration of geographic data with remotely sensed imagery to improve classification in an urban area. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61, Pages 993-998.
- HELMSCROT, J. (1999): Integration von Fernerkundung, GIS und empirischer Geländeaufnahme zur Parametrisierung physiographischer Faktoren für die distributive hydrologische Modellierung. Eine Fallstudie im semiariden Flusseinzugsgebiet des Umzimvubu, Ostkap Provinz, Südafrika. Universität Jena, Diplomarbeit (unveröffentlicht).
- HEY, A. (2007): Skript Vorlesung Kartographie. Professur für Geodäsie und Geoinformatik Universität Rostock.
- HILDEBRANDT, G. (1996): Fernerkundung und Luftbildmessung für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie. Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg.
- HOHMANN, E. (2007): Zur Weiterentwicklung der Forschungsdatenzentren der amtlichen Statistik – Verankerung der Aufgabe „Forschung“ im Statistikrecht von Bund und Ländern. Rat für Sozial- und Wirtschaftsdaten (RatSWD) Newsletter No. 1 M. AI.
- (IPCC) INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2000): IPCC special report. Land use, land use change, and forestry. Summary for Policymakers. Cambridge. 24 Seiten.
- (ISPRS) INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING (2002): Remote Sensing of Urban Areas – 3rd International Symposium, Istanbul June 11-13.
- (ISPRS) INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING (2003): Remote Sensing of Urban Areas. Proceedings of the 4th International Symposium held in Regensburg/Germany, June 27-29.
- ITTEN, K. I. (1997): Einführung in die Fernerkundung.  
<http://www.geo.uzh.ch/~uruetsch/ggzf/IntroFK.html>
- JENSEN, J. R. (1996): *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, Prentice Hall, New Jersey.
- JENSEN, J. R., COWEN, D. C. (1999): Remote Sensing of Urban/Suburban Infrastructure and Socio-economic Attributes, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 65(5). Pages 611-622.

- JANSSEN, L. F., HUURNEMAN, G. C. (2001): Principles of remote sensing - ITC educational textbook series; ITC, Enschede. 232 Pages.
- JÖRISSEN, J., COENEN, R. (2007): TA-Projekt zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme: Ziele, Maßnahmen, Wirkungen. Technikfolgenabschätzung - Theorie und Praxis 16 (2007) 1, Seite 79-84.
- JUSTICE, C. O., WHARTON, S. W., HOLBEN, B. N. (1991): Application of digital terrain Data to quantify and reduce the Topographic Effect on Landsat Data. International Journal of Remote Sensing, Vol. 2, No. 3, Seite 213 - 230.
- KAPPAS, M. (1994): Fernerkundung - nah gebracht. Leitfaden für Geowissenschaftler. Dümmlers Verlag, Bonn. 507 Seiten.
- KAPPAS, M. (2001): Geographische Informationssysteme. Braunschweig, Westermann, 317 Seiten.
- KEIL, M., KIEFL, R., STRUNZ, G. (2005): CORINE Land Cover 2000 – Europaweit harmonisierte Aktualisierung der Landnutzungsdaten für Deutschland, Abschlussbericht zum F+E Vorhaben UBA FKZ 201 12 209, DLR.
- KEIL, M., MOHAUPT-JAHR, B., KIEFL, R., STRUNZ, G. (2002): Das Projekt CORINE Land Cover 2000 in Deutschland. Tagungsband 19. DFD-Nutzerseminar, 15. - 16. Oktober 2002, Seite 95-104.
- KEMPER, G., LAVALLE, C., PATIKOVA, A. (2000): Die Stadtentwicklung von Bratislava seit 1949 - Untersuchungen mittels Fernerkundung, Photogrammetrie, GPS-Vermessung und Geländebefunden. In: Universität Salzburg - Strobl, Blaschke, Griesebner: Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII, Juli 2000, Salzburg, Österreich; Herausgegeben von Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg. Seite 244-251.
- KIEFL, R., KEIL, M., STRUNZ, G., MEHL, H., MOHAUPT-JAHR, B. (2003): CORINE Land Cover 2000 - Stand des Teilprojektes in Deutschland. In: J. Strobl, T. Blaschke, G. Griesebner (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XV, Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2003, Wichmann Verlag, Heidelberg, Seite 202-207.
- KIRSTEIN, W. (2004): Pixelorientierte versus objektorientierte Klassifikation eines hochauflösenden IKONOS-Satellitenbildes am Beispiel des Nordraumes der Stadt Leipzig. Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH.

- KNERR, R. (1999): Goldmann Lexikon Physik. Gütersloh, Bertelsmann München.
- KOCH, B., JOCHUM, M., IVITS, E., DEES, M. (2003): Pixelbasierte Klassifizierung im Vergleich und zur Ergänzung zum objektbasierten Verfahren. Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation 3/2003, Seite 195-204.
- KOLÁŘ, J., SOUKUP, T., ORLITOVÁ, E. (2004): Use of CORINE Land Cover Database in the Central and Eastern European Countries. In: Workshop CORINE Land Cover 2000 in Germany and Europe and its use for environmental applications, 20-21 January 2004, Berlin, UBA Texte 04/04, ISSN 0722-186X, Pages 241-243.
- KONECNY, G., LEHMANN, G. (1984): Photogrammetrie. Berlin.
- KRAUS, K., SCHNEIDER, W. (1988): Fernerkundung, Band 1 - Physikalische Grundlagen und Aufnahmetechniken; Dümmler Verlag, Bonn, 300 Seiten.
- KÜHN, S. (2001): Objektorientierte Analyse von RADARSAT-1-Daten in Überflutungsgebieten am Beispiel eines Testgebietes in Bangladesch. TU Dresden, Diplomarbeit.
- KULBACH, D., (1997): Systematischer Vergleich von Verfahren zur überwachten Klassifikation von multispektralen Luftbildern mit Bodenaufösungen im Meterbereich. Universität Hamburg.
- LAMBIN, E., GEIST, H. (2006): Land-Use and Land-Cover Change. Local Processes and Global Impacts. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- LANDESAMT FÜR INNERE VERWALTUNG MECKLENBURG-VORPOMMERN, KOORDINIERUNGSSTELLE GEOINFORMATIONSSYSTEME (KGIS) (2008):
- LENK, R., GELLERT, W. (1974): ABC Physik. Fachlexikon. Harri Deutsch, Zürich.
- LILLESAND, T. M., KIEFER, R. W., CHIPMAN, J. W. (2004): Remote Sensing and Image Interpretation. 5th., John Wiley and sons, New York. 763 Pages.
- LILLESAND, T. M., KIEFER, R. W. (2000): Remote Sensing and Image Interpretation. 4th Edition, John Wiley and sons, New York.
- LÖFFLER, E., HONECKER, U., STABEL, E. (2005): Geographie und Fernerkundung. Eine Einführung in die geographische Interpretation von Luftbildern und modernen Fernerkundungsdaten. 3. Auflage. Borntraeger, Stuttgart.

- LOY, D., HINNERK F., JÜTTEMANN P., REICHE D. (2004): Energiepolitische Rahmenbedingungen für Strommärkte und erneuerbare Energien (21 Länderanalysen  
[http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen\\_A-Z/Internationale%20Windenergie/studie\\_terna\\_2004.pdf](http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen_A-Z/Internationale%20Windenergie/studie_terna_2004.pdf)
- MAI, A. (2008): GIS-basierte Untersuchung von Flächennutzungsstrukturen im Lichte des Konzeptes der Ökoeffizienz – das Fallbeispiel des Landkreises Bad Doberan in Mecklenburg-Vorpommern. Universität Rostock Studienprojekt (unveröffentlicht).
- MALBERG, H. (2006): Meteorologie und Klimatologie: Eine Einführung. 5. Auflage. Springer. Berlin. 396 Seiten.
- MANFRED, K., RALPH, K., GÜNTER, S. (2005): CORINE Land Cover 2000 – Europaweit harmonisierte Aktualisierung der Landnutzungsdaten für Deutschland, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- MARKHAM, B. L., BARKER, J. L., EDS. (1985): Special Landsat image data quality assessment (LIDQA). Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 51, No. 9.
- MATHER, P. M. (1999): Computer processing of remotely sensed images. an introduction. 2nd Edition, John Wiley and Sons, Chichester, west Sussex, England, 292 Pages.
- MATHER, P. M. (2004): Computer processing of remotely sensed images. an introduction. 3rd Edition, John Wiley and Sons, Chichester, west Sussex, England, 324 Pages.
- MEINEL, G., HENNERSDORF, J. (2002): Erhebungsmethoden, Programme und Nomenklaturen der Flächenbedeckung und Flächennutzung. In: Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, Heft 4. Seite 271-286.
- MEINEL, G., HENNERSDORF, J., LIPPOLD, R. (1999): Arbeiten mit großen Rasterdatensmengen unter ArcView am Beispiel eines landesweiten Satellitenbildmosaiks. 14. ESRI european user conference . München, 15.-17.11.1999 - Proceedings. München : ESRI, 2000 CD-ROM.
- MEINEL, G., NEUMANN, K. (2003): Flächennutzungsentwicklung der Stadtregion Dresden seit 1790 – Methodik und Ergebnisse eines Langzeitmonitorings. In: Strobl, J.; Blaschke, Thomas; Griesebner, G. : Angewandte Geographische Informationsverar-

beitung XV. Beiträge zum AGIT-Symposium, Salzburg 2003. Heidelberg : Wichmann, 2003, Seite 280-285.

MEINEL, G.; KNAPP, C.; GÖSSEL, J. (1996): Kartierung von Flächennutzungsänderungen mittels Landsat-TM-Daten - Methodische Untersuchungen im Raum Dresden. In: Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung 64 (1996) 5, Seite 163-175.

MEINEL, G.; NEUBERT, M.; REDER, J. (2001): Pixelorientierte versus segmentorientierte Klassifikation von IKONOS-Satellitenbilddaten - ein Methodenvergleich In: Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation (2001) N. 3, Seite 157-170.

MINNAERT, M. (1961): Photometry of the Moon. In Planets and Satellites (G. P. Kuiper and B. Middlehurst, Eds.), Pages 213-248. University of Chicago Press, Chicago.

MITTELBERG, B. (2001): Objektorientierte Klassifikation von Fernerkundungsdaten urbaner Räume - Möglichkeiten und Grenzen. Universität Bonn, Diplomarbeit.

MOHAUPT-JAHR, B. (2000): CORINE II – einheitliche Landbedeckungsdaten für Europa und ihre Anwendungen. Umweltbundesamt, Workshop - BMU/BMWi; 20.01.2000.

MÖLLER, M. (2003): Urbanes Umweltmonitoring mit digitalen Flugzeugscannerdaten. Wichmann Verlag, Heidelberg. 126 Seiten.

MÖLLER, M. (2005): Remote Sensing for the monitoring of urban growth patterns, 5th International Symposium Remote Sensing of Urban Areas (URS 2005), Arizona.

NEUBERT, M., MEINEL, G. (2002): Fortführung von Geobasisdaten durch die segmentbasierte Auswertung von IKONOS-Daten — erste Ergebnisse. — In: Strobl, J., Blaschke T. & Griesebner, G. (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XIV. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2002, H. Wichmann Verlag, Heidelberg, Seite 403-408.

NEUBERT, M., MEINEL, G. (2005): Atmosphärische und topographische Korrektur von IKONOS-Daten mit ATCOR, AGIT 2005.  
[http://www.agit.at/php\\_files/myAGIT/papers/2005/5270.pdf](http://www.agit.at/php_files/myAGIT/papers/2005/5270.pdf)

NEUKUM, G., IVANOV, B., HARTMANN, W. K. (2001): Cratering records in the inner Solar System in relation to the lunar reference system; Space Science Reviews, Vol. 1, Pages 1-34.



- NIEMEYER, I. (2001): Satelliten und nukleare Kontrolle „Änderungsdetektion und Objekt-orientierte, wissensbasierte Klassifikation von Multispektralaufnahmen zur Unterstützung der nuklearen Verifikation“ Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt, Band 28.
- NILSON, E. (2006): Räumlich-strukturelle und zeitlich-dynamische Aspekte des Landnutzungswandels im Dreiländereck Belgien-Niederlande-Deutschland: eine Analyse mittels eines multitemporalen, multifaktoriellen und grenzübergreifenden Geographischen Informationssystems - Dissertation RWTH Aachen.
- NUSSBAUM, S., MENZ, G. (2008): Object-Based Image Analysis and Treaty Verification New Approaches in Remote Sensing – Applied to Nuclear Facilities in Iran, Springer.
- PADGE, F. (1997): Fusion von Landsat-TM und SPOT-HRV Daten zur Ableitung einer Satellitenbildkarte von Rostock und die exemplarische Nutzung der Daten zur Flächen-nutzungsklassifizierung. Universität Rostock, Diplomarbeit (unveröffentlicht). 87 Seiten
- PENN-BRESSEL, G. (2003): Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr - Materialienband-, Text Nr. 90/2003. Umweltbundesamt.
- PRINZ, T. (2006): Einführung in die digitale Fernerkundungsmethodik in den Geowissenschaften, Uni Münster. [http://ivvgeo.uni-muenster.de/Vorlesung/FE\\_Script/Start.html](http://ivvgeo.uni-muenster.de/Vorlesung/FE_Script/Start.html)
- PRINZ, T. (1996): Multispectral remote sensing of the Gosses Bluff impact crater, Central Australia (N. T.) by using Landsat-TM and ERS-1 data. Vol. 51, N. 3, Pages 137-149, ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing, Elsevier (Amsterdam, Oxford).
- RADBERGER, R. (2001): Monitoring der Verstädterung im Großraum Istanbul mit den Methoden der Fernerkundung und der Versuch einer räumlich-statistischen Modellierung, Dissertation, Göttingen.
- REDER, J. (2002): Automatische Detektion neuer Siedlungsflächen durch Vergleich hochauflösender Satellitenbilddaten. In: BLASCHKE, T. (Hrsg.): Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren – innovative Methoden. Wichmann Verlag. Heidelberg: Seite 169–178.
- RICHARDS, J. A. (1993): Remote Sensing Digital Image Analysis: An introduction, 2nd edition Springer-Verlag New York, Inc. Secaucus, NJ, USA. 340 Pages.

- RICHARDS, J. A., XIUPING, J. (1999): Remote sensing digital image analysis. An introduction. 3th edition Springer Berlin, New York. 363 Pages.
- RIECHELMANN, L., WINTER, B., PADGE, F. (1997): Change Detection using Remote Sensing and GIS - Evaluation the Reunification Effects from Space.- JEC '97, Proceedings, Vol. 1, Pages 748-757, Vienna.
- ROUSE, J. W., HAAS, R. H., SCHELL, J. A., DEERING, D. W. (1973): Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. In Third ERTS Symposium, NASA SP-351, Bd. 1, Seite 309–317.
- SACHS, L. (1997): Angewandte Statistik - Anwendung statistischer Methoden, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 881 Seiten.
- SCHALLENBERG, K. (2001): Monitoring von Stadtstrukturen unter Anwendung der Fernerkundung und Landschaftsstrukturmaße – dargestellt am Beispiel Halle-Leipzig, International Association for Landscape Ecology, Tagungsband mit Kurzfassungen der Beiträge zur 2. Jahrestagung der IALE-Region Deutschland.
- SCHIEWE, J. (2002): Segmentation of High-resolution Remotely Sensed Data – Concepts, Applications and Problems. In: Proceedings on Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, Ottawa.
- SCHIEWE, J., TUFTE, L. (2002): Potenzial regionen-basierter Verfahren für die integrative Auswertung von GIS- und Fernerkundungsdaten. In: Blaschke, T. (Hrsg.): Fernerkundung und GIS - Neue Sensoren - innovative Methoden. Wichmann-Verlag. Heidelberg. Seite 42-52.
- SCHNEIDER, W. (2003): Möglichkeiten der Fernerkundung zur Kartierung der Landbedeckung. In: „Workshop Geodaten zur Landbedeckung in Österreich“, Wien 05.12.2003, Seite 9-17. Grillmayer R., Schneider W., Shaker Verlag, Aachen.
- SCHÖPFER, E. (2001): Die Analyse der Siedlungsentwicklung südlich der Stadt Salzburg anhand multitemporaler Fernerkundungsdaten von 1953 bis 1995. Diplomarbeit, Salzburg.
- SCHOWENGERDT, R. A. (1997): Remote sensing – models and methods for image processing. 2<sup>nd</sup> edition. Academic Press, San Diego, California. 525 p.

- SCHRAMEK, J., IMMEL, M., PEUKERT, M., THIELMANN, G. (2002): Der Abschlussbericht „Weiterentwicklung von nationalen Indikatoren für den Bodenschutz“- Konkretisierung der international vorgeschlagenen Indikator-Konzepte mit national verfügbaren Parametern" UBA-Texte 40/02.
- SCHRÖDER, T. A., COHEN, W. B., SONG, C., CANTY, M. J., YANG, Z. (2006): Radiometric correction of multi-temporal Landsat data for characterization of early successional forest patterns in western Oregon, Remote Sensing of Environment, vol. 103, Pages 16-26.
- SMITH, J. A. (1983): Matter-energy interactions in the optical region. Manual of remote sensing. V. 1 American Society of Photogrammetry, R. N. Colwell, 2nd edition., Pages 61-113.
- STATISTISCHE ÄMTER DES BUNDES UND DER LÄNDER (2003): Qualitätsstandards in der amtlichen Statistik. Wiesbaden
- (STBA) STATISTISCHES BUNDESAMT (2002): Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung 2001 – Methodische Erläuterungen und Eckzahlen. Wiesbaden.
- (STBA) STATISTISCHES BUNDESAMT (2004): Siedlungs- und Verkehrsfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung 2004 – Erläuterungen und Eckzahlen. Wiesbaden.
- (STBA) STATISTISCHES BUNDESAMT (2006): Qualitätsbericht. Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung. Jährliche Erhebung der Siedlungs- und Verkehrsfläche. Wiesbaden.
- (STBA) STATISTISCHES BUNDESAMT (2003): Bericht „Umweltproduktivität, Bodennutzung, Wasser, Abfall“, Presseexemplar, 2003 und andere Daten des StBA
- STEINNOCHER, K. (2003): Landbedeckung im Stadt- und Stadtumlandbereich. In: „Workshop Geodaten zur Landbedeckung in Österreich“, Wien 05.12.2003, Seite 57–65. Grillmayer R., Schneider W., Shaker Verlag, Aachen.
- STEINNOCHER, K., BAUER, T., KÖSTL, M., KRESSLER, F. (2001): Beobachtung von Stadtentwicklung mit Fernerkundung-Applikationen und Innovationen. Österr. Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation, Vol. 89/3, pp. 145-148.
- STEINNOCHER, K., KRESSLER, F., KÖSTL, M. (2000): Erstellung einer Siedlungsmaske aus Fernerkundungsdaten und Integration zusätzlicher Information aus Zensusdaten.

- In. Strobl, J., Blaschke, T. & Griesebner, G. (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII, Wichmann Verlag, Heidelberg Seite 481-488.
- STEINNOCHER, K., RIES, C., KÖSTL, M., EHRLICH, D., LAVALLE, C. (1999): Monitoring Urban Dynamics by Earth Observation – the Vienna Case Study. In: Strobl, J., Blaschke, T. (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XI, Wichmann Verlag, Heidelberg, 1999, pp. 502-509.
- STEINNOCHER, K., TÖTZER, T. (2001): Analyse von Siedlungsdynamik durch Verknüpfung von Fernerkundung und demographischen Daten. Umweltbundesamt (Hrsg.): Versiegelt Österreich? Der Flächenverbrauch und seine Eignung als Indikator für Umweltbeeinträchtigungen. Umweltbundesamt Conference Papers, CP-030. Wien, 2001, Seite 39–47
- STROBL, J., BLASCHKE, T., GRIESEBNER, G. (HRSG.) (2007): Angewandte Geoinformatik 2007, Beiträge zum 19. AGIT-Symposium, Salzburg.
- STRUNZ, G. (2005): CORINE Land Cover 2000 – Europaweit harmonisierte Aktualisierung der Landnutzungsdaten für Deutschland, Abschlussbericht zum F+E Vorhaben UBA FKZ 201 12 209, DLR.
- TOMOWSKI, D., EHLERS, M., MICHEL, U., BOHMANN, G. (2006): Objektorientierte Klassifikation von Siedlungsflächen durch multisensorale Fernerkundungsdaten. Osnabrück.
- (UBA) UMWELTBUNDESAMT, DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND (DLR) RAUMFAHRT (2004): Gemeinsame Presse-Info, Nr. 121/2004.
- (UNDP) UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME (2006): United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division.
- UNITED NATIONS WORLD URBANIZATION PROSPECTS (1994): Estimates and Projections of Urban and Rural Populations and of Urban Agglomerations, New York.
- UNITED NATIONS WORLD URBANIZATION PROSPECTS (1999): The 1999 Revision, New York.
- UNITED NATIONS WORLD URBANIZATION PROSPECTS. (1996): Estimates and projections of urban and rural populations and of urban agglomerations. New York.

- (USGS) UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (1984): Landsat 4 Data User handbook. National Oceanic and Atmospheric Administration, United States Geological Survey, 262 p.
- VITOUSEK, P. M. (1994): Beyond global warming: ecology and global change. *Ecology* 75: pp. 1861-1876.
- VÖGTLE, T., SCHILLING, K. (1995): Wissensbasierte Extraktion von Siedlungsbereichen in der Satellitenbildanalyse, In: *Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung (ZPF)*, Band 63, Seite.199-207.
- WEIGEL, H. (1997): Schriftenreihe des BML „Angewandte Wissenschaft“, Heft 465 „Biologische Vielfalt in Ökosystemen“, Seite.185-202.
- WEIßFLOG, R.(1994): Kartierung der Versiegelungsgrade und –arten in Verbindung mit Vorstellungen zu Entsiegelungsmaßnahme in ausgewählten Stadtgebieten von Rostock. Diplomarbeit, Universität Rostock (unveröffentlicht).
- WERNER, L. (2000): Untersuchung und Realisierung eines Programms zur Lichtabfallkorrektur in digitalen Bildern, Universität Hannover, Institut für Photogrammetrie und Ingenieurvermessung. Diplomarbeit.
- WEBNER, A. (2002): Bild- und Geodaten für den Aufbau und die Aktualisierung eines Grünflächeninformationssystems. Kommunales GIS-Forum. Steinbeis-Transferzentrum Geoinformatik, Rostock.
- WINTER, B. (1996): Fünf Jahre nach der Wende - eine Flächenbilanz der Veränderungen für die Hansestadt Rostock und Umgebung auf der Basis von Satellitendaten. Diplomarbeit, Universität Rostock. (unveröffentlicht) 47 Seiten.
- (ZEF) Zentrum für Entwicklungsforschung 2006: Nachhaltiger Umgang mit der Ressource Wasser unter intensiver Landnutzung, Niederschlagsvariabilität und Wasserbedarf im Volta Becken, Bonn [http://www.glowa.org/de/literaturliste/dateien/proposal\\_ger.pdf](http://www.glowa.org/de/literaturliste/dateien/proposal_ger.pdf)
- ZHANG, Y. (2002): A New Automatic Approach for Effectively Fusing Landsat 7 as well as IKONOS Images. Proceedings of the IEEE/IGARSS'02. Toronto, Canada. June 24-28.
- ZHANG, Y. (2004): Understanding Image Fusion. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol. 70, No. 6, pp. 657-661.

## Internet

<http://www.spotimage.fr/home/system/introsat/seltec/seltec.htm>

<http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/landsat/campaigndocs/project/satellite.html>

[http://pao.gsfc.nasa.gov/gsfcservice/gallery/fact\\_sheets/earthsci/landsat/landsat.html](http://pao.gsfc.nasa.gov/gsfcservice/gallery/fact_sheets/earthsci/landsat/landsat.html)

<http://www.spaceimaging.com/aboutus/satellites/ikonos/ikonos.html>

<http://www.spaceimaging.com/aboutus/satellites/ikonos/ikonos.html>

<http://www.geoinformatik.uni-rostock.de/>

<http://www.fe-lexikon.info/>

[www.geodatenzentrum.de](http://www.geodatenzentrum.de)

<http://www.adv-online.de/extdeu/broker.jsp?uMen=9db50769-dad3-19fa-6d78-79f08a07b51a>

<http://LANDSAT7.usgs.gov>

<http://www.definiens.com>

<http://www.sciconf.igbp.kva.se/fr.html>

<http://www.spotimage.fr/home/system/introsat/seltec/seltec.htm>

(<http://oceanworld.tamu.edu/students/satellites/satellite1.htm>)

<http://www.globallandproject.org> <http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC/lucc.html> -DAPLARCH

[http://www.zfl.uni-bonn.de/earsel/ws2006\\_bn.html](http://www.zfl.uni-bonn.de/earsel/ws2006_bn.html)

[http://directory.eoportal.org/info\\_AllianceforMarineRemoteSensingAMRS.html](http://directory.eoportal.org/info_AllianceforMarineRemoteSensingAMRS.html)

<http://www.helcom.fi/>

[www.flaechennutzung.nrw.de](http://www.flaechennutzung.nrw.de)

[www.geodatenzentrum.de](http://www.geodatenzentrum.de)

[www.adv-online.de](http://www.adv-online.de)

<http://LANDSAT7.usgs.gov>

<http://www.definiens.com>

[http://www.irs-net.de/download/wp\\_wandel.pdf](http://www.irs-net.de/download/wp_wandel.pdf)

(DLR) DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT (2001):

<http://www.dlr.de/tm/Portaldata/43/Resources/dokumente/nachrichten/Innovationen.pdf>

DLR (2004): CORINE Land Cover 2000: Neue Daten zur Landnutzung veröffentlicht.

[http://www.dlr.de/desktopdefault.aspx/tabid-832/1332\\_read-2590/](http://www.dlr.de/desktopdefault.aspx/tabid-832/1332_read-2590/)

(DLR) (2007): [http://www.dlr.de/pf/en/desktopdefault.aspx/tabid-331/1198\\_read-2357](http://www.dlr.de/pf/en/desktopdefault.aspx/tabid-331/1198_read-2357)

(EEA) EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2000): CORINE Land Cover Technical Guide – Addendum 2000. <http://www.reports.eea.eu.int/tech40add/en>

(ESA) EUROPEAN SPACE AGENCY (2006): Landsat frequently asked questions

[http://earth.esa.int/pub/ESA\\_DOC/landsat\\_FAQ/](http://earth.esa.int/pub/ESA_DOC/landsat_FAQ/)

Geoinformatik-Service (2008):

<http://www.geoinformatik.uni-rostock.de/>

(LAIV) DAS LANDESAMT FÜR INNERE VERWALTUNG - AMT FÜR GEOINFORMATION, VERMESSUNGS- UND KATASTERWESEN (2009): [http://www.laiv-mv.de/land-](http://www.laiv-mv.de/land-mv/LAiV_prod/LAiV/AfGVK/ATKIS/Digitale_Landschaftsmodelle/index.jsp)

[mv/LAiV\\_prod/LAiV/AfGVK/ATKIS/Digitale\\_Landschaftsmodelle/index.jsp](http://www.laiv-mv.de/land-mv/LAiV_prod/LAiV/AfGVK/ATKIS/Digitale_Landschaftsmodelle/index.jsp)

(NASA) NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (2006): Landsat 7 Science Data User Handbook <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook.html>

(NASA) NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (2007): The Remote Sensing tutorial <http://rst.gsfc.nasa.gov/>

OCEAN WORLD (2008):

<http://oceanworld.tamu.edu/students/satellites/satellite1.htm>

(TU-DRESDEN) TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN (2008): Online-Lehrangebot des Lehrstuhls für Fernerkundung. [http://www.tu-](http://www.tu-dresden.de/fghgipf/lehre/vorlmat/tutorial/Module/Modul_6/13.htm)

[dresden.de/fghgipf/lehre/vorlmat/tutorial/Module/Modul\\_6/13.htm](http://www.tu-dresden.de/fghgipf/lehre/vorlmat/tutorial/Module/Modul_6/13.htm)

(UBA) UMWELTBUNDESAMT (2008):

[http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/raumplanung/1\\_flaechennutzung/corine/CORINE\\_Nomenklatur.pdf](http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/raumplanung/1_flaechennutzung/corine/CORINE_Nomenklatur.pdf)

(USGS) United States Geological Survey (2006): <http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30>



## *Thesen zur Dissertation*

Die Untersuchung des Flächennutzungswandels in den vergangenen Jahrzehnten ist aufgrund der schwerwiegenden Folgen für Mensch und Umwelt verstärkt in den Mittelpunkt der städtischen Umweltforschung gerückt.

- Fernerkundung können heute akkurate räumliche Informationen zur Bedeckung und Nutzung der Landoberfläche liefern und ermöglichen dadurch verbesserte Erfassungs- und Analysebedingungen. Auf diese Weise können sie zu einem wichtigen Werkzeug im Monitoring der Landnutzungen in großen Landschaftsräumen werden.
- Nach der Wiedervereinigung hat die Rostocker Region eine dramatische Entwicklung mit dem Ergebnis der Versiegelung von großen Flächen für Siedlungs- und Verkehrsinfrastruktur durchlaufen.
- Die Qualität der Satellitendatenauswertung ist abhängig von der Methodik zur Ableitung von Landbedeckung, -nutzung aus den Rohdaten. Objektorientierte Bildklassifikationen können einige Probleme der klassischen pixelbasierten Klassifikationsansätze lösen. Durch die Möglichkeit, nicht allein die spektrale Signatur als Klassifikationsmerkmal, sondern auch verschiedene Parameter wie z. B. Farbe, Textur, Formfaktoren, Flächengrößen und Nachbarschaftsbeziehungen zu nutzen, wird die Qualität der Auswertung besser, was eine bessere Zuordnung der untersuchten Flächen zur jeweiligen Landnutzung ermöglicht.
- Fernerkundung und amtliche statistische Daten sind verschiedene Ansätze, um Landnutzung/Landbedeckung sowie ihre Änderungen, insbesondere im Zusammenhang mit Siedlungstätigkeit, zu quantifizieren.

- Amtliche statistische Daten sind sehr oft nur eine grobe Darstellung, Fernerkundung kann die Daten der amtlichen Statistik konsolidieren und zeigt die reale räumliche Verteilung von Versiegelungsflächen, die auf Siedlungstätigkeit zurückzuführen sind.
- Die Auswertung von Fernerkundungsdaten zeigt eine große Korrelation mit den statistischen Auswertungen.
- Fernerkundungsmethoden erweisen sich daher als sehr nützlich zur Beobachtung der Flächennutzungsentwicklungen von Großgebieten auf verschiedenen Maßstäben und über einen Zeitraum von mehr als 30 Jahren.

# *Selbstständigkeitserklärung*

Ich erkläre, dass ich die eingereichte Dissertation selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Rostock, den 27. Mai 2009

---

Ahmad Al-Hassideh

# *Lebenslauf*

<i>Name, Vorname</i>	Al-Hassideh Ahmad
<i>Geburtsdatum</i>	04.10.1972
<i>Geburtsort</i>	Qunaitra/Syrien
<i>Staatsangehörigkeit</i>	Syrisch
<i>Familienstand</i>	Ledig, keine Kinder
<i>Anschrift</i>	Möllner Straße 11 Haus 3, Zimmer. 12 a 18109 Rostock Tel.: 0176 22607785 E-Mail: hassideh@hotmail.com

## *Studium*

Seit 07.2002	Stipendiat am Hochschulministerium in Syrien und Delegation nach Deutschland mit dem Ziel zu promovieren.
Seit 07.2004	Promotionsstudent an der Universität Rostock, Professur für Geodäsie und Geoinformatik
11.2000	Abschluss des Postgradualen (höheren Studiendiploms) Diplom in Geographie mit dem Prädikat „Ausgezeichnet“
09.1999	Abschluss des Studiums mit der Idjازه "Lizenziat" in Geographie, Universität Damaskus.

## *Berufliche Tätigkeit*

09.1991-06.1993	Lehrer an Grundschulen des Erziehungsministerium in Syrien
09.1993-09.1995	Lehrer an Schulen (Sekundarbereich) des Erziehungsministerium in Syrien
09.1999-09.2002	
10.2000-09.2003	Assistent am Hochschulministerium in Syrien

## *Schulausbildung*

09.1990	Abitur am Gymnasium in Qunaitra / Syrien ( wissenschaftliche Fachrichtung )
---------	--

09.1984 – 09.1987

Besuch der Mittelschule in Qunaitra / Syrien

09.1978 – 09.1984

Besuch der Grundschule in Qunaitra / Syrien

### ***Wehr-/Zivildienst***

12.1995-08.1998

Wehrdienst bei der Bundeswehr

### ***Sprachkenntnisse***

Englisch

(gute Grundkenntnisse)

Deutsch

(gute Kenntnisse)

Arabisch

(Muttersprache)

### ***Programme***

MS-Office

Geo-Informationssystem (ArcView, ArcGIS)

Fernerkundung (ERDAS Imagine, eCognition)

### ***Veröffentlichungen***

2009

Al-Hassideh, A. (2009): Erkennbarkeit von Urbanisierungsprozessen mittels Satellitenbildern im Vergleich mit CO-RINE, ATKIS und amtlichen statistischen Daten. In: Proceedings of GeoForum MV 2009: Geoinformation für Jedermann, 27.-28.04.2009, Rostock. 2009.

Al-Hassideh, A., Bill, R. (2009): Monitoring urbanisation process using GIS, remote sensing and official Census Data – A Case study in the Region of Rostock. In: Proceedings Geoinformatik 2009, 31.03-02.04.2009, Osnabrück. 2009.

2008

Al-Hassideh, A., Bill, R. (2008): The Role of GIS, Remote Sensing and Official Census Data in Monitoring Urban Growth. In: Proceedings of 16. International Symposium of the GORS: Remote Sensing and Spatial Information, 10.-12.11.2008, Damascus. 2008.

Al-Hassideh, A., Bill, R. (2008): Land Cover Changes in the Region of Rostock – Can Remote Sensing and GIS help to verify and consolidate official Census Data? In: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B8. NL 8530 AC Lemmer. Beijing. 2008

2006

Al-Hassideh, A., Grenzdörffer, G. (2006): Land cover Changes in the region of Rostock. In: Proceedings of 2nd Workshop of the EARSeL: Special Interest Group on Land Use and Land Cover, 28.-30.09.2006, Bonn. 2006.