

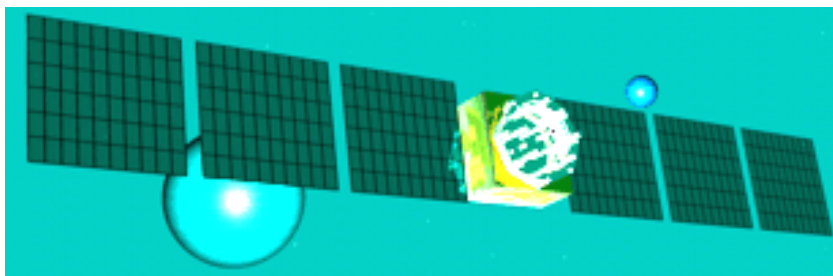
# gi-reports @igf

Band 5



**Institut für  
Geoinformatik und  
Fernerkundung**

Veröffentlichungen des  
AK Fernerkundung 2006



Ulrich Michel und Kai Behncke

Herausgeber:

Institut für Geoinformatik und Fernerkundung (IGF)  
Ulrich Michel  
Kai Behncke

Titel:

Veröffentlichungen des AK Fernerkundung 2006

Anschrift:

Institut für Geoinformatik und Fernerkundung  
Seminarstr. 19 a/b  
49069 Osnabrück

Telefon: 0541/969-4591

Telefax: 0541/969-4061

Email: sekretariat@igf.uni-osnabrueck.de

Internet: <http://www.igf.uni-osnabrueck.de>

ISSN 1863-0103

Auflage 1, Osnabrück 2006

## Vorwort

Dieser Tagungsband enthält 12 Beiträge, die zur 4. Jahrestagung des Arbeitskreises Fernerkundung (AKF) publiziert worden sind.

Der Arbeitskreis Fernerkundung stellt eine informelle und informative Plattform dar, auf welcher konkrete Probleme aus dem Fernerkundungsbereich angesprochen und Erfahrungen ausgetauscht werden können.

Die Inhalte des AKF richten sich an einer praxisorientierten geographischen Fernerkundung aus. Insbesondere die Identifikation von neuen Anwendungsfeldern (z.B. Fernerkundung urbaner Räume) oder bislang vernachlässigter Themen (z.B. Fernerkundung & Lehre) bilden weitere Schwerpunkte.

In diesem Sinne wird mit diesem Tagungsband dazu beigetragen eine Lücke zu schließen. Gerade der Bereich „Aus- und Weiterbildung/Fernerkundungsdidaktik“ findet in dieser Publikation große Beachtung.

Weitere Schwerpunkte dieser AKF Jahrestagung waren die Bereiche Anwendungen, Plattformen/Sensorik/Daten sowie Methoden/Algorithmen/Modellierung.

Weitere Informationen zum Arbeitskreis Fernerkundung unter <http://www.ak-fernerkundung.de>.

Osnabrück, im Dezember 2006

Dr. Ulrich Michel

Prof. Dr. Gunther Menz

Prof. Dr. Alexander Siegmund

Prof. Dr. Carsten Jürgens

Dr. Hans-Peter Thamm

# Inhaltsverzeichnis

<i>Ellen Banzhaf, Mike Martini</i> „Objektorientierte Klassifikation von Stadtstrukturtypen für die Stadt Leipzig mittels sehr hochauflösender Fernerkundungsdaten“	<i>Seite 1</i>
<i>Jonas Franke, Gunter Menz, Vanessa Heinze</i> „NDVI- Unterschiede aufgrund der sensor-spezifischen spectral response functions“	<i>Seite 11</i>
<i>Monika Gähler, Sven Oltmer</i> „Einsatzmöglichkeiten höchst aufgelöster Fernerkundungsdaten im kommunalen Flächenmonitoring und Flächenmanagement“	<i>Seite 24</i>
<i>Martina Klärle, Dorothea Ludwig</i> „SUN-AREA: Standortanalyse für Photovoltaik-Anlagen durch hochauflösende Sensoren in der Fernerkundung – Forschungsprojekt an der Fachhochschule Osnabrück“	<i>Seite 35</i>
<i>Sascha Klonus</i> „Spektralwert erhaltende Bildfusion mit dem Ehlers Algorithmus“	<i>Seite 45</i>
<i>Carsten Montzka, Mort Canty, Ralf Kunkel, Gunter Menz, Frank Wendland</i> „Der Versiegelungsgrad in der Wasserhaushaltsmodellierung mesoskaliger Flusseinzugsgebiete“	<i>Seite 68</i>
<i>Monika Reuschenbach</i> „Fernerkundung im Geographieunterricht: Konzept zur verstärkten Integration von Satellitenbildern in den Geographieunterricht“	<i>Seite 79</i>
<i>Robert Roseeu</i> „Produkte der Fernerkundung als Wegbereiter für eine schulische Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE)“	<i>Seite 91</i>
<i>Jochen Schiewe, Beata Grendus</i> „E-Learning-Materialien zur Aus- und Weiterbildung in der Fernerkundung“	<i>Seite 99</i>
<i>Boris Thies, Thomas Nauß, Christoph Reudenbach, Jörg Bendix</i> „Fortsetzung satellitenbasierter klimatologischer Niederschlagszeitreihen Meteosat-8 SEVIRI“	<i>Seite 111</i>
<i>Daniel Tomowski, Ulrich Michel, Manfred Ehlers, Guido Bohmann</i> „Siedlungsflächenklassifikation mittels objektorientierter Datenfusion durch multisensorale Fernerkundungsdaten“	<i>Seite 123</i>
<i>Alexander Siegmund, Alexandra Wolf</i> „Satellitenbilder im Unterricht – eine internationale Vergleichsstudie zum schulischen Fernerkundungseinsatz“	<i>Seite 137</i>

# Objektorientierte Klassifikation von Stadtstrukturtypen für die Stadt Leipzig mittels sehr hochauflösender Fernerkundungsdaten

Dr. Ellen Banzhaf (ellen.banzhaf@ufz.de),  
Dipl. Ing. Mike Martini (mike.martini@ufz.de);  
UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH  
Department Stadtökologie, Umweltplanung und Verkehr  
Permoserstr.15, D - 04318 Leipzig

## Abstract

Um die künftige Entwicklung von Städten auf den Weg in Richtung einer nachhaltigen Siedlungs- und Flächennutzung zu bringen, bedarf es geeigneter Methoden zur Analyse und Bewertung von Flächennutzungs- und Standortmustern sowie stadträumlichen Strukturen. Die urbane Flächennutzung und –struktur lässt sich als Stadtstrukturtyp definieren. Ausgangslage für die vorliegende Diplomarbeit war die 1998 im Rahmen eines UFZ-Forschungsprojektes erarbeitete Stadtstrukturtypenkarte für die Stadt Leipzig. Diese Karte wurde mittels Digitalisierung von CIR Orthofotos und Einarbeitung von ATKIS Daten erzeugt.

Eine Aktualisierung dieser Stadtstrukturen war aus zweierlei Sicht notwendig geworden. Zum einen haben sich die Verwaltungsgrenzen der Stadt Leipzig seit 1994 aufgrund der Eingemeindungsreform bis 2001 erheblich verändert und die Stadtfläche hat sich nunmehr verdoppelt. Zum anderen wurde die Qualität der Luftbilder seither erheblich verbessert und die Automatisierung der Klassifikationsansätze hat sich sehr stark weiterentwickelt. Deshalb ist nun eine Aktualisierung und Verbesserung der Klassifikation der Leipziger Stadtstrukturtypen möglich. 1998 arbeitete man noch mit einer räumlichen Auflösung von 30m. Zur Erfassung von Strukturen innerhalb der Siedlungsflächen bedarf es jedoch Bilddaten, die eine deutlich höhere geometrische Auflösung haben.

Die vorgestellte Aktualisierung der Stadtstrukturtypen wurde mittels objektbasierten Ansatz durchgeführt, unter Verwendung von CIR Aufnahmen mit einer Bodenauflösung von 0,4m sowie Biotopnutzungstypen und ATKIS-Daten als Hintergrundinformation zur besseren Objekterkennung. Die Ergebnisse wurden im Laufe der Untersuchung mit Referenzdaten verglichen, bewertet und für die Weiterverarbeitung in Geoinformationssystemen aufbereitet. Weiterhin wurden auftretende Probleme und Erfahrungen diskutiert.

## 1. Einleitung

Derzeit werden in Deutschland pro Tag rund 93 ha Freifläche für Siedlungs- und Verkehrszwecke neu in Anspruch genommen (Statistisches Bundesamt, [www.destatis.de](http://www.destatis.de) 2004). In vielen europäischen Stadtregionen zeigt sich ein ähnliches Bild aus räumlichem und zeitlichem Nebeneinander von Randwanderung und Neubautätigkeit im suburbanen Raum sowie Entleerung und Brachfallen in den

Kernstädten (Müller et al. 2003). Um diesem Versiegelungstrend und den damit einhergehenden gravierenden Beeinträchtigungen der Böden und Lebensräume von Menschen, Tieren und Pflanzen entgegenzuwirken, strebt die Bundesregierung an, die Flächeninanspruchnahme zukünftig (bis zum Jahr 2020) auf 30ha pro Tag zu reduzieren (Rat für nachhaltige Entwicklung 2004).

## 2. Stadtstrukturtypen

Um die künftige Entwicklung von Städten auf den Weg in Richtung einer nachhaltigen Siedlungs- und Flächennutzung zu bringen, bedarf es geeigneter Methoden zur Analyse und Bewertung von Flächennutzungs- und Standortmustern sowie stadträumlichen Strukturen. Dabei lässt sich die urbane Flächennutzung und -struktur als Stadtstrukturtyp charakterisieren.

1992 wurde der Begriff „Stadtstrukturtyp“ durch die methodische Vorgehensweise bei der Ausgliederung von Strukturräumen geprägt (Wickop et al. 1998). Stadtstrukturen werden im Luftbild und sehr hochauflösenden Satellitenbild als unterscheidbare Flächenstrukturen von unterschiedlich dicht bebauten und auch freien Arealen abgebildet. Dies wiederum erlaubt den Rückschluss auf die jeweilige Flächennutzung, da die strukturelle Ausstattung einer Fläche deren wesentliche ökologische Eigenschaften anzeigt, wie zum Beispiel allgemeine Aussagen zu Biotop- und Vegetationsstrukturen, Klimaverhältnissen, Bodenbeschaffenheit oder Siedlungsintensität. Stadtstrukturtypen fassen folglich Flächen mit ähnlichen Umweltbedingungen zusammen. Aufgrund dessen wird man in diesem Kontext mit der Problematik der Heterogenität und Homogenität von Flächen konfrontiert. Dennoch ist diese Methode der Raumtypisierung sehr praktikabel, da der Strukturtyp einen ganzheitlichen Eindruck von der äußeren Erscheinung der Flächen und deren zu erwartenden Eigenschaften gibt. Vorteile existieren zudem vor allem in Bezug auf die räumliche Übertragbarkeit. Stadtstrukturtypen können als Bindeglied zwischen Planung und Forschung dienen, so zum Beispiel im Bereich der Bauleitplanung, der Hazardforschung und des Risikomanagements.

Die Stadtstrukturtypen und das Stadtstrukturtypengefüge nehmen quasi eine Mittelstellung zwischen Makro und Mikro ein und gewährleisten aufgrund dessen sowohl genaue Aussagemöglichkeiten und Ortsspezifität als auch Allgemeingültigkeit und Übertragbarkeit.

## 3. Raumanalyse Leipzigs in den 1990er Jahren

Die Ausgliederung der Stadtstrukturtypen für Leipzig erfolgte in den 1990er Jahren unter Betrachtung der umweltrelevanten Eigenschaften. Zunächst wurde ein Kartierschlüssel für Stadtstrukturtypen entwickelt.

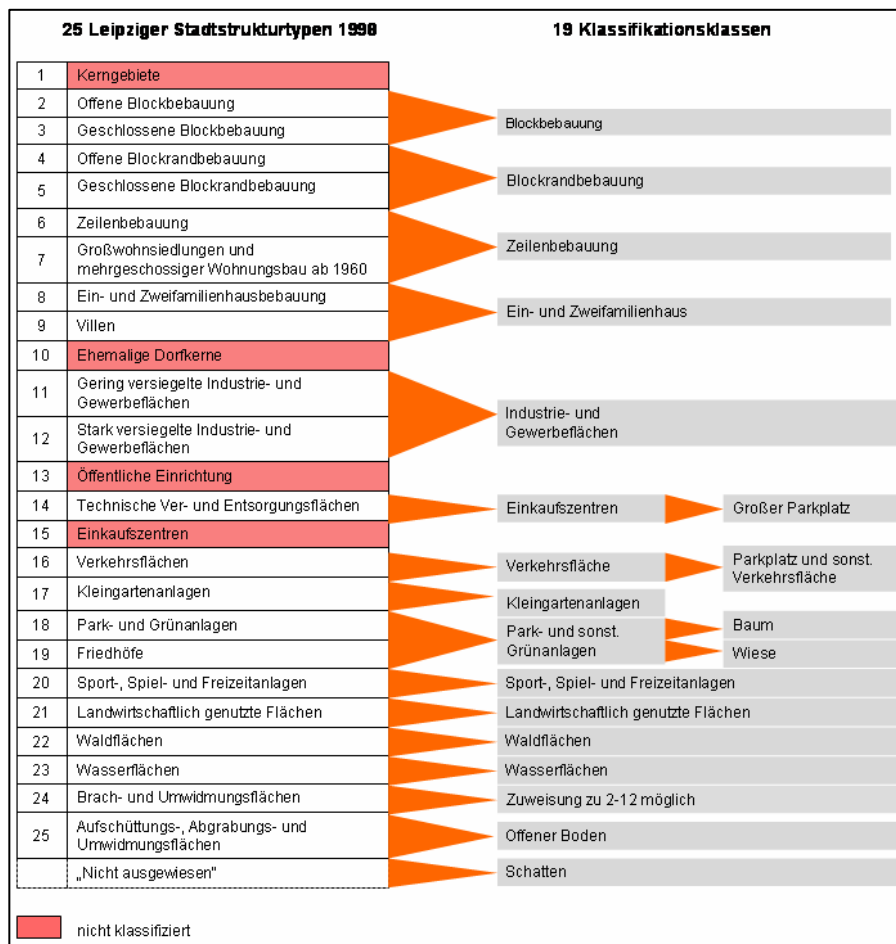


Abb.1: Zuweisung der kartierten Leipziger Stadtstrukturtypen zu Strukturtypenklassen für eine objektorientierte Klassifikation

Böhm und Wickop kartierten die Stadtregion anhand von Topographischen Karten, Luftbildern im Maßstab (1:5.000-1:10.000) und Ortsbegehungen. Die Kartierung der Struktureinheiten erfolgte nach zuvor festgelegten Abgrenzungskriterien visuell und manuell. Hierbei handelte es sich um die Größe der Einheit, die ökologische Relevanz und die interne Homogenität der Struktur. Insgesamt wurden für Leipzig 25 Stadtstrukturtypen ausgliedert (Wickop et al. 1998).

Eine Aktualisierung dieser Stadtstrukturen war aus zweierlei Sicht notwendig geworden. Zum einen haben sich die Verwaltungsgrenzen der Stadt Leipzig von 1994 aufgrund der Eingemeindungsreform bis 2001 erheblich verändert, und die Stadtfläche hat sich nunmehr verdoppelt. Zum anderen liegen die Ortholuftbilder nunmehr als digitale Datensätze vor und die Automatisierung der Klassifikationsansätze hat sich sehr stark weiterentwickelt. Dies ermöglicht eine Aktualisierung und Verbesserung der Klassifikation der Leipziger Stadtstrukturtypen.

#### 4. Datengrundlage

Die vorliegende Arbeit basiert auf der Segmentierung und Klassifikation von sehr hochauflösenden orthorektifizierten Colorinfrarot-Luftbilddaten. Sie wurden am 29. und

30.07.2002 im Maßstab 1:10 000 aufgezeichnet. Aus diesem Bilddatensatz wurden zum einen der NDVI bestimmt als auch eine Hauptkomponententransformation gerechnet. Diese beiden Bildanalysen wurden zusätzlich gewählt, um die Güte der Segmentierung und objektorientierten Klassifikation zu erhöhen. Für bestimmte Stadtstrukturtypen als auch für funktionale Bestimmungen städtischer Einrichtungen war es unerlässlich, ATKIS-Daten mit in die methodische Arbeit einzubeziehen.

## 5. Bildsegmentierung und objektorientierte Klassifikation

Bei der objektorientierten Klassifikation ist der vorangestellte Prozess der Segmentierung das Kernstück, mit ihm steht und fällt die Qualität der Klassifikation. Gerade komplexere semantische Fragen, die vor allem lokale Kontextinformationen mit einbeziehen, können mittels der objektbasierten Klassifikation gut bearbeitet werden.

Nachdem mehrere Segmentierungsebenen erstellt wurden, konnte mit der Klassenbildung fortgefahren werden. Der Generierung von Klassen lag der Stadtstrukturtypenschlüssel zugrunde. Dieser wurde diskutiert und auf die automatische Erfassung angepasst (s. Abb. 1). Diese war sehr zeitaufwändig und machte viel Beobachtungsschärfe notwendig. Es kamen zwei verschiedene Klassifikationsmethoden zum Einsatz: das Nearest-Neighbor-Verfahren und die Klassifikation über so genannte Zugehörigkeitsfunktionen („Membership Functions“). Das ausschlaggebende Kriterium bei der Auswahl einer der beiden Algorithmen war die zu beschreibende Klasse.

In dem hier vorgestellten Testgebiet wurden zwei Segmentierungsebenen gebildet. Dies war ausreichend, da aufgrund nicht vorhandener, großer homogener Flächen eine dritte Ebene redundant war für die Klassifizierung. Für den Einsatz der Zugehörigkeitsfunktion wurde genau dann entschieden, wenn Klassen schwer unterscheidbar waren.



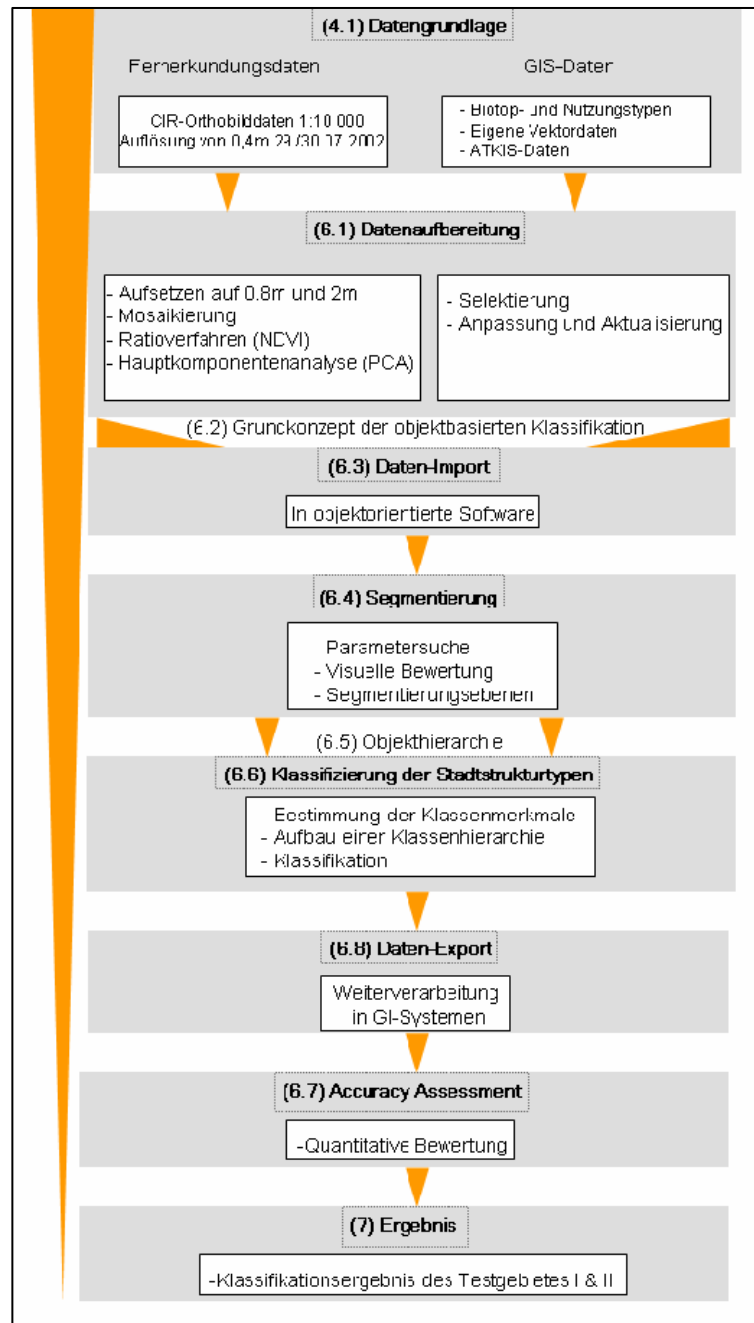


Abb. 2: Methodische Vorgehensweise

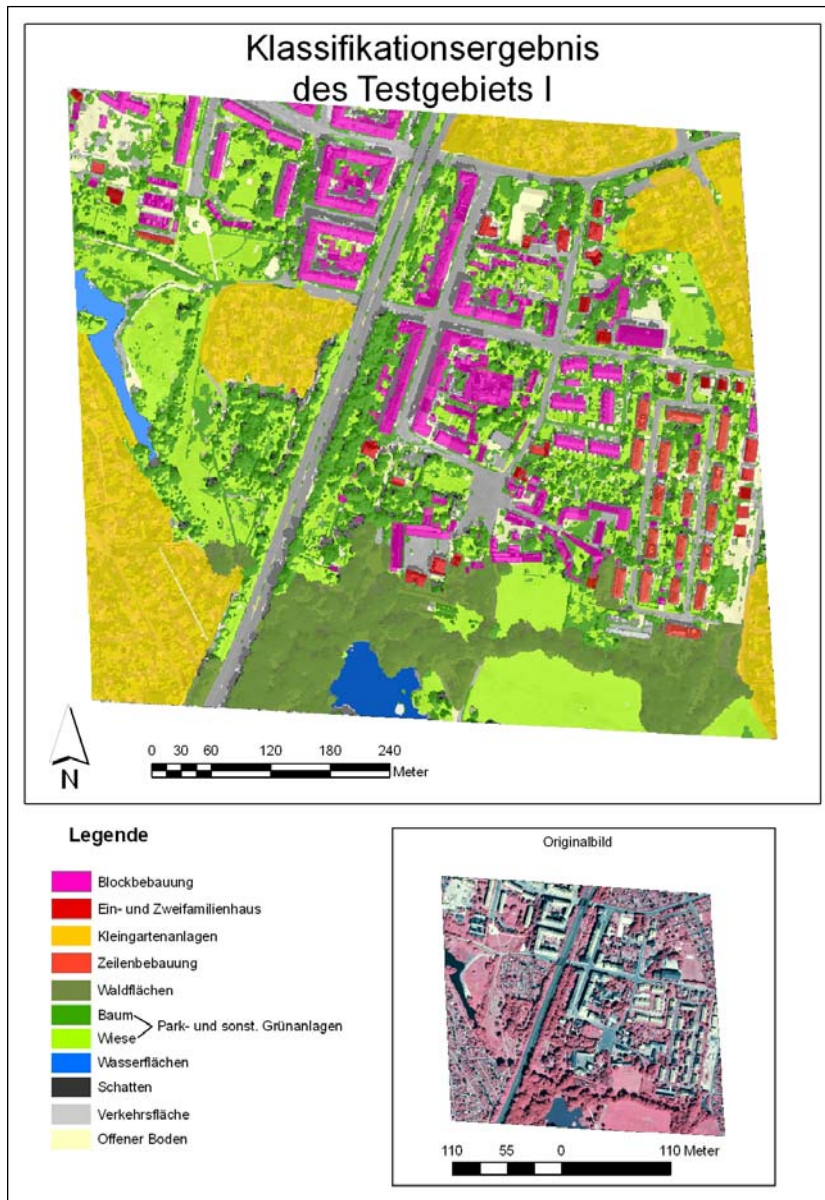


Abb.3: Klassifiziertes Testgebiet

Besonders erwähnenswert für das Testgebiet ist, dass die Gebäude spektral und auch formgebend deutlich voneinander trennbar waren und die Dachflächen zumeist eine sehr heterogene Textur aufwiesen. Bei der Segmentierung mussten also Elemente entstehen, die größtmögliche Dachflächen umfassten. Aufgrund der Existenz homogener und heterogener Dachflächen war die Umsetzung kompliziert. Bei einer kleinen Segmentierungsstufe setzte sich eine heterogene Dachfläche aus vielen Teilsegmenten zusammen, wohingegen eine homogene Dachfläche bereits nur aus einem Segment bestand.

Für das Testgebiet sollte die Segmentierung von Verkehrsflächen möglichst große Elemente herausbilden. Aufgrund des spektralen Verhaltens des Versiegelungs-

materials bzw. des Asphalttes war die Segmentierung kritisch, da sich die Segmente auf unterster Ebene zusammenschließen würden. Vor allem die Verschmelzung von Straßen mit Auffahrten sollte jedoch vermieden werden.

## 6. Auswertung

Die Ergebnisse des „Accuracy Assessment“ sehen wie folgt aus. Die Gesamtgenauigkeiten unterteilen sich in die Nutzer- und Herstellergenauigkeit, wobei die Herstellergenauigkeit die tatsächliche Trefferquote der Klassifikation hinsichtlich der Referenzinformationen bzw. der „Realität“ darstellt. Die Nutzergenauigkeit ist die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Objekt oder Pixel einer analogen oder digitalen Karte als wahr einzuschätzen ist, und sie ergibt sich aus dem „genutzten“ Klassifikationsprodukt, dessen Informationsgehalt den Referenzpunkten zugeordnet wird. Die Gesamtgenauigkeit resultiert aus dem Anteil aller richtig klassifizierten Objekte in Bezug auf alle Referenzpunkte (Möller 2005).

Die Tabelle zeigt, dass die unterschiedlichen Klassifikationsparameter spektrale Information, Form und Textur, wie auch Nachbarschaftsanalysen sehr verschiedene Genauigkeiten produzieren. Der in allen CIR Aufnahmen als störend auftretende Schatten mit unterschiedlichen Einfallswinkeln (aufnahmetechnisch bedingt) kann auch als Verkehrsfläche oder Teil eines Gebäudes quantitativ abgebildet sein. Ebenso war es schwierig, kleinere Verkehrsflächen zu klassifizieren, da vor allem Straßen in Wohngebieten sehr schmal sind und spektrale Eigenschaften von Gebäuden enthalten.

Klassen	Genauigkeit Hersteller- genauig- keit [%]	Nutzer- genauig- keit [%]	Gesamt- genauigkeit [%]
Schatten	46.7	77.8	
Wasserflächen	100.0	100.0	
Baum	73.7	56.0	
Wiese	78.4	76.3	
Verkehrsflächen	69.2	85.7	
Offener Boden	58.3	100.0	
Kleingarten	95.2	95.2	
Zeilenbebauung	66.7	100.0	
Ein- / Zweifamilienhäuser	100.0	100.0	
Blockbebauung	94.4	94.4	
Waldfläche	100.0	80.0	
			82,4

(1.) Güte der Klassifikation für das dargestellte Testgebiet

Da sich große Verkehrsflächen neben spektralen Charakteristika aufgrund ihrer linienhaften Form und einer Mindestbreite definieren lassen, ist hier eine korrekte Zuordnung eher möglich. Die Einzelelemente „Baum“ und „Wiese“ werden als Struktureinheit „Parkanlagen“ zusammengefasst, sind hier jedoch bewusst einzeln aufgeführt, um die Ähnlichkeit zum Strukturtyp „Kleingarten“ zu zeigen. Sehr gut lassen sich die unterschiedlichen Bebauungstypen zuweisen. So wurden sämtliche Gebäude zunächst über die ATKIS Zusatzinformation selektiert und dann über ihre Formparameter, unterschiedliche Rauigkeiten und u.U. Nachbarschaften attribuiert.

## 7. Zusammenfassung und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurden noch keine Höhendaten zu den unterschiedlichen Gebäudetypen verwendet, da der Zugang zu diesen erst jetzt ermöglicht ist. Sie werden in weiteren Klassifikationen als wichtige Zusatzdaten für die Stadtstrukturtypen mit einbezogen, um somit eine noch präzisere Grundlage für die stadtplanerischen Vorhaben zu liefern.

Colorinfrarotaufnahmen (CIR) vom 29. und 30.07.2002 wurden ausgewertet, um mittels eines objektorientierten Ansatzes die bebaute und natürliche Umwelt des urbanen Raumes zu berechnen. Als Zusatzinformation fließen ATKIS Daten ein, die für diesen Raum im Jahr 2005 aktualisiert wurden. Sie dienen zweierlei Kriterien: zum einen unterstützen sie die gebäudegenaue Klassifikation, zum anderen dienen sie dem Monitoring von Gebäudeabriss und -neubau, da gerade in der Zeit von 2002 bis 2005 stadtplanerisch im Programm „Stadtumbau Ost“ eine Vielzahl von Maßnahmen umgesetzt wurden. So kann die hier vorgestellte Klassifikation auf Ortsteilebene herangezogen werden, um raumbezogen zu analysieren, wo und in welchem Umfang diese Umgestaltung stattfand und ob dem Bestreben einer nachhaltigen Stadtentwicklung implizit einer kompakten Stadt gefolgt wird. Die Gefahr einer Perforation ist gegeben, aber stadttökologisch auch als neue und spannende Entwicklung zu sehen, da Freiflächen entstehen und Gestaltungsmöglichkeiten bieten.

## Literatur

**Banzhaf, E., Kindler, A. & Haase, D.** (2006): Monitoring and modelling indicators for urban shrinkage – the City of Leipzig, Germany, in: EARSeL 2<sup>nd</sup> Workshop on Special Interest Group Land Use & Land Cover, Bonn 28.-30.09.2006. CD

**Grescho, V. & Banzhaf, E.** (2006): Analysing a reverse development of open spaces and densification in the (sub)urban gradient – a GIS tool with remote sensing and vector data, in: 1<sup>st</sup> EARSeL Workshop on Urban Remote Sensing, Berlin, 02./03.03.2006. CD

**Möller, M.** (2005): Disaggregation von Bodeninformationen auf der Grundlage digitaler Reliefdaten, in: Möller, M. & Helbig, H. (Hrsg.): GIS-gestützte Bewertung von Bodenfunktionen. Heidelberg, S. 67-91.

**Müller, H. & Schmitt, G. & Selle, K.** (2003): „Stadtentwicklung rückwärts! Brachen als Chance?“ Aufgaben, Strategien, Projekte – eine Textsammlung für Praxis und Studium. Dortmunder Vertrieb für Bau- und Planungsliteratur.

**Rat für Nachhaltige Entwicklung** (2004): Mehr Wert für die Fläche: Das „Ziel 30 ha“ für die Nachhaltigkeit in Stadt und Land. DruckVerlag Kettler GmbH Bönen.

**Statistisches Bundesamt** (Hrsg.): Pressemitteilung vom 08.11.2004, [www.destatis.de/presse/deutsch/pm2004/p4660112.htm](http://www.destatis.de/presse/deutsch/pm2004/p4660112.htm), 12.10.06.

**Wickop, E. & Böhm, P. & Eitner, K. & Breuste, J.** (1998): Qualitätszielkonzept für Stadtstrukturtypen am Beispiel der Stadt Leipzig: Entwicklung einer Methodik zur Operationalisierung einer nachhaltigen Stadtentwicklung auf der Ebene von Stadtstrukturen, in: UFZ-Bericht 14/98. Leipzig.



# NDVI- Unterschiede aufgrund der sensor-spezifischen spectral response functions

Jonas Franke (jonasfranke@uni-bonn.de)<sup>1</sup>, Gunter Menz (menz@rsrg.uni-bonn.de)<sup>1,2</sup> & Vanessa Heinzel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Zentrum für Fernerkundung der Landoberfläche (ZFL),  
Universität Bonn

<sup>2</sup>Arbeitsgruppe Fernerkundung (RSRG), Geographisches Institut, Universität Bonn

## Abstract

Um eine ausreichende Datengrundlage für multitemporale NDVI- Anwendungen zu gewährleisten, werden häufig multisensorale Daten verwendet. Aufgrund unterschiedlicher Sensorcharakteristika unterscheiden sich jedoch die Sensor-spezifischen NDVI- Werte. In der hier vorgestellten Untersuchung wurde daher die Auswirkung unterschiedlicher spektraler Bändeigenschaften, insbesondere der ‚relative spectral responses‘ (RSR), auf den NDVI näher untersucht. Multispektrale Bänder von Landsat 5TM, QuickBird und SPOT5 wurden auf der Basis einer hyperspektralen HyMap- Szene simuliert. Mit Hilfe eines IDL- Programms wurde bei dieser Simulation die sensoreigenen RSR- Werte der zu simulierenden Bänder berücksichtigt. Die Validierung der Simulationsmethode wurde durch einen Vergleich zwischen simulierter und originaler Landsat 5TM- Szene des gleichen Tages durchgeführt. Das Ergebnis der Simulation waren multispektrale Bilder die spektrale Eigenschaften ähnlich der Originalsensoren besaßen, mit identischen Eigenschaften bezüglich Aufnahmegeometrie, Atmosphärenbedingungen und räumlicher Auflösung. Dadurch wurden ein direkter Vergleich des NDVI der verschiedenen Sensoren und eine Quantifizierung der durch unterschiedliche RSR verursachten Unterschiede ermöglicht. Dieser zeigte eine systematische, nicht-lineare Abweichung der NDVI- Werte unterschiedlicher Sensoren.

## 1. Einleitung

Vegetationsindizes spielen bei der fernerkundungsgestützten Erkennung und Beobachtung von Umweltveränderungen eine wichtige Rolle. Um detaillierte Aussagen über den Zustand von Vegetation und die Veränderungen von Vegetationsmustern treffen zu können, wurden in der Vergangenheit unterschiedliche Vegetationsindizes entwickelt (Bannari et al. 1995, Franke 2003). Trotz dieser Vielzahl vorhandener Indizes ist der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) der am häufigsten genutzte Vegetationsindex. Vor allem multitemporalen NDVI- Datensätzen kommt beim globalen als auch lokalen Vegetationsmonitoring eine entscheidende Bedeutung zu. Aufgrund der meist geringen zeitlichen Auflösung der meisten höher räumlich aufgelösten Fernerkundungssysteme ist die Verwendung von verschiedenen Sensorsystemen für

multitemporale Vegetationsanalysen unerlässlich. Jedoch kommt es aufgrund unterschiedlicher Sensorcharakteristika zu Unterschieden der NDVI- Werte. Die Aufnahmegeometrie, die räumliche Auflösung der Sensoren, Atmosphärenbedingungen sowie die Topographie bedingen Abweichungen des NDVI.

Die vorgestellte Untersuchung beschäftigte sich allerdings mit einem weiteren bedeutenden Faktor, der den NDVI unterschiedlicher Sensoren beeinflusst. Die spektralen Eigenschaften der Sensorbänder, insbesondere die ‚relative spectral response‘- Funktionen (RSR), prägen die aufgezeichneten Reflektionswerte. Obwohl unterschiedliche RSR der Sensoren meist nur geringe Differenzen der Reflektanzwerte bedingen, können NDVI- Werte unterschiedlicher Sensoren erheblich variieren. Daher ist ein Vergleich oder eine synergetische Nutzung verschiedener Sensor- NDVI kritisch. In einigen Studien wurden diese NDVI- Unterschiede bereits festgestellt und Methoden zur Minimierung dieser Inkonsistenzen vorgestellt (Trishchenko et al. 2002, Steven et al. 2003, Franke & Menz 2004, Miura et al. 2006, van Leeuwen et al. 2006).

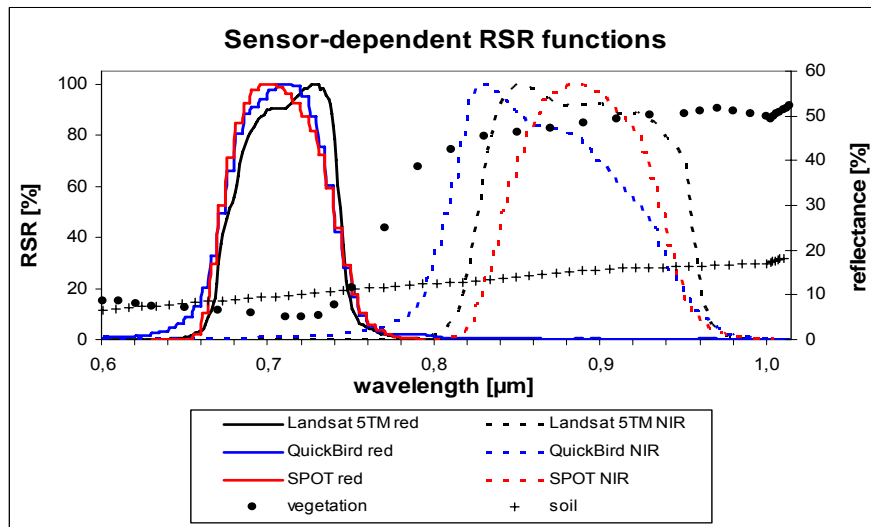
Um eine Quantifizierung der NDVI- Differenzen die alleinig auf die unterschiedliche RSR zurückzuführen ist durchführen zu können, wurden hier drei verschiedene multispektrale Sensoren auf der Basis einer hyperspektralen HyMap- Szene simuliert. Die sehr kontinuierlichen Bänder des HyMap Sensors wurden genutzt um Landsat 5TM, QuickBird und SPOT5 zu simulieren. Dadurch konnte gewährleistet werden, dass außer den spektralen Charakteristika, alle oben genannten zu Reflektanz- Unterschieden führenden Faktoren konstant sind. Die Simulationsgenauigkeit wurde mit Hilfe einer originalen Landsat 5TM- Szene des gleichen Tages evaluiert. Anschließend wurden die Verhältnisse der drei Sensor- bedingten NDVI- Werte näher untersucht. Das Ziel dieser Analyse war einerseits die Entwicklung einer zuverlässigen Methode zur Sensorsimulation um Unterschiede der spektralen Sensoreigenschaften zu bestimmen und zudem Vorschläge zur Minimierung dieser Inkonsistenzen machen zu können.

## 2. Spektrale Charakteristik

Ein spektrales Band eines Sensors kann durch seine Bandbreite, die Bandmitte sowie durch die FWHM (full width at half maximum) beschrieben werden. Die RSR eines Bandes gibt die spektrale Eigenschaft am deutlichsten wieder. Die RSR eines Sensorbandes wird in erster Linie durch die quantum efficiency (QE) des Detektors bestimmt. Die QE charakterisiert die spektrale Sensitivität des Sensor- CCD's (charge-coupled device) an jeder Wellenlänge gegenüber einfallendem Licht. Die QE berücksichtigt allerdings nicht nur die Typ- bedingte Empfindlichkeit des CCD's, sondern auch Verluste einfallender Photonen aufgrund reflektierender oder transmittierender Sensorkomponenten wie zum Beispiel Spiegel, Filter, Beschichtungen usw. Somit besitzen unterschiedliche Sensoren eine unterschiedliche Sensitivität



gegenüber einfallendem Licht, welche durch ihre individuelle RSR- Funktion beschrieben wird.



-Abb. 1: Relative spectral response (RSR)- Funktionen des roten und nahen Infraroten Bandes von Landsat 5TM, QuickBird and SPOT5 mit 2 typischen Oberflächenspektren als Referenz

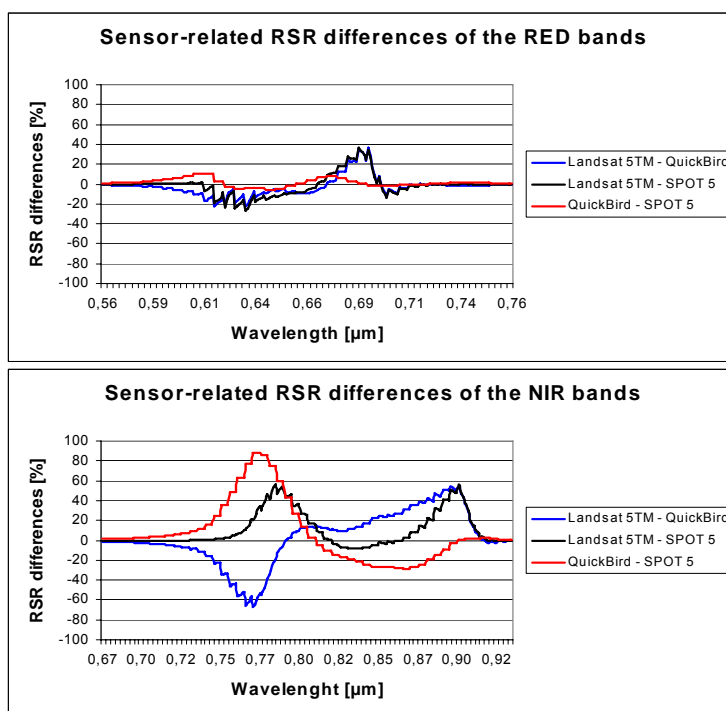


Abb. 2a/b: Sensor-Abb bedingte Unterschiede der RSR (%) des roten (a) und nahen Infraroten (b) Bandes der Sensoren.

Abbildung 1 zeigt die RSR- Funktionen der roten und nahen Infraroten (NIR) Bänder der in dieser Untersuchung verwendeten Sensoren. Als Referenz sind zwei typische Oberflächenspektren eingefügt. Die RSR- Funktionen der NDVI- relevanten Bänder

variieren in Form und im Spektralbereich, insbesondere im Bereich des NIR. Auffällig ist, dass QuickBird den geringsten Abstand zwischen dem roten und dem NIR- Band aufweist und die Bänder sich leicht überlappen. Die QuickBird- Bänder liegen somit näher am vegetationstypischen Spektralbereich der red-edge. In Abbildung 1 wird auch die größere Übereinstimmung der roten Bänder im Vergleich zu den NIR- Bändern deutlich. Dies zeigt die Abbildung 2 besonders detailliert, in der die RSR- Differenzen der roten (a) und NIR- Bänder (b) der unterschiedlichen Sensoren dargestellt sind. Während die roten Bänder von QuickBird und SPOT5 ziemlich ähnlich sind, unterscheiden sich die NIR- Bänder dieser Sensoren mit Differenzen von über 80% bei Wellenlängen um  $0,77\mu\text{m}$  stark. Aufgrund dieser großen RSR- Unterschiede der NIR- Bänder beeinflussen diese Bänder den NDVI in größerem Maße als die roten Bänder.

### 3. Untersuchungsgebiet und Daten

Das Untersuchungsgebiet befindet sich westlich der Städte Köln und Bonn in Nordrhein-Westfalen (Abb. 3). Es ist geprägt durch eine sehr heterogene Landnutzung und beinhaltet unterschiedlichste Oberflächenarten wie landwirtschaftliche Flächen, Wald, Siedlung und Wasserflächen.

Die HyMap- Befliegung fand am 28.05.2005 (12.00 Uhr) statt. Die vorprozessierten HyMap- Daten besitzen 126 Bänder mit einer Bandbreite von 15nm im VIS/NIR- Bereich bei einer räumlichen Auflösung von 4m. HyVista corp. und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt führten die geometrische und radiometrische Korrektur der Daten durch.

Die zur Validierung der Simulationsmethode genutzte Landsat 5TM Szene stammt ebenfalls vom 28.05.2005 (10.30 Uhr). Somit konnte ein direkter Vergleich zwischen einer simulierten und originalen Landsat 5TM- Szene im Untersuchungsgebiet durchgeführt werden. Die Atmosphärenkorrektur der Szene wurde mit Hilfe von ATCOR3 durchgeführt, wobei ein digitales Höhenmodell in der Korrektur berücksichtigt wurde. Mit Hilfe von Spektroradiometermessungen des gleichen Tages wurde das Korrekturergebnis validiert. Anschließend wurde die Landsat 5TM und die HyMap- Szene geometrisch co-registriert.

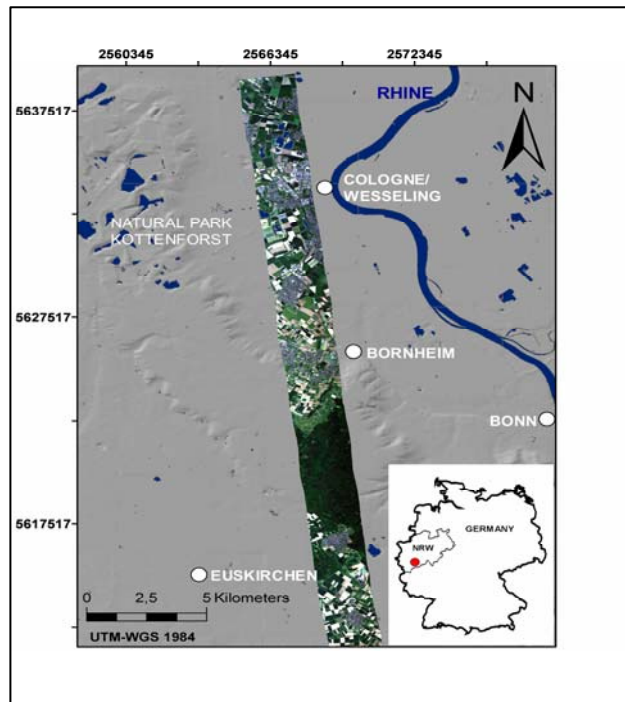


Abb. 3: Untersuchungsgebiet mit HyMap- Szene

#### 4. Methoden

Bei einigen bisherigen Sensorsimulationen wurde versucht die geometrischen als auch spektralen Eigenschaften der Sensoren zu berücksichtigen (Kavzoglu 2004). Da in der hier vorgestellten Untersuchung das Hauptaugenmerk auf die Reflektanz- bzw. NDVI-Differenzen gerichtet ist, die nur durch die unterschiedlichen RSR- Funktionen resultieren, wurde ausschließlich die spektrale Charakteristik simuliert. Nur bei konstanten Nebenparametern konnte eine genaue Quantifizierung der Unterschiede aufgrund variierender RSR- Funktionen erzielt werden.

Als Vorbereitung zur Datensimulation wurde zunächst jeder HyMap- Bandmitte der entsprechende RSR- Wert der einzelnen zu simulierenden multispektralen Bänder zugewiesen (mittlerer RSR- Wert im Bereich FWHM der HyMap- Bänder). Die Simulation wurde in einem IDL- Programm umgesetzt, welches eine Simulation multispektraler Bänder mit jeden erdenklichen spektralen Eigenschaften ermöglicht. Dabei werden die 126 HyMap- Reflektanzwerte eines jeden Pixels mit den 126 zugewiesenen RSR- Werte des zu simulierenden Bandes multipliziert. Die Summe dieses Produktes wird danach durch die Summe der 126 RSR- Werte geteilt. Um multispektrale Bänder zu erhalten muss jedes Band einzeln nach folgender Gleichung simuliert werden, wobei  $R_{sim_b}$  der simulierte Reflektanzwert eines Pixels eines Bandes darstellt,  $R_i$  ist der Reflektanzwert eines Pixels des HyMap- Bandes und  $rsr_{b,i}$  ist der RSR- Wert der entsprechenden HyMap Wellenlänge des zu simulierenden Bandes:

$$R_{sim_b} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i * rsr_{b,i}}{\sum_{i=1}^n rsr_{b,i}} \quad 1 \leq n \leq 126$$

Das Ergebnis dieser Simulation sind multispektrale Bänder mit einer spektralen Information ähnlich der originalen Sensorbänder. Wie bereits erwähnt unterscheiden sich die Daten aufgrund unterschiedlicher räumlicher Auflösung und unterschiedlicher Aufnahmegeometrien von Originaldaten, was bei der folgenden Validierung berücksichtigt werden muss. Eine umfassende Validierung der Simulationsmethode erfolgte durch einen Vergleich von simulierter Landsat 5TM- Szene basierend auf HyMap- Daten mit einer originalen Landsat 5TM- Szene des gleichen Aufnahmedatums. Dabei wurden, um den Effekt unterschiedlicher räumlicher Auflösungen zu minimieren, große homogene Flächen wie Wald, große Ackerschläge usw. ausgewählt und deren gemittelten Reflektanzwerte verglichen. Die Differenz pro Band zeigte dabei sehr geringe Unterschiede zwischen 0,08% und 1,45% Reflektanz (Tab. 1) bei einem Mittelwert von 0,79%. Größte Übereinstimmung zwischen simulierter und originaler Szene konnte in den NDVI relevanten Bändern 3 und 4 erzielt werden; größte Unterschiede traten in Band 7 auf. Diese geringen Unterschiede zwischen simulierter und originaler Szene bestätigen die Genauigkeit der Simulationsmethode. Auffällig war eine generelle leichte Unterschätzung der Reflektanzen durch die Simulation. Die leichten Unterschiede hatten mehrere Ursachen.

Wie erwähnt wurde die geometrische Auflösung, die Aufnahmegeometrie und -zeitpunkte nicht simuliert und zudem führten unterschiedliche Atmosphärenkorrekturen zu leichten Abweichungen.

Kerekes und Landgrebe (1989) schätzten den Effekt dieser Faktoren auf 5-10% Reflektanzabweichung. Kalman und Peltzer (1993) führten eine Simulation von Landsat TM auf der Basis von AVIRIS- Daten durch und zeigten je nach Band eine Abweichung der mittleren DN- Werte von 0,4% bis 5,3%. Teilet et al. (2001) stellten bei einem Vergleich zwischen Landsat 5TM und Landsat 7ETM+ einen Unterschied zwischen 2% und 7% fest, was zu NDVI- Differenzen von bis zu 4% führte.

	Landsat simuliert	Landsat original	<i>absolute DIFF</i>
	<i>Mittel</i>	<i>Mittel</i>	
Band 1	4.0 %	5.0 %	0.96 %
Band 2	6.9 %	7.7 %	0.80 %
Band 3	7.5 %	7.5 %	0.08 %
Band 4	34.3 %	34.8 %	0.46 %
Band 5	18.0 %	19.0 %	1.01 %
Band 7	11.0 %	12.4 %	1.45 %
NDVI	0.635	0.639	0.004

(1.) Mittlere Reflektanzen der Bänder (in %) sowie mittlerer NDVI von originaler und simulierter Landsat 5TM- Szene, sowie deren Differenzen.

Die Validierung der Simulationsmethode mittels NDVI bestätigt ebenfalls die Genauigkeit dieser Simulation, wo ein Unterschied von 0,004 (0,62%) aufgetreten ist, was in erster Linie aus den geringen Unterschieden der Reflektanzwerte in den NDVI-relevanten Bändern 3 und 4 resultiert. Durch diesen Vergleich konnte festgestellt werden, dass die entwickelte Methode eine akkurate Simulation multispektraler Daten ermöglicht. Im Anschluss an die Validierung wurden mit Hilfe der HyMap- Szene zusätzlich zu Landsat 5TM die Sensoren QuickBird and SPOT5 simuliert, deren NDVI-Werte anschließend verglichen wurden (Abb. 4).

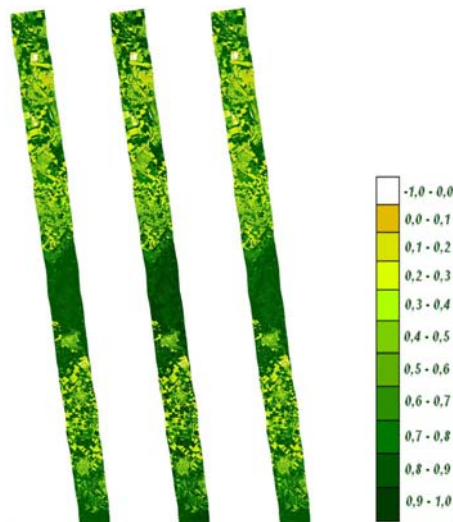


Abb. 4: Auf HyMap- basierende simulierte Landsat 5TM-, QuickBird- und SPOT5- NDVI- Bilder

## 5. Ergebnisse

Der Vorteil eines NDVI- Vergleichs zwischen Datensätzen die mit dieser Methode simuliert worden sind ist, dass ausschließlich Differenzen quantifiziert werden die aus unterschiedlichen spektralen Eigenschaften der Bänder resultieren, da alle anderen Parameter bei allen Datensätzen konstant sind. Obwohl sich die NDVI- Bilder der simulierten Szenen optisch kaum unterscheiden, existieren jedoch teilweise erhebliche Abweichungen (Abb. 4). Die gesamte simulierte Landsat 5TM- Szene besaß einen mittleren NDVI von 0,64, QuickBird von 0,62 und SPOT5 von 0,66.

Tabelle 2 zeigt die minimalen, maximalen und mittleren NDVI- Unterschiede der simulierten Daten in Prozent. Die geringsten mittleren NDVI- Unterschiede mit 2,2% traten zwischen Landsat 5TM und QuickBird auf, die mittlere NDVI- Abweichung von Landsat 5TM und SPOT5 betrug 3,9%, während die größten Unterschiede mit 6,3% zwischen QuickBird und SPOT5 auftraten. Dies korrespondiert mit den größten Differenzen der RSR- Funktionen, besonders derer im NIR- Bereich (Abb. 2).

	Min. NDVI Unterschiede	Max. NDVI Unterschiede	Mittl. NDVI Unterschiede	Unterschied (%)
Landsat- QuickBird	-0.064	0.099	0.014	2.2
Landsat- SPOT	-0.126	0.157	-0.025	3.9
QuickBird- SPOT	-0.083	0.074	-0.039	6.3

(2.): minimale, maximale, mittlere und prozentuale NDVI- Unterschiede zwischen den simulierten Daten

Bei der Betrachtung der NDVI- Histogramme der einzelnen Szenen fallen diese NDVI- Unterschiede zwischen den simulierten Sensordaten ebenfalls auf (Abb. 5). Auffällig ist eine ähnliche Form der Kurven bei gleichzeitiger Verschiebung im Wertebereich, wobei hier wieder der größte Unterschied zwischen QuickBird und SPOT5 zu erkennen ist. Ein entscheidender Faktor ist, dass bei höheren NDVI- Werten die Differenzen größer sind als im geringen NDVI- Wertebereich, was bei einem Vergleich der beiden Scheitelpunkte der Kurven deutlich wird. Die ähnlichen Kurvenformen bei gleichzeitiger Verschiebung im Wertebereich und einer leichten Streckung der Kurven weisen auf eine systematische aber nicht-lineare NDVI- Abweichung der Sensordaten hin.

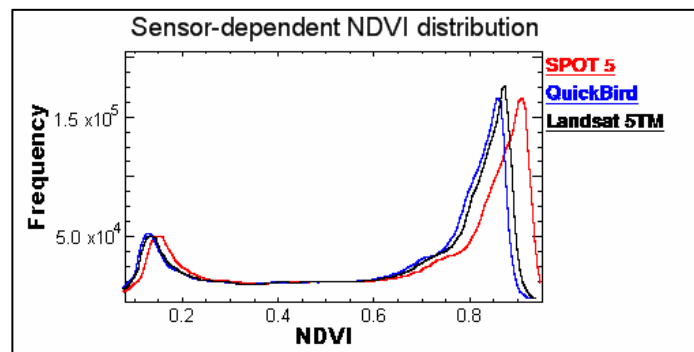


Abb. 5: Sensor- abhängige NDVI- Verteilungen der simulierten SPOT5, QuickBird und Landsat 5TM- Szenen

Für eine genauere Analyse dieser NDVI- Differenzen zwischen den Sensoren wurde ein Landbedeckungsart- abhängiger Vergleich durchgeführt. Abbildung 6 zeigt die NDVI- Abweichungen verschiedener Oberflächen wie Wald, Getreide, Siedlung, Brache und Hackfrucht zwischen Sensorpaaren. Der Sensor mit den höheren NDVI- Werten wurde jeweils als Referenz genommen. Der Vergleich zwischen SPOT5 und QuickBird zeigte auch hier den größten Unterschied (Abb. 6A), wobei sich die NDVI- Differenzen mit steigendem NDVI erhöhen. Generell hat dieser Trend einen eher linearen Charakter, wobei auch hier ein Polynom 2.Grades angewendet wurde ( $r^2=0,97$ ). Der Vergleich zwischen SPOT5 und Landsat 5TM (Abb. 6B) weist einen konkaven Trend auf mit geringsten Differenzen im mittleren NDVI- Wertebereich und einem starken Anstieg ab

einem NDVI- Wert von 0,6. Auch dieser Trend konnte mit dem gewählten Polynom 2.Grades beschrieben werden ( $r^2=0,97$ ). Der Trend des Vergleichs zwischen Landsat 5TM und QuickBird hingegen ist durch einen konvexen Charakter gekennzeichnet (Abb. 6C) mit  $r^2=0,86$  und größten Differenzen im mittleren NDVI- Wertebereich.

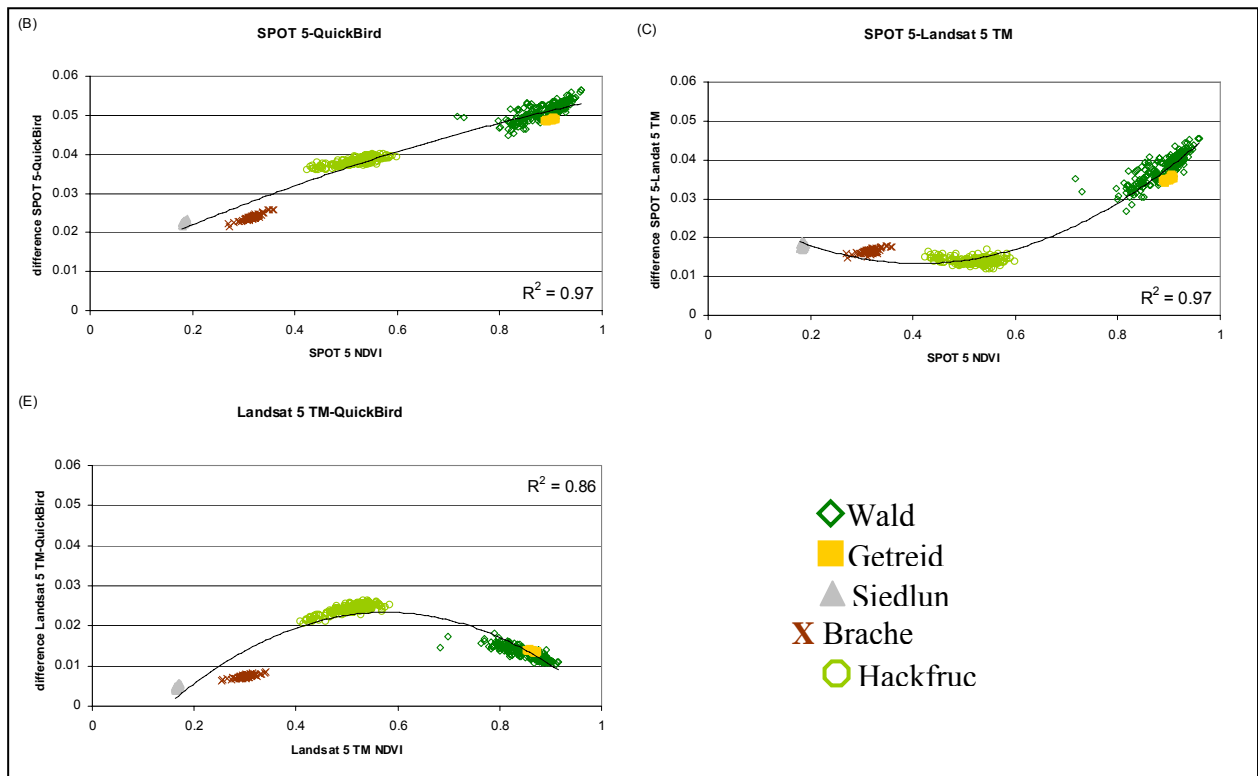


Abb. 6: NDVI- Unterschiede zwischen den Sensoren für verschiedene Landbedeckungsklassen (Wald, Getreide, Siedlung, Brache und Hackfrucht). Der Sensor mit dem jeweils höheren NDVI- Werten wurde als Referenz herangezogen. Jeder Trend ist mit einem Polynom 2. Grades beschrieben.

## 6. Fazit

In der hier vorgestellten Untersuchung wurde eine Methode zur Simulation multispektraler Daten mit vordefinierten 'relative spectral response'- Funktionen auf der Basis hyperspektraler Daten dargestellt. Diese Simulation kreiert Bänder die spektral ähnlich derer originaler Sensorbänder sind, wobei sonstige Aufnahmeparameter wie zum Beispiel Aufnahmegeometrie und -zeitpunkt sowie räumliche Auflösung unverändert bleiben. Das Ziel war eine akkurate Modellierung spektraler Bänder. Die Validierung dieser Methode mittels eines Vergleichs zwischen simulierten und originalen Daten bestätigte die Genauigkeit dieser Modellierung.

Dadurch konnten NDVI- Datensätze erzeugt werden die sich ausschließlich darin unterschieden, dass die Datensätze aus denen sie erzeugt worden sind unterschiedliche spektrale Eigenschaften besaßen. Dies ermöglichte eine Quantifizierung und Analyse

von NDVI- Differenzen zwischen Landsat 5TM, Spot5 und QuickBird, die ausschließlich auf spektrale Sensorcharakteristika zurückzuführen sind. Große NDVI- Unterschiede korrespondierten dabei mit großen Unterschieden der Sensor-spezifischen RSR-Funktionen.

Die NDVI- Unterschiede zeigten dabei eine systematische, jedoch nicht- lineare Abweichung zwischen den Sensoren, was ein wichtiger Faktor für eine mögliche Sensor-Interkalibration darstellt. Daher wird hier eine Interkalibrationsmethode vorgeschlagen, die mit Hilfe eines Polynoms 2.Grades den NDVI unterschiedlicher Sensoren anpasst. Eine ähnliche Anpassungsmethode wurde bereits von Trishchenko et al. (2002) vorgeschlagen. Obwohl die Trends der Differenzen zwischen den Sensorpaaren mit einem Polynom 2.Grades für den gesamten NDVI- Wertebereich gut beschrieben werden konnten, wäre eine Wertebereich- spezifische Anpassung effektiver. Eine weitere Möglichkeit für die Anpassung im gesamten NDVI- Wertebereich wäre die Wahl eines Polynoms höherer Ordnung.

Da die NDVI- Unterschiede die durch unterschiedliche RSR- Funktionen der Bänder ausgelöst werden, der am genauesten zu quantifizierende Faktor ist (im Vergleich zu anderen Unterschiede verursachende Faktoren wie Aufnahmeparameter usw.), ist eine schrittweise Interkalibration des NDVI zu bevorzugen. Unterschiedliche spektrale Eigenschaften der Sensoren sollten dabei in einem ersten Schritt korrigiert werden, wobei die Anpassung der restlichen Abweichung- verursachenden Faktoren in weiteren Schritten durchgeführt werden sollte. Solch Interkalibration diverser Sensoren ist notwendig für multitemporale, bzw. multisensorale NDVI- Anwendungen, um die Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten.



## Literatur

**Bannari, A., Morin, D., & F. Bonn** (1995): "A review of vegetation indices", in: Remote Sensing Review, 13, S. 95-120

**Franke, J. & G. Menz** (2004): "Sensor intercalibration- adjustment of MODIS-NDVI to AVHRR-NDVI data", in: Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposia 2004, Anchorage, USA

**Franke, J.** (2003): "Analyse der Aussagefähigkeit verschiedener Satelliten - gestützter Vegetationsindizes bezüglich der räumlichen Vegetationsverteilung", Diplomarbeit. Universität Bonn (15.08.2003)

[http://www.rsrg.uni-](http://www.rsrg.uni-bonn.de/RSRGwww/Deutsch/Diplomarbeiten/Franke_Diplomarbeit_2003.pdf)

[bonn.de/RSRGwww/Deutsch/Diplomarbeiten/Franke\\_Diplomarbeit\\_2003.pdf](http://www.rsrg.uni-bonn.de/RSRGwww/Deutsch/Diplomarbeiten/Franke_Diplomarbeit_2003.pdf)

**Kalman, L. S. & G. R. Peltzer** (1993): "Simulation of Landsat Thematic Mapper Imagery using AVIRIS hyperspectral imagery", in: Proceedings of the AVIRIS Airborne Geoscience Workshop 1993, S. 97-100

**Kavzoglu, T.** (2004): "Simulating Landsat ETM+ imagery using DAIS 7915 hyperspectral scanner data", in: International Journal of Remote Sensing, 20, S. 5049-5067

**Kerekes, J. P. & D. A. Landgrebe** (1989): "Simulation of Optical Remote Sensing Systems", in: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 26(6), S. 762-771

**Miura, T., Huete, A., & H. Yoshioka** (2006): "An empirical investigation of cross-sensor relationships of NDVI and red/near-infrared reflectance using EO-1 Hyperion data", in: Remote Sensing of Environment, 100(2), S. 223-236

**Steven, M. D., Malthus, T. J., Baret, F., Xu, H., & M. J. Chopping** (2003): "Intercalibration of vegetation indices from different sensor systems", in: Remote Sensing of Environment, 88(4), S. 412-422

**Teilet, P. M., Barker, J. L., Markham, B. L., Irish, R. R., Fedosejevs, G. & J. C. Storey** (2001): "Radiometric cross-calibration of the landsat-7 ETM+ and landsat-5 TM sensors based on tandem data sets", in: Remote Sensing of Environment, 78(1-2), S. 39-54

**Trishchenko, A. P., Cihlar, J., & Z. Li (2002):** “Effects of spectral response function on surface reflectance and NDVI measured with moderate resolution satellite sensors”, in: *Remote Sensing of Environment*, 81(1), S. 1-18

**van Leeuwen, W. J. D., Orr, B. J., Marsh, S. E. & S. M. Herrmann (2006):** “Multi-sensor NDVI data continuity: Uncertainties and implications for vegetation monitoring applications”, in: *Remote Sensing of Environment*, 100(1), S. 67-81



# Einsatzmöglichkeiten höchst aufgelöster Fernerkundungsdaten im kommunalen Flächenmonitoring und Flächenmanagement

Monika Gähler (mgaehler@igf.uni-osnabrueck.de)  
Institut für Geoinformatik und Fernerkundung, Universität Osnabrück,  
Seminarstr. 19a/b, 49069 Osnabrück  
Sven Oltmer (soltmer@uni-osnabrueck.de)

## Abstract

Die Bundesregierung verlangt in der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie gezielte Anstrengungen zum Flächensparen, wobei der tägliche Flächenverbrauch bis 2020 von derzeit ca. 105 ha auf ca. 30 ha reduziert werden soll. Im Rahmen eines zukunftsfähigen *kommunalen* Flächenmanagements steht das Ziel der verminderten Flächenausweisung zu „Siedlungs- und Verkehrszwecken“ im Vordergrund.

Zur Überprüfung dieses Ziels müssen geeignete Instrumente bzw. Indikatoren vorhanden sein. Bislang existieren allerdings nur vereinzelt, und keine einheitlichen Instrumente und Indikatoren. Digitale Fernerkundungsdaten werden in den wenigen bisherigen Ansätzen eines indikatorengestützten Vorgehens nicht berücksichtigt. Als Ursache hierfür galt bislang die insbesondere für urbane Fragestellungen zu geringe geometrische Auflösung der Fernerkundungsdaten.

In diesem Beitrag sollen Möglichkeiten und Grenzen höchst aufgelöster Fernerkundungsdaten für ein praxisnahes kommunales Flächenmanagement bzw. Flächenmonitoring aufgezeigt werden. Neben einer kurzen Darstellung der Rahmenbedingungen, Anforderungen sowie Aufgaben und Ziele für ein kommunales Flächenmonitoring und Flächenmanagement wird im Beitrag versucht, für einen ausgewählten Indikator (Versiegelung) geeignete semiautomatisierte Auswerteverfahren zu entwickeln. Die hierbei eingesetzten Verfahren (konventionelle visuelle Bildinterpretation sowie pixel- und segmentbasierte Algorithmen) sollen hinsichtlich Genauigkeit und Aufwand gegenübergestellt werden.

Die Datengrundlage bilden flugzeuggestützte multisensorale Fernerkundungsdaten, die von einer Befliegung im Juli 2005 stammen. Die hierbei zeitgleich erfassten RGB- sowie Laserscanningdaten besitzen eine räumliche Auflösung von 0,15 m (Bildinformationen) bzw. eine durchschnittliche Punktdichte von 3 Punkten/m<sup>2</sup>. Als Untersuchungsgebiet dient ein Gewerbegebiet in Osnabrück (Stadtteil Hellern).

## 1. Kommunales Flächenmonitoring und Flächenmanagement

Die Bundesregierung verlangt in der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie gezielte Anstrengungen zum Flächensparen, wobei der tägliche Flächenverbrauch bis 2020 von derzeit ca. 105 ha auf ca. 30 ha reduziert werden soll. Darüber hinaus sind laut Europarechtsanpassungsgesetz Bau (EAG Bau) vom 20.07.04 und der damit einhergehenden Novellierung des BauGB bereits bei der Aufstellung eines Bauleitplans die geplanten Maßnahmen darzustellen, die zur Überwachung der Umweltauswirkungen (Monitoring) dienen. Hierdurch ist das Umweltmonitoring auch zu einer Pflichtaufgabe für die Gemeinden geworden.

Das Hauptziel des kommunalen Flächenmonitorings und Flächenmanagements besteht in der Minimierung des Flächenverbrauchs und der Bodenversiegelung. Bislang haben nur sehr wenige Kommunen Ansätze eines Flächenmonitoring erarbeitet. Diese kennzeichnen sich durch sehr unterschiedliche Vorgehensweisen in der Ermittlung des Flächenverbrauchs. Allgemeingültige Maßnahmen bzw. Handlungsfelder hinsichtlich einer konkreten Umsetzung kann es aufgrund der unterschiedlichen Problemlagen und Voraussetzungen innerhalb verschiedener Gemeinden nicht geben (vgl. GUHSE 2005). Unabdingbar für alle Problemstellungen ist die präzise und aktuelle Erfassung und Analyse der Flächennutzung (IST-Analyse).

Die bislang vereinzelt existierenden Bemühungen eines kommunalen Flächenmonitoring basieren derzeit auf Daten, die von statistischen Erhebungen (z.B. Niedersächsisches Landesamt für Statistik) bzw. von Katasterinformationen der verschiedenen Ämter stammen. Der rein statistischen Datengrundlage fehlt der räumliche Bezug und Kataster-Informationen beinhalten eine relativ starke Abstraktion der Flächennutzung (ALK) oder der geometrischen Abgrenzung (ATKIS), d.h. der Datenbasis fehlt entweder der räumliche Bezug oder es mangelt an hinreichender geometrischer und/oder inhaltlicher Genauigkeit. Für ein Flächenmonitoring ist eine großmaßstäblich geometrische und lagegenaue (digitale) Datenbasis jedoch unabdingbare Voraussetzung, da nur hiermit eine hochgenaue Erfassung, Beobachtung, Entwicklung sowie Optimierung der Flächennutzung ermöglicht werden kann. Auch innerhalb des Fortschrittsberichts der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie wird die Verbesserung der Informationsgrundlage einerseits zum Auf- bzw. Ausbau eines Flächenmonitoring und andererseits zur Umsetzung der Umweltprüfung innerhalb der gemeindlichen Bauleitplanung als notwendig angesehen.

Fernerkundungsdaten werden im Rahmen eines GIS-gestützten Flächenmonitoring bisher nicht berücksichtigt. Bildauswertungen auf Basis höchst aufgelöster (< 1 m) flugzeuggestützter **analog** aufgenommener, gescannter und georeferenzierter dreikanaliger Echt- oder Falschfarbinformationen werden für derartige Fragestellungen als zu kostenintensiv betrachtet. Dies ist auf den nicht automatisierbaren Prozess der visuellen Bildinterpretation und Digitalisierung zurückzuführen. **Digitale**

Fernerkundungsdaten konnten bis vor ein paar Jahren nur von Satellitensensoren erfasst werden. Deren geometrische Auflösung war für eine hochgenaue Erfassung der Realnutzung innerhalb urbaner Räume (bislang) zu gering. Inzwischen existieren auch flugzeuggestützte digitale Fernerkundungssensoren, die Daten mit einer erhöhten geometrischen Genauigkeit und einer verbesserten radiometrischen Auflösung liefern und somit ein gesteigertes semantisches Informationspotenzial beinhalten. Dies führt zu erweiterten Möglichkeiten in der Ableitung von Informationen, da automatisierte Auswerteverfahren die digital erfassten Informationen in weit größerem Umfang nutzen, als es selbst erfahrenen Interpreten visuell möglich ist.

Inwiefern das Informationspotenzial der neuen digitalen Datengrundlage genutzt werden kann, um eine hochgenaue Erfassung der Flächennutzung innerhalb urbaner Räume zu ermöglichen, wurde beispielhaft für ein Untersuchungsgebiet in der Stadt Osnabrück analysiert. Auf Basis von höchst aufgelösten RGB- und Laserscanning-Daten wurde hierfür ein segmentbasiertes, (semi-)automatisiertes Auswertungsverfahren in eCognition™ 4.0.6 entwickelt. Dabei wurden die folgenden Zielklassen definiert: „Gebäude“, „Straßen, Betriebs- und Lagerflächen“, „Acker und Offener Boden“, „Grün- und Vegetationsflächen“, „Bäume, Wald“ und „Schatten“.

## 2. Datengrundlage und Untersuchungsgebiet

Für die Untersuchung wurden höchst aufgelöste RGB-Orthobilder und Laserscanning-Daten von der Stadt Osnabrück zur Verfügung gestellt. Wissenschaftliche Analysen zur Genauigkeit sowie zum semantischen Informationspotenzial des verwendeten digitalen Bildaufnahmesystems existieren derzeit nicht. Mit einer Bodenpixelgröße bzw. einer Lagegenauigkeit der Bilddaten von jeweils ca. 0,15 m liegt mit den Ausgangsdaten ein für die vorliegende Fragestellung erforderlicher Maßstab vor. Die Laserscanning-Daten erfüllen für die vorliegende Fragestellung hinsichtlich Lage- und Höhengenaugigkeit die derzeit in der Praxis gängigen Anforderungen (vgl. SCHIEWE 2004).

<b>System</b>	<b>Rollei AIC (RGB)</b>	<b>LMS-Q 560 (Laser)</b>
<b>Hersteller</b>	ROLLEI	RIEGL
<b>Aufnahmedatum</b>	12./13. Juli 2005	12./13. Juli 2005
<b>Flughöhe</b>	600 m ü. Grund	600 m ü. Grund
<b>Streifenbreite</b>	497 m	497 m
<b>Bodenpixelgröße Bilddaten</b>	0,15 m	-
<b>Lagegenauigkeit Bilddaten</b>	0,15 m	-
<b>Punktdichte Laserdaten</b>	-	3-4 Messpunkte pro m <sup>2</sup>
<b>Lage-/Höhengenaugigkeit Laserdaten</b>	-	0,15 m / ±0,50 m

(1.) Spezifikation der RGB- und Laserscanning-Daten (2005)

Die Auswertung wird für ein ist ca. 64 ha (800 m x 800 m) großes Untersuchungsgebiet vorgenommen, das sich im suburbanen Raum der Stadt Osnabrück befindet. Der ausgewählte Bereich ist von gewerblicher Nutzung geprägt. Darüber hinaus sind größere Waldflächen und landwirtschaftliche Nutzungsformen vorzufinden. Die enge räumliche Nachbarschaft urbaner Siedlungsflächen mit verschiedenen naturräumlichen Arealen bedingt eine insgesamt sehr heterogene Struktur. Darüber hinaus lag zum Aufnahmezeitpunkt eine relativ starke Bautätigkeit vor.

### 3. Methodik zur automatisierten Ableitung der Flächennutzung

#### 3.1 Datenvorverarbeitung

Um höchst aufgelöste Fernerkundungsdaten (semi-)automatisiert auswerten zu können, muss eine Datenvorverarbeitung vorgenommen werden. Dies ist notwendig, weil die hohe Auflösung zwar die Identifikation von vielen Objekten ermöglicht, der Detailreichtum dagegen eine Segmentierung von homogenen Objekten und eine Klassifizierung erschwert. Neben der Integration von Vorwissen und Modellen ist eine Vorstrukturierung von kontextbasierten Merkmalen (z.B. Multisensor- und GIS-Informationen) erforderlich (vgl. EHLERS 2002). In der vorliegenden Untersuchung kann die Datenvorverarbeitung in zwei Bereiche unterteilt werden: 1. allgemeine Datenvorverarbeitung zur Ableitung von Zusatzinformationen für das gesamte Untersuchungsareal und 2. spezielle Informationsextraktion, die für Teilbereiche vorgenommen wird (siehe Abbildung 1).

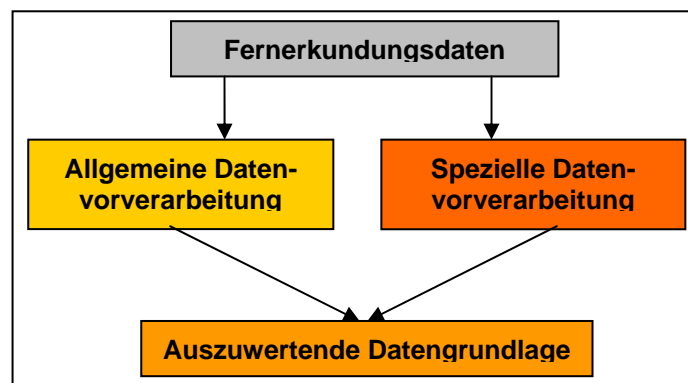


Abb 1. Darstellung des Prozesses der Datenvorverarbeitung

Die allgemeine Datenvorverarbeitung beinhaltet die Ableitung von Objekthöhen aus den Laserscanning-Daten und die Ableitung eines Vegetationsindex aus den Bilddaten. Ein normalisiertes digitales Oberflächenmodell (nDOM), welches die Objekthöhen repräsentiert, wird mittels Subtraktion eines abgeleiteten Digitalen Geländemodells (DGM) vom abgeleiteten Digitalen Oberflächenmodells (DOM) erstellt (vgl. Abbildung 2).

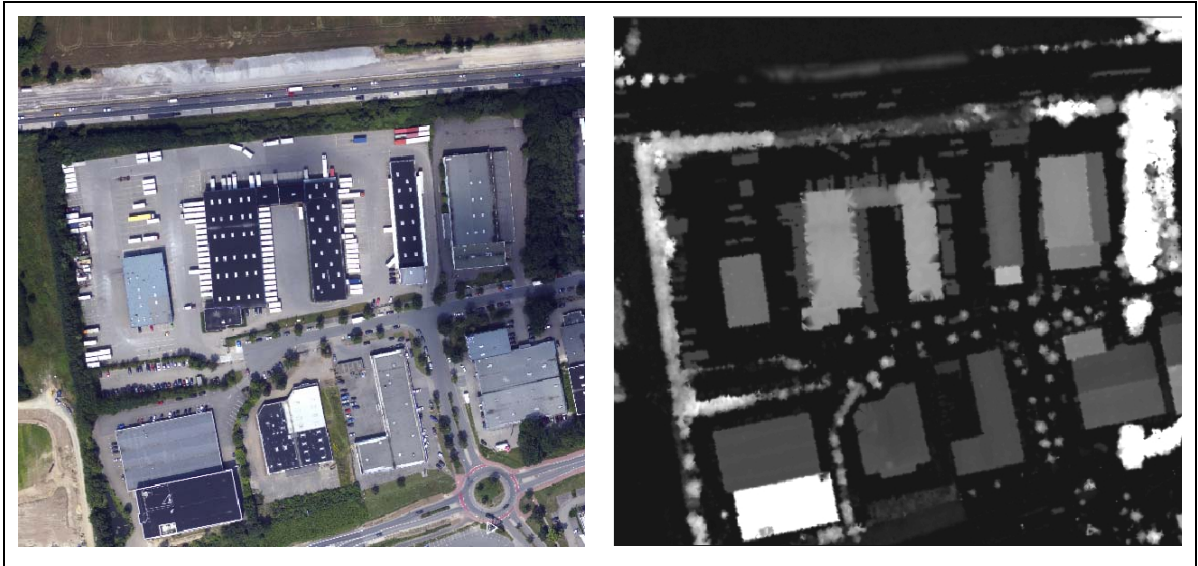


Abb 2. Bildausschnitt RGB (links) und aus Laserscanning-Daten abgeleitetes nDOM (rechts)

Zur Extraktion der Hauptklassen urbaner Nutzung wird der sog. *Normalized Differenced Green Red Vegetation Index* (NDGRVI) gebildet. Der zur Bestimmung der Vegetationsdichte bzw. der globalen Biomassenanalyse gängige *Normalized Differenced Vegetation Index* (NDVI) kann aufgrund der fehlenden spektralen Informationen des Nahen In-frarots nicht berechnet werden. Die Bildung des NDGRVI ist jedoch an den NDVI angelehnt (vgl. MÖLLER u. BLASCHKE 2006):

$$\text{NDGRVI} = \frac{(\text{Grün} - \text{Rot})}{(\text{Grün} + \text{Rot})}$$

Innerhalb der speziellen Datenvorverarbeitung wurde eine teil-automatisierte Gebäudeextraktion aus Laserscanning-Daten durchgeführt. Dieser Arbeitsschritt ist als zusätzliches Unterscheidungsmerkmal für die definierten Zielklassen notwendig. Eine manuelle GIS-basierte Überarbeitung ist hierbei zur exakten Gebäudeabgrenzung notwendig.

### 3.2 Segmentierung und Klassifizierung

Die (multiskalige) Segmentierung, die Einteilung des Eingangsbildes in Bildobjektprimitive, stellt in der verwendeten Software eCognition<sup>TM</sup> den ersten Bearbeitungsschritt bzw. die Vorstufe für eine objektbasierte Klassifikation dar. Zur Bildung von Bildobjektprimitiven muss eine Bildobjekt-Homogenität bzw. -Heterogenität und optional eine Gewichtung der Eingangskanäle definiert werden.

Nach der Erprobung verschiedener Kombinationen von Parametern haben sich die in der Tabelle 2 aufgezeigten Einstellungen als geeignete Maße für die Analyse der vorliegenden Daten herausgestellt. Hierdurch werden optimale Segmente im Sinne der



Klassifikation gebildet. Die Segmentierungsparameter werden in einem iterativen Näherungsverfahren bestimmt und erzeugen insgesamt sehr kleine Objektprimitive.

Klassifikationsart	Level	Segmentierungsparameter
Fuzzy-Logik	1	SP 20; SF 0.2 ; CW 0.5; SW 0.5
	2	C-B S

(2.): Segmentierungseinstellungen

SP = Scale Parameter; SF = Shape Factor; CW = Compactness Weighting;  
SW = Smoothness Weigthing; C-B S = Classification-Based Segmentation

Die Klassifizierung dieser Segmente mit Hilfe eines hierarchischen Fuzzy-Klassifikationsverfahrens erfolgt im „Level 1“. Eine anschließende klassifikationsbasierte Segmentierung dieser Ebene vereint räumlich aneinandergrenzende Segmente mit gleichem Klassenwert. Darauf aufbauend wird für den „Level 2“ eine Fuzzy-Klassifikation durchgeführt, die sich auf Besonderheiten des vorliegenden Untersuchungsgebietes (z.B. Zentrale der Deutschen Post mit einer Vielzahl von gelben Fahrzeugen) bezieht. Abschließend wird eine manuelle Nachbearbeitung der Klassifizierung in eCognition™ vorgenommen (siehe Abbildung 3).

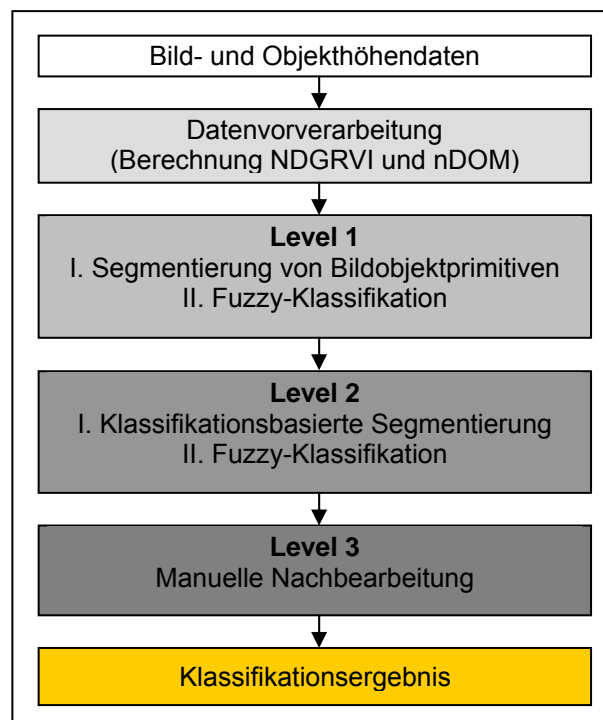


Abb. 3: Darstellung der hierarchischen segmentbasierten Fuzzy-Klassifikation

Die Klassendefinition der Zielklasse „Gebäude“ basiert auf den abgeleiteten Informationen der speziellen Datenvorverarbeitung. Die dort gewonnenen Gebäudeinformationen können einerseits als thematisches Attribut im Segmentierungs- und darüber hinaus im Klassifizierungsprozess berücksichtigt werden. Somit kann eine exakte Erfassung der „Gebäude“ erfolgen.

Die semantische Klasse „Schatten“ wird anhand der Merkmale Gesamthelligkeitswert und Grünanteil definiert. Dabei kann eine Unterscheidung zwischen von Bäumen und von Gebäuden erzeugtem Schattenwurf vorgenommen werden. Dazu wird die Möglichkeit genutzt, Regeln hinsichtlich klassenübergreifender bzw. -bezogener Merkmale („Class-Related Features“) zu erstellen. Die einzelnen Schattenbereiche werden entsprechend ihrer semantischen Bedeutung der jeweiligen Zielklasse zugewiesen.

Der berechnete Vegetationsindex NDGRVI ermöglicht schwellwertbasiert die Trennung von „Vegetation“ und „Nicht-Vegetation“. Vegetation kann durch nDOM-Informationen und unter Berücksichtigung eines „Fuzzy“-Schwellwertes in „Niedrigwüchsige Vegetation“ und „Hochwüchsige Vegetation“ unterschieden werden. Durch Negation der Klassen „Gebäude“, „Schatten“ und „Vegetation“ kann „Nicht-Vegetation“ anhand des Blauanteils in „Straßen, Betriebs- und Lagerflächen“ und „Acker und Offener Boden“ unterschieden werden.

Zur Erhöhung der Klassifikationsgenauigkeit ist eine manuelle Postklassifikation notwendig, da einzelne Fehlklassifikationen vorliegen. So sind z.B. die als „Straßen, Betriebs- und Lagerflächen“ fehlklassifizierten Ackerflächen durch anthropogen verursachte Veränderungen der Bodenoberflächenstruktur und Spektraleigenschaften zu begründen. Darüber hinaus werden mehrere auf einer Betriebsfläche im Süden des Untersuchungsareals in Reihe stehenden, gelbe Postfahrzeuge der Klasse „Acker und Offener Boden“ zugeordnet. Für letztgenanntes wurde im „Level 2“ eine Regel entwickelt, die die Höhe und die Klassifizierung der Nachbarsegmente berücksichtigt. Dadurch lassen sich diese Fehlklassifikationen automatisiert beseitigen.

#### 4. Ergebnisse und Bewertung

Die Ergebnisse des auf hierarchischen Netzwerken und Regeln basierenden Fuzzy-Klassifikationsverfahrens sind von hoher Genauigkeit (siehe Abbildung 4). Dies wird durch die für thematische Auswertungen von Fernerkundungsdaten standardisierten Verfahren zur Genauigkeitsabschätzung bestätigt. Die Genauigkeitsabschätzung basiert auf einer nach Flächengröße der Klassen gewichteten Verteilung mit 100 Punktstichproben. Referenz- bzw. Vergleichsdaten des Untersuchungsgebietes standen allerdings nicht zur Verfügung.



Abb. 4: Klassifikationsergebnis des Untersuchungsgebietes (800 x 800 m)

Es musste anhand der RGB-Bilddaten visuell entschieden werden, welche Zielklasse durch die jeweilige Punktstichprobe repräsentiert wird. Für die manuell nachbearbeitete, segmentbasierte Fuzzy-Klassifikation wurde eine Gesamtgenauigkeit von 94,0 % erreicht. Der zugehörige Kappa-Koeffizient beträgt 0,92. Fehlklassifikationen wurden zumeist für Referenzpixel ermittelt, die in Übergangsbereichen zwischen zwei Zielklassen liegen.

Die zusätzlich aus Laserscanning-Daten gewonnenen Informationen sind für die Auswertung notwendig. Der Mehrwert äußert sich vor allem in der Ableitung von nDOM-Informationen, auf denen u.a. der teil-automatisierte Prozess der Gebäudeextraktion basiert. Insgesamt erwies sich die Komplexitätsreduktion der Datenstruktur durch die Datenvorverarbeitung für die thematische Auswertung als vorteilhaft.

Im Vergleich zu anderen segmentorientierten Flächennutzungs- und Versiegelungsanalysen auf Basis von RGB-Orthofotos (vgl. H. PILZ und J. STROBL (2001) sowie F. KRESSLER et al. (2003)) basiert die hier durchgeführte thematische Auswertung bei gleicher oder sogar höherer Anzahl von Zielklassen auf relativ wenigen Klassifikationsschritten. Dies ist u.a. auf die Komplexitätsreduktion der Datenstruktur in Form von Schwellwertanalysen innerhalb des Objektmodells zurückzuführen. Diese Vereinfachungen der parametergestützten Klassifizierung sind insbesondere im Hinblick auf Praxisrelevanz und einem operationellem Einsatz von enormem Vorteil.

Zur Untersuchung der Automatisierungs- und Übertragungsmöglichkeiten des entwickelten segmentbasierten Klassifikationsverfahrens, wurde das Objektmodell auf ein weiteres Untersuchungsgebiet angewendet. Dabei wurde ebenfalls eine sehr hohe Klassifikationsgüte erreicht. Somit kann eine standardisiert und (semi-)automatisiert erstellte Datengrundlage für ein Flächenmonitoring erzeugt werden, die sowohl großmaßstäblich geometrische als auch lagegenaue digitale Daten liefert.

## 5. Zusammenfassung

Der steigende Bedarf an aktuellen und hochgenauen Bestandsdaten für Monitoringaufgaben innerhalb der Kommunalplanung bedarf der Entwicklung effizienter und präziser Erfassungsmethoden. Das Informationspotenzial der vorliegenden digitalen Datenbasis von flugzeuggestützten Fernerkundungssensoren kann generell für Fragestellungen innerhalb urbaner Räumen genutzt werden. Aus den daraus ableitbaren Zusatzinformationen (Gebäudeextraktion, Objekthöhen und Vegetationsindex) und geeigneten GIS- und Fernerkundungsmethoden wurde eine standardisierte, (semi-)automatisierte sowie nachvollzieh- und übertragbare Klassifizierungstechnik mit hoher Genauigkeit in der Erfassung der Flächennutzung entwickelt. Dabei werden Anforderungen der Maßstäbe 1:1000 bis 1:500 erfüllt. Die Komplexität urbaner Räume spiegelt sich in der enormen Variabilität der Reflexionseigenschaften der Zielklassen wieder. Daher ist im Anschluss an die semi-automatisierte Bildinterpretation eine Nachbearbeitung notwendig.

Auch ein Monitoring von Flächen ist auf Basis derartiger Klassifikationsergebnisse möglich. Hierfür ist eine regelmäßige thematische Auswertung von sich ähnelnden Datenbasen notwendig. Durch dieses GIS-gestützte Flächenmonitoring ist eine quantitative und (den Zielklassen entsprechende) qualitative Veränderung der Flächeninanspruchnahme bestimmbar und stellt somit ein Baustein eines umfassenden Monitoringsystems zur Unterstützung einer nachhaltigen Entwicklung dar. Veränderungen können durch die sehr hohe geometrische Genauigkeit der Daten kleinräumig sehr exakt bestimmt werden. Darüber hinaus ergeben sich Synergieeffekte für die Überprüfung der Umweltauswirkungen innerhalb der gemeindlichen Bauleitplanung. Mit der Datenaufnahme mehrerer Gemeindegebiete können die Kosten der Bildflüge reduziert und eine interkommunale Zusammenarbeit gefördert werden. Zudem können die Fernerkundungsdaten auch für weitere Auswertungen wie z.B. Simulation von Hochwasserständen verwendet werden. Durch die Mehrfachnutzung der Daten reduzieren sich die Kosten für die jeweilig zuständigen Behörden.

## Literatur

- EHLERS**, M. (2002): Fernerkundung für GIS-Anwender: Sensoren und Methoden zwischen Anspruch und Wirklichkeit, in: Blaschke, T. (Hrsg.): Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren - innovative Methoden. Heidelberg. S. 10 - 23
- GUHSE**, B. (2005): Kommunales Flächenmonitoring und Flächenmanagement. Heidelberg.
- KRESSLER**, F.; **FRANZEN**, M.; **STEINNOCHER**, K. (2003): Automationsgestützte Erfassung der Landnutzung in Städten mittels objektorientierter Auswertung von Luftbildern, in: STROBL, J.; BLASCHKE, T.; GRIESEBNER, G. (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XV - Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2003. Heidelberg. S. 250 - 255
- MÖLLER**, M. und T. **BLASCHKE** (2006): GIS-gestützte Bildanalyse der städtischen Vegetation als ein Indikator urbaner Lebensqualität, in: Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, 1, S. 19 - 30
- PILZ**, H.; **STROBL**, J. (2001): Versiegelungsanalyse auf Basis digitaler Farborthofotos, in: Blaschke, T. (Hrsg.): Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren - innovative Methoden. Heidelberg. S. 10 – 23
- SCHIEWE**, J. (2004): Semantisches Potenzial digitaler flugzeuggetragener Fernerkundungs-Sensoren, in: Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, 6, S. 463 – 474



# SUN-AREA

## Standortanalyse für Photovoltaik-Anlagen durch hochauflösende Sensoren in der Fernerkundung – Forschungsprojekt an der Fachhochschule Osnabrück

Prof. Dr. Martina Klärle ist Professorin für Geoinformatik der Fakultät Agrarwissenschaften & Landschaftsarchitektur an der Fachhochschule Osnabrück.  
Adresse: Fachhochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften & Landschaftsarchitektur, Oldenburger Landstraße 24, D-49090 Osnabrück,  
Tel.: +49 (0)541-969-5155, Fax: 0541-969-5051, E-Mail: M.Klaerle@fh-osnabrueck.de

Dipl.-Ing. (FH) Dorothea Ludwig ist wissenschaftliche Mitarbeiterin der Fakultät Agrarwissenschaften & Landschaftsarchitektur an der Fachhochschule Osnabrück  
Adresse: Fachhochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften & Landschaftsarchitektur Oldenburger Landstraße 24, D-49090 Osnabrück,  
Tel.: +49 (0)541-969-5040 Fax: 0541-969-5051, E-Mail: D.Ludwig@fh-osnabrueck.de

### 1. Zusammenfassung

Das vom Land Niedersachsen gefördertes Forschungsprojekt SUN-AREA verfolgt das Ziel mit vorhandenen hochgenauen Laserscannerdaten optimale Standorte für Photovoltaik-Anlagen zu finden. Das daraus resultierende Energiepotential jeder Stadt verlässlich zu berechnen und über eine WEB-GIS-Anwendung jede geeignete Dachfläche darzustellen. Möglich wird dies durch die Entwicklung einer vollautomatischen Algorithmenkette aus Raster- und Vektor-GIS-Funktionen die die Form, Neigung, Ausrichtung und Verschattung jeder Dachfläche ermittelt. Testregion ist die Stadt Osnabrück mit 120km<sup>2</sup>.

### 2. Das Vorhaben

Das Labor für Geoinformatik an der Fakultät Agrarwissenschaften & Landschaftsarchitektur führt in Zusammenarbeit mit einem Wirtschaftsunternehmen (TopScan, Gesellschaft zur Erfassung topographischer Informationen, Rheine, Herr Dr. Lindenberger) und der Universität Osnabrück (FZG, Forschungszentrum für Geoinformatik und Fernerkundung an der Universität Osnabrück, Herr Prof. Dr. Ehlers) ein Forschungsprojekt im Bereich Fernerkundung und Geoinformatik durch (Januar 2006 – Dezember 2007).

Das Projekt befasst sich mit der Einsatzoptimierung der Sonnenenergie durch computergestützte Analyse und Verknüpfung von Laserscandaten. Die Subventionierung erneuerbarer Energiequellen wird zunehmend in Frage gestellt. Für diesen Marktbereich gilt es, innovative Impulse aus der Wissenschaft zu nutzen, technische Entwicklungen zu fördern und dadurch den zukünftigen Markt der erneuerbaren Energien auch ohne Subventionen sicherzustellen.

Ziel des Vorhabens ist es, auf der Basis von Flugzeugscannerdaten Standorte zu finden, die für die Gewinnung von Solarenergie optimal geeignet sind. Dabei geht es insbesondere um die Interpretation von kleingliedrigen Landschaftsaufnahmen, die durch die neuen Sensoren der Laserscannerverfahren möglich werden.

Für eine Reihe von Bundesländern z.B. Baden-Württemberg liegen die hochgenauen dreidimensionalen Flugzeugscannerdaten bereits flächendeckend vor. In absehbarer Zeit werden sie für das gesamte Bundesgebiet vorliegen. Die Punktedichte liegt durchschnittlich bei ca. 4 Punkte pro  $m^2$  mit einer Höhengenaugigkeit von 0,1 m. Mehrfachreflexionen der Lichtimpulse („first pulse“ und „last pulse“) lassen eine Klassifizierung der Punktwolke in Bodenpunkte sowie Höhenpunkte (Vegetation und Gebäude) zu. Diese Laserscandaten erlauben erstmals kleinräumige Analysen (z.B. Bestimmung der Dachneigung) über große Untersuchungsbereiche.

Das anwendungsorientierte Projekt SUN-AREA zeichnet sich durch die Nutzung ausschließlich vorhandene Daten (Höhe = Laserscandaten, Lage = Automatisierte Liegenschaftskarte) aus und stellt damit ein Glied der Wertschöpfungskette zur wirtschaftlichen Nutzung vorhandener Fernerkundungsdaten dar.

### 3. Testgebiete

Pilotregion zur Entwicklung des Verfahrens ist das Stadtgebiet Osnabrück, welches im Juli 2005 befliegen wurde. Innerhalb des Stadtgebiets wurden drei unterschiedlich große Untersuchungsräume bestimmt, anhand derer das Regelwerk und Datenverknüpfungsmodell entwickelt und getestet wird.



Ziel ist die Berechnung des Solarenergiepotentials für das gesamte Stadtgebiet von Osnabrück ( $120 \text{ km}^2$ ) und jedem einzelnen Gebäude.

Zur ständigen Kontrolle der so errechneten Ergebnisse wurden die Gebäude eines Untersuchungsraumes aus Bauplänen konstruiert und dienen als Trainingsgebiet für die automatische Modellierung. Zudem werden zur Überprüfung der Ergebnisse für den ca.  $1 \text{ km}^2$  großen Untersuchungsraum „Osnabrück Nord“ Ortsbegehungen durchgeführt.

Abb. 1: Testregion Osnabrück-Nord



## 4. Die Methode

Ausgangsdaten zur Berechnung des Solarenergiepotentials sind die mit einem x, y und z Wert versehenen Daten des Digitalen Oberflächenmodells (im Folgenden DOM genannt) für das Stadtgebiet Osnabrück.



Abb.2: DOM-Laserscandaten innerhalb der Gebäudegrundrisse

Die Gebäudegrundrissflächen aus der ALK dienen als Auswahlpolygone (siehe Abbildung 2). Die Selektion der DOM-Daten innerhalb des Gebäudegrundrisses führt zu einer erheblichen Reduzierung der Datenmenge.

SUN-AREA erarbeitet ein Regelwerk zur Beurteilung der Dachform, -neigung, -ausrichtung, -größe und -verschattung und leitet daraus einerseits das Solarenergiepotential einer großen Region ab und stellt andererseits ganz konkret dar, welche Fläche eines Gebäudes sich für die effiziente Nutzung der Sonnenenergie eignen. Dies geschieht durch die Implementierung vorhandener Algorithmen, die Integration von Standard-GIS-Funktionen und die

damit einhergehende Verschneidung der Laserscannerdaten mit Grundrissdaten.

Die Ermittlung des Solarenergiepotentials über die Modellierung der Algorithmenkette soll ausschließlich über ein Rastermodell erreicht werden. Bewusst wird auf eine Flächenmodellierung über die Laserscandaten verzichtet. Verfahren zur 3D-Gebäudemodellierung aus hochauflösenden Laserscandaten wurden bisher nur halbautomatisch und sehr rechenintensiv umgesetzt. Diese sind für vollautomatische Berechnungen mit großen Datenmengen nicht einsetzbar (z.B. [1], [2], [4]).

Innerhalb der ersten 9 Monate des im Januar 2006 angelaufenen Forschungsprojektes SUN-AREA wurden Algorithmen zur Berechnung der Standortfaktoren Neigung, Exposition und Flächengröße entwickelt (siehe Abbildung 3). Die Verschattungsanalyse wird in der zweiten Hälfte des Projektzeitraumes realisiert.

Realisierungssoftware zur Algorithmenentwicklung ist ArcGIS 9.1 von ESRI, Ziel ist die Implementierung und Softwareanpassung des Regelwerkes.

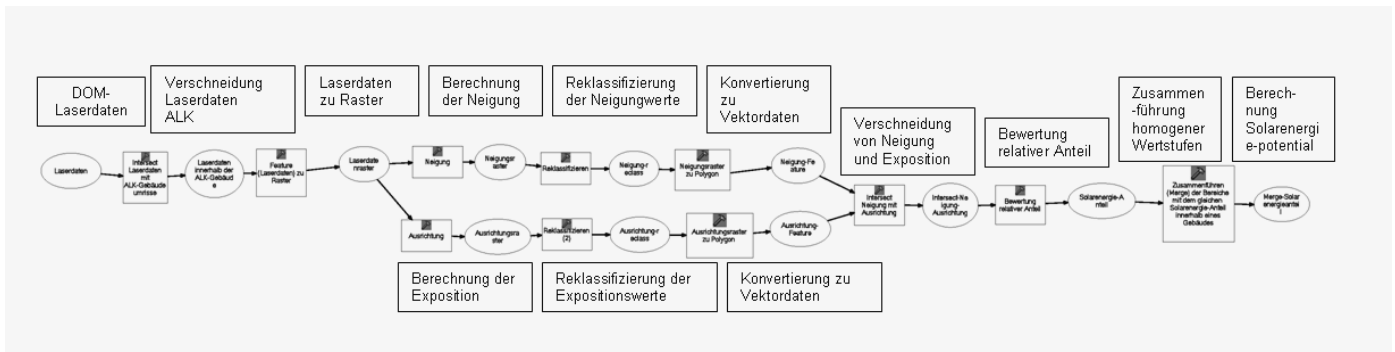


Abb.3: GIS-Regelwerk

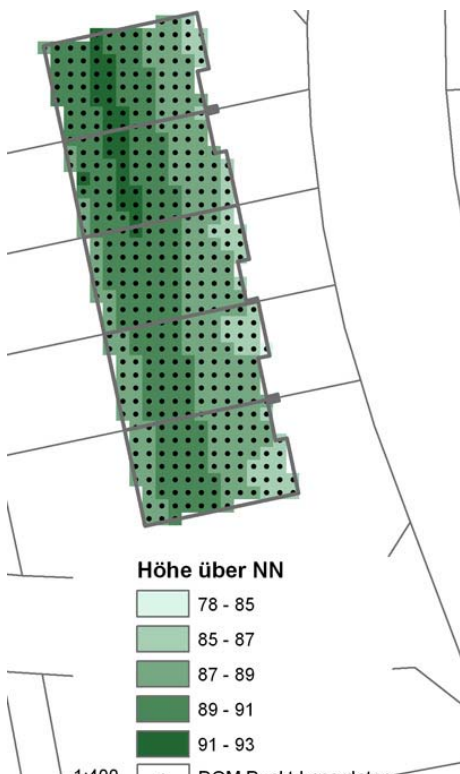


Abb.4: DOM-Raster innerhalb der ALK-Daten

#### 4.1 Verschneidung ALK DOM-Daten

Dacheinzelflächen über den Grundriss hinaus werden nicht selektiert und bleiben auch im Folgenden unberücksichtigt. Da Photovoltaik-Anlagen nicht bis an den Dachrand installiert werden, hebt sich der über die Gebäudekante hinausragende Dachflächenteil mit dem für PV-Anlagen nicht nutzbare Dachflächenrand auf.

Der nächste Rechenschritt erzeugt aus den punktuellen Vektordaten Rasterdaten (DOM), deren Pixel im 1m Raster den Höhenwert aus der Punktinformation übernimmt. Eine Interpolation wird nicht durchgeführt.

Das DOM-Raster bildet die Datengrundlage zur Berechnung der Exposition und der Neigung

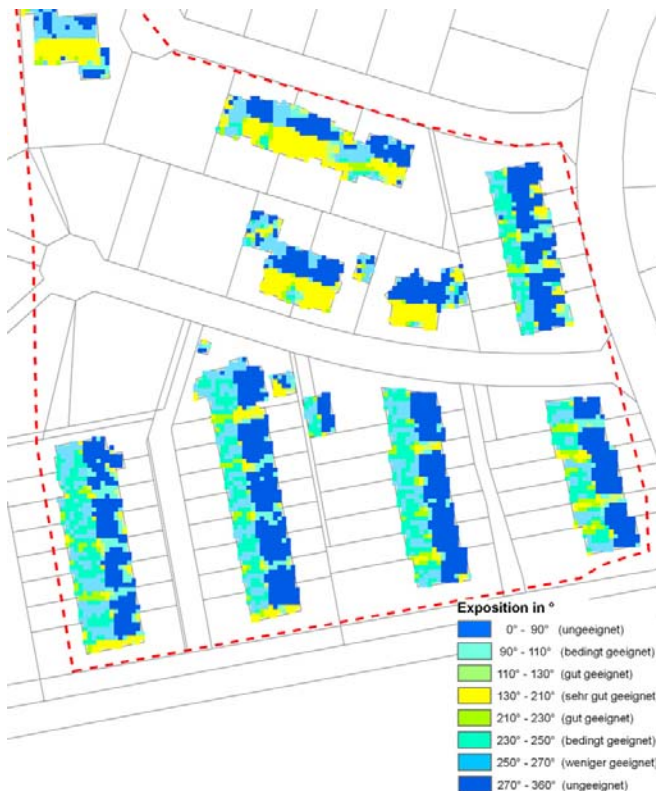


Abb. 5: Exposition

Das Optimum der Dachneigung liegt bei ca. 30° – 45°. Eine Abweichung bis hin zu einem Flachdach oder zu einem 70° geneigten Dach bewirkt eine Ertragsminimierung von bis zu 20 %

Die Neigung wird für jede Zelle des DOM-Rasters bestimmt und berechnet sich aus der maximalen Höhenänderungsrate in jeder Zelle im Vergleich zu ihren acht benachbarten Zellen.

Die Abbildung 6 zeigt die Klassifizierung der Rohdaten des DOM hinsichtlich ihrer Neigung in sieben Klassen.

## 4.2 Exposition

Die Nutzung der Globalstrahlung ist abhängig von der Exposition. Optimal ist eine Ausrichtung nach Süden. Eine Dachfläche nach Osten oder Westen kann die Energie zu ca. 80% nutzen.

Die Exposition wird errechnet über die steilste Neigungsrichtung jeder Zelle gegenüber den Nachbarzellen. Abb. 5 zeigt die Klassifizierung der Rohdaten des DOM hinsichtlich der Exposition in acht Klassen.

## 4.3 Neigung

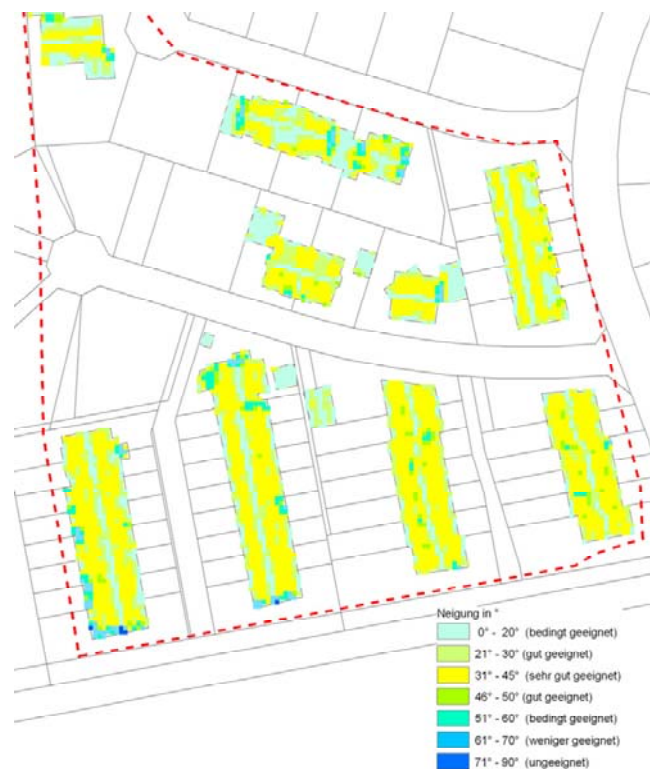


Abb. 6: Neigung der Dachflächen

#### 4.4 Relativer Anteil an der Solarstrahlung

Im nächsten Schritt wurden die Einzelergebnisse aus Neigung und Exposition durch Verschneidung zu einer Bewertungskarte zusammengefasst

Es wird deutlich, dass im Untersuchungsgebiet fünf Dachflächen unter Berücksichtigung der Dachneigung, der Ausrichtung und der Flächengröße für die Nutzung von Photovoltaikanlagen optimal geeignet sind. Darüber hinaus sind weitere Flächen mit einem geringeren relativen Anteil an der Solarstrahlung (Wertstufe 2 – 4) ebenfalls geeignet.



Abb.7: Solarstrahlungspotential pro Dach

#### 4.5 Verschattungsanalyse

Geplant ist, zur Ermittlung der jährlichen Strahlungsbilanz in definierten Zeitintervallen, jede Dachteilfläche auf ihre direkte Sonneneinstrahlung hin zu analysieren, dabei fließen ebenfalls metrologische Parameter ein. Für die Berechnung lassen sich Verfahren aus dem Bereich der 3D-Grafik verwenden. Die direkte Sonneneinstrahlung wird aus der Winkeldifferenz zwischen einfallendem Licht und dem Polygonnormal der Dachteil- oder

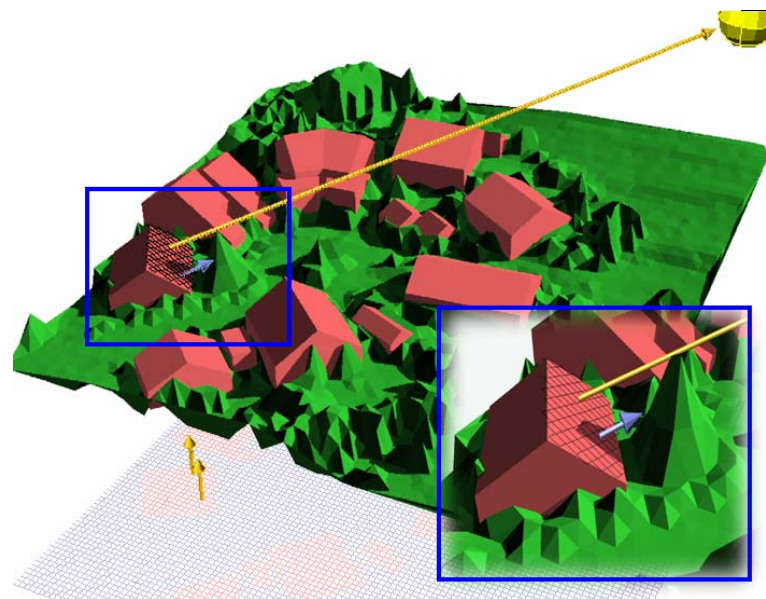


Abb.8: Modellierung der Verschattung mit Laserscandaten

Gelände fläche errechnet. Zur Ermittlung

der diffusen, schattigen Bereiche wird die Polygonfläche gerastert. Für jede Zelle wird dann geprüft, ob ein Strahl zur Sonne das DOM (Digitales Oberflächenmodell) oder das DGM (Digitales Geländemodell) schneidet (siehe Abb.8: Modellierung der Verschattung mit Laserscandaten)

#### 4.6 Berechnung des Solarenergiepotentials

Zur Berechnung des mittleren jährlichen Solarenergiepotentials in kWh/a wird folgende Formel zugrunde gelegt:

$$Y = \eta \cdot F \cdot H \cdot f$$

$\eta$  = der Wirkungsgrad der Anlage bzw. der Module [dimensionslos]

F = die Fläche der Anlage in [m<sup>2</sup>]

H = mittlere jährliche Globalstrahlungsenergie am Aufstellungsort in [kWh / (m<sup>2</sup>·a)]

f = Korrekturfaktor für Dachneigung und –ausrichtung

Das Solarenergiepotential wurde bisher für den Untersuchungsraum „Osnabrück Nord“ mit 1km<sup>2</sup> Fläche und 993 Gebäuden berechnet. Dafür wurden folgende Werte zu Grunde gelegt:

- Wirkungsgrad der Anlage bzw. der Module ( $\eta$ ): 0,1
- Globalstrahlungswert (H) Osnabrück: 960 kWh / (m<sup>2</sup>·a)
- Flächengröße geeigneter Flächen für „Osnabrück Nord“: 56.394 m<sup>2</sup>
- Korrekturfaktor je nach Dachneigung und –ausrichtung von 0,90 bis 1,15

Daraus ergibt sich ein Solarenergiepotential von 5.702.145 kWh / a (die Verschattung ist hierbei noch unberücksichtigt).

Bei einem Durchschnittsverbrauch von 1100 kWh/a Jahr/ Person kann über die Fläche von 1 km<sup>2</sup> /993 Gebäude, Energie für ca. 5180 Personen/a erzeugt werden. Bei einem geschätzten Abzug von 40% wegen Verschattung, ergibt sich ein Strom-Energiepotential von 3.400.000 kWh /a. Somit kann die Energieversorgung von ca. 3100 Personen/a oder 70% der in „Osnabrück Nord“ lebenden Bevölkerung gesichert werden.

## 5. Ausblick

Mit hohem, finanziellem Aufwand werden Laserscandaten für große Bereiche der Bundesrepublik aufgenommen. Eine Nutzung der Daten in der hohen Aufnahmege nauigkeit findet bisher kaum statt. Gerade für flächendeckende

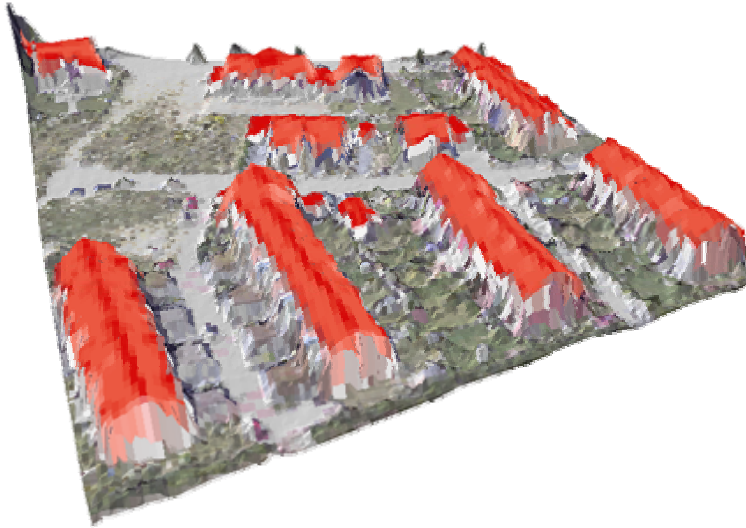


Abb. 9: Laserscandaten mit Luftbild

Umweltsimulationen großer Gebiete liefern hochauflösende Laserscandaten eine viel versprechende Basis. Die bisher über SUN-AREA ermittelten Ergebnisse liefern den Beweis.

Die „einfache“ Analyse der bisher untersuchten Standortparameter über ein Rastermodell liefert sehr genaue und vor allem vollautomatische Ergebnisse.

Weitere mögliche Einsatzbereiche sind z.B.

- Modellierung der großflächigen Kaltluftabflussströmung
- Modellierung von Schallausbreitungsmodellen
- Überflutungsmodellierung
- Sichtanalysen
- Modellierung von Neigungsverhältnissen
- Landschaftsmonitoring
- Monitoring von großflächigen Setzungen und Landschaftsveränderungen
- Selektion von Dächern mit Dachlawinengefahr
- Nutzen für Baugenehmigungsbehörden
- Darstellen nicht genehmigter Gebäudeteile

Der volkswirtschaftliche Nutzen der Laserscandaten ist enorm

Die Geoinformatik liefert uns das Werkzeug.

Wir müssen nur noch die Bewertungsmodelle generieren

## Literatur

- [1] Schwalbe, E., Maas, H.-G., Seidel, F. (2005): 3D building model generation from airborne laserscanner data using 2D GIS data and orthogonal point cloud projections. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXVI, Part 3/W19, Enschede, The Netherlands, pp. 209-214.
- [2] Steinle, E. (2005): Gebäudemodellierung und –änderungserkennung aus multitemporalen Laserscanningdaten. Dissertation, Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, 594, *München*.
- [3] Klärle, M., Ludwig, D. (2005) Einsatz von Flugzeugscanner-Daten für die Standortoptimierung erneuerbarer Energien, AGIT-Fachtagung Salzburg, Wichmann Verlag
- [4] Hofmann, A. D. (2005): An Approach to 3D Building Model Reconstruction from Airborne Laser Scanner Data Using Parameter Space Analysis and Fusion of Primitives. Dissertation, Technische Universität Dresden, Fakultät Forst- GEO- Und Hydrowissneschaften, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Dresden
- [5] Schuster H.-F.;Weidner, U. (2003): A New Approach Towards Quantitative Quality Evaluation of 3D Building Models. In: ISPRS Commission IV Joint Workshop Challenges in Geospatial Analysis, Integration and Visualization II, Stuttgart





# Spektralwert erhaltende Bildfusion mit dem Ehlers Algorithmus

Sascha Klonus (sklonus@igf.uni-osnabrueck.de)  
Institut für Geoinformatik und Fernerkundung, Universität Osnabrück,  
Seminarstr. 19a/b, 49069 Osnabrück

## Abstract

Eine Vielzahl von satelliten- und flugzeuggestützten Fernerkundungssystemen ist gegenwärtig operationell verfügbar. Die meistgenutzten Satellitensysteme stellen derzeit die elektro-optischen Abtaster wie SPOT, Landsat TM, Ikonos oder Quickbird dar. Diese unterscheiden sich vor allen Dingen in Ihrer räumlichen Auflösung, welche sich von 30 m pro Pixel (Landsat TM), bis zu 0,60 cm pro Pixel (Quickbird) erstreckt. Allen diesen Sensoren ist allerdings gemein, dass die höchste räumliche Auflösung nur im panchromatischen Modus erzeugt werden kann. Das Verhältnis zwischen der hoch auflösenden panchromatischen und der niedriger auflösenden multispektralen Aufnahme liegt dabei zwischen 1:2 und 1:5. Bildfusion ist die Technik, welche die räumliche Struktur des hoch auflösenden panchromatischen Bildes mit den spektralen Informationen des geringer aufgelösten multispektralen Bildes kombiniert. Viele Methoden und Werkzeuge wurden bereits entwickelt, um hoch auflösende Multispektralbilder zu erzeugen.

Durch die Einbindung in kommerzielle Standard Fernerkundungssoftware sind Bildfusionen mittels *Intensity-Hue-Saturation* (IHS) oder *Principal Component* (PC) Transformation noch immer gängige Verfahren, um hoch auflösende panchromatische Aufnahmen in niedrig auflösende multispektrale Bilddaten zu integrieren. Diese Verfahren garantieren multispektrale Bilder mit hoher räumlicher Auflösung, können allerdings die spektralen Charakteristiken der Originaldaten verändern. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Ausgangsdaten von unterschiedlichen Sensoren stammen oder zu unterschiedlichen Zeitpunkten aufgenommen wurden.

Um dieses Problem der Farbveränderung zu lösen, wurden in den letzten Jahren einige neue Fusionsmethoden entwickelt. Eine dieser Methoden ist die Ehlers Fusion, welche auf einer IHS Transformation kombiniert mit angepasster Filterung im Fourierspektrum basiert. Diese Methode erhält die spektralen Charakteristiken des geringer aufgelösten Multispektralbildes für Fusionen mit einem Sensor, sowie für multissensorale und

multitemporale Fusion. Ein Vergleich zwischen dieser Methode und neuer verbesserter Fusionsmethoden, die in kommerzieller Software zur Verfügung stehen, soll in diesem Vortrag anhand von einer multitemporalen Fusion von SPOT multispektral und Ikonos panchromatischen Daten und einer Fusion von Quickbird multispektral- und panchromatischen Daten gezeigt werden.

## 1. Einleitung

Der panchromatische Kanal umfasst meist einen breiteren Wellenlängenbereich, der sich über das sichtbare und infrarote Spektrum erstreckt, während ein multispektrales Band nur einen schmalen speziellen Bereich abdeckt. Um nun die gleiche Menge ankommender Energie zu empfangen, kann die Pixelgröße des panchromatischen Sensors kleiner sein, als die des multispektralen Sensors. Daher erzeugen die meistgenutzten Satellitensysteme wie Ikonos, Quickbird, SPOT und Landsat die höchste räumliche Auflösung nur im panchromatischen Modus. Das Verhältnis zwischen der hoch auflösenden panchromatischen und der niedriger auflösenden multispektralen Aufnahme liegt dabei zwischen 1:2 und 1:5.

Die Fusion eines panchromatischen Bildes, mit hoher räumlicher Auflösung und geringer spektraler Auflösung, mit einem multispektralen Bild, mit geringer räumlicher Auflösung und hoher spektraler Auflösung, ist ein wichtiges Verfahren in vielen Anwendungen der Fernerkundung, die sowohl hoch räumlich auflösende, als auch hoch spektral auflösende Daten benötigen.

Der Bereich der Anwendungen ist dabei vielfältig, die Bildfusion wird dazu benutzt, um multispektrale Bilder zu schärfen, geometrische Korrekturen zu verbessern, Eigenschaften zu verstärken, die nur in einem der zur Verfügung stehenden Datensätzen bereit gestellt werden, um Datensätze für verbesserte Klassifikationen zu ergänzen, Veränderungen unter Benutzung von multitemporalen Daten zu detektieren und um fehlerhafte Daten zu ersetzen (Pohl & van Genderen 1998).

Viele Publikationen sind bisher im Bereich der Fusion von hoch auflösenden panchromatischen Daten mit geringer aufgelösten multispektralen Daten, um hoch auflösende multispektrale Bilder zu erhalten, die gleichzeitig die spektralen Eigenschaften des multispektralen Bildes erhalten, erschienen. (Cliche et al. 1985, Welch & Ehlers 1987, Carper et al. 1990, Ehlers 1991, Wald et al. 1997, Zhang 1999, Audicana et al. 2006 oder Choi 2006). Es ist erwiesen, dass diese Methoden für viele

Anwendungen sehr gut funktionieren, speziell für die Fusion von Datensätzen desselben Sensors. Viele Methoden zeigen aber erhebliche Farbveränderungen für multitemporale und multisensorale Bildfusion (Zhang 1999, Ehlers 2004). Die neue Fusionstechnik, die hier vorgestellt wird, wurde erstellt, um diese Probleme zu beheben. Sie hat bereits ihre Überlegenheit gegenüber Standard Fusionstechniken, wie IHS, PC, Brovey oder Multiplikative Fusionsmethoden gezeigt. (Ehlers 2004 & 2005, Ehlers & Klonus 2004, Klonus 2005 & 2006).

Während der letzten Jahre wurden einige neue verbesserte Algorithmen entwickelt, welche die Farbveränderungen minimieren und die räumliche Verbesserung beibehalten. Wir wählten 3 dieser Fusionsmethoden zum Vergleich aus, da diese in kommerzieller Software zur Verfügung stehen. Diese Algorithmen sind:

1)- Das **CN Spectral Sharpening**, welches eine Erweiterung zum Brovey Algorithmus darstellt. Die Kanäle des multispektralen Bildes werden zunächst in spektrale Segmente gruppiert. Diese Segmente werden durch die spektrale Breite des höher auflösenden Bildes bestimmt. Die übereinstimmenden Bandsegmente werden zusammen in der folgenden Weise verarbeitet: Jedes multispektrale Band wird multipliziert mit dem panchromatischen Kanal und dann normalisiert durch die Division der Summe aller multispektralen Bänder dieses Segments (ENVI 2004).

2)- Die **Gram Schmidt Fusion** simuliert ein panchromatisches Band aus den räumlich niedriger aufgelösten multispektralen Bändern. Es wird eine Gram-Schmidt Transformation auf den spektralen Bändern und dem simulierten panchromatischen Kanal ausgeführt, wobei der simulierte Kanal das erste Band darstellt. Das höher aufgelöste panchromatische Bild ersetzt dann das erste Gram-Schmidt Band. Schließlich wird noch eine inverse Gram-Schmidt Transformation angewendet um das fusionierte Bild zu erhalten (ENVI 2004).

3)- Die **modifizierte IHS Fusion von Siddiqui (2003)** basiert auf einer IHS Fusion und verändert die Intensität des panchromatischen Bildes in der Weise, dass Sie der Intensität der multispektralen Bänder ähnlicher ist. Dies wird erreicht durch die Berechnung des Verhältnisses der gewünschten Intensität zu der originalen Intensität.

## 2. Testgebiete und Datensätze

Für diese Untersuchung wurden zwei Testgebiete ausgewählt, das erste Gebiet soll die Fusion von hoch auflösenden Quickbird panchromatischen Daten mit geringer aufgelösten Quickbird multispektralen Daten eines Sensors demonstrieren. Die Fusion von Daten unterschiedlicher Sensoren (multisensoral), deren Bilddaten zu unterschiedlichen Zeitpunkten aufgenommen wurden (multitemporal), wird im 2. Testgebiet anhand von panchromatischen Ikonos Daten und multispektralen SPOT 5 Daten dargestellt.

Das erste Testgebiet liegt in Südfrankreich, ca. 30 km südlich der Stadt Avignon in der Region um das Dorf Fontvieille. Die Daten für dieses Testgebiet wurden bereitgestellt von der Gemeinsamen Europäischen Forschungsstelle in Ispra und werden als Testgebiet in dem Projekt „Control with Remote Sensing of area based subsidies“ (CwRS) verwendet.



Abb. 1: Lage des Testgebietes 1

Die panchromatischen und die multispektrale Komponente der Quickbirdaufnahme wurden am 4. September 2004 aufgenommen.

Das zweite Testgebiet befindet sich in Nordspanien, südwestlich der Stadt Vitoria Gasteiz. Es zeigt die Region um Santo Domingo de la Calzada. Diese Daten werden in dem Projekt „Control with Remote Sensing of area based subsidies“ (CwRS) als Kontrollgebiet benutzt und wurden bereitgestellt von der Gemeinsamen Europäischen Forschungsstelle in Ispra.

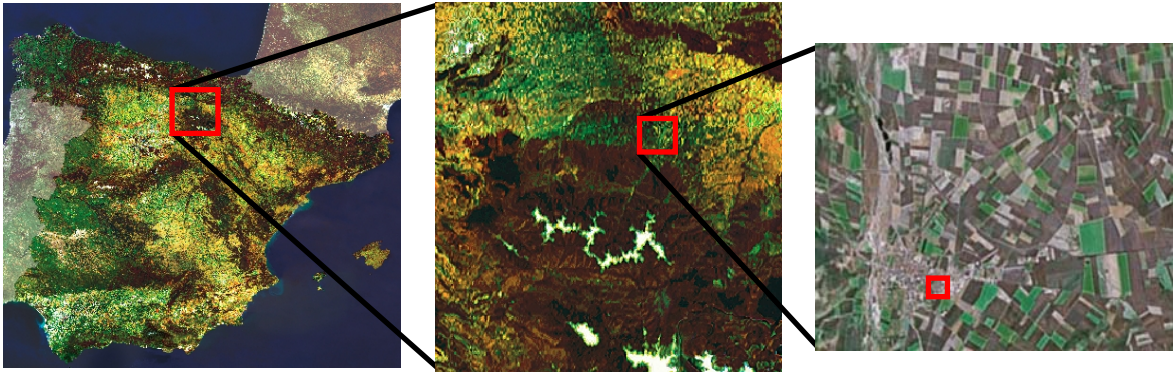


Abb. 2: Lage des Testgebietes 2

Um die Ergebnisse der multisensoralen und multitemporalen Fusion zu zeigen, wurde ein Ikonos panchromatisches Bild, aufgezeichnet am 3. Mai 2005, mit einem SPOT 5 multispektralen Bild, aufgezeichnet am 24. Juli 2004, fusioniert.

### 3. Spektralwert erhaltende Bildfusion (Ehlers Fusion)

Die Idee der spektralwert erhaltenden Bildfusion ist die Verbesserung der räumlichen Auflösung des multispektralen Bildes, durch die Information des hoch auflösenden panchromatischen Bildes, ohne neue Grauwertinformationen hinzuzufügen. Eine ideale Fusionmethode würde die hohen Frequenzinformationen verändern, wie Ecken und Grauwertveränderungen, dabei aber die Grauwertinformationen in homogenen Regionen nicht verändern. Um diese Anforderungen zu erleichtern müssen zwei Voraussetzungen betrachtet werden. Zuerst müssen die Farb- und die räumlichen Informationen voneinander getrennt werden und zweitens muss die räumliche Information so verändert werden, dass Sie eine adaptive Verbesserung der Bilder erlaubt. Dies wird erreicht durch eine Kombination von Farb- und Fourier Transformation.

Um die Farben optimal zu trennen wird die IHS Transformation benutzt. Diese Technik wurde erweitert, so dass mehr als 3 Kanäle genutzt werden können. Dies wird erreicht durch die mehrmalige Ausführung der IHS Transformation, bis die Anzahl der einzubeziehenden Kanäle erreicht ist. Wenn die Annahme der spektralwert erhaltenden Bildfusion richtig ist, sollte die Reihenfolge oder Auswahl der Kanäle keine Rolle spielen. Die anschließende Fourier Transformation der Intensitätskomponente und der

panchromatischen Komponente erlaubt ein adaptives Filterdesign im Frequenzbereich. Das Frequenzspektrum zeigt Informationen, über die Verteilung des Bildinhaltes, entlang der räumlichen Frequenzachsen, erlaubt also das Design von angepassten Filtern im Frequenzraum (Abb. 7a und 7b). Die räumlichen Komponenten, die betont oder unterdrückt werden sollen können hier direkt verändert werden (Ehlers et al. 1984). Eine Übersicht über die Methode ist in Abb. 3 zu finden.

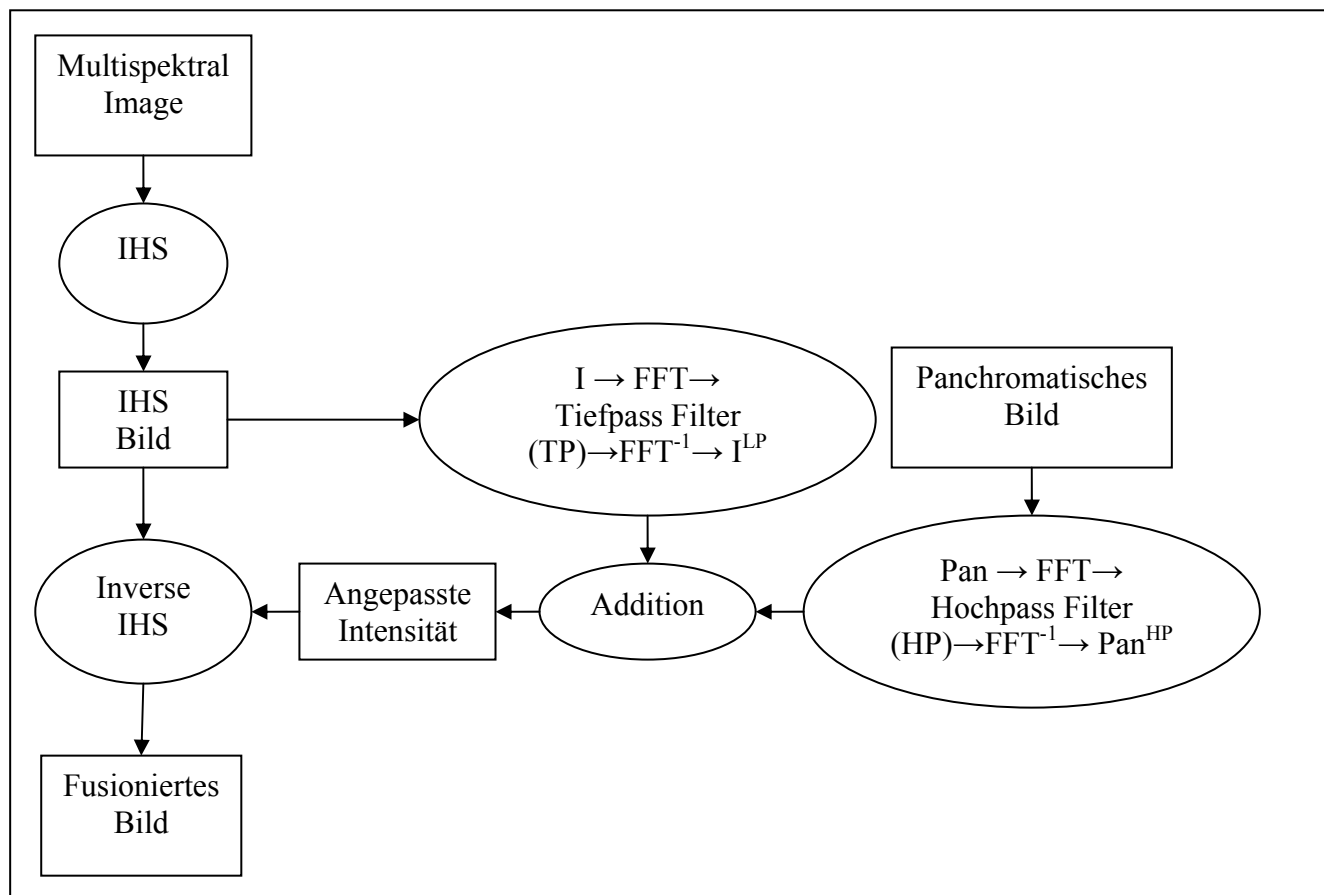


Abb. 3: Ablaufdiagramm der Ehlers Fusion

Der erste Schritt ist die Transformation des multispektralen Bildes vom RGB Farbraum in den IHS Farbraum (Intensity-Hue-Saturation). Der Algorithmus soll anhand der Bilddaten von Testgebiet 2 demonstriert werden. Abb. 4 zeigt die Intensitätskomponente der transformierten Bänder 3,2,1 des SPOT 5 Sensors. Das multispektrale Bild wurde herabgesetzt auf einem Meter Pixelgröße, um der des Ikonos Bildes zu entsprechen. Als Resampling-Algorithmus wurde Cubic Convolution eingesetzt.

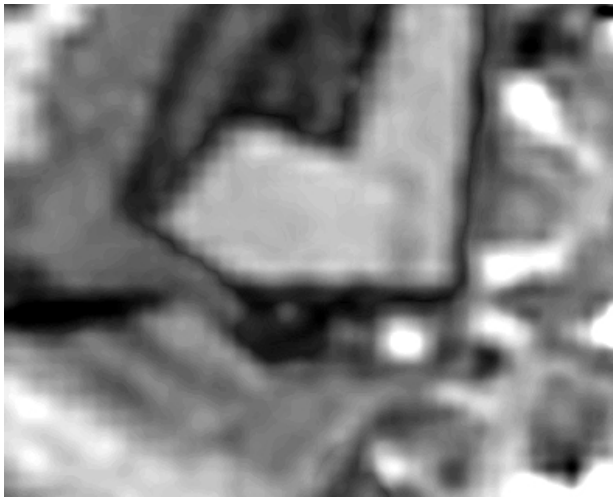


Abb. 4: Intensitätskomponente des IHS Bildes

Der nächste Schritt ist die Anpassung der Grauwerte des panchromatischen Bildes an die Intensitätskomponente des IHS Bildes. Der Grauwertbereich der Intensitätskomponente erstreckt sich normalerweise von 0 bis 1, während der Grauwertbereich des Ikonosbildes sich von 13 bis 255 erstreckt. Daher wird das panchromatische Bild nun normalisiert, so dass dieser sich über den gleichen Wertebereich analog zur Intensitätskomponente erstreckt. Danach werden das normalisierte panchromatische Bild und die Intensitätskomponente, mit Hilfe der zweidimensionalen Fast Fourier Transformation (FFT), in den Frequenzraum transformiert. Um den angepassten Tiefpassfilter für die Intensitätskomponente und den Hochpassfilter für das hoch auflösende Bild zu erstellen, wird das Frequenzspektrum der beiden Bilder analysiert.

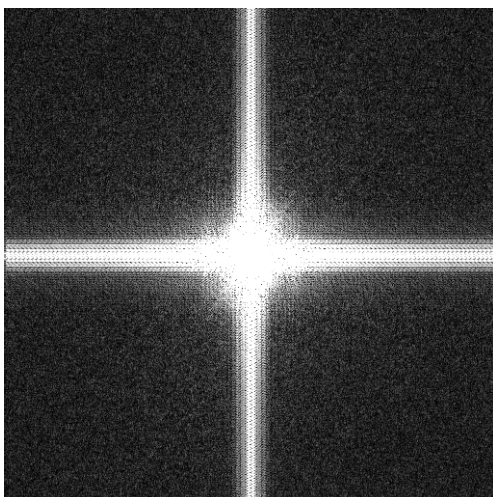


Abb. 5a: SPOT Intensitäts Spektrum

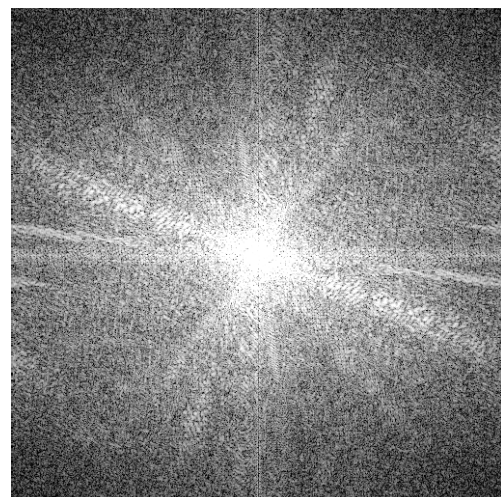


Abb 5b: Ikonos panchromatisches Spektrum

Das Verhältnis in der räumlichen Auflösung zwischen dem panchromatischen Ikonos Bild und dem multispektralen SPOT Bild ist 1:10. Auf der Grundlage dieses Verhältnisses und einer Bildgröße von 2048 x 2048 Pixeln, kann man nun folgern, dass für die Intensitätskomponente alle Informationen im Frequenzspektrum über einer Frequenz von 205 als künstlich zu betrachten sind. Dies resultiert aus dem Resampling-Prozess des Multispektralbildes auf die Pixelgröße des panchromatischen Bildes. Das Filterdesign hängt ab von dem Bildinhalt und der Größe der Geoobjekte. Zum Beispiel für ein homogenes Bild mit ländlicher Struktur ist es nötig das hoch auflösende Bild stärker zu filtern, um die Farben zu erhalten, als für ein heterogenes Bild mit städtischen Strukturen, denn hier ist es nötig eher räumliche Informationen hinzuzufügen. In Abbildung 6 erkennt man verschiedene Hochpassfilter. Der rechte Filter enthält mehr hohe Frequenzen, das Bild hat also eine deutlichere Struktur, der linke filtert die hohen Frequenzen stärker, ist also für homogene Bilder gedacht, da dieser die Farbwerte besser erhält. Das Problem ist nun die optimalen Filtereinstellungen zu finden, die ein Optimum zwischen deutlicher Struktur und Farberhaltung darstellen. Praktische Filtertests zeigten die besten Resultate mit einem Hanning-Fenster Tiefpassfilter und einer Cut-Off-Frequenz von  $\omega_n = 180$ . Idealerweise sollten die Filter komplementär sein, so dass die Frequenzen, die vom Tiefpassfilter erhalten bleiben, die Frequenzen ersetzen, welche vom Hochpassfilter gefiltert werden. Im praktischen wird dennoch ein Überlappen der Frequenzen akzeptiert, damit die Filter geglättet werden können, um das Gibbsche Phänomen im Ortsraum zu vermeiden. Dieses tritt dann auf, wenn eine „ideale“ Fenster Funktion verwendet wird (Brigham 1997). Daher wird das hochauflösende Bild gefiltert mit einem Hanning-Fenster Hochpassfilter und einer Cut-Off-Frequenz von  $\omega_n = 180$ . Die Ergebnisse erkennt man in Abb. 7.



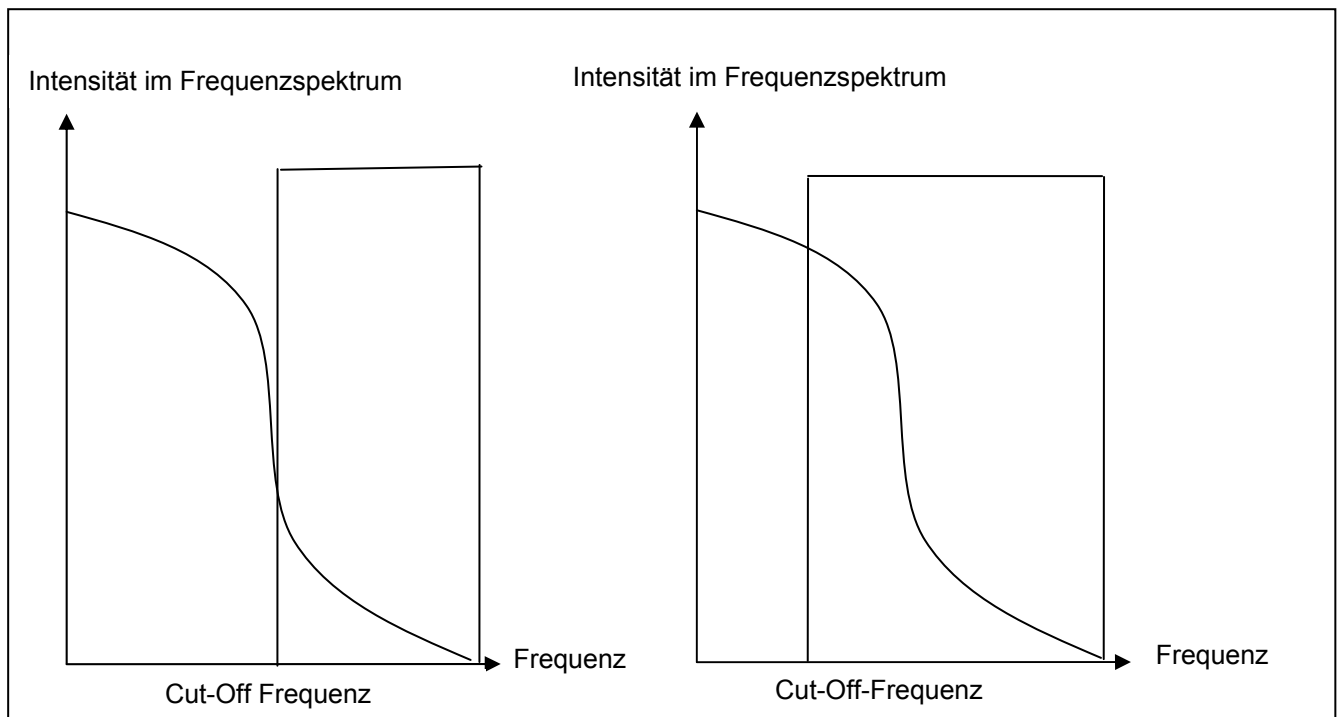


Abb. 6: 1D Darstellung eines idealen Filters: Tiefpassfilter (links) und inverser Hochpassfilter (rechts).

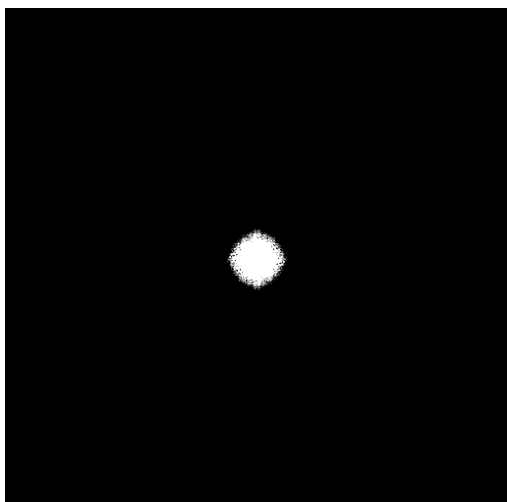


Abb. 7a: SPOT 5 Intensitätsspektrum nach Hochpassfilterung im Frequenzraum (Hanning-Filter mit einer Cut-Off-Frequenz von  $\omega_n = 180$ )

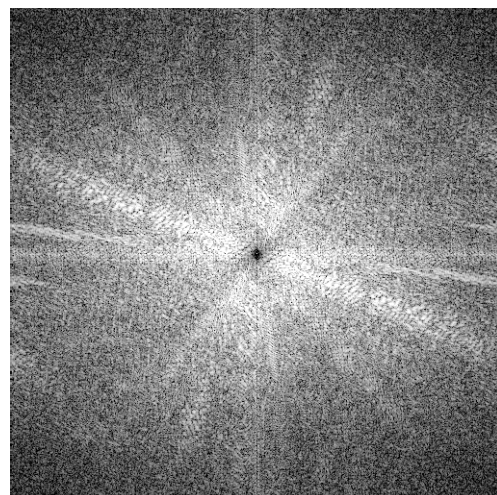


Abb. 7b: Panchromatisches Ikonos Spektrum nach Tiefpassfilterung im Frequenzraum (Hanning-Filter mit einer Cut-Off-Frequenz von  $\omega_n = 340$ )

Nachdem die Bilder gefiltert wurden, werden die Bilder unter Benutzung einer inversen FFT, zurück in den Ortsraum transformiert (Oppenheim & Schafer 1975). Abb. 8 zeigt das Ergebnis dieser Operation.



Abb. 8a: Tiefpass gefilterte Intensitätskomponente des SPOT Bildes nach einer inversen FFT



Abb. 8b: Hochpass gefiltertes panchromatisches Bild nach inverser FFT

Die beiden Bilder werden nun addiert und das Ergebnis ist die neue Intensitätskomponente in Abbildung 9. Diese Intensität enthält die hoch räumlich auflösenden Strukturen und die spektralen Informationen aus dem multispektralen Bild.



Abb. 9: Neue Intensitätskomponente nach Addition des gefilterten panchromatischen Bildes und der gefilterten Intensitätskomponente des multispektralen Bildes.

Eine Histogrammanpassung zur Original Intensitätskomponente wird durchgeführt, um das fusionierte Bild in den gleichen spektralen Bereich zu bringen, wie das Originalbild. Diese neue Intensitätskomponente wird zusammen mit der Original Farbton (Hue) und Sättigungskomponente (Saturation) verwendet, um ein neues IHS Bild zu formen.

Eine inverse IHS Transformation wird angewendet um das RGB Bild zu erhalten, welches die räumliche Auflösung des panchromatischen Bildes und die spektralen Eigenschaften des multispektralen Bildes enthält.

Diese Schritte können dann mit jeweils 3 Bändern wiederholt werden, bis alle Bänder des Originalbildes mit dem panchromatischen Bild fusioniert werden. Anschließend werden alle Bänder in einem hochauflösenden multispektralen Bild wieder zusammengefügt.

#### 4. Ergebnisse

Für die folgenden Untersuchungen der neuen Fusionstechniken, wurden die Datensätze benutzt, die bereits in Kapitel 3 vorgestellt wurden. Diese Datensätze repräsentieren die unitemporale Fusion mit einem Sensor und einem Auflösungsverhältnis von 1:4 und die multisensorale und multitemporale Fusion mit einem Verhältnis von 1:10.

Wie erwartet, zeigen die Fusionsmethoden, welche in kommerzieller Bildverarbeitungssoftware zur Verfügung stehen, angemessene Ergebnisse für die Fusion mit einem Sensor. Die Abbildungen 10a und 10b zeigen die panchromatische und multispektrale Quickbird Aufnahme, aufgenommen am 4. September 2004. Die Bilder 10c – 10e zeigen die drei Fusionsergebnisse vom CN Spectral Sharpening, der Gram Schmidt und der modifizierten IHS Fusion.



Abb. 10a: Original Quickbird panchromatischen Bild



Abb. 10b: Original Multispektralbild in der Bandkombination 4,3,2 (NIR, Rot, Grün). Das Bild wurde mit dem Cubic Convolution Resampling Verfahren herabgesetzt auf 1 m räumliche Auflösung



Abb. 10c: Fusioniertes Bild mit CN Spectral Sharpening



Abb. 10d: Fusioniertes Bild mit Gram Schmidt Spectral Sharpening



Abb. 10e: Fusioniertes Bild mit der modifizierten IHS

Die Grenzen dieser Methoden werden jedoch sichtbar in den Ergebnissen für die Fusion von panchromatischen und multispektralen Daten von unterschiedlichen Satelliten oder von Daten die zu unterschiedlichen Zeitpunkten aufgenommen worden. Das größte Problem ist die Veränderung der spektralen Eigenschaften im Vergleich zur Original multispektralen Aufnahme. Um dies zu zeigen wurde eine panchromatische Ikonos Aufnahme vom 3. Mai 2005 fusioniert mit einer multispektralen SPOT-5 Aufnahme vom 24. Juli 2004. Die zwei Aufnahmen wurden geometrisch entzerrt, um eine exakte geometrische Übereinstimmung zu garantieren. Dieser Prozess ist sehr

wichtig für alle Anwendungen, die multitemporale und multisensorale Daten verwenden. Wenn die Entzerrung nicht genau ist, treten künstliche Effekte auf, die das Ergebnis verschlechtern. Das Original SPOT-5 Multispektralbild mit einer original räumlichen Auflösung von 10 m (20 m im Kurzwelleninfrarot) wurde dann herabgesetzt auf 1 m, der Auflösung des panchromatischen Ikonos Bildes.



Abb. 11a: Panchromatische Ikonos Aufnahme



Abb. 11b: Original SPOT 5 multispektral Aufnahme in der Bandkombination 3,2,1 (NIR, Rot, Grün)



Abb. 11c: Fusioniertes Bild mit CN Spectral Sharpening



Abb. 11d: Fusioniertes Bild mit Gram Schmidt Spectral Sharpening

Abb. 11e: Fusioniertes Bild mit modifizierter IHS Spectral Sharpening

Alle Fusionsmethoden zeigen Bilder mit verbesserter räumlicher Auflösung, sie zeigen allerdings auch Farbveränderungen im Vergleich mit der Original Multispektralaufnahme. Besonders das Gram-Schmidt Spectral Sharpening verändert die Farben sehr stark. CN Spectral Sharpening und die modifizierte IHS zeigen weniger Farbstörungen, diese sind aber dennoch sichtbar. Ein Beispiel ist das Feld in der linken unteren Ecke, welches in den fusionierten Bildern heller erscheint, als im Original.

Ein Grund für die Farbstörungen in der multisensor Fusion ist der Unterschied in der spektralen Bandbreite zwischen den panchromatischen Kanal des Ikonos Sensors und des multispektralen Bandes des SPOT Satelliten. Die panchromatischen Informationen der Satelliten Quickbird und Ikonos reichen vom sichtbaren bis in den nahen Infraroten Bereich, während die multispektralen Informationen von Satelliten wie SPOT bis in den Bereich von 1750 nm gehen. Dieser Unterschied ist klar erkennbar in der Intensitätskomponente des IHS Bildes in Abb. 5 und dem panchromatischen Bild in Abb. 11a, welches benutzt wird um die Intensität zu ersetzen. Es ist daher nicht verwunderlich, dass dadurch eine signifikante Veränderung der spektralen Werte hervorgerufen wird (Zhang 2004, Ehlers & Klonus 2004). Das Problem tritt auch dann auf, wenn Daten von unterschiedlichen Sensoren und unterschiedlichen Zeitpunkten verwendet werden, wie das auch der Fall für dieses Testgebiet ist. Wenn zum Beispiel ein Merkmal in einem der Bilder existiert oder verändert wurde zeigt der Fusionsalgorithmus Artefakte für diese Region (Gungor & Shan 2004). Eine spektralwert erhaltende Bildfusion, wie die Ehlers Fusion erhält die spektralen Informationen und vernachlässigt die panchromatischen Veränderungen.

Abb. 12 zeigt die Ergebnisse für die multisensorale Fusion und die Fusion mit einem Sensor für den Ehlers Algorithmus.

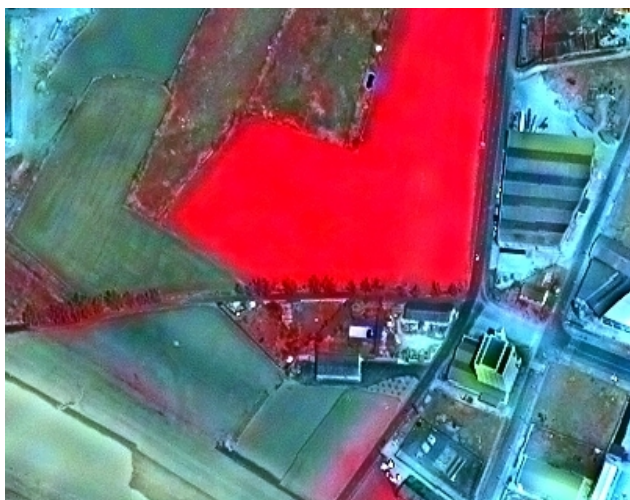


Abb. 12a: Multisensorale, multitemporale Ehlers Fusion: multispektrales SPOT-5 und panchromatisches Ikonos Aufnahme in der Bandkombination NIR, rot, grün



Abb. 12b: Singlesensor, unitemporale Ehlers Fusion: Quickbird multispektral und panchromatisches Bild mit der Bandkombination NIR, rot, grün

Im Vergleich zu den anderen verwendeten Fusionsmethoden, zeigt die Ehlers Fusion so gut wie keine Veränderungen in den spektralen Eigenschaften bei der multitemporalen und multisensoralen Fusion. Die FFT Filter wurden so eingestellt, das Sie ein Kompromiss darstellen zwischen Farberhaltung und der Verbesserung der räumlichen Auflösung. Der große Vorteil der Ehlers Fusion sind die veränderbaren Filtereinstellungen, welche es erlauben, die Filter an den Bildinhalt oder bestimmte Anwendungen anzupassen (wie maximale Farberhaltung oder räumliche Verbesserung bestimmter Geobjekte). Liegt der Schwerpunkt auf der Farberhaltung, so können durch Verschiebung der Cut-Off-Frequenz im Frequenzraum, zu den höheren Frequenzen, mehr panchromatische Informationen ausgeblendet werden. Wird der Schwerpunkt auf die räumliche Verbesserung von Geobjekten gelegt (wie Häuser oder Straßen), so wird die Cut-Off-Frequenz zu den niedrigeren Frequenzen verschoben um mehr räumliche Informationen in das Bild zu integrieren. Durch Veränderung der Cut-Off-Frequenz kann der Benutzer so einen Kompromiss zwischen der Farberhaltung und der gewünschten räumlichen Verbesserung finden.

Die visuelle Analyse der Bilder ist natürlich sehr subjektiv und hängt vom Interpretier ab. Daher benutzten wir statistische Evaluationsmethoden um die Farberhaltung zu

messen. Diese Methoden sind objektiv, reproduzierbar und quantitativ. Diese Methoden sind (I) die Korrelationskoeffizienten zwischen dem Originalbild und den fusionierten Bändern, (II) RMSE (root mean square error) zwischen den Bändern des Originals und des fusionierten Bildes und (III) die Pro-Pixel Differenz (Wald 2002).

Der RMS Error berechnet sich aus der Standardabweichung und dem Mittelwert der fusionierten und des Originalbildes.

$$RMSE = \sqrt{bias^2 + \sigma^2}$$

$\sigma$  = Standardabweichung  
 org = Original Bild  
 fus = Fusioniertes Bild  
 $\bar{x}$  = Mittelwert

$$\sigma = \sigma_{org} - \sigma_{fus}$$

$$bias = \bar{x}_{org} - \bar{x}_{fus}$$

Formel 1: RMSE

Der niedrigste Wert stellt das Optimum dar, da er den geringsten Abstand zu den Werten des Originalbildes besitzt.

Für die Abweichung pro Pixel wird das fusionierte Bild zunächst auf die räumliche Auflösung des Originalbildes vermindert. Das Bild kann dann von dem Originalbild subtrahiert werden und die absoluten Werte der Subtraktion werden dann summiert. Diese Summe wird geteilt durch die Anzahl aller Pixel des Bandes und als Ergebnis erhält man eine Zahl, welche die Abweichung pro Pixel zeigt.

Die Tabellen 1 und 2 zeigen die Korrelationkoeffizienten zwischen den Bändern des Originalbildes zu den entsprechenden des fusionierten Bildes. Je höher der Wert, desto besser ist die spektrale Übereinstimmung zwischen den fusionierten und den Originalbändern. Alle Bänder des fusionierten Bildes aus der Ehlers Fusion, zeigen die höchsten Korrelationswerte, mit einem durchschnittlichen Wert von 0,95. Die anderen Methoden zeigen nur akzeptable Ergebnisse für die Fusion mit einem Sensor. Für die multisensorale und multitemporale Fusion von Ikonos und SPOT Daten bestätigen die Werte allerdings die visuellen Eindrücke aus Abb. 10. Beim CN-Spectral Sharpening zeigt das 4. Band keine Veränderungen gegenüber dem 4. Band des Originalbildes, daher auch der optimale Korrelationskoeffizient von 1,0, es wurde also keine räumliche Verbesserung erreicht. Der Grund hierfür ist die Methode selber, da nur die Bänder



geschärft werden, die innerhalb der spektralen Bandbreite des hochauflösenden Bildes liegen. (ENVI 2004). Bemerkenswert ist jedoch, dass der durchschnittliche Korrelationskoeffizient bei der Ehlers Fusion nahezu der gleiche wie bei der Single Sensor als auch bei der multisensoralen, multitemporalen Fusion ist. In beiden Fällen übersteigt er 0.95.

	<b>Ehlers</b>	<b>Mod. IHS</b>	<b>Gram-Schmidt</b>	<b>CN-Sharpening</b>
<b>Band 1</b>	0,9204	0,8118	0,8524	0,7700
<b>Band 2</b>	0,9550	0,8923	0,8386	0,8631
<b>Band 3</b>	0,9773	0,9441	0,8475	0,9278
<b>Band 4</b>	0,9514	0,8467	0,9375	0,8833
<b>Mittelwert</b>	<b>0,9510</b>	<b>0,8737</b>	<b>0,8690</b>	<b>0,8611</b>

(1.) Tabelle 1: Korrelationskoeffizienten der fusionierten Quickbird Aufnahme

	<b>Ehlers</b>	<b>Mod. IHS</b>	<b>CN-Sharpening</b>	<b>Gram-Schmidt</b>
<b>Band 1</b>	0,9282	0,6392	0,4428	0,4625
<b>Band 2</b>	0,9543	0,7671	0,5379	0,4128
<b>Band 3</b>	0,9633	0,6091	0,5839	0,9866
<b>Band 4</b>	0,9547	0,8105	1,0000	0,4159
<b>Mittelwert</b>	<b>0,9501</b>	<b>0,7064</b>	<b>0,6412</b>	<b>0,5694</b>

(2.) Tabelle 2: Korrelationskoeffizienten des fusionierten SPOT Bildes

Die Tabellen 3 und 4 zeigen die berechneten RMS Errors nach Wald (2002). Niedrigere Werte bedeuten, dass das Bild dem Original stärker ähnlich ist. Für die fusionierte Quickbird Aufnahme zeigt die Ehlers Fusion den niedrigsten Wert. Für die Fusion des multispektralen SPOT Bildes mit der Ikonos panchromatischen Aufnahme zeigen die Gram-Schmidt und die Ehlers Fusion die besten Ergebnisse. Die Gram-Schmidt Fusion zeigt bessere Ergebnisse im zweiten und dritten Band, während die Ehlers Fusion im ersten und vierten Band bessere Ergebnisse aufweist.

	<b>Ehlers</b>	<b>Gram-Schmidt</b>	<b>Mod. IHS</b>	<b>CN Sharpening</b>
<b>Band 1</b>	1,5710	2,6340	3,4134	31,8967
<b>Band 2</b>	1,1152	4,6140	3,4461	44,9288
<b>Band 3</b>	0,5228	5,5170	4,0233	30,4322
<b>Band 4</b>	0,8023	9,9880	17,8459	79,6980
<b>Mittelwert</b>	<b>1,0028</b>	<b>5,6883</b>	<b>7,1822</b>	<b>46,7389</b>

(3.) Tabelle 3: RMSE nach Wald für die fusionierte Quickbird Aufnahme

	<b>Gram-Schmidt</b>	<b>Ehlers</b>	<b>Mod. IHS</b>	<b>CN- Sharpening</b>
<b>Band 1</b>	0,3120	0,2130	4,9631	6,3333
<b>Band 2</b>	0,2870	0,3107	5,3310	7,5301
<b>Band 3</b>	0,0291	0,2612	3,3280	5,8457
<b>Band 4</b>	0,3350	0,2031	0,6179	0,0000
<b>Mittelwert</b>	<b>0,2408</b>	<b>0,2470</b>	<b>3,5600</b>	<b>4,9273</b>

(4.) Tabelle 4: RMSE nach Wald für die fusionierte SPOT Aufnahme

Zur Berechnung der Abweichung pro Pixel zum Original, wurde das fusionierte Bild auf die räumliche Auflösung des Originals herabgesetzt und dann von diesem subtrahiert. Die Ehlers Fusion zeigt die besten Ergebnisse für alle Bilder, eine Ausnahme ist das vierte Band des fusionierten Bildes von SPOT und Ikonos. Dort zeigt das CN Spectral Sharpening die besten Ergebnisse, die Gründe hierfür wurden bereits weiter oben erläutert.

	<b>Band 1</b>	<b>Band 2</b>	<b>Band 3</b>	<b>Band 4</b>	<b>Mean</b>
<b>Ehlers</b>	12,62	18,30	12,31	25,91	17,28
<b>Mod. IHS</b>	18,07	25,99	17,61	47,46	27,28
<b>Gram-Schmidt</b>	17,37	36,34	35,31	32,37	30,35
<b>CN- Sharpening</b>	35,18	50,63	33,63	75,50	48,73

(5.) Tabelle 5: Abweichung pro Pixel zum Original Quickbird Bild

	<b>Band 1</b>	<b>Band 2</b>	<b>Band 3</b>	<b>Band 4</b>	<b>Mean</b>
<b>Ehlers</b>	0,62	0,82	0,71	0,73	0,72
<b>Gram-Schmidt</b>	5,90	10,17	1,35	8,88	6,58
<b>Mod. IHS</b>	6,70	8,39	6,74	4,90	6,68
<b>CN- Sharpening</b>	8,25	11,33	9,50	0,00	7,27

(6.) Tabelle 6: Abweichung pro Pixel zum Original SPOT Bild

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Die deutlich qualitativ besseren Ergebnisse der Ehlers Fusion wurde an zwei Beispielen aufgezeigt. Diese Neue spektralwert erhaltende Methode zeigte viel bessere Ergebnisse als die Gram-Schmidt, das CN Spectral Sharpening und die modifizierte IHS Fusionsmethode von Siddiqui. Diese neue Technik zeigte außerdem ihre Überlegenheit gegenüber Standardfusionsverfahren, wie die PCA (Principal Component Analysis), IHS (Intensity-hue-Saturation), Brovey und Multiplicative Fusion (Klonus 2005).

Die Ehlers Fusion vereinigt die farblichen und räumlichen Merkmale der multispektralen und panchromatischen Bilder, wobei die Farbstörungen vermieden werden, so dass das fusionierte Bild fast mit dem Original identisch ist. Diese Methode wurde bereits erfolgreich mit Daten von

Ikonos, Quickbird, SPOT 2, SPOT 4, SPOT 5, Landsat, Kompsat, Formosat 2, Orbview 3, DMC und dem Luftbildsensor ADS40 getestet. Die Daten waren Bestandteil von sowohl Singlesensor Fusion als auch multisensoraler und einer Serie von Bildern die zu unterschiedlichen Zeitpunkten aufgenommen wurden.

Erste Ergebnisse von Wavelet Fusionsalgorithmen zeigen auch dort bessere Werte für die Ehlers Fusion (Klonus 2006). Weitere Fusionstechniken wie die von Zhang (2002a), Alparone (2005) and Shan (2006) sollen in zukünftigen Untersuchungen noch evaluiert werden.

## Literatur

**Alparone, L., Baronti, S., Nencini, F., and Garzelli, A., (2005):** The curvelet transform for fusion of very high resolution multispectral and panchromatic images – 25th EARSeL Symposium, Global Developments in Environmental Earth Observation from Space, Porto, Portugal.

**BRIGHAM, E. O. (1997):** FFT Anwendungen – Oldenbourg Verlag, München.

**CARPER, W. J., LILLESAND, T. M., AND KIEFER, R. W., (1990):** The use of Intensity-Hue-Saturation transformations for merging SPOT Panchromatic and multispectral image data – Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 56(4), pp. 459 – 467.

**CHOI, M. (2006):** A new Intensity-Hue-Saturation Fusion approach to image fusion with a tradeoff parameter – IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol 44, No. 6, pp. 1672 – 1682.

**CLICHE, G., BONN, F., AND TEILLET, P., (1985):** Integration of the SPOT pan channel into its multispectral mode for image sharpness enhancement. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 51(3), pp. 311 – 316.

**EHLERS, M., DENNERT-MÖLLER, E., KOLOUCH, D. AND LOHMANN, P., (1984):** Non-recursive filter techniques in digital processing of remote sensing data – Proceedings of the XVth international Congress of ISPRS, Rio de Janeiro, Brazil, IAPRS XXV/A7, 163 – 175.

**EHLERS, M., (1991):** Multisensor image fusion techniques in remote sensing – ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 46(1), pp. 19 – 30.

**Ehlers, M., (2004):** Spectral Characteristics Preserving Image Fusion Based on Fourier Domain Filtering, in: **Ehlers, M., H.J. Kaufmann** and **U. Michel** (Eds.) Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology IV, Proceedings of SPIE, Bellingham, WA.

**EHLERS, M., AND KLONUS, S., (2004):** Erhalt der spektralen Charakteristika bei der Bildfusion durch FFT basierte Filterung – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation 6/2004, pp. 495 – 506.

**ENVI (2004):** ENVI Users Guide – ENVI Version 4.1, September 2004 Edition

**GONZALEZ-AUDICANA, M., OTAZU, X., FORS, O., ALVAREZ-MOZOS, J. (2006):** A low computational-cost method to fuse IKONOS images using Spectral Response Function of its sensors IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol 44, No. 6, pp. 1683 – 1691.

**GUNGOR, O., SHAN, J., (2004):** Evaluation of satellite image fusion using wavelet transform – Proceedings of the ISPRS, commission VII, WG III/6, Istanbul.

**GUNGOR, O., SHAN, J., (2006):** An Optimal Fusion Approach for Optical and SAR Images – ISPRS Mid-term Symposium 2006, Remote Sensing: From Pixels to Processes, Enschede, Netherlands.

**Klonus, S., (2005):** Untersuchungen zu Datenfusionsverfahren in der Fernerkundung – Diplomarbeit, Hochschule Vechta (Universität).

**Klonus, S., (2006):** Technical Report – Image Fusion Techniques, European Commission, Joint Research Center, Ispra, Institute for the Protection and the Security of the Citizen, Agriculture and Fisheries Unit.

**OPPENHEIM, A. V. & SCHAFER, R. W. (1975):** Digital Signal Processing. – Prentice Hall, Inc., Englewood Cliff, New Jersey.

**POHL, C., (1999):** Tools and methods for fusion of images of different spatial resolution – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 32, Part 7-4-3 W6, Valladolid, Spain.

**POHL, C. & VAN GENDEREN, J. L. (1998):** Multisensor image fusion in remote sensing: concepts methods and applications. – *Int. J. of Remote Sensing*, 59: 823 – 854.

**SIDDIQUI, Y. (2003):** The modified IHS method for fusing satellite imagery. ASPRS 2003 Annual Conference Proceedings, Anchorage, Alaska

**WALD, L., (2002):** Data fusion – Definitions and architectures – Fusion of images of different spatial resolutions. École de Mines de Paris.

**WALD, L., (1999):** Some terms of reference in data fusion. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37, 1190 – 1193.

**WALD, L., RANCHIN, T. & MAGOLINI, M., (1997):** Fusion of satellite images of Different Spatial Resolutions – Assessing the quality of Resulting Images. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 63 (6), pp. 691-699.

**WELCH, R. & EHLERS, M. (1987):** Merging multiresolution SPOT HRV and Landsat TM data. – *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53: 301 – 303.

**ZHANG, Y., (1997):** Information system for monitoring urban environment based on satellite remote sensing – Shanghai as an example. *Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'97)*, Singapore, 3-8 August 1997.

**ZHANG, Y., (1999):** A new merging method and its spectral and spatial effects – *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 20, No. 10, pp. 2003 – 2014.

**ZHANG, Y., (2002):** Automatic image fusion – A new sharpening technique for Ikonos multispectral images – *GIM International*, pp. 54 – 57.

### **Websites**

<http://agrifish.jrc.it/marspac/CwRS/>

Stand: 15.03.2006



# Der Versiegelungsgrad in der Wasserhaushaltsmodellierung mesoskaliger Flusseinzugsgebiete

Carsten Montzka (c.montzka@fz-juelich.de)<sup>1</sup>, Mort Canty<sup>1</sup>, Ralf Kunkel<sup>1</sup>, Gunter Menz<sup>2</sup> und Frank Wendland<sup>1</sup>

1) Forschungszentrum Jülich,  
Institut für Chemie und Dynamik der Geosphäre,  
Institut Agrosphäre (ICG-IV), 52425 Jülich  
2) Universität Bonn, Geographisches Institut, Remote Sensing  
Research Group (RSRG), 53115 Bonn

## Abstract

Nach der Umweltökonomischen Gesamtrechnung des Statistischen Bundesamtes wurden bundesweit im Jahr 2004 täglich 130 ha Fläche verbraucht und im Schnitt zur Hälfte versiegelt. Das sind ca. 130 Fußballfelder, die am Tag insbesondere im Umland der großen Ballungsräume zu Siedlungs- und Verkehrszwecken in Anspruch genommen werden. Um die Auswirkungen solcher Maßnahmen auf den Wasserhaushalt identifizieren zu können, ist eine genaue Abbildung der versiegelten Fläche und die Bestimmung des Versiegelungsgrades unerlässlich.

Die Modellierung des Wasserhaushaltes mesoskaliger Flusseinzugsgebiete erfolgte bisher mit dem Wasserhaushaltsmodell GROWA auf Basis einer aus CORINE abgeleiteten Versiegelungskarte. Da der CORINE-Datensatz selbst schon eine vereinfachte Abbildung der Realität darstellt und darüber hinaus eine pauschale Zuweisung von Versiegelungsgraden zu einzelnen Kategorien eine weitere Genauigkeitsreduktion bedeutet, sind Einschränkungen bei der Interpretation von Ergebnissen der Wasserhaushaltsmodellierung zu erwarten. Mit der Verwendung von Satellitenbilddaten können die Nachteile dieses Eingabeparameters räumlich, zeitlich und auch inhaltlich aufgefangen werden. Aus diesem Grund werden ASTER-Daten des Flusseinzugsgebietes der Rur zunächst mit einem neuronalen Netz klassifiziert. Die dadurch identifizierten bebauten Bereiche der Klassen *Siedlung* und *Industrieflächen* werden nun extrahiert und einer genaueren Betrachtung unterzogen. Eine Regression des berechneten NDVI mit manuell aus Orthophotos abgeleiteten Versiegelungsgraden führt zu einer flächendeckenden Karte der Versiegelung in einer räumlichen Auflösung von 15 m. Durch die Verwendung dieses Datensatzes und der Landnutzungsklassifikation im Modell GROWA wird eine deutlich bessere Übereinstimmung der GROWA-Ergebnisse mit Pegeldata auf Subeinzugsgebietsebene erreicht.

Besonders die Versiegelung stellt eine entscheidende Größe in der Separation der Wasserhaushaltskomponenten dar. Durch diesen Beitrag wird gezeigt, dass



Fernerkundungsdaten auf die individuellen Bedürfnisse von Wasserhaushaltsmodellen angepasst werden können und damit eine genauere Modellierung möglich ist.

## 1. Einführung

12,8 % oder 45621 km<sup>2</sup> der Landoberfläche der Bundesrepublik Deutschland werden als Siedlungs- und Verkehrsfläche verwendet. Deren täglicher Zuwachs meist auf Kosten der Landwirtschaftsfläche stieg im Jahr 2004 nach mäßigem Rückgang in den vorhergehenden Jahren wieder auf 131 ha an (STATISTISCHES BUNDESAMT 2006). Von dem Ziel der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie, den täglichen Flächenverbrauch (bis zum Jahr 2020) auf 30 ha zu reduzieren, ist man noch dementsprechend weit entfernt. Zwar können die Begriffe *Siedlungs- und Verkehrsfläche* und *versiegelte Fläche* nicht gleichgesetzt werden, da im ersteren u.a. Erholungs- und Friedhofsflächen aufgenommen wurden, aber mit einem durchschnittlichen Versiegelungsgrad von 35 – 63 % in dieser Kategorie ist die beobachtete Entwicklung immer noch als dramatisch zu beurteilen. Ein solcher Nutzungswandel führt zu Verlust von Lebensraum und Boden und beeinflusst neben dem Mikroklima insbesondere den Wasserhaushalt. Da eine versiegelte Fläche den Oberflächenabfluss begünstigt und die Infiltration in den Boden verhindert, erfolgt anstatt einer Erneuerung der Grundwasserspeicher ein direkter Eintrag in Vorfluter durch Kanalisationssysteme. Dies hat Auswirkungen auf die Dimensionierung von Hochwasserschutzmaßnahmen, Verdünnungseffekte beim Eintrag von Dünge- bzw. Pflanzenschutzmitteln aus landwirtschaftlicher Nutzfläche, Management von Trinkwasserentnahmeanlagen usw.

Mit Hilfe von Satellitendaten kann der Versiegelungsgrad flächendeckend und zeitnah ermittelt werden. Ziel dieser Studie ist es, aus Fernerkundungsdaten den Versiegelungsgrad differenziert abzuleiten und dessen Einfluss auf den Wasserhaushalt bzw. den Einfluss selbst prozessierter Eingabedatensätze auf die Wasserhaushaltsmodellierung zu analysieren.

Für eine Untersuchung mesoskaliger Flusseinzugsgebiete, von 300 km<sup>2</sup> bis 3000 km<sup>2</sup>, bieten sich vor allem ASTER-Daten an. Diese werden für das Beispiel des Rureinzugsgebietes (BOGENA et al. 2005a), einer Region im belgisch-deutsch-niederländischen Grenzgebiet der nördlichen Eifel und der Jülicher Börde, zunächst zur Bestimmung der Landbedeckung herangezogen. Anschließend wird der Versiegelungsgrad empirisch mit Hilfe von Luftbildern abgeleitet. So entstehen zwei Eingabedatensätze, die im Wasserhaushaltsmodell GROWA (KUNKEL & WENDELAND 2002) zuvor genutzte CORINE Land Cover Informationen substituieren. Auf diese Weise werden die Möglichkeiten der Fernerkundung zur Verbesserung von Modellergebnissen evaluiert und die Ergebnisse auf Basis herkömmlicher und fortschrittlicherer Verfahren gegenübergestellt.

## 2. Vorverarbeitung der Satellitenbilddaten

Um mehr hochaufgelöste Kanäle des ASTER-Sensors in eine Landnutzungsklassifikation aufnehmen zu können und um dadurch die Klassifikationsgüte zu erhöhen, wird zunächst eine panchromatische Schärfung durchgeführt. Dazu werden die sechs Kanäle im kurzwelligen infrarot (shortwave infrared, SWIR), die eine räumliche Auflösung von 30 m besitzen, künstlich in ihrer Detailebene auf eine Auflösung von 15 m angehoben. Dies ist mit Hilfe der Kanäle im sichtbaren und nahen infrarot (visible nearinfrared, VNIR) möglich, die bereits eine Pixelgröße von 15 m x 15 m besitzen. Um nicht einen einzelnen Kanal für die Datenfusion auswählen zu müssen, wird die erste Hauptkomponente der VNIR-Kanäle herangezogen, die eine synthetische Information aller drei spektralen Bänder enthält.

Als Fusionsverfahren wird die *à trous* Wavelettransformation (AIAZZI et al. 2002) ausgewählt. Bezeichnend ist ein mit Nullen aufgefüllter Tiefpassfilter, der auf den SWIR-Kanal angewendet wird, um diesen interpolierend bzw. mitteln auf die Geometrie der VNIR-Kanäle zu übersetzen, wodurch das klassische upsampling entfällt. Ein Tiefpassfilter, hier ein Cubic Spline Filter, wird dann auf den gefilterten SWIR-Kanal und auf den VNIR-Kanal angewendet. Die Differenz der Ergebnisse und der Originale ist äquivalent zu den Ergebnissen einer Hochpassfilterung, die die Detailinformation beider Datensätze enthalten. Nach einer Normalisierung der Hochfrequenzkomponenten wird das geglättete panchromatische Bild mit dem gefilterten SWIR-Bild ersetzt und die Transformation invertiert. Dadurch werden die Details der VNIR-Kanäle in die SWIR-Kanäle injiziert. Vorteil dieses Verfahrens ist, dass die spektrale Information der multispektralen Kanäle so gut wie keiner Veränderung unterworfen ist, wie dies bei einer IHS- oder PCA-Transformation der Fall wäre (CANTY 2006). In Abb. 1 sind die VNIR-Kanäle (3-2-1), die SWIR-Kanäle (9-6-4) und das Fusionsergebnis für das einzige Oberzentrum des Rureinzugsgebietes, die Stadt Aachen, dargestellt.

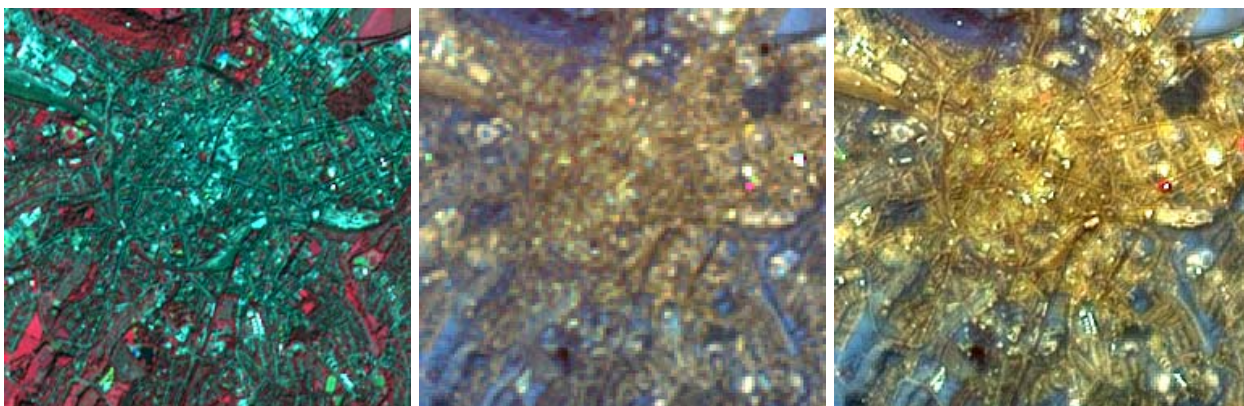


Abb. 1: VNIR-Kanäle (links), SWIR-Kanäle (mitte) und das ATWT-Fusionsergebnis (rechts).

Im Anschluss wird eine Geokorrektur durchgeführt. Bei ASTER Level 1B-Produkten bietet es sich an, die Lagegenauigkeit erst nach der Schärfung herzustellen, da die Aufzeichnungen der VNIR- und SWIR-Sensoren bereits zueinander registriert sind. Dagegen ist bei einer Fusion von Daten unterschiedlicher Sensoren bzw. Zeitpunkte eine vorhergehende Geokorrektur ratsam.

### 3. Landnutzungsklassifikation und Filterung

Für eine überwachte Klassifikation notwendige Referenzdaten werden mit Hilfe von GPS im Gelände bzw. über Befragungen örtlicher Landwirte gewonnen. Auf diese Weise werden auch Informationen über Fruchtarten erfasst, die in weiterführenden Studien Eingang finden. Es werden 13 Klassen identifiziert, neben den nahe liegenden Kategorien *Wasser*, *Laubwald*, *Nadelwald*, *Grünland*, *Hochmoor* und *Tagebau* kann Ackerland in die entsprechenden Hauptfruchtarten eingeteilt werden. Diese sind *Weizen*, *Zuckerrüben*, *Mais*, *Gerste* und *Kartoffeln*. Für die anschließende Ableitung des Versiegelungsgrades sind die Kategorien *Siedlung* und *Industriefläche* von besonderer Bedeutung.

Als Klassifikationsverfahren wird ein neuronales (zweischichtiges feedforward) Netz ausgewählt, das den Vorteil hat, Pixel einer Klasse zuzuführen, ohne Annahmen über die Wahrscheinlichkeitsverteilung einer Klasse machen zu müssen. Auf diese Weise wird die spektrale Information des Referenzdatensatzes den jeweiligen Klassen zugeordnet und das neuronale Netz auf diese Daten trainiert. Als Trainingsverfahren wird ein Kalman Filter verwendet (SHAH & PALMIERI 1990), der effektiver als herkömmliche Ansätze wie z.B. das Backpropagationverfahren arbeitet.

Da ASTER-Pixel innerhalb der typischen Landschaftsstrukturen räumlich hoch korreliert sind, wird im Anschluss eine Filterung auf Basis von Nachbarschaftsverhältnissen durchgeführt. Einzelne thematisch nicht korrekt klassifizierte Bildelemente können so in eine alternative Klasse übertragen werden und eine homogenere thematische Karte erstellen. Mit Hilfe der Probabilistic Label Relaxation (RICHARDS & JIA 2006) werden die a posteriori Klassenzugehörigkeitswahrscheinlichkeiten, die im neuronalen Netz parallel ermittelt werden, zur Untersuchung der Pixelumgebung und ggf. zur Änderung der Klassenzugehörigkeit verwendet.

Aufgrund der neun Kanäle, der individuellen Anpassung des neuronalen Netzes an die Eingabedaten und der anschließenden Filterung fällt die Klassifikationsgüte mit einem Kappa-Wert von 0,93 sehr gut aus.

### 4. Ableitung des Versiegelungsgrades

SCHULER (1994) definiert den Versiegelungsgrad (VG) sehr grob als den Prozentsatz einer Fläche, die nicht „grün“ ist. Dies trifft auch auf umgebrochene Ackerflächen oder Tagebaubereiche zu, doch in dieser Studie werden allein die Landnutzungsklassen *Siedlung* und *Industrieflächen* als potenziell versiegelt behandelt, die übrigen Klassen

werden pauschal mit einem Versiegelungsgrad von 0 % versehen. Doch zusätzlich kann man über die Aussage von SCHUELER einen inversen Zusammenhang zwischen dem Versiegelungsgrad und Vegetationsindices herleiten. Aus diesem Grund wird der Normalised Differenced Vegetation Index (NDVI) aus dem zweiten und dritten Kanal des ASTER-Sensors wie folgt berechnet:

$$NDVI_{ASTER} = \frac{VNIR3 - VNIR2}{VNIR3 + VNIR2}$$

Danach werden Zufallspixel aus diesem Datensatz ausgewählt, deren Versiegelungsgrad anhand von Luftbildern visuell bestimmt wird. Über das Bestimmtheitsmaß dieser Beziehung kann mit  $R = -0,78$  bzw.  $R^2 = 0,61$  ein eindeutiger Zusammenhang der beiden Eigenschaften festgestellt werden, der in Abb. 2 schematisch dargestellt ist. Die Regressionsgerade mit der Formel  $VG = -191 \cdot NDVI_{ASTER} + 81$  kann flächendeckend zur Umrechnung des NDVI in den Versiegelungsgrad verwendet werden. Negative Grade und Grade größer als 100 % werden danach auf genau 0 % bzw. 100 % festgeschrieben.

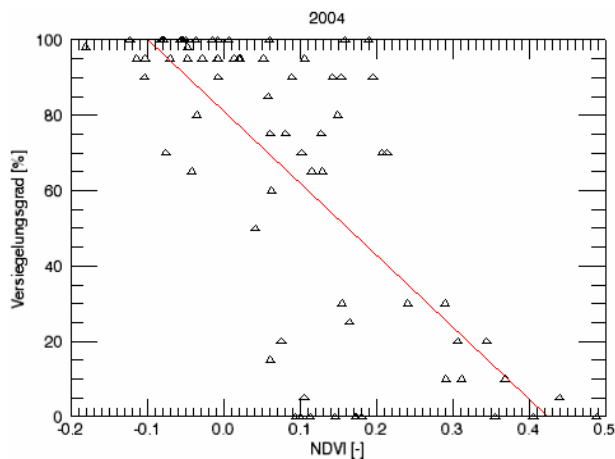


Abb. 2: Empirisch ermittelte Beziehung zwischen NDVI und Versiegelungsgrad.

In

Abb. 3 ist für die Stadt Aachen der aus CORINE Land Cover abgeleitete Versiegelungsgrad demjenigen aus ASTER-Daten abgeleiteten gegenübergestellt. Die schwarzen Linien zeigen das Verkehrsnetz des ATKIS-Systems. War man zuvor noch auf intervallskalierte und an Landnutzungskategorien gebundene pauschale Versiegelungsgrade gebunden, so ist man nun in der Lage den Versiegelungsgrad rationalskaliert abbilden zu können, zudem noch in einer höheren räumlichen Auflösung. Während CORINE Land Cover flächenhaft und mittelnd wirkt, orientiert sich die Versiegelung im Datensatz wie auch die urbane Bebauung in der Realität am vorhandenen Verkehrssystem.

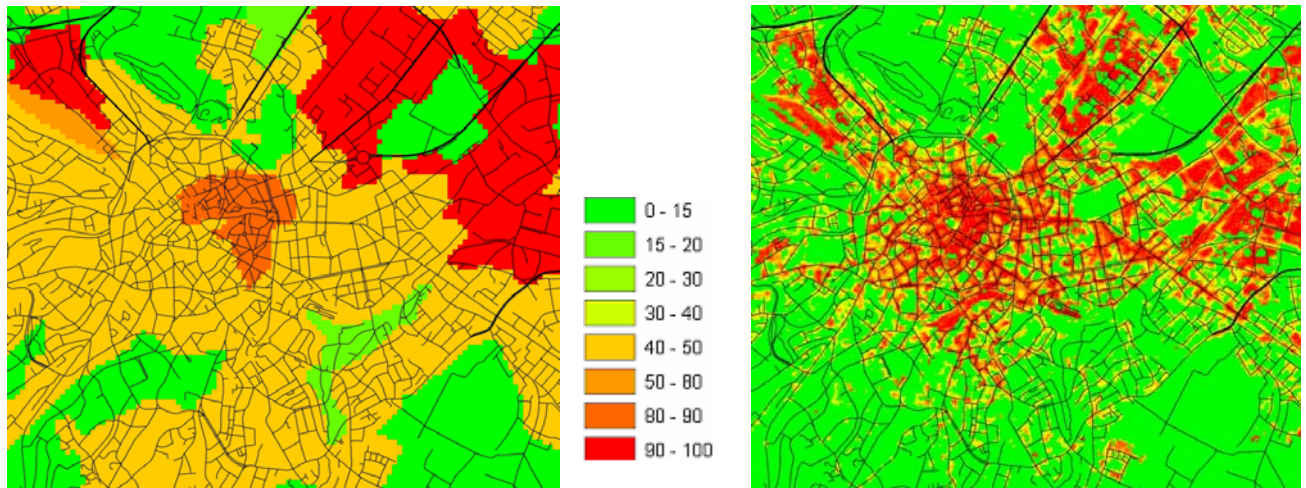


Abb. 3: Versiegelungsgrad [%] ermittelt aus CORINE Land Cover (links) und ASTER (rechts).

## 5. Hydrologische Modellierung mit dem Wasserhaushaltsmodell GROWA

Nun soll der Einfluss der Versiegelung auf den Wasserhaushalt analysiert und parallel der Einfluss der neuen Datensätze auf Ergebnisse von Wasserhaushaltsmodellen untersucht werden. Dazu bietet sich das Modell GROWA an, das Jahresmittel der wesentlichen Wasserhaushaltskomponenten berechnet, d.h. aktuelle Evapotranspiration, Gesamtabfluss, Oberflächenabfluss, Zwischenabfluss und Grundwasserneubildung. Die aktuelle Evapotranspiration wird mit einem erweiterten Ansatz von RENGGER & WESSOLEK (1996) ermittelt, der zusätzlich verschiedene Oberflächen, Hangneigung, Exposition, Grundwasserbeeinflussung usw. berücksichtigt. Der Gesamtabfluss ( $Q_{\text{Gesamt}}$ ) wird nun wie folgt berechnet:

$$Q_{\text{Gesamt}} = N_{\text{Jahr}} - f_h(v, \zeta) \cdot [a \cdot N_{\text{so}} + b \cdot N_{\text{wi}} + c \cdot \log(W_{\text{pl}}) + d \cdot ET_{\text{pot}} + e + f_d \cdot \text{VG}]$$

$Q_{\text{Gesamt}}$ : Gesamtabfluss [mm/a]

$N_{\text{Jahr}}$ : Jahresniederschlag [mm/a]

$f_h(v, \zeta)$ : Reliefkorrekturfunktion ( $v$  = Hangneigung,  $\zeta$  = Exposition) [-]

$a, b, c, d, e$ : Landnutzungsspezifische Koeffizienten [-]

$N_{\text{wi}}, N_{\text{so}}$ : Winter- und Sommerniederschlag [mm/a]

$W_{\text{pl}}$ : Pflanzenverfügbare Bodenwassergehalt [mm]

$ET_{\text{pot}}$ : Jährliche potenzielle Evapotranspiration [mm/a]

$f_d$ : Korrekturfaktor [-]

VG: Versiegelungsgrad [%]

Die Separation in die Austragspfade Direktabfluss ( $Q_D$ ) und Grundwasserneubildung ( $Q_{GWN}$ ) erfolgt über Baseflow Indices (BFI), die diese Werte als relative Anteile des Gesamtabflusses beschreiben:

$$Q_{GWN} = BFI \cdot Q_{Gesamt}$$

Der BFI wird in einem hierarchischen Verfahren aus Standortbedingungen abgeleitet. Jede diskrete Rasterzelle wird ausgehend von der Landbedeckung bis hin zum hydrogeologischen Untergrund analysiert und der dominante Faktor identifiziert. Eine Validierung erfolgt anhand von Pegeldaten (BOGENA et al. 2005b). Lockergestein und Festgestein werden getrennt betrachtet. Der Versiegelungsgrad wird an dieser Stelle zu einer entscheidenden Größe in der Wasserhaushaltsberechnung.

## 6. Ergebnisdiskussion

In der GROWA-Modellanwendung werden nun die Landnutzungsklassifikation der ASTER-Szene und der aus dem NDVI abgeleitete Versiegelungsgrad eingesetzt. Um Änderungen dokumentieren zu können, werden die resultierenden Ergebnisse den Programmläufen auf Basis von CORINE Land Cover gegenübergestellt.

Betrachtet man in den Ergebnissen das Mittel über das gesamte Untersuchungsgebiet, so ergeben sich so gut wie keine Unterschiede, weder in der aktuellen Verdunstungshöhe, noch in der Grundwasserneubildungsrate. Die Änderungen sind eher kleinräumiger Natur und gehen von den Details aus. Die wichtigste Größe ist in erster Linie die Höhe der Grundwasserneubildung, da diese jedoch u.a. stark vom hydrogeologischen Untergrund abhängig und dadurch überprägt ist, sind die Verbesserungen eher im Direktabfluss zu beobachten. Dieser ist in Abb. 4 für den selben Ausschnitt wie der Versiegelungsgrad in Abb. 3 dargestellt.

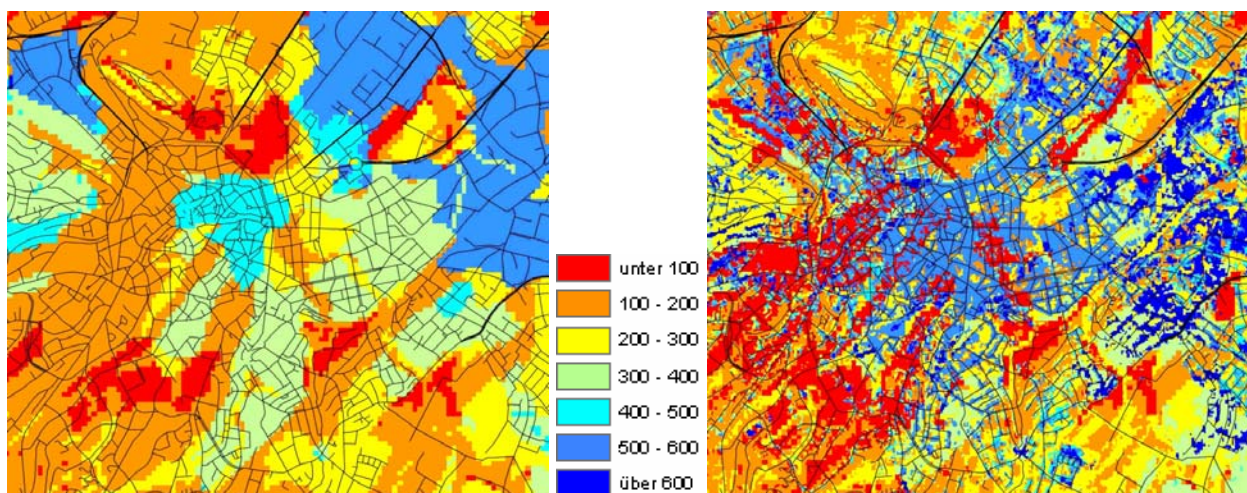


Abb. 4 Direktabfluss [mm/a] berechnet auf Basis von CORINE Land Cover (links) und ASTER (rechts).

Allein die räumliche Auflösung der selbst prozessierten Eingabedaten wertet das Endprodukt entschieden auf. Dadurch werden skalenübergreifende Betrachtungen

vereinfacht. Zwar ist das Ergebnis aus ASTER nicht so flächig und eindeutig wie das aus CORINE, aber es liegt näher an der Realität. Diese Aussage wird durch den Vergleich des Gesamtabflusses mit Pegeldaten gestützt. Dabei wird das Einzugsgebiet der Rur in pegelbezogene Subeinzugsgebiete unterteilt und der mit GROWA berechnete Gesamtabfluss auf diese Subeinzugsgebiete integriert. Auf diese Weise können berechnete und beobachtete Abflussniveaus verglichen werden (Abb. 5). Bei der Verwendung von CORINE Land Cover in der Modellierung wird ein Korrelationskoeffizient von  $R^2 = 0,51$  erreicht. Bei einigen Subeinzugsgebieten bzw. Pegeln ist die Beziehung nicht eindeutig erkennbar, da sie anthropogen überprägt sind. So ist das südliche Untersuchungsgebiet in der Eifel gelegen, in der eine Reihe von Stauseen zur Trinkwassergewinnung und Stromerzeugung bestehen. Da einige untereinander mit Stollen verbunden sind und Trinkwasser vor allem in das Oberzentrum Aachen transportiert wird, werden Wassermassen zwischen verschiedenen Subeinzugsgebieten ausgetauscht, was mit GROWA im Moment noch nicht abgebildet werden kann. Darüber hinaus wird Regenwasser meist dem Mischsystem überantwortet und im Falle von Aachen in einem anderen Subeinzugsgebiet aufbereitet, wodurch auch hier nicht abgebildete Transportwege existieren. Bei Nichtbeachtung von vier eindeutig anthropogen überformter Stationen verbessert sich die Korrelation auf  $R^2 = 0,68$ . Bei der Verwendung von ASTER-Daten wird das gesamte Verhältnis auf  $R^2 = 0,63$  verbessert. Durch Ignorierung der vier Stationen ist eine Steigerung auf  $R^2 = 0,75$  zu verzeichnen.

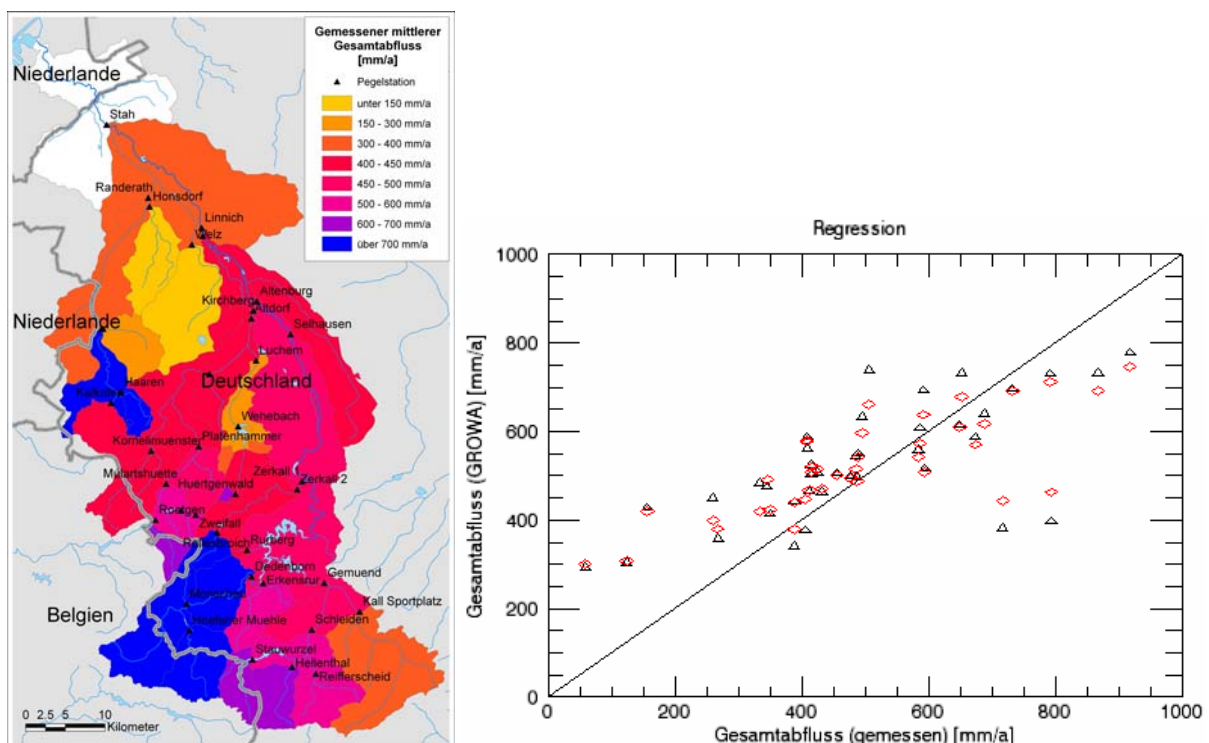


Abb. 5: Pegelstationen und Subeinzugsgebiete (links) und Regression von gemessenem zu berechnetem Gesamtabfluss (CORINE = schwarz bzw. ASTER = rot).

Darüber hinaus wird Regenwasser meist dem Mischsystem überantwortet und im Falle von Aachen in einem anderen Subeinzugsgebiet aufbereitet, wodurch auch hier nicht abgebildete Transportwege existieren. Bei Nichtbeachtung von vier eindeutig anthropogen überformter Stationen verbessert sich die Korrelation auf  $R^2 = 0,68$ . Bei der Verwendung von ASTER-Daten wird das gesamte Verhältnis auf  $R^2 = 0,63$  verbessert. Durch Ignorierung der vier Stationen ist eine Steigerung auf  $R^2 = 0,75$  zu verzeichnen.

## 7. Fazit und Ausblick

Selbst prozessierte Eingabedatensätze aus Fernerkundungsdaten können zielgerichtet auf die Bedürfnisse von hydrologischen Modellen angepasst werden und können somit allein durch thematische Aspekte Modellergebnisse verbessern. Darüber hinaus entstehen durch die höhere räumliche Auflösung entscheidende Vorteile insbesondere bei der Betrachtung von urbanen Räumen und Agglomerationen.

Im Allgemeinen birgt die Implikation von Fernerkundungsdaten weiteres Potenzial zur Optimierung der Wasserhaushaltsmodellierung. Ein zurzeit evaluierter Ansatz wäre die Berechnung von fruchtartenspezifischen Verdunstungsfaktoren. Durch die Erfassung der ackerbaulichen Fruchtwechselwirtschaft könnte eine Differenzierung des ansonsten einheitlich betrachteten Ackerlandes erreicht werden.

Die hier angesprochene Wasserhaushaltsmodellierung ist ein Teilbereich eines multidisziplinären Ansatzes zur Analyse des Wirkungsgefüges von Landwirtschaft und Ökologie. Durch Modellkopplungen wird das Schicksal von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln aus der Landwirtschaft in Böden bzw. in Grund- und Oberflächengewässern untersucht (MONTZKA et al. 2006). Durch die Verwendung von Satellitenbilddaten kann ein Flussgebietsmanagement im Kontext der EU-Wasserrahmenrichtlinie schneller auf Änderungen reagieren und Handlungsstrategien mit Hilfe von Simulationsrechnungen vor der eigentlichen Umsetzung untersuchen.



## Literatur

- Aiazzi, Bruno, Alparone, Luciano und Baronti, Stefano (2002): „Context-driven fusion of high spatial and spectral resolution images based on oversampled Multiresolution Analysis“, in: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 40 (10), S. 2300–2312
- Bogena, Heye, Hake, Jürgen-Friedrich, Herbst, Michael, Kunkel, Ralf, Montzka, Carsten, Pütz, Thomas, Vereecken, Harry und Wendland, Frank (2005a). „MOSYRUR - Water balance analysis in the Rur basin“, in: Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt, 52
- Bogena, Heye, Kunkel, Ralf, Montzka, Carsten und Wendland, Frank (2005b): „Uncertainties in the simulation of groundwater recharge at different scales“, in: Advances in Geosciences, 5, S. 25–30
- Canty, Morton (2006): „Image Analysis, Classification and Change Detection in Remote Sensing“. Boca Raton
- Kunkel, Ralf und Wendland, Frank (2002): „The GROWA98 model for water balance analysis in large river basins – the river Elbe case study“, in: Journal of Hydrology, 259, S. 152–162
- Montzka, Carsten, Bogena, Heye, Canty, Mort, Kunkel, Ralf und Wendland, Frank (2006). „Combining agricultural economic and hydrological models with the aid of remote sensing data“, in: Marçal, André (Hg.): Global Developments in Environmental Earth Observation from Space.
- Renger, Manfred und Wessolek, Gerd (1996): „Berechnung der Verdunstungsjahressummen einzelner Jahre“, in: DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft, 238, S. 295–305
- Richards, John A. und Jia, Xiuping (2006): „Remote sensing digital image analysis - An introduction“. Berlin, 4. Auflage
- Schueler, Thomas R. (1994): „The importance of imperviousness“, in: Watershed Protection Techniques, 1 (3), S. 100–111
- Shah, Samir und Palmieri, Francesco (1990): „MEKA - a fast, local algorithm for training Feedforward Neural Networks“, in: International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), 3, S. 41–46
- Statistisches Bundesamt (2006): „Wirtschaft und Statistik“, 3/2006. Wiesbaden



# Fernerkundung im Geographieunterricht: Konzept zur verstärkten Integration von Satellitenbildern in den Geographieunterricht

Monika Reuschenbach, Zürich (mreuschenbach@gmx.ch)  
Hubstrasse 17, CH-8303 Bassersdorf  
Research Assistant am Geographischen Institut Universität Zürich,  
Remote Sensing Laboratories  
Dozentin für Geographiedidaktik an der Pädagogischen Hochschule Zürich

## Abstract

Die Entwicklung der Fernerkundung hat in den letzten Jahren gewaltige Fortschritte erzielt, so dass wir mit Anwendungsgebieten oder Bildprodukten auch im Alltag häufig konfrontiert werden. Sowohl die Aufgabenstellungen der Fernerkundung, vielmehr aber noch die Luft- und vor allem die Satellitenbilder sind uns bekannt und vertraut, sei dies aus Kalenderblättern, durch den Wetterbericht, Nachrichtensendungen über Naturkatastrophen, aus Dokumentationssendungen oder von einer Bildrecherche im Internet.

Dadurch, dass die Fernerkundung nicht nur Wissenschaftlern, sondern auch der Allgemeinheit dazu verhilft – sehr vereinfacht ausgedrückt – die Welt besser kennen und verstehen zu lernen, müsste sie in der Ausbildung eigentlich einen festen Platz einnehmen können. Insbesondere der Geographieunterricht eignet sich dafür hervorragend, beschäftigt er sich doch mit räumlichen Fragen aller Art und hat das Ziel, bei Schülerinnen und Schülern Raumorientierung und Raumkompetenz zu entwickeln.

Leider hat die Fernerkundung im Geographieunterricht aber – abgesehen von wenigen Ausnahmen bei Lehrkräften mit persönlichen Vorlieben dafür – einen relativ kleinen, eigentlich sogar unbedeutenden Stellenwert. Dies ist angesichts der technischen Entwicklung und Alltagspräsenz erstaunlich und bedauerlich, bei einer genauen Analyse aber nicht unbedingt unverständlich.

Die Gründe dafür sind vielfältig und Erklärungen findet man in der Analyse des komplexen Zusammenspiels verschiedener Faktoren, das den heutigen Unterricht ausmacht: Lehrerpersönlichkeit, Vorwissen, Anforderungen, didaktisch-methodisches Wissen, Lehrplan- und Lehrbuchgestaltung sowie Rahmenbedingungen. Ein Grund ist beispielsweise die fehlende oder mangelnde Verankerung von Fernerkundungs-Anliegen in Lehrplänen und Lehrbüchern; an diesen Inhalten orientieren sich die Lehrpersonen und wenn die Anliegen dort fehlen, finden sie keinen Einzug im Unterricht. Ergänzende Lehrmittel wie Zeitschriften, CD'Roms oder das Internet bieten zwar Lehrgänge oder Unterrichtsbausteine an, diese werden von Lehrpersonen aber oft

als zu schwierig, bzw. zu aufwändig für die persönliche Unterrichtsvorbereitung empfunden. Dies unter anderem deshalb, weil einerseits das eigene Vorwissen fehlt, andererseits die Fernerkundung aber auch lange „als Selbstzweck“ betrieben wurde und sich nicht oder zu wenig mit den Themenbereichen des Geographieunterrichtes in Verbindung bringen liess.

Im Vortrag an der Tagung des Arbeitskreises Fernerkundung in Osnabrück wird aufgezeigt, welchen Beitrag die geographie-didaktische Forschung als Transferwissenschaft leisten kann, um die Fernerkundung besser und nachhaltiger in den Geographieunterricht zu integrieren. Das im Rahmen meiner Dissertation entwickelte Konzept verdeutlicht, welche Anwendungsgebiete und Aufgaben der Fernerkundung in welcher Art und Weise in das Schulfach Geographie einbezogen werden können und welches Potenzial Luft- und Satellitenbilder im Unterricht haben, dies bezogen auf den kognitiven Wissenserwerb, die räumliche Wahrnehmung, den Lernprozess und die methodische und soziale Kompetenzförderung. Berichte aus Unterrichtserprobungen runden das Referat ab.

## 1. Einleitung

Bis heute beschränkt sich die Vermittlung von Zielen und Inhalten der Fernerkundung weitgehend auf Universitäten. Ausserhalb davon sind ihre Grundlagen, Methoden und Anwendungsgebiete eher unbekannt. Schon der Begriff „Fernerkundung“ kann von Personen, die mit geographischen Methoden wenig zu tun haben, nicht erklärt werden. Wer sich im Schulunterricht mit den Aufgabenbereichen der Fernerkundung befassen, entsprechende Methoden im Unterricht einsetzen, sowie deren Erkenntnisse mit geographischen Themen verbinden möchte, sieht sich mit einigen Schwierigkeiten konfrontiert. Die Suche nach Materialien und Möglichkeiten gestaltet sich sehr aufwändig, weil wenige strukturierte, schülertaugliche Unterrichtsvorschläge vorliegen, die mit kleiner Einarbeitungszeit in den Geographieunterricht integriert werden können.

Als methodische Disziplin mit typisch geographischen Inhalten kann die Fernerkundung einen wichtigen Beitrag zum Geographieunterricht leisten. Insbesondere durch die analoge und digitale Bearbeitung von Luft- und Satellitenbildern werden bei Schüler/-innen – neben geographischen Erkenntnissen – vielfältige methodische Kompetenzen gefördert, die über die Schule hinaus reichen und dazu beitragen, dass sich Jugendliche in der Welt orientieren und zurecht finden können. Die *Internationale*

*Charta der Geographischen Erziehung* (1992, S. 7) formuliert explizit, dass im ganzheitlichen Bildungsprozess Kenntnisse, Fähigkeiten und Einstellungen zusammengehören und Schüler/-innen in allen drei Bereichen gleichermassen gefördert werden sollen. Bildungsdirektionen tragen diesem Anliegen Rechnung, in dem sie die Dreiteilung von Zielen in die Lehrpläne aufnehmen und für verbindlich erklären. Die Fernerkundung trägt mit vielfältigen Arbeitsweisen anhand typisch geographischer Themen zur Förderung der geographischen Methodenkompetenz bei.

Der Aufsatz zeigt, wie die Fernerkundung stärker in den Geographieunterricht eingebettet werden kann, um damit wesentliche Ziele der schulischen Bildung zu stärken und zu bereichern. Basis der Konzeptformulierungen ist eine umfangreiche Analyse der Bedeutung der Fernerkundung in Schulen Deutschlands und der Schweiz. Hierzu wurden Lehrer/-innen und Fachpersonen befragt, Lehrbücher und Unterrichtshilfen für den Unterricht untersucht und Lehrpläne analysiert. Die Erkenntnisse ergeben ein aufschlussreiches Bild darüber, welchen Stellenwert die Fernerkundung im Geographieunterricht hat.

Zudem wird das Potenzial von Luft- und Satellitenbildern aus verschiedenen Blickwinkeln beleuchtet. Im Vordergrund steht dabei die Bedeutung von Bildern im Wissenserwerb, zum Beispiel zur Gewinnung geographischer Sachkenntnisse oder für den Aufbau des räumlichen Vorstellungsvermögens – Aspekte, die nach wie vor im Unterricht eine untergeordnete Bedeutung aufweisen. Das resultierende Konzept zeigt auf, wie Luft- und Satellitenbilder zusammen mit anderen Medien zu einem aktiven, methodenreichen und inhaltlich vielseitigen Geographieunterricht beitragen können und die Vorbereitung für Lehrpersonen immer noch leistbar ist.

## 2. Bedeutung der Fernerkundung im Geographieunterricht

Gemäss einer 2001 durchgeführten Untersuchung des Geographischen Institutes Zürich (*Bürgi, et.al: 2001*) sind die befragten Lehrpersonen dem Thema Fernerkundung im Unterricht gegenüber grundsätzlich aufgeschlossen. Sie verwenden Luft- und Satellitenbilder hauptsächlich zur Illustration, zeitweise aber auch für Bildinterpretationen, dies vorwiegend bei physisch-geographischen Themen. Nachteilig wirkt sich für die Lehrpersonen die lange und aufwändige Einarbeitungszeit aus und die

Beschaffung geeigneter Bildmaterialien. Erkennbar ist auch ein Respekt vor der Technik und dem physikalischen Hintergrundwissen.

In fast allen Lehrplänen wird heute die methodische Kompetenzförderung explizit verlangt. Dies auch am Beispiel der Fernerkundung zu tun, wird in rund einem Drittel der Lehrpläne aufgeführt.). *Hassenpflug (1998, S. 53)* führt aus, dass die Fernerkundung, wenn sie in die Schule gebracht werden will, in den Lehrplänen verankert werden muss. Dies ist zur Zeit nur implizit der Fall. Durch das breite Feld fernerkundlicher Anwendungen lassen sich Bezüge zu fast allen bereits jetzt vorgeschriebenen Lehrplanthemen herstellen. Die explizite Festlegung der Fernerkundung im Lehrplan fehlt weitgehend. Im Moment muss deshalb ein anderer Weg zur Integration der Fernerkundung eingeschlagen werden, derjenige der methodischen Einbindung. Luft- und Satellitenbilder sollten – wie Karten, Photos oder Modelle – als zusätzliches Medium verstärkt im Unterricht verwendet werden. Mit Hilfe von entsprechenden Arbeitsmöglichkeiten können auf diese Weise geographische Informationen gewonnen werden.

In geographischen Zeitschriften und dem Internet haben vor allem fachliche Artikel eine grosse Bedeutung, sie dominieren zusammen mit Berichten über die Weltraumforschung gegenüber den schulischen Fernerkundungs-Artikeln mit Aufgabenstellungen. Etwa ab 2002 kann eine zögerliche, aber kontinuierliche Reihe von Publikationen im schulischen Kontext verzeichnet werden, von einem Boom kann aber keine Rede sein. Möglicherweise profitiert die Fernerkundung auch von verstärkten Bestrebungen, den Computer in der Schule zu etablieren: im Zuge der Selbstverständlichkeit im Umgang mit neuen Medien werden Computer und Fernerkundung oft im gleichen Atemzug genannt. Eine qualitative Analyse der Aufgaben zeigt auf, dass Aufgaben spannend und lehrreich, wenn auch stark kognitiv ausgerichtet sind und vor allem in den ersten Jahren eine lange Bearbeitungszeit benötigten. Dies veränderte sich bis heute leicht. Die Themenvielfalt ist sehr gross, die Aufgabenstellungen mit den Luft- und Satellitenbildern decken ein breites Spektrum geographischer Aspekte ab.

Grundsätzlich ist es für Lehrpersonen gut möglich, sich fachlich in die Fernerkundung einzuarbeiten. Es sind ausreichende Artikel zu Aufgaben und Möglichkeiten der Fernerkundung verfasst worden, dies sowohl in geographischen Zeitschriften für

Lehrer-/innen, als auch auf dem Internet. Die Beiträge sind aber nicht immer einfach zu verstehen, oft ist ein fachliches Vorwissen hilfreich, wenn nicht sogar unabdingbar.

Festgehalten werden kann, dass die bisherigen Publikationen, Lehrbücher und auch die gegenwärtigen Lehrpläne eine Grundlage bieten, auf der die Fernerkundung aufbauen kann. Das Bewusstsein und einzelne Unterrichtsumsetzungen dafür sind vorhanden, vor allem in den letzten Jahren auch eine kontinuierliches Aufmerksam-machen auf die Möglichkeiten der Fernerkundung. Allerdings weisen die Untersuchungen auch darauf hin, dass die Fernerkundung im Unterricht noch ein stiefmütterliches Dasein fristet.

### 3. Didaktischer Wert von Luft- und Satellitenbildern

Die Einbettung der Fernerkundung in das Schulfach Geographie ist unumstritten. Sie legitimiert sich z.B. dadurch, dass es sich um eine geographische Methode handelt, die Objekte der Erdoberfläche in vielfältigster Form erfasst und darstellt. Mit Hilfe der Fernerkundung wurden Blicke auf die Welt ermöglicht, die vor der Satellitentechnik nicht existierten. Zudem visualisieren Satellitenbilder unzählige Sachverhalte, die auch im Geographieunterricht thematisiert werden. Sie ermöglichen die Erfassung, Beschreibung und Erklärung räumlicher Strukturen, Vorgänge und raumwirksames Handeln, deshalb tragen sie zu einem umfassenden Verständnis geographischer Anliegen bei.

Satellitenbilder weisen zahlreiche Eigenschaften auf, die sie von anderen Medien unterscheiden. Aus ihren positiven Merkmalen (Auflösung, Spektrale Information, Raumbezug, Perspektivenwechsel etc.) kann direkt das Potenzial der Bilder für den Geographieunterricht abgeleitet werden. Die Schwierigkeiten, die bei der Arbeit mit Satellitenbildern verbunden sind, weisen auf Massnahmen hin, mit welchen die Bildmaterialien im Unterricht verbunden werden müssen, wie zum Beispiel die Farbgebung oder die Komplexität und Mehrdeutigkeit der Bildmaterialien.

#### 3.1 Methodenkompetenz

Durch die Interpretation und Bearbeitung von Satellitenbildern trägt die Fernerkundung zum Erwerb von Methodenkompetenz bei, dies soll verstärkt gefördert werden, weil Lernende sich dadurch selbständig Informationen beschaffen und diese verarbeiten

können. Zudem befähigt sie sie, sich in der Medienvielfalt zurecht zu finden und mit Informationen aus Medien kritisch umgehen zu können. Methodenkompetenz lässt sich nur durch einen Unterricht vermitteln, der Schüler-/innen aktiviert und sie sich selbstständig auf verschiedenen Wegen Wissen aneignen. Damit trägt das Anliegen der methodischen Kompetenzförderung einerseits dazu bei, dass dem gesellschaftlichen Wandel auch im Unterricht Rechnung getragen wird. Andererseits gewährleistet es eine Wissensaneignung, die gegenwärtige Lernerkenntnisse berücksichtigt und einen konstruktivistisch-handlungsorientierten Unterricht anstrebt.

### **3.2 Visuelles Lernen**

Satellitenbilder leisten einen bedeutenden Beitrag zum Erwerb des visuellen Lernens, bzw. zur Förderung visueller Fähigkeiten. Obwohl wir uns in einem visuell geprägten Zeitalter befinden und Bilder unser ganzes Leben stark prägen, ist insbesondere der aktive Umgang mit ihnen in der Schule eher zurückhaltend. Sowohl die emotionale Wirkung, als auch vor allem ihr Beitrag im Wissenserwerb werden kaum für Lernprozesse eingesetzt, das Potenzial, das sich erahnen lässt, ist noch weitgehend ungenutzt. Im Unterricht müssen zwei Wege im Zusammenhang mit Bildern begangen werden. Einerseits geht es darum, dass Schüler-/innen den kritischen Umgang mit Bildern, insbesondere auch Satellitenbildern lernen und zunehmend beurteilen können, was diese aussagen, wozu andere Medien verwendet oder beigezogen werden müssen oder welche Aussagekraft sie haben. Andererseits geht es darum, Informationen aus Bildern entnehmen, abspeichern und verwerten zu können. Dazu ist eine visuelle Lesekompetenz wichtig, was eine ausreichend lange, gezielte, aktive und regelmässige Bildbetrachtung voraussetzt. Aufgabenstellungen, die diese vertiefte Auseinandersetzung mit den Inhalten von Satellitenbildern ermöglichen, sind unumgänglich. Dabei wird einerseits das Lesen und Verstehen von Bildern angeregt und gefördert. Andererseits ermöglichen erst Aufgaben, die mit einem Bild in Verbindung stehen, vertiefte Erkenntnisse und Interpretationen. Aufgabenstellungen beziehen auch – sofern möglich - das Alltagswissen der Schüler-/innen mit ein (Alltagsbezüge sind mehrfach gegeben), unterstützen die Entschlüsselung von Abbildungskonventionen (Codewissen) und fördern das Erkennen der dargestellten



Bildinhalte (Weltwissen). Zudem müssen die Aufgaben sowohl die Bildbetrachtung, als auch das Bildverstehen unterstützen (Weidenmann, 1991, S. 31).

### **3.3 Räumliches Vorstellungsvermögen**

Egal ob es sich um gross- oder kleinmassstäbliche Abbildungen handelt, zeigen Luft- und Satellitenbilder in vielfältigster Weise Objekte auf der Erdoberfläche. Diese können als Einzelmerkmale identifiziert werden und fördern dabei das gezielte und genaue Beobachten und Betrachten. Zudem vermitteln sie als Gesamtbild Eindrücke der Welt und tragen dadurch zum Aufbau der räumlichen Kompetenz bei. Und als drittes visualisieren Satellitenbilder geographisch relevante Themen, so dass inhaltliche Anbindungen an Unterrichtsbezüge möglich sind. Als Abbilder der Erde ermöglichen die Bildinhalte Assoziation mit bekannten Darstellungen, die Lernenden können diese mit ihrem Vorwissen in Zusammenhang bringen und die Bildinhalte daran anknüpfen. Durch die neue Perspektive von oben erfordern sie aber auch eine vertiefte Auseinandersetzung; damit leisten sie einen Beitrag zum Aufbau von neuen Strukturen und Kategorien, die die bisherigen Erfahrungen ergänzen und erweitern.

### **3.4 Fazit**

Der Bildungsbeitrag von Luft- und Satellitenbildern im Unterricht lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- *Wissenschaftspropädeutik und geographische Arbeitsweise:* Die Fernerkundung sammelt systematisch (und für die Schule in neuer Form) Informationen über die Erde und stellt sie reichhaltig und kostenlos einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung. Durch diese Datenfülle lässt sich in den Geographieunterricht eine geographische Methode integrieren, die bisher weitgehend unbeachtet blieb.
- *Perspektivenwechsel:* Satellitenbilder ermöglichen auf verschiedenen Ebenen den Wechsel von Perspektiven im Geographieunterricht. Einerseits tragen sie dazu bei, dass sich Raumvorstellungen aufbauen und entwickeln können. Andererseits ist es durch eine weitgehend unbearbeitete Darstellung der Wirklichkeit möglich, sich ein eigenes Bild der Welt zu machen und im Verbund mit anderen Medien Sachverhalte aus verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten.

- *Methodenvielfalt und Methodenkompetenz*: Satellitenbilder bereichern den heutigen Geographieunterricht mit einem weiteren Medium, das nicht nur Neugier und Interesse bei den Schüler/-innen weckt, sondern reichlich auch geographisch relevante Informationen bereit hält. Dadurch wird der Unterricht sowohl inhaltlich, als auch methodisch ergänzt. Durch eine aktive Auseinandersetzung, die für die Informationsgewinnung aus Satellitenbildern nötig ist, erwerben Schüler/-innen Fähigkeiten und Fertigkeiten, die auch ausserschulisch bedeutsam sind.
- *Visuelles Lernen*: Anhand von Satellitenbildern kann das visuelle Lernen gefördert und vorangetrieben werden. Das bisher noch weitgehend ungenutzte Potenzial von Bildern im Wissenserwerb lässt den Schluss zu, dass sich Lernprozesse durch den Einbezug von Bildern nachhaltig verbessern werden.
- *Motivation und Interesse*: Einerseits weil Satellitenbilder (noch) neu im Geographieunterricht sind, andererseits weil sie Schüler/-innen durch ihren ästhetischen Wert und ihre Bildwirkung faszinieren und drittens, weil sie ein „Gefühl von Weltraum“ vermitteln, wirken sie sich motivierend auf den Unterricht aus. Schüler/-innen arbeiten gern mit Satellitenbildern, sie sind konzentriert und engagiert bei der Sache.
- *Geographisches Bewusstsein*: Durch die Arbeit mit Satellitenbildern lassen sich verschiedene Haltungen fördern und vermitteln, die für die Geographie im Besonderen und für die Bildung im Allgemeinen zentral sind. Satellitenbilder tragen damit zu einer umfassenden geographischen Bildung bei.

Ergänzend zu den Ausführungen muss festgehalten werden, dass die Fähigkeit, Satellitenbilder lesen und mit ihnen arbeiten zu können – wie alle anderen Methoden auch – schon früh eingeführt und immer wieder geübt werden sollte. *Neumann-Mayer (2005)* zeigt in ihrer Dissertation auf, dass es bereits mit Schüler/-innen der 5./6. Klasse möglich ist, Satellitenbilder zu bearbeiten. Entsprechende Übungsmöglichkeiten oder Konzepte liegen aber erst ansatzweise (z.B. aus Amerika) vor.

Mit Luft- und Satellitenbildern können heute in der Unterrichtsgestaltung relativ einfach neue Wege begangen und ungenutzte Potenziale entdeckt und entwickelt werden. Als grösste und massgeblichste Schwierigkeit bei der Integration der Fernerkundung ist vermutlich nur die Bereitschaft der Lehrer/-innen anzufügen, die sich auf diese neuen

Wege einlassen, sich fachlich einarbeiten und ungewohnte Unterrichtssituationen akzeptieren und sich darin zurecht finden müssen.

#### 4. Konzept zur verstärkten Integration der Fernerkundung

Das Anliegen, die Fernerkundung in die Schule zu integrieren, ist nicht neu, trotzdem ist ein fester Platz, bzw. ein Selbstverständnis für die Fernerkundung – wie aufgezeigt wurde - im Unterricht noch nicht erreicht. Nicht nur auf der inhaltlichen Ebene (Unterrichtsumsetzungen) sondern auch im organisatorischen Bereich müssen deshalb Bemühungen stattfinden, damit die Realisierung des Anliegens, Satellitenbilder verstärkt im Geographieunterricht einzusetzen, erfolgreich gelingt.

Insbesondere müssen Lehrpersonen sorgfältig in die Fernerkundung eingeführt werden, wenn die Einbettung erfolgreich gelingen soll. Es ist wichtig, dass Bedeutung und Potenzial der Arbeit mit Satellitenbildern aufzuzeigen, damit die Lehrer-/innen erkennen, welche Bereicherung das Unterrichtsmedium für den Unterricht darstellt und wie es eingesetzt werden kann. Sowohl die fachlichen Hintergründe als auch der Erwerb des methodisch-didaktischen Know-hows kann sowohl in der Ausbildung, aber auch an Weiterbildungskursen vermittelt werden.

Gewährleistet wird die Einbindung der Fernerkundung in den Geographieunterricht dann, wenn das Thema in Lehrplänen verankert wird, mehr aber noch, wenn genügend aufbereitete Unterrichtsvorschläge und –hilfen vorliegen, welche es den Lehrkräften ermöglicht, sich mit normalem Aufwand auf ein neues Thema und Anliegen vorzubereiten. Geeignet dafür sind Aufgabenstellungen mit Satellitenbildern, die mit didaktischen Hinweisen ergänzt werden. Folgende Anforderungen müssen dabei erfüllt sein:

- Das Interesse für die Disziplin Fernerkundung wird über die Faszination geweckt. Phänomenologische Zugänge mit offenen Aufgabenstellungen zu den Satellitenbildern schaffen eine wissenschaftspropädeutische erste Begegnung mit der Fernerkundung.
- Die zu ausgewählten Satellitenbildern verbundenen Aufgabenstellungen müssen sich an den in den Lehrplänen definierten Unterrichtsinhalten orientieren.

- Vielseitige konkrete Aufgabenstellungen gewährleisten die Aktivität der Schüler-/innen im Unterricht, entdeckendes, forschendes Lernen wird möglich. Durch die Bearbeitung der Satellitenbilder sollen methodische Kompetenzen erworben werden können, einerseits direkt durch die Arbeit mit den Satellitenbildern, andererseits durch die Einbindung weiterer Medien, welche für die Bearbeitung der Aufgabenstellungen zugezogen werden.
- Die Schüler-/innen müssen durch die Aufgabenstellungen mit den Satellitenbildern das visuelle Lernen üben, Lernprozesse werden durch diese Fähigkeit positiv unterstützt.
- Die räumliche Orientierung der Schüler-/innen wird einerseits durch die breite geographische Abdeckung der Satellitenbilder und andererseits durch die dargestellten Bildinhalte gefördert.
- Die Satellitenbilder und die Arbeitsaufträge müssen im Bezug auf Zeit, Niveau, Stufe, Alter, Thema, Vorwissen oder Unterrichtsform flexibel eingesetzt werden können. Durch die regelmäßige Gelegenheit, mit Satellitenbildern zu arbeiten, entsteht eine erwünschte Selbstverständlichkeit im Umgang mit der Fernerkundung.

Das hier vorgestellte Konzept kann nicht von heute auf morgen realisiert werden, es ist deshalb als Anregung zu verstehen, bisherige Bemühungen gezielt weiter zu führen und neue Ideen aufgrund dieser Basis umzusetzen. Es hat zum Ziel, die Fernerkundung schrittweise und nachhaltig in den Geographieunterricht zu integrieren, so dass das Satellitenbild und dessen Bearbeitungsmöglichkeiten selbstverständlich werden. Eine umfassende, den beschriebenen Kriterien und Anforderungen entsprechende Aufgabensammlung wird 2007 vom Friedrich-Verlag, Hannover publiziert und trägt dazu bei, das Anliegen in der Schule umzusetzen. Ergänzend dazu sind aber weiterführende, z.B. schulpolitische Anstrengungen nötig, damit neben der Initiierung auch die Verbreitung und die Weiterführung der hier vorgestellten Anliegen gewährleistet sind.

## Literatur

Bürgi, Christoph; Popp, Christoph; Trachsler, Marcel; Balzer, Niels (2001): „Ist Fernerkundung ein Thema an der Mittelschule?“ Studie im Rahmen des Fernerkundungs-Seminars, Sommersemester 2001; Leitung Prof. Dr. Klaus Itten

Hassenpflug, Wolfgang (1998): „Was kann Fernerkundung für Schule und Bildung leisten?“ In: Tagungsband: 14. Nutzerseminar des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums der DLR 1997, Hrsg. S.W. Decht, W. Mett, Oberpfaffenhofen. S. 49-59

IGU (Internationale Geographische Union, Kommission Geographische Erziehung) (1992): „Internationale Charta der geographischen Erziehung.“ Chairperson: Hartwig Haubrich. Unter: <http://www.erdkunde.com/info/charta.htm> - 13.1.2005

Neumann-Mayer, Ulrike-Petra (2005): „Der Zugang zu Satellitenbildern in der Orientierungsstufe – Probleme und Möglichkeiten.“ Dissertation an der Universität Kiel, unter [http://e-diss.uni-kiel.de/diss\\_1657/](http://e-diss.uni-kiel.de/diss_1657/) (10.4.2006)

Weidenmann, Bernd (Hrsg.) (1994): „Wissenserwerb mit Bildern“.



# Produkte der Fernerkundung als Wegbereiter für eine schulische Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE)

Von Robert Roseeu (Robert.Roseeu@umweltspione.de),  
Hollerweg, 882194 Gröbenzell

## 1. Bildungsstandards zur schulischen BNE, jüngste Entwicklung

„**Transfer-21**“ hat den **fachübergreifenden Projektansatz** entwickelt, dazu gibt es 10 abstrakt formulierte Teilkompetenzen zur BNE, die am Ende der 10.Jgst. erreicht werden sollen.

„**Globale Entwicklung**“ beschreitet den Domänenansatz, um eine **fachliche Integration von BNE in den Regelunterricht** verschiedener Fächer zu sichern.

Aus beiden Arbeitsgruppen entstand im Auftrag der Kultusminister-Konferenz (KMK) im Sommer 2006 eine Empfehlung zur Integration der BNE in die schulische Ausbildung.

Eine zentrale Forderung in der schulischen BNE ist der Erwerb von „**Gestaltungskompetenz**“.

Dahinter verbirgt sich eine Fülle von Einzelforderungen, wie

- systematischer Kompetenzerwerb,
- selbst organisiertes Handeln,
- fachspezifische und fachübergreifende Handlungsfelder,
- aufbauendes Lernen,
- ergebnisorientierte Bildungssteuerung,
- Perspektivenwechsel,
- echtes Handeln in der Gruppe,
- aussichtsreiche Handlungsmöglichkeiten für den Einzelnen und für die Lerngruppe.

**Unterrichtsbeispiele für die Sekundarstufe I sollten diesen Anforderungen ganzheitlich entsprechen.**

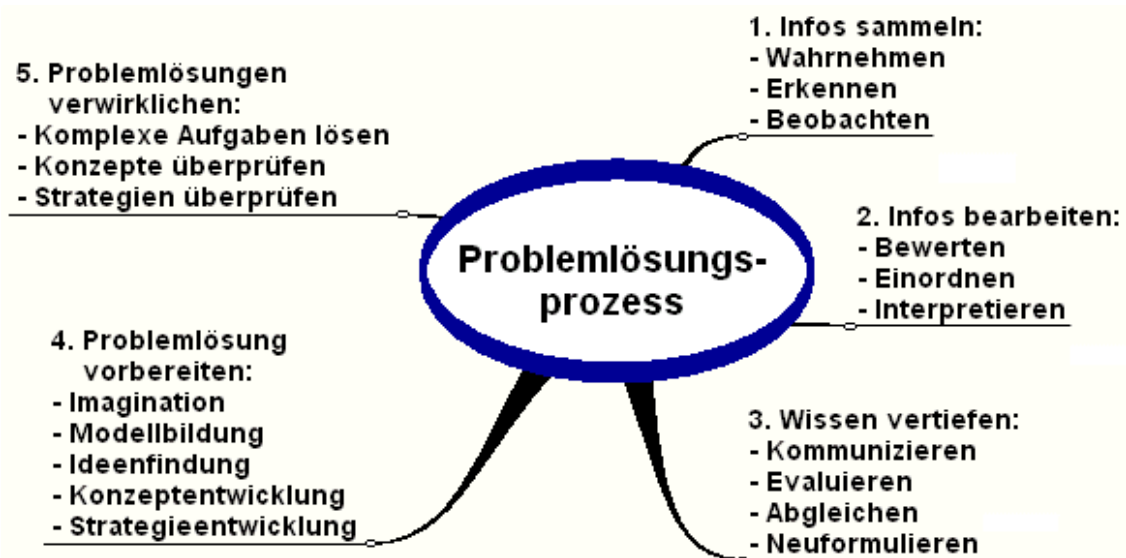
Für die Inhalte gibt das fachliche Referenzcurriculum zur „Globalen Entwicklung“ zahlreiche Hinweise und Fach-Anwendungen, in der „Orientierungshilfe Bildung für

nachhaltige Entwicklung in der Sekundarstufe I“ finden sich wegweisende Projekt-Beispiele zu den 10 Teilkompetenzen.

## 2. Unsere Wege zur Umsetzung der KMK-Empfehlungen zur BNE

Im Jugendprogramm „Umweltspione“ an der UMWELT-AKADEMIE München und in den Geowerkstätten München und Benediktbeuern versuchen wir Wege für den Erwerb von Gestaltungskompetenz für den inner- und außerschulischen Unterricht zu entwickeln und mit Schülergruppen und Lehrern zu evaluieren. Die Schulgeographie steht derzeit im Mittelpunkt unserer Arbeiten. Mehr dazu: <http://umweltspione.de> <http://satgeo.de> <http://satgeo.zum.de>

Unser primärer Ansatz ist hierbei der **Problemlösungsansatz kombiniert mit Peer-Group-Education**. Diesen Ansatz nutzen wir bei der Arbeit mit Fernerkundungsdaten, er dient als methodischer Leitfaden.



Das Konzept „Problemlösungsprozess“ kombiniert die Ansätze von de Haan (Berlin) und Jürgen Rost (Kiel), ich habe ihn um das Konzept "Imagination" von Peter Fauser (Jena) ergänzt, damit die schulische Umsetzung leichter konkretisiert werden kann. Die „Station 4“ zur **Imagination/Entwicklung von Vorstellungen** spielt derzeit in der Schule noch keine Rolle, sie ist aber Voraussetzung dafür, dass erfolgreiches Handeln



geschieht. Letzteres ist vor allem in der Jugendarbeit von zentraler Bedeutung, weil es zur Selbstsicherheit Jugendlicher beiträgt.

**Der Problemlösungs-Prozess wird von uns iterativ benutzt**, d.h. z.B. die Schritte 1 mit 5 werden zur Erarbeitung einer beliebigen Übungseinheit **systematisch** durchlaufen. Die Ergebnisse werden schrittweise hinterfragt und verbessert.

**Beispiel:** Methodische Verbesserung des Wahrnehmungsvermögens.

Der Trainer gestaltet eine Übungseinheit zum Thema „Flurformen“, die Schüler beginnen mit Schritt 1, ein abschließender Test realisiert Schritt 5, z.B. „Was sehe ich im Satellitenbild oder Orthofoto **warum?**“

Für den Lehrer läuft der gleiche Prozess umgekehrt ab: Eine komplexe Aufgabenstellung (Schritt 5) steht am Anfang, er muss rückwärts denken. Die Schritte 1 bis 5 müssen für die Schüler vorbereitet werden, damit Schritt 5 gelingt. Im Peer-Group-Education-Ansatz treten Schüler zeitweise an die Stelle des Lehrers, der Lehrer begleitet sie dann fachkundig.

**Beispiel:** Aufgabe an die Schülergruppe: „Organisiert eine Beobachtungs-Rally zu Flurformen“. Der Lehrer gestaltet hierzu ein geeignetes Lernarrangement.

Die Lösung dieser Aufgabe ist gleichzeitig die Evaluation vorausgegangener Lernprozesse.

Der **Problemlösungsprozess** ist ein Denkmodell zum Arbeitsprozess „**Entwicklung von Gestaltungskompetenz**“. Geeignete Inhalte dienen als Beispiele für die praktische Umsetzung.

Der Problemlösungsprozess sollte in vier unterschiedlichen Lernebenen E0 bis E3 erfolgen.

Lehrer und Schüler benutzen den gleichen Prozess in der Regel auf unterschiedlichen Ebenen:

- **E3:** In der **Meta-Ebene** wird der **Problemlösungsprozess in seinen Stationen** systematisch erfasst (Elemente, Reihenfolge, Funktionen). Es entsteht das Modell/Konzept „**Gestaltungskompetenz**“ als **didaktischer Überbau**.
- **E2:** In der **begrifflichen Ebene** werden die Teilprozesse entwickelt und die **Vorstellungen vom Sinn einzelner Stationen** vertieft. Es entsteht das Modell/Konzept „**Informationsverarbeitung**“ mit seinem Informations-, Wissens- und Kompetenzraum als **methodischer Überbau**.
- **E1:** In der **methodischen Ebene** wird die **praktische Umsetzung** erlernt. Allgemeine Methoden (z.B. nach Klippert) und fachspezifische Methoden werden exemplarisch vorgestellt und von Schülern adaptiert, nennt sich Handlungsorientierung. Es entstehen Verhaltensmuster mit „**Rezeptstruktur**“ als **arbeitstechnischer Überbau**.
- **E0:** In der **Anwendungs-Ebene** sind **komplexe Aufgaben** mit offenem Ausgang zu lösen. Divergente Aufgabenstellungen sind die Regel, die kreative Seite der Problemlösung steht im Mittelpunkt. Hier finden sich die „**Trainingsszenarien**“ für ererbte und erlernte Verhaltensmuster auf dem Weg zu einer BNE bei Vorgabe von geeigneten Lernarrangements.

**Der Problemlösungsprozess braucht für eine geographische BNE geeignete Lernfelder.**

Die Begriffe "Lebensraum", "Lebensqualität" und "Lebensansätze" werden zu Gestaltungsinhalt und Rückkoppelung zugleich, sie verbinden wir mit Fernerkundungsprodukten.

- **Lebensraum** "Kulturlandschaft" als Ort/Schauplatz für Wohnen, Arbeiten und Freizeit: Wirtschaft, Ökologie, Technik, Politik, ...
- **Lebensqualität** als Spiegel des eigenen Seins und Empfindens, gesteuert durch Werbung, durch die Gruppe, durch die Familie, ... verknüpfen wir mit dem Lebensraum.
- **Lebensansätze** als Vision für die eigene Entwicklung, abhängig von der Zugehörigkeit zu einzelnen Lebensstilgruppen, ... schaffen auch für den Lebensraum neue Zukunftsaspekte.

Benutzt man den ganzheitlichen Ansatz bzw. die Begrifflichkeit der konstruktivistischen **Imaginationslehre** (Fauser&Madelung), so sieht der **Problemlösungs-Prozess** so aus:

Wahrnehmungs-, Kommunikations- und Bewertungskompetenz helfen bei der Entwicklung der individuellen Vorstellung (Imagination) zu Lebensraum, Lebensqualität und Lebensansatz. Diese Vorstellungen bilden dann eine Brücke zwischen Entwurf und Ausführung, zwischen Gedanken und Taten. Wenn auch diese Übergänge gelingen, so spricht man von Handlungskompetenz. Handlungskompetenz aufbauend auf den Vorstellungen "Lebensraum", "Lebensqualität" und "Lebensansatz" wird zur Gestaltungskompetenz im Sinne einer geographischen Bildung für nachhaltige Entwicklung. Produkte der Fernerkundung liefern das notwendige Lernarrangement.

### 3. Inhaltliche Wege zur Entwicklung von geographischer Gestaltungskompetenz

Der Begriff "Globalisierung" enthält alle 5 nachfolgenden Dimensionen unseres geographischen Denkens und Wahrnehmungsvermögens:

- 1. Dimension: **Reichweite**
- 2. Dimension: **Flächenbezug**
- 3. Dimension: **Relief, Raum und Höhe**
- 4. Dimension: **Im Wandel der Zeit**
- 5. Dimension: **Lebensqualität in Raum und Zeit**

Die Veränderungen auf der Erde im letzten Jahrzehnt in diesen 5 Bereichen der Erlebniswege führen auf eine Operationalisierung von "Globalisierung". Damit kann "Globalisierung lernen" als Beitrag zur BNE konkretisiert werden. Mehr dazu unter den Beispielen.

#### 4. Wie sich die unterschiedlichen BNE-Konzepte mit Fernerkundungs-Produkten ausgestalten lassen:

##### **“Gestaltungskompetenz“ ist mehr als nur Handlungsorientierung:**

- Informationsverarbeitung im Satellitenbild ist eine schulische Lösung  
**Beispiel:** „Das grüne Kulturerbe von oben, von der Erkennbarkeit zur funktionalen Interpretation“
- Problemorientierte Aufgabenstellungen insbes. zum Nahraum der Schule  
**Beispiel:** „Der NDVI als naturwissenschaftlicher Zugang zur Kulturlandschaft“
- Gestaltung virtueller Exkursionen, Interpretation mit Perspektivenwechsel  
**Beispiel:** „Ein kleines GIS im Satellitenbild oder Orthofoto entwickeln“
- Optimierung von Satellitenbildern aus Sensormesswerten  
**Beispiel:** „Das sichtbare und das infrarote Licht mit Pixel-GIS auswerten“

##### **“Globalisierung lernen“ meint auch den globalen Vergleich**

##### **“Was ist anders als bei uns?“ ist die Leitfrage, die mit Satellitenbildern besonders gut gelingt:**

- Von virtuellen Welten und realen Welten, Bilder und Naturbegegnung zusammen führen  
**Beispiel:** Was sagt uns das infrarote Licht?
- Vom Perspektivenwechsel und unterschiedlichen geographischen Sichtweisen  
**Beispiel:** Typische geographische Sichtweisen und Topographie-Kenntnisse
- Mit Wiki zu Umweltthemen kommunizieren, das Bild in der Schreibkultur zu Geodaten  
**Beispiel:** Interpretation und Meinungsvielfalt, ein Projekt zu Deutschland
- Mit Internet und Google-Earth ins fliegende Klassenzimmer  
**Beispiel:** Der Zugang zu historischen und aktuellen Schauplätzen des Weltgeschehens

##### **Der Lebensraum = Lernraum – Ansatz**

##### **Wie lässt sich der eigene Lebensraum nachhaltig entwickeln?**

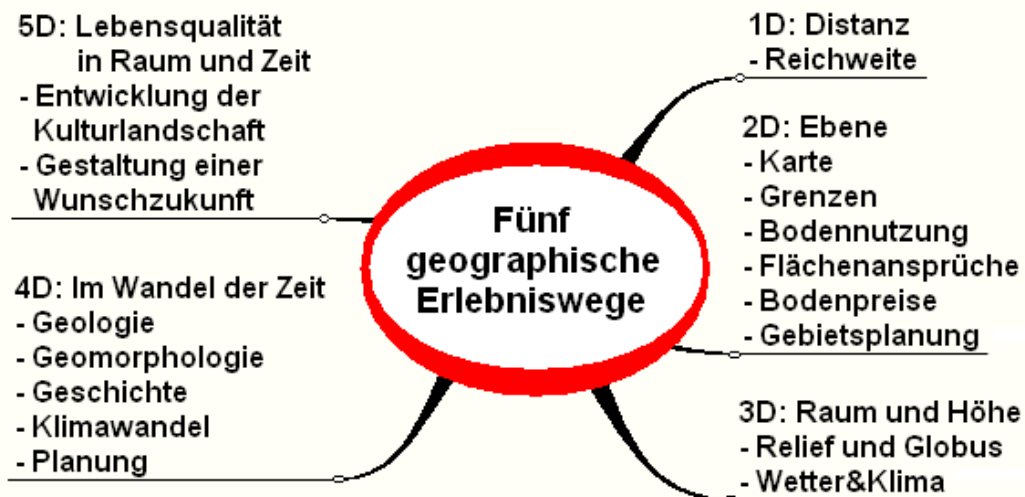
- Zukunftswerkstatt „Kulturlandschaft“
- Die Ressourcen im eigenen Lebensraum erkunden

- Das Kulturerbe nicht nur in Denkmälern, sondern auch in der Landschaft suchen  
**Beispiel:** „Das grüne Kulturerbe von oben, wie kirchliche und weltliche Macht die Kulturlandschaft prägen“

## 5-dimensionale Erlebniswege in der Kulturlandschaft

Wie lässt sich nachhaltige Entwicklung über Bildinterpretation und Planspiele bewusst machen?

- Distanz – Fläche – Raum – Zeit – Lebensqualität im Satellitenbild erkunden



5. Und so sieht dann die Schulpraxis aus, Fragen ins Plenum:

- Meinung eines Seminarlehrers: „Jede Atlaskarte ist besser als ein Satellitenbild.“  
„Wie lässt sich dieses **Akzeptanzproblem** lösen?“
- „Satellitenbilder sind keine Fotos“ – ein interdisziplinärer Denkansatz zum Konsum von Satellitenbildern  
Wie lässt sich das **Grundwissen zur Fernerkundung im Unterricht** einbringen?
- „Hemmschwelle Computer: Handicap für viele Lehrer“  
Womit beginnt man am besten, wenn man in die **Lehrerfortbildung** geht?  
Mit Printware, mit digitalen Produkten oder mit der digitalen Bildverarbeitung?

Hinweis: Der Beitrag mit verlinkten Beispielen wird auf <http://umweltspione> zu finden sein.



# E-Learning-Materialien zur Aus- und Weiterbildung in der Fernerkundung

Jochen Schiewe (jschiewe@igf.uni-osnabrueck.de), Beata Grendus (bgrendus@igf.uni-osnabrueck.de), Institut für Geoinformatik und Fernerkundung (IGF), Universität Osnabrück, Seminarstr. 19a/b, 49069 Osnabrück

## 1. Einleitung

Die Aus- und Weiterbildungslandschaft im deutschsprachigen Raum erlebt derzeit tief greifende strukturelle und inhaltliche Diskussionen sowie entsprechende Umstellungen. Insbesondere die Einführung neuer Strukturen in der Hochschulausbildung (Stichworte: Bachelor und Master) verfolgt die Ziele einer stärkeren Flexibilisierung und Modularisierung sowie einer ständigen Aktualisierung der Lehrangebote.

In diesem übergeordneten Kontext wird dem komplementären oder substituierenden Einsatz elektronischer Medien zu Ausbildungszwecken – zusammengefasst unter dem Terminus „E-Learning“ – eine immer wichtigere Rolle beigemessen. Eine Reihe von öffentlich geförderten Initiativen in den deutschsprachigen Ländern hat in den letzten Jahren dazu beigetragen, dass eine Reihe hochwertiger E-Learning-Materialien auch für den Bereich der Fernerkundung entwickelt worden sind. Stellvertretend hierfür seien hier die Projekte *geoinformation.net* (PLÜMER & ASCHE 2004), *gimolus* (MÜLLER & KAULE 2004) oder *WEBGEO* (SAURER, FUEST & GOSSMANN 2004) genannt. Für einen Überblick siehe auch SCHIEWE (2005).

Im Folgenden soll basierend auf einem Angebotsüberblick (Abschnitt 2) sowie der Vorstellung von spezifischen Fernerkundungs-Modulen aus dem Projekt *Fernstudienmaterialien Geoinformatik (FerGI)* (Abschnitt 3) eine Bewertung zum aktuellen Status des E-Learning als komplementäre bzw. substituierende Lehr- und Lernform gegeben werden (Abschnitt 4).

## 2. Überblick über E-Learning-Angebote zur Fernerkundung

Im Folgenden sollen ausgewählte Fernstudienangebote sowie internetgestützte E-Learning-Materialien zu Themen der Fernerkundung dargestellt werden. Hierbei ist festzuhalten, dass die meisten Angebote eine Teilmenge der Geoinformatik (auch: Geomatik), Geodäsie oder Geographie darstellen.

Im Bereich der **Fernstudienangebote** ist im deutschsprachigen Raum (und wohl auch international) im Bereich Geoinformatik das UNIGIS-Konsortium ([www.unigis.at](http://www.unigis.at)) federführend. UNIGIS offeriert folgende Optionen:

- *UNIGIS MSc* ist ein zweijähriger postgradualer Studiengang mit dem Abschluss eines Masters of Science - MSc (GIS).
- *UNIGIS professional* führt als einjähriger, berufsbegleitender Universitätslehrgang zu dem Zertifikat „Akademischer Geoinformatiker“.
- *UNIGIS express* ist die Vollzeit-Variante des *UNIGIS professional* (Dauer: 6 Monate) und hat sich als Weiterbildungsmaßnahme für Arbeitslose etabliert.

Hinsichtlich einzelner **E-Learning-Module** muss konstatiert werden, dass es für die Fernerkundung (noch) keine allgemein akzeptierten **Portale** als zentrale Einstiegsmöglichkeit in das heterogene Angebot zur Fernerkundung gibt. Die Portale im internationalen bzw. nationalen Raum mit der derzeit wohl umfassendsten Aufstellung von Modulen sind:

- Internationale Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (ISPRS):  
<http://www.commission6.isprs.org/wg4/>
- Fernstudienmaterialien Geoinformatik (FerGI):  
[www.fergi-online.de/angebot/elearning](http://www.fergi-online.de/angebot/elearning)

Im Folgenden werden **ausgewählte E-Learning-Materialien** aufgeführt. Diese Aufstellung basiert auf einer Marktstudie des Harzer-Verlages und des Kompetenzzentrums für Geoinformatik (GiN) (vgl. Grendus et al., 2005) sowie eigenen Untersuchungen (Schiewe et al., 2006):

Nationale E-Learning-Projekte in der Fernerkundung
<b>CASTLE - Computer Aided System for Teleinteractive Learning in Environmental Monitoring</b> (Geographisches Institut, Uni Kiel) <a href="http://www.uni-kiel.de/ewf/geographie/allgemei/Hassenpflug/castle.htm">www.uni-kiel.de/ewf/geographie/allgemei/Hassenpflug/castle.htm</a>
<b>Einführung in die Fernerkundung</b> (Instituts für Geodäsie und Geoinformationstechnik, TU Berlin) <a href="http://www.fpk.tu-berlin.de/%7Efpk/cbt/fernerkundung/start/index.html">www.fpk.tu-berlin.de/%7Efpk/cbt/fernerkundung/start/index.html</a>
<b>Einführung in die digitale Fernerkundungsmethodik in den Geowissenschaften</b> (IVV Geowissenschaften, Uni Münster) <a href="http://ivvgeo.uni-muenster.de/Vorlesung/FE_Script/Start.html">ivvgeo.uni-muenster.de/Vorlesung/FE_Script/Start.html</a>
<b>Einführung in die Fernerkundung</b> (Geographisches Institut, Uni Kiel) <a href="http://www.uni-kiel.de/ewf/geographie/forum/unterric/material/einf_fe/index.htm">www.uni-kiel.de/ewf/geographie/forum/unterric/material/einf_fe/index.htm</a>
<b>E-Learning zur Fernerkundung</b> (Institut für Geographische Wissenschaften, FU Berlin) <a href="http://www.geog.fu-berlin.de/de/Studium/elearning.shtml">www.geog.fu-berlin.de/de/Studium/elearning.shtml</a> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fernerkundung und Geoinformationssysteme I</li> <li>• Fernerkundung und Geoinformationssysteme II (im Aufbau)</li> <li>• Einführung in die Geodatenvisualisierung (im Aufbau)</li> </ul>
<b>E-Learning zur Fernerkundung</b> (Interdis. Zentr. f. Musterdynamik und angewandte Fernerkundung, Uni Potsdam) <a href="http://www.uni-potsdam.de/imaf/lectures/ge_elearn.html">www.uni-potsdam.de/imaf/lectures/ge_elearn.html</a>
<b>Fernstudienmaterialien Geoinformatik (FerGI)</b> (Institut für Geoinformatik und Fernerkundung, Uni Osnabrück) <a href="http://www.fergi-online.de">www.fergi-online.de</a> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Airborne Laserscanning (Deutsch und Englisch)</li> <li>• Segmentierungsverfahren in der Fernerkundung</li> <li>• Fusion von Fernerkundungs- und GIS-Daten (Englisch)</li> </ul>



<p><b>geoinformation.net</b> (Institut für Kartographie und Geoinformatik, Uni Bonn)  <a href="http://www.geoinformation.net">www.geoinformation.net</a></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fernerkundung</li> </ul>
<p><b>Geographie und Fernerkundung</b> (Institut für Geographie, Uni München)  <a href="http://www.geographie.uni-muenchen.de/iggf/multimedia/Start.htm">www.geographie.uni-muenchen.de/iggf/multimedia/Start.htm</a></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einführung in Fernerkundung</li> <li>• Physik für Fernerkundler</li> <li>• Arbeitsmethoden der Fernerkundung</li> <li>• Abbildende Stereoskopie</li> </ul>
<p><b>GEOvLEx – Webbasierte Geovisualisierungen</b> (Uni Halle-Wittenberg)  <a href="http://www.geovlex.de/">www.geovlex.de/</a></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einführende Aspekte zur Fernerkundung</li> <li>• Grundlagen der Digitalen Bildverarbeitung</li> <li>• Temporale Auflösung von Fernerkundungsdaten</li> <li>• Spektrale und Geometrische Auflösung von Fernerkundungsdaten</li> <li>• Vegetationsklassifizierung mit Fernerkundungsdaten</li> <li>• Fernerkundungsdaten – Bildkatalog zu Strukturtypen mitteleuropäischer Bergbaufolgelandschaften</li> </ul>
<p><b>gimolus – GIS- und Modellgestützte Lernmodule für umweltorientierte Studiengänge</b> (Institut für Photogrammetrie, Uni Stuttgart) <a href="http://www.gimolus.de">www.gimolus.de</a></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Primäre Erfassung (Terrestrische Vermessungsmethoden, GPS-Positionsbestimmung, Fernerkundung, Photogrammetrie, Sachdatenerfassung)</li> </ul>
<p><b>Lexikon der Fernerkundung</b>  <a href="http://www.fe-lexikon.info">www.fe-lexikon.info</a></p>
<p><b>Satellitengeographie im Unterricht</b> (Zentrale für Unterrichtsmedien im Internet e.V.(ZUM); DFG)  <a href="http://www.satgeo.de">www.satgeo.de</a></p>
<p><b>Internationale E-Learning-Projekte in der Fernerkundung</b></p>
<p><b>Basics of Remote Sensing from Satellite</b> (National Oceanic &amp; Atmospheric Administration)  <a href="http://www.orbit.nesdis.noaa.gov/smcd/opdb/tutorial/intro.html">www.orbit.nesdis.noaa.gov/smcd/opdb/tutorial/intro.html</a></p>
<p><b>Belgian Earth Observation (BEO)</b> (EODesk)  <a href="http://telsat.belspo.be/beo/flash_menu.htm">telsat.belspo.be/beo/flash_menu.htm</a></p>
<p><b>eduspace - learning with earth observation</b> (esa)  <a href="http://www.eduspace.esa.int">www.eduspace.esa.int</a></p>
<p><b>Einführung in Fernerkundung und Digitale Bildverarbeitung</b> (Uni Salzburg)  <a href="http://www.sbg.ac.at/geo/student/fernerkundung/index.htm">www.sbg.ac.at/geo/student/fernerkundung/index.htm</a></p>
<p><b>Introduction to Remote Sensing</b> (University of Hawaii)  <a href="http://satftp.soest.hawaii.edu/space/hawaii/vfts/oahu/rem_sens_ex/rsex.spectral.1.html">satftp.soest.hawaii.edu/space/hawaii/vfts/oahu/rem_sens_ex/rsex.spectral.1.html</a></p>
<p><b>NASA's Remote Sensing Tutorial</b> (Goddard Space Flight Center (NASA))  <a href="http://rst.gsfc.nasa.gov">rst.gsfc.nasa.gov</a></p>
<p><b>Principles of Remote Sensing</b> (Singapore Science Center)  <a href="http://www.science.edu.sg/ssc/virtual_ssc.jsp?type=4&amp;root=140&amp;parent=140&amp;cat=239">www.science.edu.sg/ssc/virtual_ssc.jsp?type=4&amp;root=140&amp;parent=140&amp;cat=239</a></p>
<p><b>Remote Sensing Tutorials</b> (Canada Centre for Remote Sensing)  <a href="http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/learn/tutorials/tutorials_e.html">www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/learn/tutorials/tutorials_e.html</a></p>

### 3. Angebot des Projektes FerGI

Das Projekt *Fernstudienmaterialien Geoinformatik (FerGI)* wird Ende 2006 nach einer Laufzeit von drei Jahren beendet werden. Das Vorhaben ist in das Programm "Fernstudium" bei der Bund-Länder-Kommission integriert und wird zu gleichen Teilen vom Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie dem Ministerium für Wissenschaft und Kultur des Landes Niedersachsen gefördert. In diesem Verbundprojekt sind insgesamt fünf Partner vereinigt: Für die fachliche Expertise zeichnen die Universitäten in Osnabrück und Hannover (mit zwei Instituten) sowie die Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven verantwortlich, während für den Bereich Mediendidaktik und Evaluation das Zentrum für Fernstudium und Weiterbildung der Universität Hildesheim zuständig ist.

Im Folgenden werden die wesentlichen konzeptionellen Aspekte des Projektes (Abschnitt 3.1) sowie die spezifischen Module zu Themen der Fernerkundung (Abschnitt 3.2) vorgestellt.

#### 3.1 Konzept FerGI

##### 3.1.1 Modulentwicklungen

Das zentrale Ziel des Projektes FerGI besteht darin, sich auf aktuelle und spezielle **Themen** zu konzentrieren, wobei die komplementäre Know-How der Partner genutzt sowie Mehrfachentwicklungen und Überschneidungen mit bereits vorhandenen Materialien (z.B. Lehrbüchern) vermieden werden sollen.

Insgesamt werden **24 Module** entwickelt, die punktuell Themen der Erfassung, Verwaltung, Analyse und Präsentation von räumlichen Daten sowie hierauf aufbauenden Anwendungen behandeln (siehe Abbildung 1). Es ist ganz bewusst nicht die Absicht, einen kompletten Studiengang, sondern kleine Module mit einem **Umfang** von ca. 0,5 bis maximal 2 Leistungspunkten nach dem European Credit Transfer System (ECTS) anzubieten.

Primäre **Zielgruppe** für die Materialien sind Studierende, dennoch sind die Module auch für andere Personen für Weiterbildungszwecke nutzbar (siehe auch Abschnitt 2.4). In Abhängigkeit vom Thema sowie der Zielgruppe werden die Module in deutscher und/oder in englischer **Sprache** implementiert.

Aus technischer Sicht verfolgt FerGI einen möglichst einfachen und flexiblen Ansatz. Grundsätzlich werden alle Materialien im HTML-Format erstellt, um eine Nutzung in allen gängigen Browsern zu ermöglichen (**standalone Basisversion**). Im Gegensatz zu einigen anderen größeren Vorhaben werden also **Lernplattform-unabhängige** Modulentwicklungen verfolgt. Hiermit wird den heterogenen Nutzeranforderungen Rechnung getragen, die sich hauptsächlich aus der einheitlichen Einführung von Lernplattformen

an einzelnen Hochschulen oder Bildungsinstitutionen ergeben. Eine Aufgabe des Projektes besteht darin, Portierungen der erstellten „Basisversionen“ auf verschiedenen verfügbaren Lernplattformen (z.B. *Moodle*, *LearningSpace*, *ILIAS/Stud.IP*) nachzuweisen.

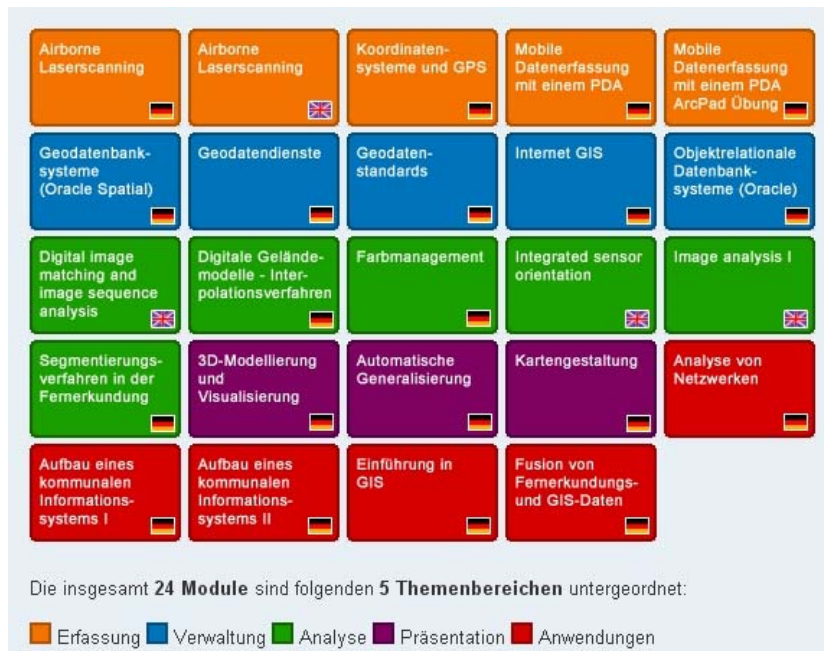


Abb. 1: Übersicht über FerGI-Module

### 3.1.2 Nutzung

Ein weiteres Ziel des Projektes FerGI besteht darin, die erstellten Module zum einen so früh wie möglich, zum anderen auf möglichst breiter Basis einzusetzen. Hiermit soll nicht nur der Einsatz als solcher, sondern insbesondere eine Weiterentwicklung auf Grundlage von Rückmeldungen der Nutzer gewährleistet werden.

Grundsätzlich können zwei Nutzungsszenarien unterschieden werden: Zum einen erfolgt die Einbindung in die konventionelle Präsenzlehre durch einen teilweisen Ersatz oder eine Ergänzung der klassischen Lehrformen wie Vorlesungen, Seminare oder Übungen (**blended learning Ansatz**). Während der Modul-Bearbeitung findet prinzipiell eine Betreuung mit asynchroner Kommunikation statt, d.h. per E-Mail oder Foren.

Zum anderen ist es aber auch möglich, die Module im **Selbststudium** zu bearbeiten. In diesem Kontext werden die Materialien im Rahmen des so genannten *FerGIfree*-Angebotes allen Interessierten zur freien Verfügung gestellt. Dies schließt allerdings nicht die Betreuung oder die Bereitstellung anderer Dienstleistungen wie z.B. die Anpassung an Lernplattformen oder Übersetzungen ein. Für die freie Nutzung werden lediglich eine formlose Registrierung sowie ein abschließendes Feedback mit Hilfe eines elektronischen Fragebogens verlangt. Der Aufruf der Module erfolgt gebündelt

über die Projekt-Website <http://www.fergi-online.de>. Die Resonanz auf dieses Angebot von derzeit (Dezember 2006) über 625 registrierten Personen aus unterschiedlichen Bereichen ist als sehr positiv einzustufen.

Die Nutzung beider beschriebener Varianten findet in der Regel **online** statt. Daneben ist aber auch eine **offline**-Nutzung mit Einschränkungen hinsichtlich der Kommunikationsmöglichkeiten und Hyperlinks möglich.

Eine Besonderheit des Projektes stellt die Portierbarkeit der Module auf einen **Personal Digital Assistant (PDA)** dar, die für bestimmte Themen bzw. Anwendungsfälle wie z.B. für das Thema „Mobile Datenerfassung mit den PDA“ (siehe Abbildung 2) sinnvoll erscheinen. FerGI hat damit einen der bisher seltenen Beiträge zum mobilen Lernen (**mLearning**) geschaffen.

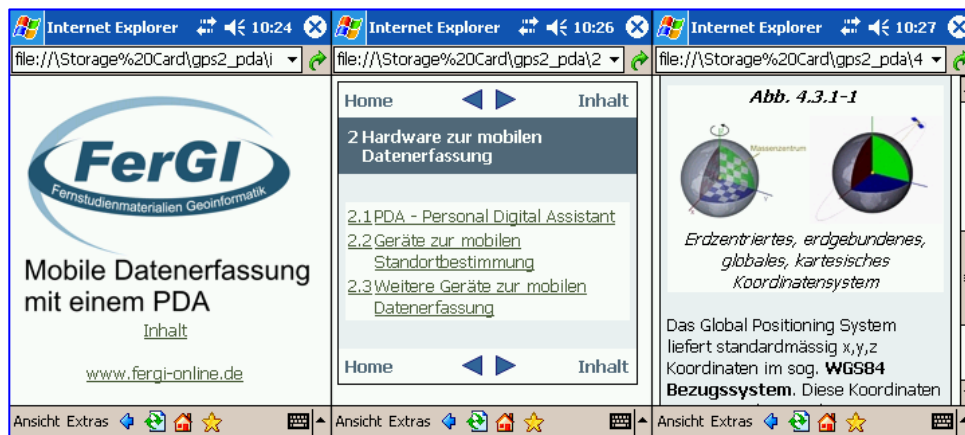


Abb. 2: Ausgewählte Screenshots eines FerGI-Moduls zur Nutzung auf einem PDA

### 3.1.3 Evaluation

Die Qualitätssicherung im Projekt wird durch eine Mischung aus formativer und summativer Evaluation gewährleistet. Neben einer internen Gegenlesung der Module durch die Projektpartner werden diverse Befragungen durch analoge oder elektronische Fragebögen durchgeführt, die die Perspektiven der Studierenden und Lehrenden trennen. Hierbei stehen neben konkreten Fragen zum Modul auch übergeordnete Aspekte wie der Stellenwert des E-Learning im Fokus.

Erste Auswertungen bezüglich des **Einsatzes von E-Learning allgemein** haben ergeben, dass die Nutzer den größten Mehrwert in der flexibel zeitlichen Verwendbarkeit sehen. Grundsätzlich sehen sowohl Dozenten als auch Studierende E-Learning-Materialien als Ergänzung, nicht aber als Ersatz zu konventionellen Lehrveranstaltungen an.

Hinsichtlich der **FerGI-Module** werden in der Regel der klare Aufbau sowie die inhaltliche Fokussierung auf aktuelle und wichtige Themen lobend hervorgehoben. An einigen Stellen wird der Wunsch nach noch mehr Interaktivität geäußert. Die Tatsache,

dass die Kommunikationsmöglichkeiten insbesondere die Foren wenig genutzt werden, lässt sich auf die Einsatzszenarien zurückführen, die in der Regel asynchron verlaufen. Insgesamt werden die FerGI-Module von den Nutzern mit der Schulnote „2,0“ bewertet.

### **3.2 Module zur Fernerkundung**

Eine Marktstudie des Harzer-Verlages und des Kompetenzzentrums für Geoinformatik (GiN) (vgl. GRENDEL, HARZER & SCHIEWE, 2005) sowie eine anschließende eigene weitergehende Untersuchung haben gezeigt, dass es eine relativ große, aber auch unübersichtliche Masse an E-Learning-Materialien zum Thema Fernerkundung gibt (siehe auch Aufstellung in Abschnitt 2). Bei genauerer Betrachtung der Inhalte kann festgestellt werden, dass es sich zumeist um allgemein einführende und weniger um spezielle Sachverhalte der Fernerkundung handelt, und diese je nach Zielsetzung und Zielgruppe qualitativ und quantitativ sehr stark variieren bzw. mehr oder minder aktuell gehalten sind.

Vor diesem Hintergrund befassen sich im E-Learning-Projekt FerGI drei Module mit speziellen Aspekten der Fernerkundung, nämlich mit „Airborne Laserscanning“, „Segmentierungsverfahren in der Fernerkundung“ und „Fusion von Fernerkundungs- und GIS-Daten“. Diese wurden am Institut für Geoinformatik und Fernerkundung (IGF) der Universität Osnabrück entwickelt (siehe auch Screenshots in Abbildungen 3 und 4).

Das Modul „**Airborne Laserscanning**“ befasst sich mit flugzeuggestützten Laserscanning-Daten, die sich zu einer wichtigen Datenquelle für die Ableitung von Digitalen Höhen-Modellen und zur Landschaftsmodellierung entwickelt haben. Der Schwerpunkt dieses Moduls liegt auf der Beschreibung des Aufnahmeprinzips sowie der Qualität der Daten. Darüber hinaus werden wesentliche Aspekte der Auswertung (z.B. Normalisierung, Kombination mit Bilddaten) sowie einige Anwendungen skizziert. Da das Modul zu Projektbeginn zu allererst verwirklicht wurde, kam es bereits frühzeitig an den partizipierenden Hochschulen zum Einsatz und fungierte als Prototyp. Deshalb konnten mit diesem Modul die ersten Probleme in der Umsetzung erkannt und behoben werden. Erwähnenswert ist, dass die Firmen TopScan und TopoSys an der Gegenlesung beteiligt wurden.

Das Modul „**Segmentierungsverfahren in der Fernerkundung**“ beruht auf der Grundlage, dass insbesondere räumlich hoch auflösende Fernerkundungsdaten statt der klassischen pixelbasierten nun regionenbasierte Interpretationsansätze benötigen. Deshalb werden die unterschiedlichen Strategien zur Generierung der notwendigen Regionen beschrieben und die Ansätze zur regionenbasierten Klassifizierung theoretisch und an Praxisbeispielen vorgestellt. Das Modul wurde ebenfalls nach seiner Fertigstellung bereits mehrfach erfolgreich eingesetzt.

2 Aufnahme

### 2.1 Aufnahmegrößen: Grundgleichung

Das Ziel der Laserscanning-Messungen besteht in der Bestimmung von 3-dimensionalen Koordinaten in einem gewünschten Referenzsystem. In Vektorschreibweise ergibt sich die Berechnung des **Vektors p** durch Addition

- des **Ortsvektors f** zum Sensor und
- des **Messvektors d** zwischen Sensor und Objektpunkt.

Abb. 2-1: Berechnung Vektor p

Der **Ortsvektor f** zum Sensor wird durch Navigation (GPS-f → IMU-Messungen) und der **Messvektor d** durch Laserscanning-Messungen bestimmt. Ferner sind exakte Kalibrierungs- und Einbaudaten des Sensors notwendig. Die Aufnahme dieser Daten wird im Folgenden näher betrachtet.

© PD Dr.-Ing. Jochen Schiewe, 2004, Universität Osnabrück

2 Segmentierungsverfahren

### 2.2 Punktbasierte Strategien

Punktbasierte Ansätze beginnen über die gesamte Szene verteilt mit der Suche nach homogenen Elementen (Grundsatz der Wertähnlichkeit) - sie starten also im Merkmalsraum.

Hierzu werden globale Schwellwertoperationen angewendet (einen Überblick über Schwellwertoperationen geben z.B. [Jähne, 1997](#) oder [Jain et al. 1995](#)). Das bedeutet, dass solche Datenpunkte zusammengefasst werden, die einen einheitlichen oder zumindest ähnlichen Signal- oder Merkmalswert aufweisen. Der **Schwellwert** kann den Merkmalsraum in zwei bzw. mehrere Teile gliedern (→ **Binärbilder** bzw. → **Aquidensiten**). Die Wahl der Schwellwerte kann statisch oder dynamisch (adaptiv) auf Basis von Histogramm-Informationen erfolgen.

Da bei dieser Gruppierung das Prinzip der Nachbarschaft noch nicht berücksichtigt worden ist, erfolgt im zweiten Schritt (Szenen- bzw. Bildraum) eine **Zusammenhangsanalyse**: Hierbei werden räumlich zusammenhängende Elemente (Komponenten) gleicher Ausprägung (z.B. alle mit Grauwert "1") zu einer Region zusammengefasst (component labeling) - z.B. über die Suche in der N4- oder N6-Nachbarschaft.

**1. Schritt: Schwellwertoperation**

© Fisher 02

[zum Test](#)

**2. Schritt: Zusammenhangsanalyse**

Abb. 3: Exemplarische Seiten aus den Modulen „Airborne Laserscanning“ (links) sowie „Segmentierungsverfahren in der Fernerkundung“ (rechts)

Ableitung nDOM aus gegebenen DOM (graphisch)

Bitte geben Sie eine Antwort ein!

Führen Sie anhand der Grafik eine Normalisierung für das Höhenprofil durch.

X	Z (DOM)
0	2
5	10
10	5
15	15
20	13

Ermitteln Sie die Z-Werte (nDOM) für die fünf X-Werte (siehe Tabelle) und listen Sie diese mit Komma und Leerzeichen getrennt auf! Lösungsbeispiel: 5, 7, 10, 2, 8

[Prüfen](#) [Lösung](#)

Airborne Laserscanning

STARTSEITE MITGLIEDER SUCHEN HILFE  
LOGIN REGISTRIEREN

Wegweiser: [Startseite](#)

Willkommen **Gast!**  
Wenn Sie möchten, können Sie sich einen eigenen [Benutzernamen registrieren](#).

Gruppe	Forum	Beiträge	Letzter Beitrag	Moderatoren
Fragen zu den Kapiteln	<a href="#">Kapitel 1 - Einführung</a>	0	-	-
	<a href="#">Kapitel 2 - Aufnahme</a>	0	-	-
	<a href="#">Kapitel 3 - Auswertung</a>	0	-	-
	<a href="#">Kapitel 4 - Anwendungen</a>	0	-	-
Fachliche Fragen	<a href="#">Fachliche Fragen</a>	0	-	-
	<a href="#">Technische Fragen</a>	0	-	-
Allgemeine Fragen	<a href="#">Allgemeines</a>	0	-	-

Forenzeit: 07.12.2006 11:31 [Alle Foren als gelesen markieren](#)

**Legende**

Keine neuen Beiträge Neue Beiträge (für Mitglieder) Nur für Moderatoren Geschlossen

Abb. 4: Exemplarischer Test (links) sowie exemplarisches Forum (rechts) im Modul „Airborne Laserscanning“

Das Modul „**Fusion von Fernerkundungs- und GIS-Daten**“ basiert auf der Verfügbarkeit von multi-sensoralen und multi-source Daten aus dem Fernerkundungs- und GIS-Bereich, die nach geeigneten Fusionsverfahren verlangen. Im Theorieteil dieses Moduls werden die Grundlagen zur integrativen Verarbeitung gelegt wie z.B. Fusion auf verschiedenen Ebenen. Darüber hinaus werden Praxisbeispiele geschildert, die typische Datenquellen für häufige Anwendungen kombinieren.

## 4. Bewertung

In den letzten fünf Jahren sind gerade im deutschsprachigen Raum eine Reihe qualitativ hochwertiger E-Learning-Materialien zu Themen der Fernerkundung entwickelt und größtenteils frei verfügbar gemacht worden. Dieser Beitrag konzentrierte sich auf Module aus dem Projekt *Fernstudienmaterialien Geoinformatik (FerGI)*, die von interessierten Personen kostenfrei zur Aus- und Weiterbildung genutzt werden können. Hierbei wurde auch aufgezeigt, dass für einen erfolgreichen und nachhaltigen Einsatz von E-Learning-Materialien neben inhaltlichen, technischen und didaktischen Aspekten primär organisatorisch-strategische sowie ökonomische Faktoren von herausragender Bedeutung sind. Hierzu wurde ein Maßnahmenbündel als Lösungsansatz vorgestellt, das im FerGI-Projekt verfolgt wird.

Generell muss konstatiert werden, dass viele Materialien eine Teilmenge der Geoinformatik (auch: Geomatik), Geodäsie oder Geographie darstellen. Die Folge ist ein erschwerter – weil in diesen Disziplinen „versteckter“ – **Zugang** zu den Angeboten. In diesem Kontext ist auch zu beklagen, dass es nur eine unzureichende vor allem virtuelle Bündelung von Materialien zu einem allgemein bekannten und akzeptierten Portal gibt.

Mit den Entwicklungen aus den Hochschulen heraus ergibt sich schließlich das ernsthafte Problem der **Nachhaltigkeit**. Die meisten zumindest größeren Projekte sind der Gefahr ausgesetzt, dass nach Ende der Förderung keine weitere Pflege und Ergänzung stattfindet. Zwar wird in den Projektausschreibungen gefordert, Zukunftsmodelle aufzustellen, doch dies gestaltet sich aus einer Reihe von Gründen als schwierig. Insbesondere ist es aufgrund des bisher kleinen und unübersichtlichen Marktes im Bereich Geoinformatik und Fernerkundung wenig sinnvoll, klassische Geschäftsmodelle zu entwickeln. Ein echter Markt besteht lediglich für Fernstudiengänge, welcher aber durch das Angebot des UNIGIS-Konsortiums hinreichend abgedeckt ist. So wird von den meisten Entwicklern ein Verwertungsmodell verfolgt, das die kostenfreie Weitergabe der E-Learning-Materialien vorsieht. Eine tutorielle Betreuung wird aber nur selten angeboten.

Auch wenn bei dieser Bewertung eine Reihe von (selbst-)kritischen Aspekten adressiert worden sind - die übrigens für eine Vielzahl anderer Disziplinen ebenfalls Gültigkeit haben - so sollte aber doch festgehalten werden, dass E-Learning-Materialien im Weiterbildungsbereich zur Fernerkundung inzwischen eine akzeptierte und wertvolle Alternative zu anderen Lehrformen darstellen. Grundsätzlich sollte von E-Learning-Produkten nicht erwartet werden, dass sie zu einer signifikanten Kosteneinsparung im Aus- und Weiterbildungsbetrieb oder gar einem Ersatz von Lehrpersonen führen werden. Im Fokus bei der Entwicklung und dem Einsatz von E-Learning-Materialien steht derzeit vielmehr die Schaffung einer alternativen bzw. ergänzenden Lehrform, die

hinsichtlich räumlicher und zeitlicher Flexibilität der Lernenden sowie erweiterter didaktischer Mittel einen Qualitätsgewinn bewirken soll.



## Literatur

- Grendus, B., Harzer, B. & Schiewe, J., 2005: Ergebnisse einer Umfrage unter Entwicklern, Anbietern und Endnutzern von E-Learning-Angeboten im GIS-Bereich. Beitrag zur ersten GIS-Ausbildungstagung 2005, Potsdam, auf CD-ROM.
- Müller, M. & Kaule, G., 2004 (Hrsg.): E-Learning mit GIS- und Modellanwendungen. Ergebnisse des Projektes gimolus. Wichmann-Verlag.
- Plümer, L. & H. Asche, 2004 (Hrsg.): Geoinformation – Neue Medien für eine neue Disziplin. Wichmann-Verlag.
- Saurer, H., Fuest, R. & H. Gossmann, H., 2004: WEBGEO: Geographie Online lernen! - Die nachhaltige Integration neuer Medien in die Grundausbildung. In: Plümer, L. & Asche, H. (Hrsg.): Geoinformation - Neue Medien für eine neue Disziplin, Wichmann-Verlag, 167-178.
- Schiewe, J., 2005: E-Learning-Angebote zur Aus- und Weiterbildung in der Kartographie: Status und Bewertung. Kartographische Nachrichten, 55(5), 250-257.
- Schiewe, J., 2006: Verwertungsmodelle für E-Learning-Materialien zur Geoinformatik. Tagungsband zur „2.GIS-Ausbildungstagung“, Potsdam, CD-ROM.

Hinweis: Dieser Beitrag stellt eine stark modifizierte Version des folgenden Artikels dar: Schiewe, J.; Hödl, T.; Grendus, B. (2006): FerGI: Innovative E-Learning-Materialien zur Aus- und Weiterbildung in Photogrammetrie und Fernerkundung. In: Seyfert, E. (Hrsg.) (2006): Publikation der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V., Band 15., Berlin.



# Fortsetzung satellitenbasierter klimatologischer Niederschlagszeitreihen Meteosat-8 SEVIRI

Boris Thies, Thomas Nauß, Christoph Reudenbach, Jörg Bendix  
Laboratory for Climatology and Remote Sensing,  
Fachbereich Geographie, Philipps-Universität Marburg,  
Deutschhausstraße 10, 35032 Marburg, Germany  
thies@lcrs.de

## Abstract

Positive Temperaturdifferenzen zwischen dem Wasserdampf- (WV) und dem Infrarot-Kanal (IR) ( $\Delta T_{WV/IR}$ ) gestatten die Erkennung konvektiver Kerne und bilden die Basis für das für Meteosat-7 MVIRI entwickelte Niederschlagsretrieval ECST (Enhanced Convective Stratiform Technique). Die einen langen Zeitraum abdeckenden Meteosat-MVIRI-Daten ermöglichen die Analyse klimatologischer Niederschlagszeitreihen unter Verwendung der ECST. Allerdings wurde Meteosat-7 MVIRI Anfang 2006 durch Meteosat-8 SEVIRI ersetzt, wobei auf dem neuen System zwei WV- und zwei IR-Kanäle zur Verfügung stehen, die sich in ihrer spektralen Auflösung von dem älteren System unterscheiden. Zur Überprüfung der Übertragbarkeit der ECST auf SEVIRI wurde daher das Phänomen positiver  $\Delta T_{WV/IR}$  für die WV- und IR-Kanäle von SEVIRI untersucht. Mittels Strahlungstransferrechnungen konnte die Existenz positiver  $\Delta T_{WV/IR}$  für die verschiedenen WV-IR-Kanalkombinationen und somit die Übertragbarkeit der ECST belegt werden. Eine Vergleichsstudie zwischen dem alten und dem neuen System ergab, dass die WV7.3-IR12.1-Kanalkombination von SEVIRI die auf den MVIRI-Kanälen basierenden Ergebnisse der ECST am besten reproduziert. Angesichts der erfolgreichen Übertragung der ECST von MVIRI auf SEVIRI, ist die Fortführung satellitenbasierter Niederschlagszeitreihen und deren Analyse unter dem Gesichtspunkt des globalen Klimawandels gewährleistet.

## 1. Einleitung

Regen beeinflusst alle Aspekte menschlichen Lebens. Die raum-zeitliche Verteilung dieses Schlüsselparameters des Wasserkreislaufs ist von großer Bedeutung besonders für die Landwirtschaft und die Wasserwirtschaft. Allerdings werden die raum-zeitlichen Eigenschaften des Niederschlags nicht ausreichend genau durch Punktmessungen oder numerische Wettermodelle wiedergegeben (TRENBERTH et al. 2003). Gerade in Gebieten ohne Radarnetzwerke bieten Daten geostationärer Wettersatelliten die Möglichkeit, Niederschlagseigenschaften in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung zu erfassen. Da die ersten operationellen geostationären Satellitensysteme der ersten Generation in den 70er Jahren gestartet wurden, stehen darüber hinaus Daten über lange Zeiträume zur Verfügung, die die Analyse der Niederschlagseigenschaften unter dem Gesichtspunkt des globalen Klimawandels gestatten.

Für den afrikanischen und europäischen Kontinent liefert das Meteosat System der Eumetsat (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites) Daten seit 1977. Basierend auf dem MVIRI (Meteosat Visible and Infrared Imager) Radiometer der Meteosat Serie wurde daher ein Niederschlagsretrieval, die Enhanced Convective Stratiform Technique (ECST) entwickelt (REUDENBACH et al. 2001, REUDENBACH 2003). Das Verfahren beruht auf der Verwendung positiver Helligkeitstemperaturdifferenzen zwischen dem Wasserdampf- (WV) und dem Infrarotkanal (IR) ( $\Delta T_{WV/IR}$ ), die eine zuverlässige Erkennung hochreichend konvektiver Wolken gestatten. Die Ursache für die positiven Differenzen ist das Vorhandensein von Wasserdampf in der Stratosphäre oberhalb der Wolkenobergrenze. Wegen der stärkeren Absorptionsbanden in den WV-Kanälen, wird die absorbierte Strahlung von der Wolkenoberfläche bei höheren stratosphärischen Temperaturen emittiert als in den IR-Kanälen (SCHMETZ et al. 1997).

Anfang 2006 wurde die Meteosat Serie der ersten Generation durch Meteosat-8 der zweiten Generation mit dem SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager) Radiometer ersetzt. SEVIRI zeichnet sich durch eine höhere spektrale, räumliche und zeitliche Auflösung aus (SCHMETZ et al. 2002). Hinsichtlich der Erkennung konvektiver Wolken mittels positiver  $\Delta T_{WV/IR}$  sind in diesem Zusammenhang die beiden WV-Kanäle (WV6.2: 5.35 – 7.15  $\mu\text{m}$ ; WV7.3: 6.85 – 7.85  $\mu\text{m}$ ) und die beiden Infrarot-Kanäle (IR10.8: 9.8 – 11.8  $\mu\text{m}$ ; IR12.1: 11.0 – 13.0  $\mu\text{m}$ ) von besonderem Interesse. Angesichts der unterschiedlichen spektralen Auflösung im Vergleich zu MVIRI (WV-Kanal: 5.7 – 7.1  $\mu\text{m}$ ; IR-Kanal: 10.5 – 12.5  $\mu\text{m}$ ), muss überprüft werden, ob und wie die Helligkeitstemperaturdifferenz zwischen den WV- und IR-Kanälen von SEVIRI für eine zuverlässige Erkennung hochreichend konvektiver Niederschlagswolken verwendet werden können. Eine erfolgreiche Übertragung dieser Methode stellt die Fortführung satellitenbasierter Niederschlagszeitreihen mittels der ECST und deren Analyse unter dem Gesichtspunkt des globalen Klimawandels sicher. Die Zielsetzung der vorliegenden Studie ist daher die Untersuchung der positiven  $\Delta T_{WV/IR}$  für SEVIRI. In einem zweiten Schritt wird überprüft, welche SEVIRI WV-IR-Kanalkombination am besten die auf MVIRI basierenden ECST Ergebnisse reproduziert.

## 2. Verwendete Daten und Methoden

Zur Untersuchung des Phänomens positiver  $\Delta T_{WV/IR}$  für die WV- und IR-Kanäle von SEVIRI kam das Strahlungstransfermodell Streamer (KEY 2001) zum Einsatz. Dabei handelt es sich um ein Modell mittlerer spektraler Auflösung, mit dem sich der Strahlungsgang in der Atmosphäre für die verschiedenen SEVIRI-Kanäle simulieren lässt.

Das zu übertragende Niederschlagsretrieval ECST gestattet die operationelle Erfassung von Konvektionsniederschlägen auf der Grundlage positiver Temperaturdifferenzen zwischen dem WV- und IR-Kanal. Basierend auf diesen positiven  $\Delta T_{WV/IR}$  erfolgt die

dynamische Ableitung von Schwellenwerten, anhand derer die identifizierte konvektive Bewölkung in aktive Zentren konvektiver Starkniederschläge (aktive konvektive Kerne), Zentren erhöhter stratiformer Niederschläge (alternde konvektive Kerne innerhalb Nimbostratus Wolken) und Gebiete normaler stratiformer Niederschläge (in der Umgebung aktiver konvektiver Kerne) differenziert wird. Eine genaue Beschreibung der ECST findet sich in REUDENBACH et al. (2001) sowie in REUDENBACH (2003).

Die Überprüfung, welche SEVIRI WV-IR-Kanalkombination am besten die auf MVIRI basierenden ECST-Ergebnisse reproduziert, erfolgte im Rahmen einer Vergleichsstudie zwischen auf MVIRI und SEVIRI basierenden ECST-Ergebnissen. Bis zur vollständigen Ablösung von Meteosat-7 durch Meteosat-8 wurden zwischen 2004 und 2006 beide Systeme parallel betrieben. Daher stehen für diesen Zeitraum zeitlich und räumlich überlappende Szenen zur Verfügung. Zwischen Juli und August 2004 wurden insgesamt 80 übereinstimmende Szenen mit ausreichend Niederschlag identifiziert, die in der Vergleichsstudie Verwendung fanden. Für den Vergleich wurden die, auf den MVIRI Daten basierenden, ECST-Ergebnisse auf die Beobachtungsgeometrie von SEVIRI projiziert. Die Basis für die statistische Auswertung bildet eine Kontingenztafel, in denen die Anzahl der jeweils als regnend bzw. nicht regnend eingestuft Pixel der Produkt- und Referenzdaten sowie alle möglichen Kombinationen erfasst werden. Die auf den MVIRI-Kanälen basierenden ECST-Ergebnisse bilden dabei die Referenzdaten. Die auf den verschiedenen WV- und IR-Kanalkombinationen von SEVIRI basierenden ECST-Ergebnisse repräsentieren die Produktdaten. Insgesamt ergeben sich vier mögliche WV- und IR Kanalkombinationen:

WV6.2-IR10.8: Differenz zwischen WV 5.35 – 7.15  $\mu\text{m}$  und IR 9.8 – 11.8  $\mu\text{m}$

WV6.2-IR12.1: Differenz zwischen WV 5.35 – 7.15  $\mu\text{m}$  und IR 11.0 – 13.0  $\mu\text{m}$

WV7.3-IR10.8: Differenz zwischen WV 6.85 – 7.85  $\mu\text{m}$  und IR 9.8 – 11.8  $\mu\text{m}$

WV7.3-IR12.1: Differenz zwischen WV 6.85 – 7.85  $\mu\text{m}$  und IR 11.0 – 13.0  $\mu\text{m}$

Basierend auf der Kontingenztafel wurden folgende statistische Tests zur Beurteilung der Übereinstimmung zwischen den Datensätzen berechnet: Der Bias gibt die Tendenz des Produkts zur Über- ( $>1$ ) bzw. zur Unterschätzung ( $<1$ ) an ( $\in[0; \infty]$ , optimal: 1). Die Probability of Detection (POD) berechnet den Anteil der durch das Produkt korrekt als regnend klassifizierten Pixel in Bezug auf die Referenzdaten an ( $\in[0;1]$ , optimal: 1). Die False Alarm Ratio (FAR) gibt den Anteil der durch das Produkt fälschlicherweise als regnend klassifizierten Pixel an ( $\in[0;1]$ , optimal: 0). Der Critical Success Index (CSI) fokussiert auf die Produkt/Referenz Kombinationen, die für ein Niederschlagsereignis auf einem Pixel stehen. Eine ausführliche Beschreibung der Tests findet sich in STANSKI et al. (1989). Verglichen wurde sowohl die gesamte, durch die ECST identifizierte Niederschlagsfläche, als auch die differenzierten Typen niederschlagswirksamer Bewölkung (aktive konvektive Kerne, alternde konvektive Kerne innerhalb Nimbostratus

Wolken und stratiforme Niederschlagswolken in der Umgebung aktiver konvektiver Kerne).

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Strahlungstransferrechnungen

Die Überprüfung, ob  $\Delta T_{WV/IR}$  für die WV- und IR-Kanäle von SEVIRI eine zuverlässige Erkennung hochreichend konvektiver Niederschlagswolken ermöglicht, erfolgte mittels des Strahlungstransfermodells Streamer. Dazu wurden Wolken mit einer Basishöhe von 2 km über Grund und variabler vertikaler Ausdehnung in das konvektive Radiosondenprofil vom 04.07.1994 12:00 UTC Essen eingefügt. Die Berechnungen wurden für die WV- und IR-Kanäle von SEVIRI durchgeführt. Die Parametrisierung der Wolkeneigenschaften erfolgte nach Werten aus der Literatur für Cumulonimbus (SCHEMENAUER und ISAAC 1984). Als essentielle Parameter gehen in die Streamermodellierung der effektive Radius der Wolkentropfen ( $r_{ew}$ ) und der Eispartikel ( $r_{ei}$ ) in  $\mu\text{m}$  sowie der Flüssigwassergehalt und der Anteil der Eisphase in  $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  ein. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die verwendeten Eingabeparameter.

Sonnenzenitwinkel	Satellitenzenitwinkel	Relativer Azimutwinkel	$r_{ew}$ [ $\mu\text{m}$ ]	Flüssigwasser [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	$r_{ei}$ [ $\mu\text{m}$ ]	Eisphase [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]
45°	55°	130°	30	0.5	60	0.07

(1.): Eingabeparameter für die Strahlungstransfersimulation von Cumulonimben.

Die berechnete  $\Delta T_{WV/IR}$  als Funktion der Wolkenobergrenze ist in Abbildung 1 dargestellt. Mit zunehmender Höhe der Wolkenobergrenze nimmt auch  $\Delta T_{WV/IR}$  zu.

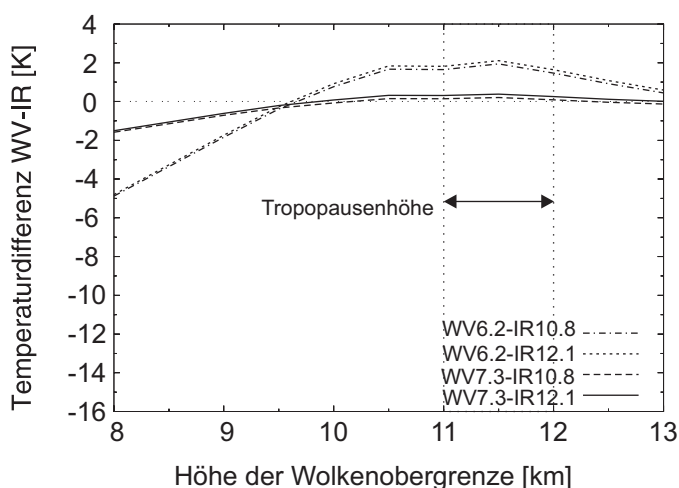


Abb. 1:  $\Delta T_{WV/IR}$  für jede WV-IR-Kanalkombination von SEVIRI als Funktion der Wolkenobergrenze.

Die maximale Temperaturdifferenz ergibt sich in einer Höhe von 11.5 km, wenn die Wolkenobergrenze die Tropopause erreicht. Danach nimmt  $\Delta T_{WV/IR}$  erneut ab, da der Wasserdampfgehalt in der Stratosphäre oberhalb der Wolke abnimmt. Die Ergebnisse der Strahlungstransferrechnungen stimmen mit den Untersuchungen von SCHMETZ et al. (1997) überein. Daher kann geschlossen werden, dass sich die Methode, konvektive Regenwolken mit großer Vertikalerstreckung anhand positiver  $\Delta T_{WV/IR}$  zu erkennen, auf die WV- und IR-Kanäle von SEVIRI übertragen lässt.

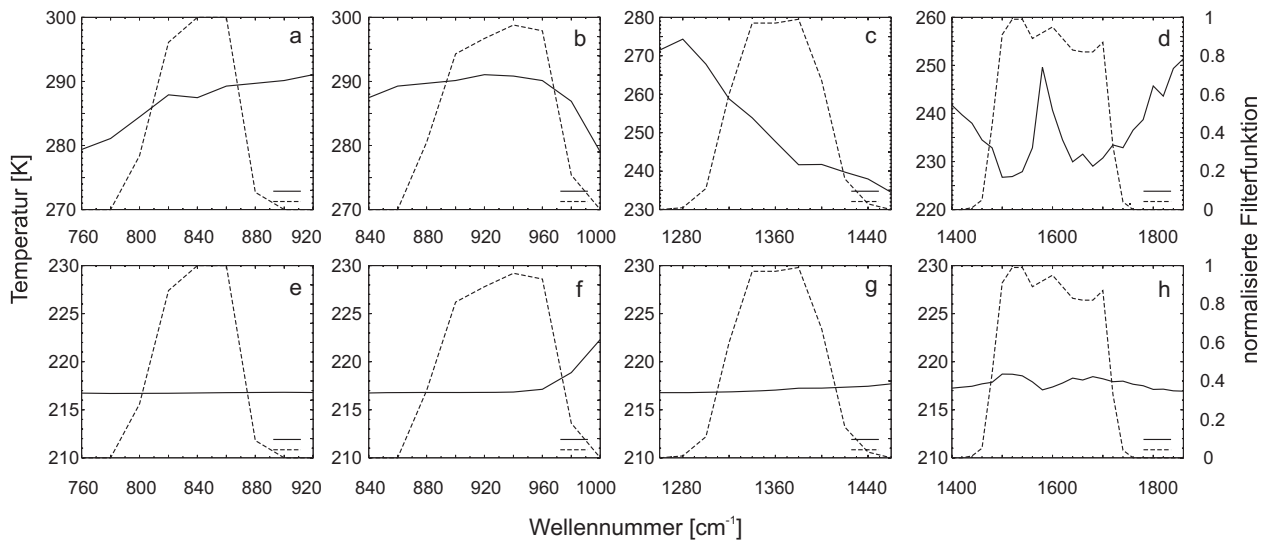


Abb. 2 :Ergebnisse der Strahlungstransferrechnungen für die WV- und IR-Kanäle von SEVIRI (durchgezogene Linie). Dargestellt ist zusätzlich die SFF (gestrichelte Linie). a) bis d) wolkenlose Atmosphäre: a) IR 11.0 – 13.0  $\mu\text{m}$  Kanal (IR12.1); b) IR 9.8 – 11.8  $\mu\text{m}$  Kanal (IR10.8); c) WV 6.85 – 7.85  $\mu\text{m}$  Kanal (WV7.3); d) WV 5.35 – 7.15  $\mu\text{m}$  Kanal (WV6.2). e) bis h) Wolke mit Obergrenze in 12 km Höhe: e) IR 11.0 – 13.0  $\mu\text{m}$  Kanal (IR12.1); f) IR 9.8 – 11.8  $\mu\text{m}$  Kanal (IR10.8); g) WV 6.85 – 7.85  $\mu\text{m}$  Kanal (WV7.3); h) WV 5.35 – 7.15  $\mu\text{m}$  Kanal (WV6.2).

Die Unterschiede hinsichtlich der für die verschiedenen WV- und IR-Kanalkombinationen berechneten  $\Delta T_{WV/IR}$  lassen sich durch den Spektralbereich und die spektrale Filterfunktion (SFF) des jeweiligen Kanals erklären. Dazu wurden die Strahlungstransferrechnungen für eine wolkenlose Atmosphäre sowie für eine Wolke, deren Obergrenze sich im Bereich der Tropopause befindet, wiederholt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 2 dargestellt.

In einer wolkenlosen Atmosphäre (Abb. 2 obere Bildleiste) stammt die vom Satelliten empfangene Strahlung von der Erdoberfläche und aus den tieferen Troposphärenschichten. Dabei kommt das Signal im IR 11.0 – 13.0  $\mu\text{m}$  Kanal (IR12.1; Abb. 2 a) aus etwas höheren Schichten als im IR 9.8 – 11.8  $\mu\text{m}$  Kanal (IR10.8; Abb. 2 b) (SCHMETZ et al. 2002). Somit ergibt sich eine etwas niedrigere Temperatur im IR12.1- als im IR10.8-Kanal. Der Hauptteil der Strahlung im WV 5.35 – 7.15  $\mu\text{m}$  Kanal (WV6.2; 2 d) stammt aus höheren Schichten der Troposphäre. Dagegen resultiert das Hauptsignal im

WV 6.85 – 7.85  $\mu\text{m}$  Kanal (WV7.3; 2 c) aus tieferen troposphärischen Schichten (SCHMETZ et al. 2002). Dies führt zu niedrigeren Temperaturen im WV6.2-Kanal.

Wird eine optisch dichte Wolke im Bereich der Tropopause in das Profil eingefügt (Abb. 2 untere Bildleiste), so führt dies zur Abschirmung der troposphärischen Strahlung. Die empfangene Strahlung kommt dann von der Wolkenoberfläche und aus der stratosphärischen Emission. Im Randbereich des IR10.8-Kanals (2 f) ist ein Anstieg der Absorption zu erkennen. Da die Temperatur in der Stratosphäre mit der Höhe zunimmt, hat dieses Absorptionsspektrum eine höhere Emission und somit eine höhere Temperatur im IR10.8- als im IR12.1-Kanal (2 e) zur Folge. Die Absorptionsbanden im WV6.2-Kanal (2 h) sind im Vergleich zum WV7.3-Kanal (2 g) für den gesamten Wellenlängenbereich stärker ausgeprägt. Dies führt zu einer insgesamt höheren Emission und Temperatur im WV6.2-Kanal.

Basierend auf den Ergebnissen der Strahlungstransferrechnungen lässt sich das Verfahren zur Erfassung hochreichend konvektiver Niederschlagswolken mittels positiver  $\Delta T_{\text{WV/IR}}$  erfolgreich auf die verschiedenen WV-IR-Kanalkombinationen von SEVIRI anwenden. Somit kann auch die, auf positiven  $\Delta T_{\text{WV/IR}}$  beruhende, ECST von MVIRI auf SEVIRI mit seinen verschiedenen WV-IR-Kanalkombinationen übertragen werden.

### **3.2 Vergleich der auf MVIRI und auf SEVIRI basierenden ECST-Ergebnisse**

Da das Verfahren der positiven  $\Delta T_{\text{WV/IR}}$  zur Erkennung konvektiver Niederschlagsflächen innerhalb der ECST auf alle vier WV-IR-Kanalkombinationen angewendet werden kann, wurde im Rahmen einer Vergleichsstudie untersucht, welche dieser Kombinationen die auf MVIRI basierenden Ergebnisse der ECST am besten reproduziert. Der Vergleich beruht auf den in Kapitel 2 beschriebenen 80 überlappenden Szenen zwischen MVIRI und SEVIRI. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die berechneten statistischen Indizes. Dargestellt sind die Ergebnisse für die gesamte, durch die ECST identifizierte, Niederschlagsfläche sowie für die innerhalb der ECST-Fläche differenzierten Niederschlagsflächen.

Für die WV7.3-IR12.1-Kanalkombination ergibt sich die höchste Übereinstimmung mit den MVIRI-Ergebnissen. Dies gilt sowohl für die gesamte ECST-Fläche, als auch für die einzelnen differenzierten Niederschlagsflächen. In allen Fällen zeigen die Indizes die besten Werte für die WV7.3-IR12.1-Kombination an. Der jeweilige detektierte Flächenanteil an der Gesamtfläche in den MVIRI-Ergebnissen stimmt am besten mit den auf der WV7.3-IR12.1-Kombination basierenden Resultaten überein. Daher zeigt auch der Bias für diese Kombination die besten Werte. Der Anteil, der korrekt als Niederschlag identifizierten Fläche, ist ebenfalls für die WV7.3-IR12.1-Kombination am höchsten, was mit einem vergleichsweise geringen Anteil fälschlicherweise als Regen klassifizierten Pixel einhergeht.



Wie in Tabelle 2 erkennbar, nimmt der Anteil der detektierten Niederschlagsfläche an der Gesamtfläche in Richtung Nimbostratus kontinuierlich ab. Gleichzeitig geht auch die Güte der berechneten Indizes zurück. Dies ist dadurch zu erklären, dass mit abnehmendem Flächenanteil der Einfluss falsch oder nicht klassifizierter Pixel auf die berechneten Indizes zunimmt. Eine Ursache für falsch bzw. nicht klassifizierte Flächen ist der potentielle räumliche Versatz zwischen den beiden Datensätzen. Dieser ist durch die höhere räumliche Auflösung von SEVIRI (3x3km) im Vergleich zu MVIRI (5x5km) und die Projektion der auf MVIRI basierenden ECST-Ergebnisse auf die Beobachtungsgeometrie von SEVIRI zu erklären.

Basierend auf den Ergebnissen der Vergleichsstudie zwischen auf MVIRI und auf den WV-IR-Kanalkombinationen von SEVIRI beruhenden ECST-Ergebnissen kann festgehalten werden, dass sich für die WV7.3-IR12.1 Kombination eindeutig die beste Übereinstimmung mit MVIRI ergibt.

	Flächen- anteil SEVIRI %	Flächen- anteil MVIRI %	Bias Gesamt	Bias Min	Bias Max	POD Gesamt	POD Min	POD Max	FAR Gesamt	FAR Min	FAR Max	CSI Gesamt	CSI Min	CSI Max
<b>ECST-Fläche</b>														
WV6.2-IR10.8	1.07	3.76	0.29	0.04	0.77	0.22	0.18	0.72	0.22	0.01	0.53	0.21	0.02	0.51
WV6.2-IR12.1	1.36	3.76	0.36	0.07	0.81	0.28	0.23	0.75	0.22	0.03	0.50	0.26	0.05	0.57
WV7.3-IR10.8	2.50	3.76	0.66	0.34	2.59	0.47	0.37	0.84	0.29	0.03	0.77	0.40	0.20	0.60
WV7.3-IR12.1	3.49	3.76	0.93	0.65	1.53	0.62	0.42	0.88	0.33	0.13	0.61	0.48	0.31	0.64
<b>Stratiforme Fläche</b>														
WV6.2-IR10.8	0.82	2.87	0.28	0.03	0.89	0.17	0.02	0.57	0.40	0.17	0.61	0.15	0.02	0.38
WV6.2-IR12.1	1.07	2.87	0.37	0.07	0.98	0.23	0.05	0.64	0.39	0.23	0.62	0.20	0.04	0.43
WV7.3-IR10.8	2.06	2.87	0.72	0.34	3.41	0.41	0.26	0.72	0.43	0.20	0.83	0.31	0.15	0.50
WV7.3-IR12.1	2.93	2.87	1.02	0.67	1.87	0.55	0.44	0.84	0.46	0.28	0.70	0.38	0.24	0.53
<b>Aktive Konvektive Kerne</b>														
WV6.2-IR10.8	0.14	0.70	0.19	0.02	0.58	0.05	0.02	0.45	0.74	0.36	1.00	0.04	0.00	0.11
WV6.2-IR12.1	0.17	0.70	0.24	0.04	0.62	0.06	0.06	0.40	0.74	0.47	0.97	0.05	0.00	0.13
WV7.3-IR10.8	0.35	0.70	0.49	0.17	1.24	0.11	0.05	0.52	0.78	0.56	0.98	0.08	0.01	0.14
WV7.3-IR12.1	0.47	0.70	0.66	0.32	1.34	0.14	0.03	0.54	0.79	0.68	0.97	0.09	0.01	0.15
<b>Nimbostratus</b>														
WV6.2-IR10.8	0.02	0.13	0.16	0.00	0.76	0.00	0.00	0.14	0.98	0.83	1.00	0.00	0.00	0.02
WV6.2-IR12.1	0.02	0.13	0.18	0.00	0.95	0.00	0.00	0.16	0.98	0.75	1.00	0.00	0.00	0.02
WV7.3-IR10.8	0.08	0.13	0.62	0.02	2.27	0.01	0.01	0.23	0.99	0.94	1.00	0.01	0.00	0.02
WV7.3-IR12.1	0.09	0.13	0.68	0.03	2.58	0.01	0.02	0.25	0.99	0.89	1.00	0.01	0.00	0.03

(2.): Berechnete Indizes für 80 zeitgleiche Niederschlagsszenen zwischen Juli und August 2004.  
Referenzdaten: auf MVIRI basierende ECST Ergebnisse; Produktdaten: auf den vier WV- und IR-Kanalkombinationen von SEVIRI basierende ECST Ergebnisse.

### 3.3 Fallstudie

Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse einer Fallstudie vom 18. Juli 2004 1:00 UTC. In Abbildung 3 a ist die Helligkeitstemperatur im IR10.8 Kanal dargestellt. Die Abbildungen 3 b und c geben die auf den MVIRI-Kanälen (3 b) und auf der WV7.3-IR12.1-Kanalkombination von SEVIRI (3 c) basierenden ECST-Ergebnisse wieder.

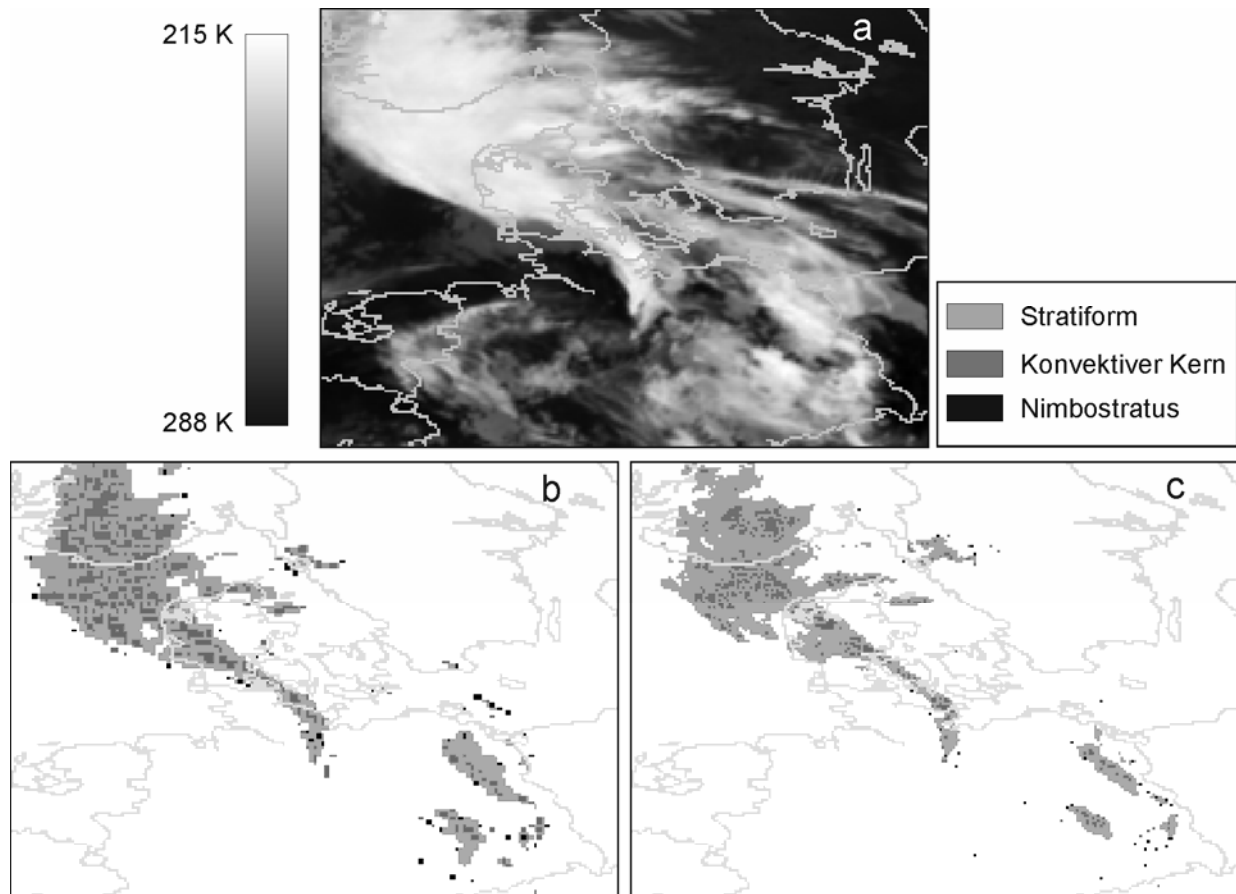


Abb. 3: Helligkeitstemperatur [K] im IR10.8-Kanal (a), ECST-Ergebnisse basierend auf MVIRI (b), ECST-Ergebnisse basierend auf der WV7.3-IR12.1-Kanalkombination von SEVIRI (c) für den 18 Juli 2004 1:00 UTC.

Die Regenwolken über Südschweden, Dänemark und dem Norden Deutschlands sind das Ergebnis einer Konvergenzlinie über dem Westen und Südwesten Deutschlands, in deren Einflussbereich sich zahlreiche Gewitter bildeten und mit einer südwestlichen Höhenströmung rasch nach Nordosten zogen. Die berechneten Indizes für diese Szene sind in Tabelle 3 dargestellt. Der visuelle Vergleich der beiden Ergebnisse zeigt eine gute Übereinstimmung der räumlichen Muster der jeweils identifizierten Flächen. Wegen der höheren räumlichen Auflösung von SEVIRI, zeichnen sich die auf der WV7.3-IR12.1-Kombination basierenden Ergebnisse durch eine stärkere Differenzierung besonders hinsichtlich der konvektiven Kerne aus. Diese bilden weniger zusammenhängende Gebiete mit geringerer Flächenausdehnung im Vergleich zu den auf MVIRI beruhenden Ergebnissen. Darin begründet liegt die durch den Bias angezeigte Unterschätzung der

konvektiven Kerne durch die WV7.3-IR12.1-Kanalkombination. Zusammen mit dem bereits angesprochenen potentiellen räumlichen Versatz zwischen beiden Datensätzen, erklärt dies auch den niedrigen Wert der POD und des CSI in Verbindung mit der hohen FAR. Gleiches gilt für die detektierten Nimbostratusflächen.

	Bias	POD	FAR	CSI
<b>ECST-Fläche</b>	0.74	0.54	0.28	0.45
<b>Stratiforme Fläche</b>	0.85	0.46	0.46	0.33
<b>Aktive Konvektive Kerne</b>	0.44	0.09	0.8	0.07
<b>Nimbostratus</b>	0.39	0.02	0.98	0.01

(3): Berechnete Indizes für die Szene vom 18. Juli 2004 1:00 UTC. Referenzdaten: auf MVIRI basierende ECST-Ergebnisse; Produktdaten: auf der WV7.3-IR12.1-Kanalkombination von SEVIRI basierende ECST-Ergebnisse.

Der Bias für die klassifizierten stratiformen Niederschlagsflächen zeigt ebenfalls eine Unterschätzung durch die WV7.3-IR12.1-Kombination an. Da diese Flächen sich aus der Anzahl und der räumlichen Lage der aktiven konvektiven Kerne ergeben, ist dies eine direkte Konsequenz der unterschätzten konvektiven Flächen im Vergleich zu den MVIRI-Ergebnissen. Da die einzelnen, innerhalb der ECST differenzierten, Niederschlagsflächen durch die WV7.3-IR12.1-Kombination unterschätzt werden, ergibt sich auch für die gesamte ECST-Fläche eine Unterschätzung im Vergleich zu den auf MVIRI basierenden ECST-Ergebnissen.

#### 4. Zusammenfassung

Das Phänomen positiver Temperaturdifferenzen zwischen dem WV- und dem IR-Kanal, welche die Erkennung hochreichend konvektiver Kerne gestatten und die Basis für das satellitenbasierte Niederschlagsretrieval ECST darstellen, wurde für die WV- und IR-Kanäle von Meteosat-8 SEVIRI untersucht. Mittels Strahlungstransfersimulationen konnte die Existenz positiver  $\Delta T_{WV/IR}$  für die verschiedenen WV-IR-Kanalkombinationen belegt werden. Basierend auf den Ergebnissen der Strahlungstransferrechnungen erfolgte die erfolgreiche Übertragung des Verfahrens zur Erfassung hochreichend konvektiver Niederschlagswolken mittels positiver  $\Delta T_{WV/IR}$  auf die verschiedenen WV-IR-Kanalkombinationen von SEVIRI. Gleiches gilt für das, auf positiven  $\Delta T_{WV/IR}$  beruhende, Niederschlagsretrieval ECST. Im Rahmen einer Vergleichsstudie konnte gezeigt werden, dass die WV7.3-IR12.1-Kanalkombination von SEVIRI die auf den MVIRI-Kanälen basierenden Ergebnisse der ECST am besten reproduziert. Angesichts der erfolgreichen Übertragung des Verfahrens zur Erkennung hochreichend konvektiver Niederschlagswolken anhand positiver  $\Delta T_{WV/IR}$ , sowie der darauf basierenden ECST,

von MVIRI auf SEVIRI, ist die Fortführung satellitenbasierter Niederschlagszeitreihen mittels der ECST und deren Analyse unter dem Gesichtspunkt des globalen Klimawandels gewährleistet.

In einem nächsten Schritt muss die auf SEVIRI übertragene ECST anhand von Radardaten validiert werden.

## Literatur

**Key, J.** (2001): „Streamer User's Guide“. Wisconsin (Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies, University of Wisconsin)

**Reudenbach, C.** (2003): „Konvektive Sommerniederschläge in Mitteleuropa. Eine Kombination aus Satellitenfernerkundung und numerischer Modellierung zur automatisierten Erfassung mesoskaliger Niederschlagsfelder“, in: Bonner Geographische Abhandlungen, 109

**Reudenbach, C., G. Heinemann, E. Heuel, J. Bendix, und M. Winiger** (2001): „Investigation of summertime convective rainfall in Western-Europe based on a synergy of remote sensing data and numerical models“, in: Meteorology and Atmospheric Physics, 76, S. 23-41

**Schemenauer, R. B. und G. A. Isaac** (1984): „The importance of cloud top lifetime in the description of natural cloud characteristics“, in: Journal of Climate and Applied Meteorology, 23, 267-279

**Schmetz, J., P. Pili, S. Tjemkes, D. Just, J. Kerkmann, S. Rota und A. Ratier** (2002): „An introduction to Meteosat Second Generation (MSG)“, in: Bulletin of the American Meteorological Society, 83, S. 977-992

**Schmetz, J., Tjemkes, S. A., Gube, M. und van de Berg, L.** (1997): „Monitoring deep convection and convective overshooting with Meteosat“, in: Advances in Space Research, 19, S. 433-441

**Stanski, H. R., L. Wilson und W. Burrows** (1989): „Survey of common verification methods in meteorology“. Genf (World Weather Watch Technical Report No. 8, WMO, Geneva, WMO/TD No. 358)

**Trenberth, K.E., A. Dai, R. M. Rasmussen, und D. B. Parsons** (2003): „The changing character of precipitation“, in: Bulletin of the American Meteorological Society, 84, S. 1205-1217



# Siedlungsflächenklassifikation mittels objektorientierter Datenfusion durch multisensorale Fernerkundungsdaten

Daniel Tomowski (dtomowski@igf.uni-osnabrueck.de),

Ulrich Michel (umichel@igf.uni-osnabrueck.de),

Manfred Ehlers (mehlers@igf.uni-osnabrueck.de),

Guido Bohmann (gbohmann@igf.uni-osnabrueck.de)

Institut für Geoinformatik und Fernerkundung, Universität Osnabrück,  
Seminarstr. 19a/b, 49069 Osnabrück

## Abstract

Durch die zunehmende Siedlungstätigkeit des Menschen gehen immer mehr natürliche Bodenressourcen verloren, so dass der Boden zu einem bedrohten und schützenswerten Gut geworden ist. Da sich proportional zu der Größe eines zu kartierenden Gesamtgebiets eine manuelle Erfassung von Siedlungsflächen entsprechend arbeits- und damit auch zeit- und kostenaufwändig gestaltet, besteht ein dringender Bedarf nach übertragbaren und automatisierten fernerkundlichen Erhebungsverfahren.

Der Vortrag „Siedlungsflächenklassifikation mittels objektorientierter Datenfusion durch multisensorale Fernerkundungsdaten“ stellt ein am Institut für Geoinformatik und Fernerkundung (IGF) im Rahmen des Forschungsprojektes „Landesweite Erfassung der Siedlungsflächen in Nordrhein-Westfalen“ entwickeltes und auf unterschiedliche multisensorale Daten übertragbares semiautomatisches Verfahren vor, das Siedlungsflächen auf der Basis räumlich hoch aufgelöster Satellitendaten (KOMPSAT-1 mit 6,6 m räumlicher Auflösung oder SPOT-5 mit 5 m räumlicher Auflösung) sowie multispektraler Informationen (ASTER mit 15 m räumlicher Auflösung sowie LANDSAT-7 ETM+ mit 30 m räumlicher Auflösung) mit Nutzergenauigkeiten von mindestens 90 % zuverlässig detektiert.

Während des Verfahrensablaufs werden die multisensoralen Satellitenbilddaten über einen objekt- und entscheidungsbasierten Fusionsprozess in einem mehrstufigen Segmentierungsprozess miteinander kombiniert. Die gesuchten Siedlungsflächen werden zum einem über Textur- und Formmerkmale, die aus den panchromatischen Daten abgeleitet werden und zum anderem auf Grundlage von multispektralen Informationen (NDVI) abgeleitet. Die Schwellwerte der Klassifikationsmerkmale werden dabei schrittweise so verschärft, dass im Endergebnis eine binäre Siedlungsmaske mit den Klassen „Siedlung“ und „Nicht-Siedlung“ generiert wird.

Die Klassifikation erfolgt hierbei in einem hierarchischen Netzwerk von Segmenten, das aus drei Ebenen besteht. Für jede Segmentebene (beginnend bei großen Segmenten) wird die Klasse „Siedlung“ und „Nicht-Siedlung“ bestimmt. Da die (ggf. sehr) großen Segmente meist noch eine starke (spektrale) Heterogenität aufweisen, werden die

Schwellwerte (Restriktionen) der limitierenden Parameter im ersten Verfahrensschritt entsprechend niedrig angesetzt. Wurde eine Ebene erfolgreich klassifiziert, wird diese Vorgehensweise mit höheren Restriktionen solange in einer tieferen Segmentierungsebenen (in jeder Ebene werden die Segmente kleiner) wiederholt, bis letztendlich die gesuchten Siedlungsflächen ermittelt wurden. Zusätzlich dient jede Fläche der Klasse „Nicht-Siedlung“ in einer bereits klassifizierten Ebene als Ausschlussfläche für die Klassifikation der aktuellen Segmentierungsebene. In einem Nachbearbeitungsschritt werden noch verbliebene landwirtschaftliche Flächen über die Berechnung der Grauwertvarianz herausgefiltert und Siedlungsflächen innerhalb von Siedlungsagglomerationen (z. B. Parks) durch die Definition von Nachbarschaftsbeziehungen der Klasse „Siedlung“ zugewiesen.

Im Ergebnis konnte das Verfahren erfolgreich an unterschiedlichen Datensätzen (SPOT und LANDSAT oder KOMPSAT und ASTER) getestet werden, ohne Verfahrensschritte oder Merkmale zu ändern.

### Zusammenfassung:

Mit dem in diesem Artikel vorgestellten Verfahren ist es gelungen, auf der Basis von multisensoralen Sattellitenbild-Daten (SPOT-5 mit 5 m Ground Sampling Distance (GSD) und LANDSAT ETM+ mit 30 m GSD oder alternativ KOMPSAT-1 mit 6,6 m GSD und ASTER mit 15 m GSD) mittels eines Netzwerks von Segmentierungsebenen und anschließender Klassifikation auf der Basis von Textur-, Form- und multispektralen Parametern Siedlungsflächen mit Nutzergenauigkeiten von mindestens 90 % zu detektieren.

## 1. Einleitung

„Hervorgerufen durch die zunehmende Siedlungstätigkeit der Menschen geht immer mehr an natürlichen Bodenressourcen verloren, so daß der Boden zu einem bedrohten und schützenswerten Gut geworden ist.“ (NETZBAND 1998). Somit ist es erforderlich, aktuelle Daten über den anthropogenen Flächenverbrauch zu erfassen, um den Ist-Zustand zu dokumentieren und mögliche Strategien zum Schutz des Bodens auf Ihre Wirksamkeit hin zu überprüfen. Da sich proportional zur Größe eines zu kartierenden Gesamtgebiets eine manuelle Kartierung dieser Flächen entsprechend arbeits- und damit auch zeit- und kostenintensiv gestaltet und amtliche ALK-Daten nicht immer auf dem neuesten Stand sind, besteht ein dringender Bedarf nach einem automatisierten und zeitnahen Erhebungsverfahren.



System	Landsat 7	SPOT 5	Terra	KOMPSAT 1
Sensor	HRG	ETM+	Aster	EOC
Recording date	6/26/2001	3/16/2003	8/3/2003	5/20/2004
Geometric resolution	30 m	5 m	15 m	6.6 m
Spectral resolution	multispectral (6 bands)	panchromatic	multispectral (4 bands)	panchromatic
Scene size in km <sup>2</sup>	180 x 180	60 x 60	60 x 60	17 x 17

(1): Genutzte Satellitendaten (Quelle: MICHEL et. al 2006)

Aus diesem Grunde ist am Institut für Geoinformatik und Fernerkundung der Universität Osnabrück auf Basis räumlich hoch aufgelöster panchromatischer Satellitendaten (SPOT oder KOMPSAT, vgl. Tab. 1) und multispektraler Informationen (LANDSAT oder ASTER, vgl. Tab. 1) ein objektorientiertes und semiautomatisches Verfahren zur Klassifikation von Siedlungsflächen entwickelt worden. Ziel des Verfahrens ist die Erzeugung einer binären Maske mit den Klassen „Siedlung“ und „Nicht-Siedlung“. Dabei wird Siedlungsfläche als Summe von bebauten Grundstücken, Verkehrsflächen, Gewerbegebieten, Sport- und Spielflächen, sowie Parkanlagen und Friedhöfen verstanden (vgl. APEL & HENCKEL 1995)

## 2. Datenfusion und Grundprinzip

Die Vorteile pixelbasierter Fusionsverfahren, die zugehörigen Techniken und ihre Charakteristiken sind Gegenstand vieler wissenschaftlicher Diskussionen (vgl. z. B. Pohl and van Genderen, 1998). Auch wenn durch die Kombination von räumlich hochauflösenden panchromatischen mit niedriger auflösenden multispektralen Bilddaten (Pan Sharpening) visuell eine deutliche Verbesserung darstellt, sind bei vielen Fusionsverfahren mehr oder weniger Starke spektrale Veränderungen zu beobachten, die eine automatische Auswertung erschweren. (vgl. ZHANG 2002 oder EHLERS & KLONUS 2004).

Selbst wenn Fusionstechniken verwendet werden, welche die spektralen Charakteristika erhalten, ist eine automatisierte Auswertung auf Grund der hohen räumlichen Auflösung (Salt-and-Pepper-Effekt) oft schwierig. In solchen Fällen werden oft objekt- bzw. entscheidungsbasierte Fusionstechniken verwendet, die Gewöhnlicherweise auf empirischen oder heuristischen Regelwerken beruhen.

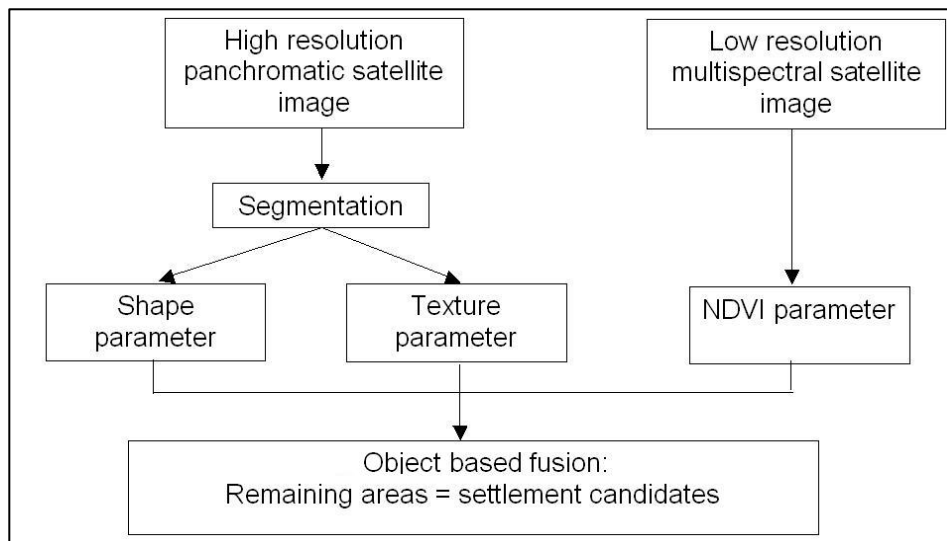


Abb 1. Entscheidungsbaum der objektorientierten Datenfusion (Quelle: verändert nach TOMOWSKI et al. 2006a)

Da in diesen Fällen generelle Vorgehensweisen oder Strategien nicht vorgegeben sind, werden objektorientierte Fusionsverfahren in der Regel für bestimmte Fragestellungen entwickelt. Im Gegensatz zu den zuvor genannten pixelbasierten Fusionstechniken, werden die verwendeten Satellitenbilddaten in unserem Beispiel nur geokodiert und sonst nicht weiter vorverarbeitet.

Nach einer Segmentierung (Objektbildung) werden über die panchromatischen Daten Textur -und Formmerkmale bestimmt und aus den multispektralen Bilddaten Informationen über Vegetation (vgl. Abb. 1) abgeleitet.

Dieser Prozess wird in einem dreistufigen hierarchischen Netzwerk von Objekten bzw. Segmenten (vgl. Abb. 2) solange fortgesetzt, bis das bestmögliche Ergebnis für die Klasse „Siedlung“ erzielt wurde.

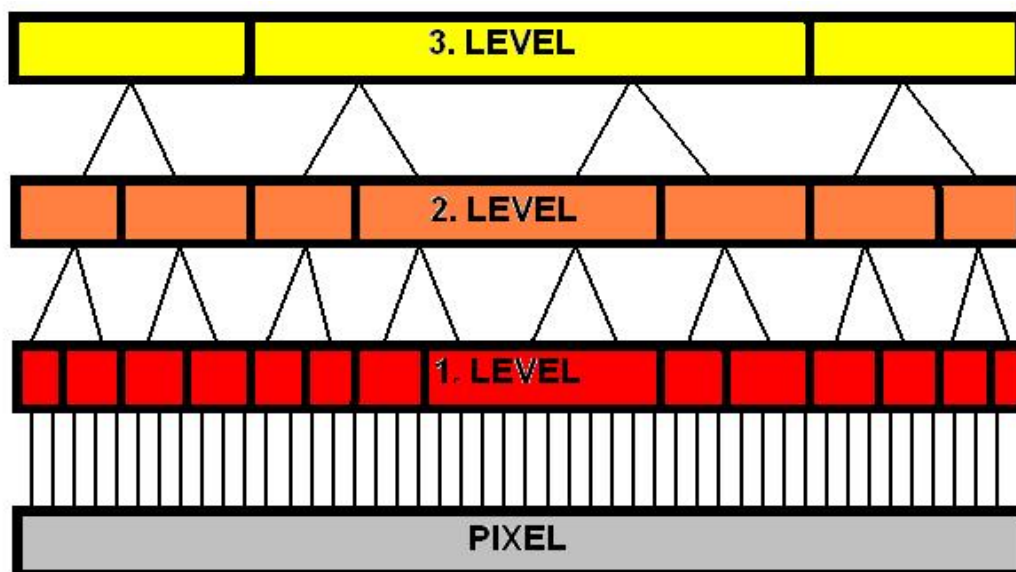


Abb. 2. Hierarchisches Netzwerk von Segmenten (Quelle: EHLERS et al. 2005)

### 3. Methode

Zur Demonstration des Verfahrens wird ein zufällig ausgewähltes Untersuchungsgebiet (Fläche: 25 km<sup>2</sup>) auf Basis von SPOT- und LANDSAT-Daten verwendet. Grundlage des Verfahrens ist ein hierarchisches Netzwerk von Segmenten, das aus drei Ebenen (Level) besteht und auf Grundlage der panchromatischen Daten erstellt wurde. Dabei verringert sich die Größe der Segmente (engl. Scale) mit jedem tiefer liegendem Level (mehr der Details zum verwendeten Region-Growing-Algorithmus und den Segmentierungseinstellungen in TOMOWSKI et al. 2006b). Zweck dieser Unterteilung ist die schrittweise Eingrenzung von Siedlungsflächen mit Hilfe des hierarchischen Netzwerks (Abb. 2). Beginnend im dritten Level werden zunächst potentielle Siedlungsflächen und Nicht-Siedlungsflächen bestimmt. Dies eröffnet im nächsten Schritt die Möglichkeit, bei der Klassifikation des zweiten Levels, die bestimmten Nicht-Siedlungsflächen des dritten Levels ausschließen zu können. Analoge Vorgehensweise gilt auch für den ersten Level, bei dem die Nicht-Siedlungsflächen des zuvor ermittelten zweiten Levels als Ausschlussflächen für die Klassifikation des ersten Levels dienen.

#### **Klassifikation der dritten Segmentierungsebene**

Der Klassifikationsalgorithmus beginnt jedoch zunächst im dritten Level. Für jedes Segment der Klasse „Siedlung“ werden Form- und Texturparameter, sowie ein durchschnittlicher NDVI berechnet. Grundlage für die Texturberechnung bilden die „Grey Level Co-occurrence“ (GLC) Matrizen nach HARALICK et al. (1973), die sowohl die räumliche, als auch die spektrale Verteilung von Grauwerten im Bild untersuchen. Eine GLC-Matrix beschreibt die Wahrscheinlichkeit des Übergangs vom Grauwertniveau *i* auf das Grauwertniveau *j* zweier Bildelemente. Zur Unterscheidung von Siedlungsflächen und Nicht-Siedlungsflächen wird das aus der GLC-Matrix abgeleitete IDM-Merkmal (Inverse Distance Moment) genutzt.

$$IDM = \sum_{i,j=0}^{N-1} \frac{P_{i,j}}{1 + (i - j)^2}$$

mit

*N* = Zeilen oder Spaltenanzahl,

*i, j* = Grauwertkombination in der Zeile *i* und Spalte *j* der GLC - Matrix,

*P<sub>ij</sub>* = Auftrittswahrscheinlichkeit eines Grauwertpaars.

Grundidee bei der Anwendung des IDM ist es, heterogene Siedlungsbereiche mit hohen Texturwerten (vgl. Abb. 3, links) von (teilweise) homogenen Nicht-Siedlungsflächen (vgl. Abb. 3, rechts) mit geringeren Texturwerten abzugrenzen.

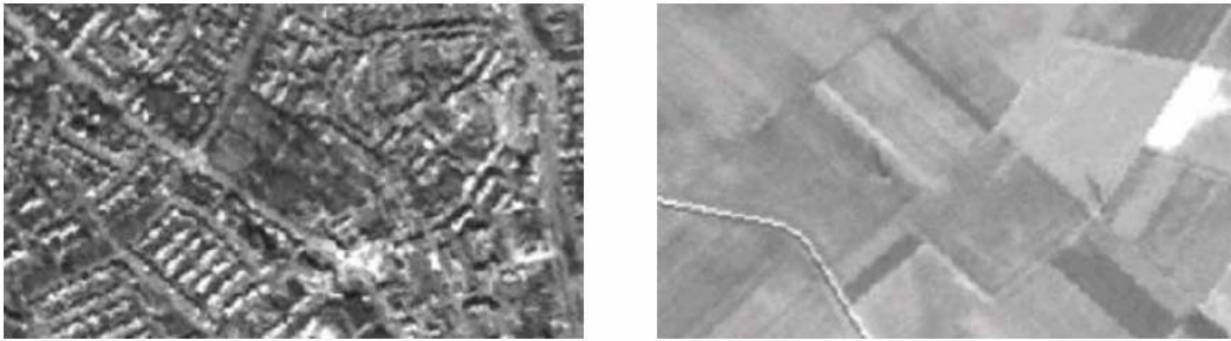


Abb. 3 Bildausschnitte einer SPOT-Szene mit starker Textur (links) und mit schwacher Textur (rechts) (Quelle: TOMOWSKI et al. 2006b)

Erste Versuchsreihen zeigten schnell, dass über das IDM bereits sehr gut Unterteilungen von „Siedlung“ und „Nicht-Siedlung“ möglich sind. Es zeigte sich jedoch auch schnell, dass landwirtschaftliche Flächen (insbesondere Äcker ohne Vegetation) ähnlich hohe Texturwerte aufweisen können wie Siedlungsflächen, so dass weitere Ausschlusskriterien gefunden werden mussten.

Einen Lösungsansatz zur Elimination von texturbehafteten landwirtschaftlichen Flächen zeigt STEINNOCHER (1997) auf, indem er bei der Flächenbeschreibung drei texturale Charakteristika zur Flächenbeschreibung in Digitalbildern unterscheidet:

1. richtungsabhängige inhomogene Flächen
2. richtungsunabhängige inhomogene Flächen
3. homogene Flächen

Wird der IDM jeweils für alle vier möglichen Richtungen (horizontal, vertikal, rechtsdiagonal und linksdiagonal) berechnet, zeigt sich, dass richtungsabhängige Komponenten des IDM innerhalb von Siedlungs- und Waldbereichen annähernd identisch sind, jedoch bei landwirtschaftlichen Flurstücken die Hauptrichtung der Kanten (Feldgrenzen) zu einem deutlich höheren IDM-Wert führt, als bei den übrigen Richtungswerten. Dies liegt darin begründet, dass durch die Differenzbildung zweier normal aufeinander stehender Texturmerkmale, sich in Kantenumgebungen, Differenzen von signifikant größer Null bilden. Da pro Umgebung zwei Möglichkeiten der Differenzbildung existieren, wird einmal der Betrag des Differenzwerts zwischen horizontaler und vertikaler Ausrichtung und einmal der Betrag zwischen linksdiagonaler und rechtsdiagonaler Ausrichtung des IDM ermittelt. Nach der Durchführung empirischer Testreihen konnten über diese beiden neu generierten Klassifikationsmerkmale weitere Nicht-Siedlungsflächen ausgeschlossen werden.

Des Weiteren wird zum Herausfiltern nicht kompakter Nicht-Siedlungsflächen das Längen/Breiten – Verhältnis je Segment (vgl. DELFINIENS IMAGING 2003) eingeführt, so dass im Ergebnis die Anwendung dieses Parameters zum Wegfallen langer und

schmaler Segmente (Flüsse oder Autobahnen), die per Definition (vgl. APEL & HENCKEL 1995) nicht zur Klasse „Siedlung“ zugezählt werden dürfen, führt.

Zum Abschluss werden über die Berechnung des NDVI je Segment (Normalized Difference Vegetation Index), auf Grundlage der multispektralen Daten weitere Nicht-Siedlungsflächen (Beispiel: Wald und Vegetation) eliminiert.

### **Klassifikation der zweiten Segmentierungsebene**

In der zweiten Segmentierungsebene werden die Schwellwerte für die Klassifikationsmerkmale (Textur-, Form- und NDVI) angehoben und nur noch auf die Filialsegmente (vgl. EHLERS et al. 2005) angewendet, die Teil eines Nicht-Ausschlussflächen-Segments im dritten Level sind.

Zusätzlich zu den bereits bekannten Klassifikationsmerkmalen werden in dieser Segmentierungsebene zwei weitere Neuerungen eingeführt. Die erste Neuerung besteht in der Anwendung eines weiteren Formparameters, dem Kompaktheitsgrad:

$$\text{Kompaktheitsgrad} = \frac{\text{Segmentlänge} * \text{Segmentbreite}}{\text{Pixelanzahl}}$$

Die Idee bei der Anwendung des Kompaktheitsgrades ist, dass durch Verringerung der Segmentgröße im zweiten Level (geringerer Scale) vom Menschen geprägte Flächen und Gebäude (Beispiel: Hallen) kompaktere Formen aufweisen als naturbelassene Flächen. Nach der Durchführung empirischer Versuchsreihen bestätigte sich diese Annahme, so dass weitere Nicht-Siedlungsflächen ausgeschlossen werden konnten.

Zwar führte die Verschärfung der Restriktionen (Schwellwertanhebung) im zweiten Level zu einer erfolgreichen Eingrenzung der Siedlungsflächen, dennoch trat ein unerwünschter Nebeneffekt auf: Es kam zu einer Elimination von Siedlungsflächen innerhalb von Siedlungsgebieten (Abb. 4, gelb umrandet). Begründet wird dieser Effekt nach SCHIEWE et. al. (2001) durch den hierarchischen Klassifikationsansatz, der zu unerwünschten Splitterpolygonen oder sogar fehlenden Segmenten führen kann.

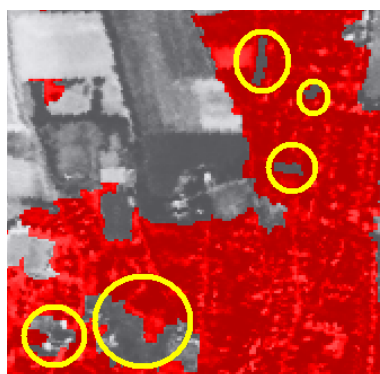


Abb. 4: Beispiele für Splitterpolygone in Siedlungen (Quelle: EHLERS et al. 2006)

Um diese Splitterpolygone (Grünflächen oder Gebiete mit geringer Textur) wieder einzugliedern, wird zur Mutterklasse „Siedlung“ eine Tochterklasse „eingeschlossene Segmente“ eingeführt, die über Nachbarschaftsbeziehungen und Texturparameter definiert (siehe auch TOMOWSKI et al. 2006b) wird.

Nach erfolgter Klassifikation der zweiten Segmentierungsebene werden alle Segmente der Klasse Siedlung so weit wie möglich zusammengefasst (fusioniert) und auf Basis der veränderten Segmentgrenzen, abermals klassifiziert. Idee dieses zusätzlichen Verfahrensschrittes ist es, durch die Fusion der Siedlungssegmente mögliche verbliebene Splitterpolygone der Klasse „Siedlung“ zuzuordnen.

### **Klassifikation der ersten Segmentierungsebene**

Im ersten Segmentierungslevel wird die bis dato vorgestellte Methodik mit sehr hohen Restriktionen noch ein letztes Mal angewandt. Da durch die Anhebung der Schwellwerte wiederum sowohl Nicht-Siedlungsflächen wegfallen, aber auch neue Splitterpolygone entstehen, wird das Prinzip, diese Flächen über eine Tochterklasse wiederinzugliedern, nochmals angewandt. Zusätzlich wird jedoch noch eine weitere Klasse eingeführt: Um die zuvor im zweiten Level ermittelten Siedlungssegmente bzw. Splitterpolygone beizubehalten, wird von den Vorteilen des hierarchischen Klassifikationsnetzwerks Gebrauch gemacht. Es wird eine Beziehung zu Superobjekten (Splitterpolygone aus dem zweiten Level) hergestellt, die diese Flächen der Mutterklasse „Siedlung“ im ersten Level zuordnet. Nach erfolgter Klassifikation der ersten Segmentierungsebene werden die Siedlungssegmente ebenfalls fusioniert und auf Basis der veränderten Segmentgrenzen nochmals klassifiziert.

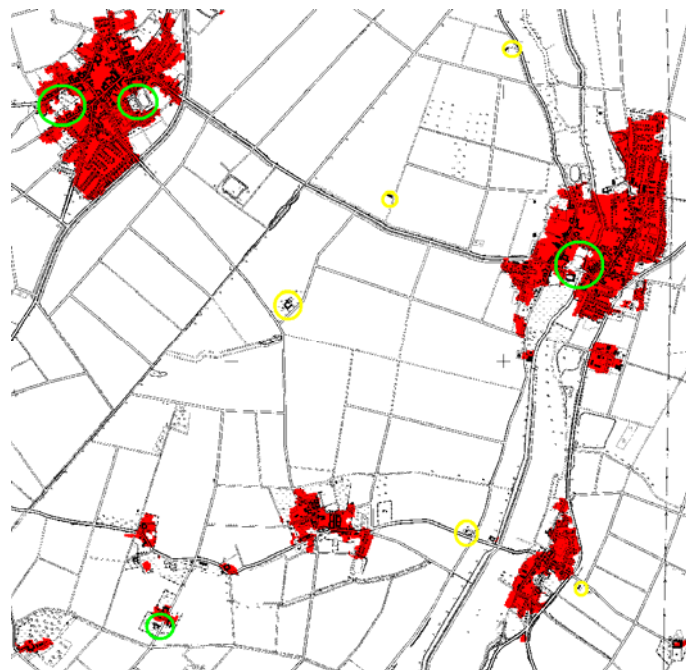


Abb. 5: Binäre Siedlungsmaske (Siedlung = rot) mit hinterlegter TK 25.

Zur Optimierung des Klassifikationsergebnisses werden abweichend vom bisher vorgestellten Grundprinzip, mit jedem tiefer liegendem Level die Restriktionen zu verschärfen, weitere Fusions- und Filtertechniken (mehr Details in TOMOWSKI et al. 2006b) angewandt, so dass als Ergebnis die binäre Siedlungsmaske vorliegt (vgl. Abb. 5).

### **Verfahrens Anpassungen bei KOMPSAT- und ASTER-Daten**

Prinzipiell bestehen nach TOMOWSKI et al. (2006b) zwei Möglichkeiten, das vorgestellte Verfahren auf Satellitenbilddaten mit differierender geometrischer Auflösung anzupassen: Erste Möglichkeit besteht in dem Ansatz, neue Unterteilungssegmentierungen zu berechnen und die Schwellwerte der Klassenmerkmale entsprechend zu korrigieren. Die zweite Möglichkeit besteht in dem Versuch, nur die Schwellwerte für die Texturmerkmale anzupassen und alle anderen Einstellungen beizubehalten. Da es sich bei der ersten Möglichkeit um einen sehr zeitaufwendigen Prozesse handelt (vgl. SCHIEWE et al. 2001) und sich die räumlichen Auflösungen von KOMPSAT mit 6,6 m sowie der SPOT-Daten mit 5,0 m auf einem ähnlichem Niveau befinden, haben wir uns für den zweiten Lösungsweg entschieden. Nach mehreren Versuchen stellte sich heraus, dass die räumlich geringer auflösenden KOMPSAT-Daten mit weniger Detailinformation eine weniger starke Textur in Bereichen mit Siedlungsflächen aufweisen, weshalb nur die Schwellwerte für alle vorgestellten Texturmerkmale dementsprechend weniger stark gewichtet wurden. Weitere Anpassungen waren nicht notwendig, so dass alle anderen vorgestellten Verfahrensschritte, Merkmale und Schwellwerte unverändert übernommen werden konnten.

## **4. Genauigkeitsanalyse**

Für beide Untersuchungsgebiete wurden die Nutzergenauigkeiten für jeden Level auf Grundlage der Referenzdaten bestimmt (vgl. Tab. 4) und anschließend ein Kappa-Koeffizient (vgl. COHEN 1960) für beide Siedlungsmasken errechnet.

Hierarchieebene	SPOT-5 / LANDSAT ETM	KOMPSAT- 1 / ASTER
Level 3	19,79%	45,28%
Level 2	76,31%	84,18%
Level 1	92,06%	95,03%
Endlevel	93,51%	97,26%

(2): Nutzergenauigkeiten je Level für beide Untersuchungsgebiete

Festzustellen ist, dass die Klassifikationsgüte mit jedem Verfahrensschritt in beiden Testgebieten sukzessive verbessert werden konnte. Zwar ist die Nutzergenauigkeit (Endlevel) beim ersten Fallbeispiel (SPOT und LANDSAT) mit 93,51 % geringer als die beim zweiten Fallbeispiel (KOMPSAT und ASTER) mit 97,27 %, jedoch bleibt zu

berücksichtigen, dass es sich beim ersten Testgebiet um einen ländlich geprägten Raum handelt, der laut Referenzmaske einen tatsächlichen Siedlungsflächenanteil von nur 9,67 % aufweist. Hingegen wurde die hohe Klassifikationsgenauigkeit des urban geprägten zweiten Testgebiets (tatsächlicher Siedlungsflächenanteil 40,34 %) mit hoher Wahrscheinlichkeit durch den überproportional starken Anteil städtischer Bebauung verursacht.

Bei einem Vergleich beider Ergebnisse über die Berechnung des Kappa-Koeffizienten beträgt der K-Wert bei einer Fusion von SPOT- und LANDSAT-Daten 0,8427 und für die KOMPSAT/ASTER-Datensatzkombination 0,8968. Somit können beide Resultate auf einer Bewertungsskala von „sehr schlecht“ bis „ausgezeichnet“ (vgl. ORTIZ et al. 1997) als ausgezeichnet bewertet werden.

## 5. Diskussion und Zusammenfassung

Im Ergebnis ist es gelungen ein semiautomatisches Verfahren zur Ableitung von Siedlungsflächen aus multisensoralen Fernerkundungsdaten zu entwickeln, das mit jedem Klassifikationsschritt zu einem besseren Ergebnis führt (vgl. Tab. 2) und auf unterschiedliche Datensätze (SPOT und LANDSAT (vgl. EHLERS et al. 2005) oder KOMPSAT und ASTER (vgl. TOMOWSKI et al. 2006b) übertragbar ist.

Probleme treten bei der Erfassung von Siedlungsgebieten geringer Größe (vgl. Abb. 5, gelb umrandet) oder Gebieten mit hohem Vegetationsanteil auf (vgl. Abb. 5, grün umrandet). Grund hierfür ist die Generalisierung, die durch die Segmentierung erfolgt (vgl. KOCH et al. 2003). Eine Möglichkeit zur Reduzierung dieses Problems ist möglicherweise eine Kombination der binären Maske mit dem Klassifikationsergebnisse eines pixelbasierten Verfahrens durch Verschneidung beider Ergebnisse. Weiterhin ist der Zeitaufwand für die Findung von optimalen Segmentierungseinstellungen und Schwellwerten für die Klassifikationsmerkmale als sehr hoch einzuschätzen (vgl. SCHIEWE et al. 2001). Durch die Verwendung der Segmentierungssoftware eCognition war es ferner nicht möglich, den Verfahrensablauf vollständig zu automatisieren oder über eine Programmierschnittstelle weitergehende Änderungen am Segmentierungsverfahren vorzunehmen (vgl. TOMOWSKI et al. 2006b). Auch müssen die Ergebnisse der Genauigkeitsanalyse unter Vorbehalt gesehen werden, da es bei einer digitalisierten Referenzmaske zu Abweichungen bei der Identifizierung von Siedlung kommen kann, die in der subjektiven Wahrnehmung des Interpreten begründet liegen.

Im Vergleich zu herkömmlichen pixelbasierten Klassifikationsverfahren, wird jedoch deutlich, dass das vorgestellte objekt- und entscheidungsbasierte Fusionsverfahren den pixelbasierten Verfahren überlegen ist (siehe dazu KOCH et al. 2003). Siedlungsflächen werden als einheitliche Regionen mit fest definierten Merkmalen identifiziert, ohne eine Vielzahl von fehlklassifizierten Pixeln aufzuweisen (Salt-and-Pepper-Effekt). Ferner



wurde aufgezeigt, dass das Verfahren auf unterschiedliche Datensätze (SPOT/LANDSAT und KOMPSAT/ASTER) übertragbar ist, ohne Verfahrensschritte und Merkmale zu ändern (vgl. TOMOWSKI et al. 2006b). Des Weiteren wurden zusammenhängende Siedlungsflächen in beiden Untersuchungsgebieten sicher erfasst. Auf der Grundlage der Definition von Siedlung nach APEL & HENCKEL (1995) ist es ebenso möglich, die erzeugte binäre Siedlungsmaske als Grundlage für eine weitere Differenzierung von Landnutzungen zu verwenden.

Für die weitere Forschungsarbeit wird insbesondere die Frage untersucht werden, inwiefern die Erfassung von Siedlungsflächen geringer Größe verbessert werden kann und ob der Klassifikationsablauf weiter automatisierbar ist.

## Literatur

**Apel, D. & Henckel, D.** (1995): „Flächen sparen, Verkehr reduzieren – Möglichkeiten zur Steuerung der Siedlungs- und Verkehrsentwicklung“, in: Deutsches Institut für Urbanistik (Hrsg.): Difu-Beiträge zur Stadtentwicklung, 16. Berlin. S. 29-40

**Congalton, R. & Green, K.** (1999): "Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices". Lewis Publishers. New York

**Cohen, J.** (1960): A coefficient of agreement for nominal scales. in: Educ and Psychol Meas, 20, S. 37-46

**Definiens Imaging (2003):** "eCognition Userguide 3". München

**Ehlers, M. & Klonus, S.** (2004): „Erhalt der spektralen Charakteristika bei der Bildfusion durch FFT basierte Filterung“, in: Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation, 6, S. 495-506

**Ehlers, M., Michel, U., Bohmann, G. & Tomowski, D.** (2005): „Entscheidungsbasierte Datenfusion von multisensoralen Fernerkundungsdaten zur Erkennung von Siedlungsgebieten“, in: Seyfert, E. (Hrsg.): "GEO-GOVERNMENT - Wirtschaftliche Innovation durch Geodaten", Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF), 14. S. 209-216

**Ehlers, M., Michel, U., Bohmann, G. & Tomowski, D.** (2006): „Decision Based Data Fusion Techniques for the Analysis of Settlement Areas from Multisensor Remote Sensing Data“, Proceedings of ASPRS 2006 Annual Convention "Prospecting for Geospatial Integration", Reno, USA

**Haralick, R., Shanmugam, K. & Dinstein, I.** (1973): „Textural features for image classification“, in: IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., SMC-3. S. 610-621

**Koch, B.; Jochum, M.; Ivits, E. & Dees, M.** (2003): „Pixelbasierte Klassifizierung im Vergleich und zur Ergänzung zum objektbasierten Verfahren“, in: Photogrammetrie – Fernerkundung - Geoinformation, 3. S. 195-204

**Michel, U., Ehlers, M, Bohmann, G. & Tomowski, D.** (2006): „Advanced Fusion Techniques For Automated Detection Of Settlement Areas“, Proceedings of ISPRS Mid-term Symposium 2006 "From Pixel to Processes", Enschede, Netherlands

**Netzband, M.** (1998): „Möglichkeiten und Grenzen der Fernerkundung zur Versiegelungskartierung in Siedlungsräumen“, in: Institut für ökologische Raumgliederung (Hrsg.): IÖR-Schriften, 28. Dresden

**Ortiz, M., Formaggio, R. & Epiphanio, J.** (1997): Classification of croplands through integration of remote sensing, GIS and historical database, in: International Journal of Remote Sensing, 1, S. 95-105.

**Pohl, C. & Van Genderen, J.** (1998): „Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications“, in: International Journal of Remote Sensing, 19. S. 823-854

**Schiewe, J., Tufte, L. & Ehlers, M.** (2001): „Potential and Problems of Multi-Scale Segmentation Methods in Remote Sensing“, in: Geo-Information-Systeme, 6. S. 34-39

**Steinnocher K.** (1997): „Texturanalyse zur Detektion von Siedlungsgebieten in hochauflösenden panchromatischen Satellitenbilddaten“, Proceedings of AGIT IX, 2.-4. Juli 1997, Salzburger Geographische Materialien, 26. S. 143-152

**Tomowski, D., Ehlers, M., Michel, U. & Bohmann, G.** (2006a): „Decision Based Data Fusion Techniques For Settlement Area Detection From Multisensor Remote Sensing Data“, Proceedings of the First Workshop of the EARSeL Special Interest Group on Urban Remote Sensing “Challenges and Solutions”, 1.-3. März, Berlin

**Tomowski, D., Ehlers, M., Michel, U. & Bohmann, G.** (2006b): „Objektorientierte Klassifikation von Siedlungsflächen durch multisensorale Fernerkundungsdaten“, in: Gi-reports@igf, 3, Osnabrück. Online im Internet unter: [http://elib.ub.uni-osnabrueck.de/publications/ELibD131\\_gi-reports\\_igf3.pdf](http://elib.ub.uni-osnabrueck.de/publications/ELibD131_gi-reports_igf3.pdf)

**Zhang, Y.** (2002). “Automatic image fusion: A new sharpening technique for IKONOS multispectral images”, in: GIM International 16(5). S. 54-57



# Satellitenbilder im Unterricht – eine internationale Vergleichsstudie zum schulischen Fernerkundungseinsatz

Prof. Dr. Alexander Siegmund (siegmond@ph-heidelberg.de)  
a.L. Alexandra Wolf(wolf@ph-heidelberg.de)  
Pädagogische Hochschule Heidelberg, Abteilung Geographie  
Im Neuenheimer Feld 561, 69120 Heidelberg

## Abstract

Satelliten- und Luftbilder sind in Atlanten, Schulbüchern und Bildbänden immer häufiger zu finden. Dennoch ist der Einsatz von Fernerkundungsmethoden in Deutschland sowohl im Unterricht als auch in den Bildungsplänen nach wie vor kaum verbreitet. Doch der Vermittlung und Anwendung moderner geographischer Methoden und Arbeitsweisen in der Schule, zu denen der Umgang mit Satelliten- und Luftbildern zählt, kommt sowohl vor dem Hintergrund der voranschreitenden Globalisierung, der wachsenden Umweltprobleme und einem verstärkten ökologischen Problembewusstsein als auch den Ergebnissen der PISA Studien 2000 und 2003 eine zunehmende Bedeutung zu. Die PISA Studien haben aufgezeigt, dass die Leistungen deutscher Schülerinnen und Schüler in der naturwissenschaftlichen Kompetenz 2000 signifikant unter dem OECD-Mittelwert lagen und 2003 nur im internationalen Durchschnitt.

Gerade dieses Ergebnis zeigt auf, dass die Einführung und Anwendung aktueller fachspezifischer Instrumentarien unabdingbar ist um eine nachhaltige Entwicklung einer Problemlöse- und Handlungskompetenz zu gewährleisten. In den Geo- und Umweltwissenschaften drückt sich diese in einer Raumverhaltenskompetenz, einem auf dem Verständnis des räumlichen Struktur- und Prozessgefüges aufbauenden und daran angepassten Umweltverhalten aus.

Vor diesem Hintergrund sollen im Rahmen einer internationalen Befragung die unterschiedlichen Konzeptionen von Lehrern und Schülern zu Umfang und Art des Einsatzes von Satelliten- und Luftbildern im (Geographie)unterricht untersucht werden. Dabei werden neben dem persönlichen und schulischen Umfeld vor allem die fachliche Kompetenz der Schüler im Umgang mit Satellitenbildern untersucht. Die Befragung wird im Rahmen eines Online-Fragebogens durchgeführt. Bei der Auswahl der beteiligten Länder wurde auf die Ergebnisse der naturwissenschaftlichen Kompetenz in der PISA-Studie 2003 zurückgegriffen. Ausgewählt wurden fünf Länder oberhalb des OECD-Durchschnitts (Finnland, Korea, Australien, Schweiz, Frankreich), drei Länder innerhalb des OECD-Durchschnitts (Schweden, Deutschland, Polen) und fünf Länder unterhalb des OECD-Durchschnitts (USA, Österreich, Spanien, Portugal, Mexiko). Die Fragebögen für Lehrer und Schüler stehen in den jeweiligen Sprachen zur Verfügung. Die auf der Grundlage der internationalen Vergleichsstudien gewonnenen Informationen über

strukturelle Rahmenbedingungen, methodisch-didaktische Umsetzungskonzepte und inhaltliche Fragestellungen, die den operativen Einsatz von Satelliten- und Luftbildern im Geographieunterricht der jeweiligen Länder begünstigen oder möglicherweise hemmen, sollen unmittelbar in den Entwurf einer eigenen integrierten fernerkundungs-didaktischen Gesamtkonzeption einfließen. Auf dieser Grundlage soll eine interaktive und multimediale Lernumgebung als Kern eines fernerkundungs-didaktischen Gesamtkonzepts zum Einsatz von Satelliten- und Luftbildern entwickelt werden, deren Schwerpunkt auf der Sekundarstufe I liegt. Ihren Kern bildet eine interaktive und multimediale Lernumgebung die über eine Internetplattform webbasiert zum Einsatz kommen soll. Das Konzept soll im Rahmen eines methodisch-didaktischen Medien- und Instrumentarien-Mix zur Förderung der Raumverhaltenskompetenz von Jugendlichen abschließend im schulischen Einsatz evaluiert werden.

## 1. Einleitung

Dem Einsatz von Satelliten- und Luftbildern kommt in vielen Bereichen der Geo- und Umweltwissenschaften eine zunehmende Bedeutung zu. Ihr Einsatzspektrum reicht von der Exploration von Rohstoffen und der Wettervorhersage über die Überwachung von Ernteerträgen, Umweltverschmutzungen und Umweltkatastrophen bis hin zu Fragen der Raumplanung und des Städtebaus. Die Vorteile der Fernerkundungsdaten gegenüber Karten und Untersuchungen vom Boden aus liegen auf der Hand: Sie sind aktuell, schnell verfügbar, erfassen große, mitunter nur schwer zugängliche Regionen und lassen sich vielfältig auswerten.

Während sich diese Vorteile der Fernerkundung viele Gebiete der angewandten Raum- und Umweltforschung bereits lange zunutze machen und der Satelliten- und Luftbildeinsatz boomt, fristet er in den Schulen all zu häufig noch ein „Mauerblümchendasein“. Dabei kann die Auswertung von Fernerkundungsdaten auch und gerade aus fachdidaktischen Gesichtspunkten einen wertvollen Beitrag zur Klärung vielfältiger geographischer Fragestellungen leisten.

Das laufende Forschungsprojekt möchte dazu beitragen, Satellitenbilder aus dem „Mauerblümchendasein“ herauszuholen. Vor diesem Hintergrund werden zwei Hauptziele verfolgt:

1. Eine internationale Bestandsaufnahme zu Umfang und Art des Einsatzes von Satelliten- und Luftbildern im (Geographie)unterricht.
2. Entwicklung einer interaktiven, multimedialen, multilinenen und multimedialen Lernumgebung als Kern eines fernerkundungs-didaktischen Gesamtkonzepts zum selbstgeleiteten und kontextgebundenen Einsatz von Satelliten- und Luftbildern und

deren Evaluation in der praktischen Anwendung mit Schwerpunkt auf der Sekundarstufe I.

## 2. Satellitenbilder und Bildungsplan

Satelliten- und Luftbilder sind in Atlanten, Schulbüchern und Bildbänden immer häufiger zu finden. Dennoch ist der Einsatz von Fernerkundungsmethoden in Deutschland sowohl im Unterricht als auch in den Bildungsplänen nach wie vor kaum verbreitet. Anfang 2006 wurden für das Fach Geographie Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss formuliert, die als Basis für alle Bundesländer eingeführt werden sollen. Darin werden Satellitenbilder explizit als Informationsform bzw. Medien genannt. „Schülerinnen und Schüler erwerben im Geographieunterricht die *Kenntnis*, dass sich geographische Informationen in zahlreichen Quellen (...) finden und in zahlreichen Informationsformen/Medien (Karten, Fotos, Luft- und Satellitenbildern, Diagrammen, Statistiken, graphischen Darstellungen, Texten) vorkommen“ (BILDUNGSSTANDARDS 2006, S. 12). Weiterhin werden Satellitenbilder im Zusammenhang mit der Fähigkeit aufgeführt, aus verschiedenen Informationsquellen und Medien geographisch relevante Informationen bezüglich ihrer Bedeutung und ihres Erklärungswertes fachlich zu beurteilen. „Sie erfahren z. B. die unterschiedliche Aussagekraft von Karte, Luft- und Satellitenbild oder sie erkennen die verschiedenen Möglichkeiten der Steuerung, wenn sie Zahlen aus Statistiken in Karten oder Diagramme umsetzen“ (BILDUNGSSTANDARDS 2006, S. 15).

## 3. Satellitenbilder im Unterricht

Gerade der Vermittlung und Anwendung moderner geographischer Methoden und Arbeitsweisen in der Schule, zu denen der Umgang mit Satelliten- und Luftbildern zählt, kommt sowohl vor dem Hintergrund der voranschreitenden Globalisierung, der wachsenden Umweltprobleme als auch einem verstärkten ökologischen Problembewusstsein eine zunehmende Bedeutung zu. Die Einführung und Anwendung aktueller fachspezifischer Instrumentarien sollen durch die Förderung der Methoden- aber auch der Fach- und Personalkompetenz der nachhaltigen Entwicklung einer Problemlöse- und Handlungskompetenz Vorschub leisten. In den Geo- und Umweltwissenschaften drückt sich diese in einer Raumverhaltenskompetenz (vgl. KÖCK 1993, VERBAND DEUTSCHER SCHULGEOGRAPHEN 2003), einem auf dem Verständnis des räumlichen Struktur- und Prozessgefüges aufbauenden und daran angepassten Umweltverhalten aus. Die PISA Studien der vergangenen Jahre haben gezeigt, dass die Leistungen deutscher Schülerinnen und Schüler in der naturwissenschaftlichen Kompetenz 2000 signifikant unter dem OECD-Mittelwert lagen und 2003 nur im internationalen Durchschnitt. Dabei eröffnen die Möglichkeiten der Datenbeschaffung

und Bildverarbeitung vielfältige Unterrichtsideen nicht nur für den Geographieunterricht, sondern auch für zahlreiche andere Fächer bei raumrelevanten Themen (SIEGMUND 2005). Fernerkundungsdaten liefern in Form anschaulicher, unmittelbarer „Bilder“ der Erdoberfläche umfangreiche primäre Rauminformationen und fördern damit das projekt- und handlungsorientierte Lernen, da Satelliten- und Luftbilder unmittelbar mit der Realität verglichen und fächerübergreifend auch in Fächern wie Physik, Biologie, Geschichte etc. interpretiert werden können. Abgesehen von dem didaktischen Potenzial der Fernerkundung wird durch die Anwendung dieser Methoden zusätzlich ein Beitrag zur informationstechnischen Grundbildung geleistet (KESTLER 2003).

#### 4. Internationale Bestandsaufnahme zu Umfang und Art des Einsatzes von Satelliten- und Luftbildern im (Geographie)unterricht

Mit Hilfe eines internationalen Online-Fragebogens sowohl für Lehrerinnen und Lehrer als auch für Schülerinnen und Schüler werden Informationen über strukturelle Rahmenbedingungen, methodisch-didaktische Umsetzungskonzepte und inhaltliche Fragestellungen, die den operativen Einsatz von Satelliten- und Luftbildern im Geographieunterricht der jeweiligen Länder begünstigen oder hemmen erhoben, analysiert und in den Kontext der jeweiligen Schulsysteme und Bildungspläne gestellt. Bei den Schülerinnen und Schülern werden neben dem persönlichen und schulischen Umfeld vor allem die fachliche Kompetenz im Umgang mit Satellitenbildern untersucht.

Bei der Auswahl der beteiligten Länder wurde auf die Ergebnisse der naturwissenschaftlichen Kompetenz in der PISA-Studie 2003 zurückgegriffen. Ausgewählt wurden fünf Länder oberhalb des OECD-Durchschnitts (Finnland, Korea, Australien, Schweiz, Frankreich), drei Länder innerhalb des OECD-Durchschnitts (Schweden, Deutschland, Polen) und fünf Länder unterhalb des OECD-Durchschnitts (USA, Österreich, Spanien, Portugal, Mexiko). Die Fragebögen stehen den teilnehmenden Klassen in den jeweiligen Sprachen zur Verfügung.

Bei der Suche nach geeigneten Lehrer/innen und Schulklassen bestehen durch eine Kooperation mit dem Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel (IPN) u.a. über das internationale GLOBE-Projekt sowie durch die Mitgliedschaft im EU-Projekt „Geography Thematic Network for Higher Education“ (HEROdot) entsprechende Kontakte zu verschiedenen Schulnetzwerken.

Das Projekt „Satellitenbilder im Geographieunterricht“ steht auf der Internetseite [www.satbilder-geo.uni-hd.de](http://www.satbilder-geo.uni-hd.de) international zur Verfügung. Der Online-Fragebogen wurde in PHP (Scriptsprache die zur Erstellung von Webseiten oder Webanwendungen verwendet wird) programmiert und basiert auf einer SQL-Datenbank. Die Teilnehmer des Fragebogens erhalten einen Code-Index der es ermöglicht, die Ergebnisse, die als



SQL-Tabelle gespeichert werden, der teilnehmenden Schule wieder zuzuordnen. Zur Auswertung können die Ergebnisse in Excel oder SPSS importiert werden.

Auf der Einstiegsseite (vgl. Abb. 1) erfolgt die Sprachauswahl – insgesamt stehen neun Sprachen zur Verfügung.



Abb. 1: Startseite des Online-Fragebogens mit Sprachauswahl

Nach der Sprachauswahl erhält der Anwender Informationen zu dem Projekt, den Projektleitern und spezielle Informationen für Lehrerinnen und Lehrer (vgl. Abb. 2) bzw. Schülerinnen und Schüler. Über ein Kontaktformular ist es möglich, weitere Informationen bzw. Zugangscodes zum Fragebogen zu erhalten. Es besteht somit die Möglichkeit, dass Schulklassen an der Befragung teilnehmen können, auch wenn diese nicht direkt angeschrieben wurden.



Abb. 2: Informationsseite für Lehrerinnen und Lehrer

Mit dem entsprechenden Zugangscode (Code-Index) kann der Anwender nun am Fragebogen teilnehmen. Der Lehrerfragebogen fokussiert sich neben allgemeinen Fragen zum Fach Geographie und zur Medienausstattung der Schule auf die inhaltliche Fragestellung des operativen Einsatzes von Satellitenbildern im Unterricht (vgl. Abb. 3). Gefragt wird u. a. nach der Verankerung von Satellitenbildern im Bildungsplan, den Themen, zu denen Satellitenbilder eingesetzt werden und zu den Gründen, warum Satellitenbilder im Unterricht bzw. nicht im Unterricht eingesetzt werden. Dadurch sollen Zusammenhänge zwischen der Medienausstattung, den Bildungsplänen und dem Einsatz von Satellitenbildern aufgezeigt werden. Weiterhin gilt es herauszufinden, ob sich bestimmte Themen im Geographieunterricht für den Einsatz von Satellitenbildern besonders eignen.

**11. Kennen Sie Materialangebote zum Thema Satellitenbilder im Unterricht?**  ja  nein

Wenn ja, wo?

Schulbuch  Lehrmaterialien  Internet

CD-Roms  Sonstiges: \_\_\_\_\_

**12. Setzen Sie Satellitenbilder im Unterricht ein?**  ja  nein

Wenn Sie Frage 12 mit nein beantwortet haben, dann gehen Sie bitte weiter zu Frage 16.

**13. Zu welchen Themen setzen Sie Satellitenbilder im Unterricht ein? (Mehrfachnennungen möglich)**

Flächenverbrauch  Klimazonen  Landnutzung

Naturkatastrophen  Planet Erde  Stadtgeographie

Topographie  Tropischer Regenwald  Umweltprobleme

Vegetationsbedeckung  Sonstige: \_\_\_\_\_

**14. Mit welchen Medien setzen Sie Satellitenbilder im Unterricht ein? (Mehrfachnennungen möglich)**

Folie  Schulbuch  Zeitungs-, Zeitschriftenausschnitt

Arbeitsblatt  Computerpräsentation  Internet

Lernsoftware  Sonstige: \_\_\_\_\_

**15. Aus welchen Gründen setzen Sie Satellitenbilder im Unterricht ein?**

	stimmt genau	stimmt ziemlich	stimmt wenig	stimmt gar nicht
a) Aktualität	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b) Schnelle Verfügbarkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c) Motivierend für Schüler	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d) Informationsvielfalt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e) Sonstiges:	_____			

Abb. 3: Ausschnitt Lehrerfragebogen

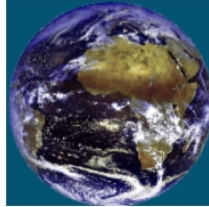
Zusätzlich zur inhaltlichen Fragestellung des operativen Einsatzes von Satellitenbildern im Unterricht wird bei den Schülerinnen und Schülern auch die fachliche Kompetenz bzw. das Vorwissen aufgenommen (vgl. Abb. 4). Dazu sollen Themengebiete bestimmten Satellitenbildern zugeordnet werden und Farbbedeutungen herausgearbeitet werden. Weiterhin werden Eigenschaften von Satellitenbildern und Karten vorgegeben, die von den Schülerinnen und Schülern passend zusortiert werden sollen. Durch das Abfragen des Vorwissens lässt sich herausfinden, ob Schülerinnen und Schüler bestimmte Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten zu Satellitenbildern besitzen, auch wenn sie sich im Unterricht noch nicht damit beschäftigt haben. Außerdem ist es möglich, einen Ländervergleich zu dieser fachlichen Kompetenz zu erstellen.

## 24. Satellitenbilder liefern Informationen zu zahlreichen Fragestellungen.

- a) Welches Satellitenbild eignet sich am besten um die unten aufgeführten Themen zu untersuchen?  
Schreibe den passenden Buchstaben in das Kästchen neben dem Satellitenbild.

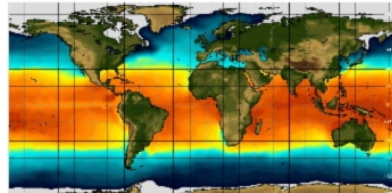
- Stadtentwicklung **A**  
Wettervorhersagen **B**  
Überwachung Holzeinschlag im Tropischen Regenwald **C**  
Wassertemperatur **D**

- b) Beantworte jeweils die Fragen zu den Satellitenbildern.

= 

Welche Bedeutung haben die weißen Flächen?

- Gletscherverteilung   
Schneefall   
Wolken   
tiefe Lufttemperatur

= 

Welche Bedeutung haben die rot-orangen Flächen?

- kalte Temperatur der Meeresoberfläche   
warme Temperatur der Meeresoberfläche   
Ozonloch   
Wolkenverteilung

Abb. 4: Ausschnitt Schülerfragebogen

Die Schulen werden zurzeit kontaktiert, mit ersten Ergebnissen ist Anfang 2007 zu rechnen.

## 5. Entwicklung einer interaktiven, multimedialen, multimedialen und multimedialen Lernumgebung als Kern eines fernerkundungsdidaktischen Gesamtkonzepts

Die aus der internationalen Vergleichsstudie gewonnenen Ergebnisse leiten unmittelbar in den eigenen Entwurf einer fernerkundungsgestützten Gesamtkonzeption über. Die verschiedenen Unterrichtsbausteine umfassen Handreichungen für Lehrerinnen und Lehrer, Materialien und Aufgabenstellungen sowie Präsentationselemente, die für den unmittelbaren Einsatz im Unterricht ausgelegt sind. In deren Mittelpunkt steht die Entwicklung einer interaktiven und multimedialen Lernumgebung, die den schulischen Fernerkundungseinsatz fördern soll. Dabei werden konkrete Fragestellungen und Anwendungsbeispiele zu Satellitenbildern entwickelt, die von Animationen, Filmsequenzen etc. ergänzt werden. In unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden werden die Anwender mehrere Teilmodule mit unterschiedlichen Fragestellungen durchspielen. Im Rahmen eines vom Ministerium für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (MUNLV) geförderten Projektes „Visualisierung der Landnutzung und des Flächenverbrauchs in Nordrhein-Westfalen auf der Basis von

Satellitenbildern“ konnten bereits Vorarbeiten geleistet werden. In zwei Schwierigkeitsgraden durchspielen die Anwender zehn Teilmodule zum Verständnis von Satellitenbildern. Als Grundlage dafür dienen Satellitenbilder zu Nordrhein-Westfalen.

### Beispiele der einzelnen Teilmodule

#### Einstieg:

Die Anwender können sich auf der Einstiegsseite entscheiden, in welchem Level sie spielen möchten (vgl. Abb.5). Für beide Levels wurde eine eigene Sympathiefigur entwickelt.

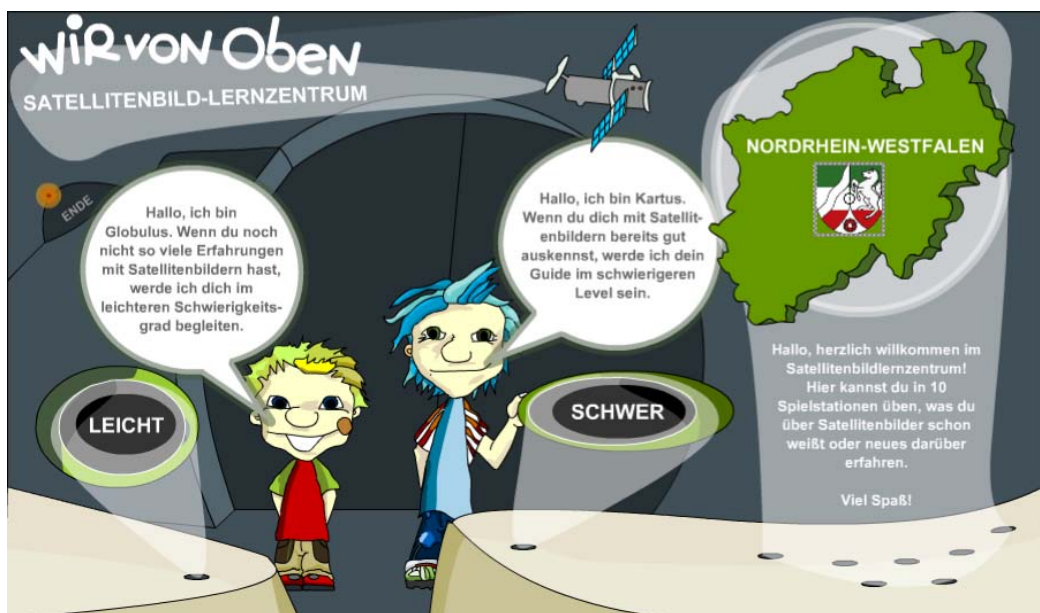


Abb. 5: Einstiegsoberfläche Lernsoftware „Wir von oben“

#### Präsentationsplattform:

Auf der „Spieleübersicht“ können die Anwender die einzelnen Teilmodule erreichen (vgl. Abb. 6). Auf der Umrisskarte von NRW erscheinen Symbole für die zehn Module, die angeklickt werden können. Jedes Teilmodul kann nur ein Mal gespielt werden. Ziel dabei ist es, so viele Punkte wie möglich zu sammeln.

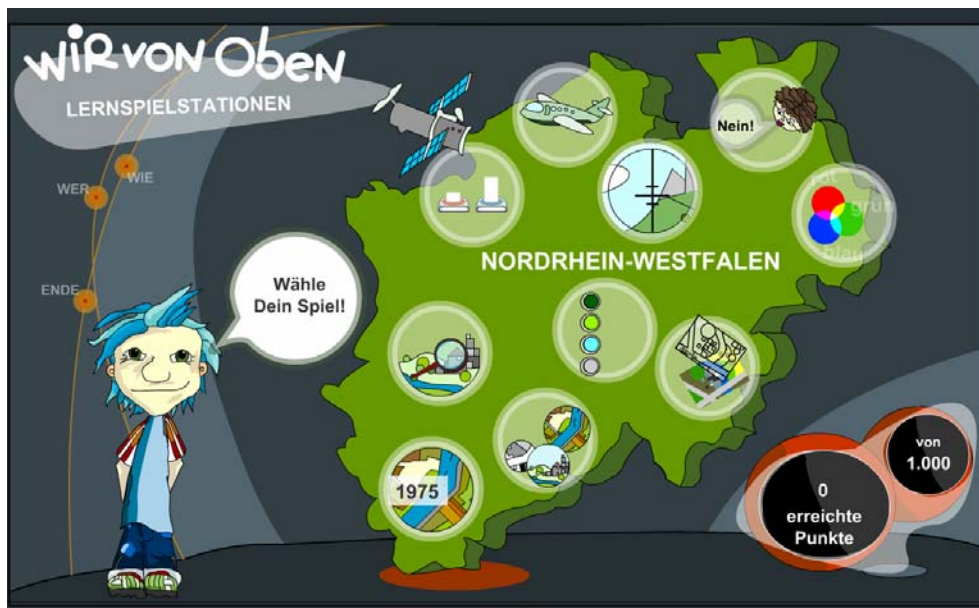


Abb. 6: Präsentationsplattform

Teilmodul „Memory“:

Ziel des Spieles ist es, die drei zusammengehörenden „Memorykarten“ zu finden. In drei Fenstern werden je ein Bodenbild, eine topographische Karte und ein Satellitenbild gezeigt (vgl. Abb. 7). Mit den Buttons „vor“ und „zurück“ müssen die drei passenden Bilder zusammen gefunden werden. Dadurch wird die Kompetenz des Kartenverständnisses und der Perspektivenwechsel geschult.



Abb. 7: Teilmodul "Memory"

## Teilmodul „Legende“

Ziel des Spieles ist es, die farbigen Punkte der Legendenbeschriftung zuzuordnen (vgl. Abb. 8). Die Farbpunkte werden mit „drag and drop“ zur Legende sortiert. Das Satellitenbild kann jederzeit von Echtfarbensatellitenbild zu klassifiziertem Satellitenbild umgewandelt werden. Die Anwender erreichen durch diese Übung ebenfalls die Kompetenz des Kartenlesens sowie das Verständnis für die Bedeutung und Entstehung einer Legende. Die Schülerinnen und Schüler sind somit in der Lage, selbständig Informationen aus Satellitenbildern zu gewinnen.

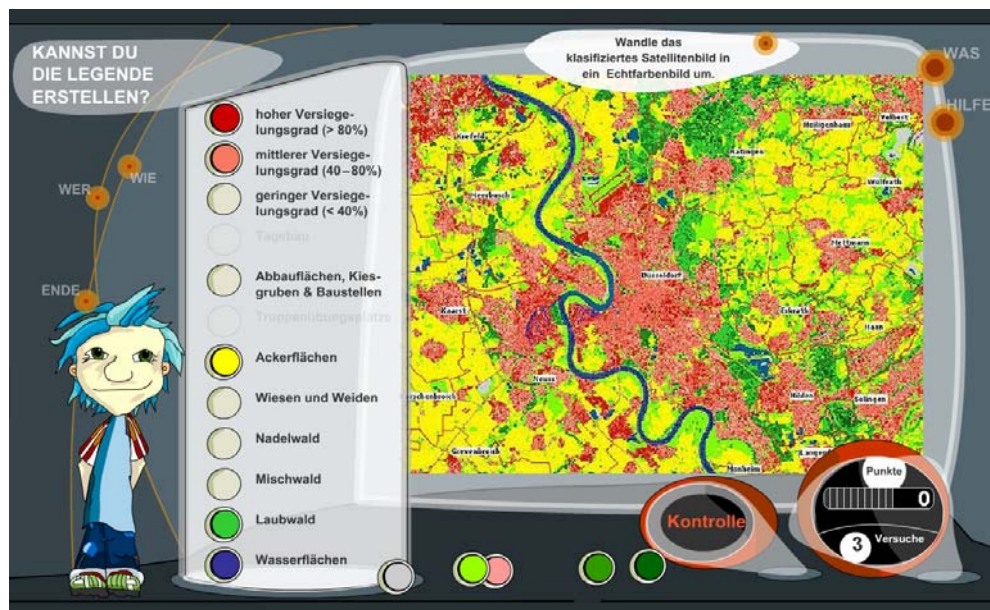


Abb. 8: Teilmodul „Legende“

Insgesamt beinhalten die verschiedenen Bausteine damit eine umfassende schularts- bzw. altersspezifische Einführung in die Thematik auf unterschiedlicher visueller, medialer und interaktiver Ebene mit praktischen Anwendungsbeispielen sowie umfangreiche Aufgabenstellungen.

## 6. Zusammenfassung

So sollen durch das Projekt wesentliche Strukturen, Inhalte und Anwendungsbeispiele einer nachhaltigen didaktischen Ein- und Hinführung zum Einsatz von Satelliten- und Luftbildern auf der Basis der empirischen Forschungsergebnisse des internationalen Online-Fragebogens im Unterricht dargestellt und umgesetzt werden, ganz nach dem Motto: Man sieht nur was man (er)kennt.

## Literatur

- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR GEOGRAPHIE (DGfG) (Hrsg.) (2003): Bildungsstandards im Fach Geographie für den Mittleren Schulabschluss, Berlin.
- KESTLER, F. (2003): Einführung in die Didaktik des Geographieunterrichts, Bad Heilbrunn.
- KÖCK, H. (1993): Raumbezogene Schlüsselqualifikationen – der fachimmanente Beitrag des Geographieunterrichts zum Lebensalltag des Einzelnen und Funktionieren der Gesellschaft. In: Geographie und Schule, H. 84, S. 14-22.
- SIEGMUND, A. (2005): Fernes nah gebracht – zum Einsatz von Satelliten- und Luftbildern im Geographieunterricht. In: Geographie und Schule, H. 154, S. 2-10.
- VERBAND DEUTSCHER SCHULGEOGRAPHEN E.V. (VDSG) (Hrsg.) (2003): Geowissenschaften und Globalisierung, Memorandum zur geographischen Bildung und Erziehung in Deutschland, Schriften Nr. 7, Bretten.