

Verwundbarkeitsanalyse urbaner Räume: Ableitung von Indikatoren aus multisensoralen Fernerkundungsdaten

Hannes Taubenböck, Michael Wurm, Igor Klein, Thomas Esch

(Dr. Hannes Taubenböck, DLR, Wessling, hannes.taubeboeck@dlr.de)

(Mag. rer. nat. Michael Wurm, DLR, Wessling, michael.wurm@dlr.de)

(Dipl. Geogr. Igor Klein, DLR, Wessling, igor.klein@dlr.de)

(Dr. Thomas Esch, DLR, Wessling, thomas.esch@dlr.de)

1 KURZFASSUNG

Hochwasserereignisse stellen in Deutschland eine immanente Gefährdung dar. Trotz vieler technischer Schutzmaßnahmen kann die Gefahr einer Überschwemmung nie ganz beseitigt werden. Voranschreitende Urbanisierung und Besiedelung von Hochwasser gefährdeten Gebieten lässt die Vulnerabilität unserer Gesellschaft gegenüber Überschwemmungen sogar ansteigen. Eine Abschätzung der Verwundbarkeit von gefährdeten Gebieten ist vor allem im Zuge des Klimawandels und der projizierten Verschiebung der Niederschläge eine wichtige Herausforderung der Gegenwart und der Zukunft.

Das Ziel dieser Studie ist es, die Potenziale und Limitierungen von Fernerkundungsdaten zur Ableitung von Indikatoren für eine entsprechende Verwundbarkeitsanalyse durchzuführen. Dies geschieht auf Basis von Fernerkundungsdaten der optischen Sensoren Ikonos und RapidEye sowie des aktiven Systems Light Detection And Ranging (LiDAR) für das Untersuchungsgebiet Wuppertal. Die angewendete objekt-orientierte Landbedeckungsklassifikation der optischen Daten erreicht hohe Genauigkeiten von über 90% richtig klassifizierter Pixel. Auf Basis der LiDAR-Daten wird des Weiteren eine automatische Gebäudemasken mit Höhenwerten generiert (3-D Stadtmodell), die es erlaubt in Kombination mit statistischen Bevölkerungsdaten eine Abschätzung der Bevölkerungsverteilung auf Gebäudeebene durchzuführen. Die gesamten thematischen Informationen werden schließlich anhand einer Indizierung einheitlich skaliert und zu einem, auf Fernerkundungsdaten basierenden, Verwundbarkeitsindex für die entsprechende räumliche Einheit zusammengeführt.

2 EINFÜHRUNG

Das Hochwasser an Oder und Weichsel Ende Mai 2010 verursachte Deichschäden, die zur Evakuierung von tausenden Menschen und durch die folgende Überschwemmung zu mehreren Millionen Euro Sachschaden führte. Es war das vorerst letzte Ereignis, das anliegende deutsche Städte zur Ausrufung der höchsten Alarmstufe zwang. Trotz vieler technischer Schutzmaßnahmen zeigt dieses Ereignis deutlich, dass die Gefahr einer Überschwemmung nie ganz beseitigt werden kann. Voranschreitende Urbanisierung und Besiedelung von Hochwasser gefährdeten Gebieten lässt die Vulnerabilität unserer Gesellschaft gegen über Überschwemmungen zudem sogar noch ansteigen. Der Klimawandel und die einhergehende geographische Verlagerung und Konzentration von Niederschlägen erschwert zusätzlich die richtige Kalkulation weiterer potenzieller Präventionsmaßnahmen. In diesem Zusammenhang ist es von eminenter Bedeutung durch Hochwasser gefährdete Gebiete auszuweisen und ihre Verwundbarkeit (vgl. Definition Vulnerabilität in 4.2) gegenüber Hochwasser abzuschätzen.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, auf Basis von Fernerkundungsdaten der optischen Sensoren Ikonos und RapidEye sowie LiDAR Daten das Potenzial hochauflösender Fernerkundungsdaten zur Ableitung von urbanen Strukturparametern und Indikatoren aufzuzeigen. Dabei steht die Klärung der Frage im Vordergrund, welchen Informationsgehalt mit welchen Genauigkeiten fernerkundliche Datensätze beitragen können und wo die Limitierungen dieser Sensoren im urbanen Bereich liegen.

Die optischen Datengrundlagen werden mit Hilfe von hierarchischen, objekt-orientierten Methoden klassifiziert, wobei das Ergebnis als Basis zur Ableitung von urbanemorphologischen Merkmalen des städtischen Raumes dienen soll. Höheninformationen aus LiDAR-Daten dienen zudem zur Ableitung eines digitalen Oberflächenmodells (DOM), das auch zur Gebäudeextrahierung mit Höheninformation herangezogen wird. Die Gebäudemasken vervollständigt die hoch detaillierte Klassifikation der urbanen Strukturen und dient als Ausgangsinformation für eine, in Kombination mit administrativen statistischen Daten, räumlich detaillierte Abschätzung der Bevölkerungsverteilung auf Gebäudeebene. Die abgeleiteten Strukturparameter werden schließlich mittels einer Zugehörigkeitsfunktion auf eine einheitliche Skala indiziert und miteinander verknüpft. Die Kombination der Strukturparameter ermöglicht es im letzten

Schritt, einen gezielten räumlichen Überblick über die Verwundbarkeit in Wuppertal zu geben. Im letzten Punkt werden die Ergebnisse in ein 3-D-Stadtmodell zusammengefügt und die jeweiligen Genauigkeiten diskutiert und bewertet.

2.1 Untersuchungsgebiet und Datengrundlage

2.1.1 Untersuchungsgebiet Wuppertal

Die Stadt Wuppertal ist im Rahmen des von Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) geförderten Projektes ‚Kritische Infrastrukturen Bevölkerung und Bevölkerungsschutz im Kontext klimawandelbeeinflusster Extremwetterereignisse‘ (KIBEX) als Untersuchungsgebiet ausgewählt worden. Wuppertal befindet sich in Nordrhein-Westfalen in einem Bogen entlang der Wupper und grenzt im Norden an die niederbergischen und im Süden an die oberbergischen Hochflächen an. Das Stadtgebiet ist zum Teil durch starkes Relief mit tiefen Kerbtälern und zahlreichen kleinen Bachläufen geprägt, die seit Jahrhunderten verbaut und verrohrt werden. Bei außergewöhnlichen Niederschlagsereignissen kommt es daher an einigen dieser Nebengewässer immer wieder zu starken Überschwemmungen.

Mittels regionaler Klimamodelle wurde am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) ein leicht ansteigender Trend der Niederschläge für die Mittelgebirgsregion um Wuppertal prognostiziert (KROPP et al., 2009). Demnach wird sich die saisonale Niederschlagsverteilung so verschieben, dass der gesamte Sommerniederschlag auf sehr intensive Sommergewitter konzentriert wird. Für die Wintermonate und vor allem für den Monat März wird eine erhöhte Niederschlagsmenge erwartet (KROPP et al., 2009). Als Folge dieser Klimaveränderung würde sich die Hochwassersituation im Stadtgebiet Wuppertal erheblich verschärfen. In Anbetracht der Hochwasserereignisse der letzten Jahre ist diese Tendenz schon statistisch nachweisbar. Die Stadt Wuppertal, mit seinen 349950 Einwohner/innen (Stand: 30.09.2009; Stadt Wuppertal) ist deshalb für eine physische Vulnerabilitätsanalyse gegenüber Hochwasser prädestiniert.

2.1.2 Datengrundlage

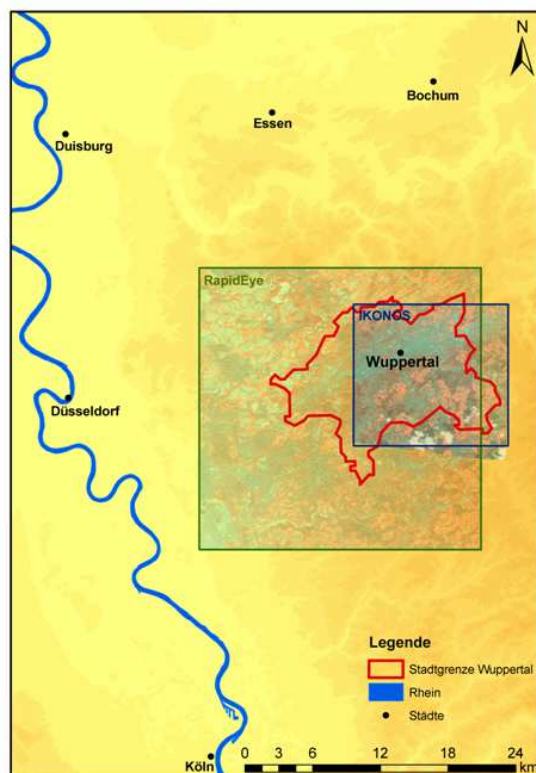


Abb. 1: Untersuchungsgebiet und die Flächenabdeckung der optischen Sensoren IKONOS bzw. RapidEye

Die Erdbeobachtung ist eine unabhängige, flächendeckende, aktuelle und vergleichsweise günstige Datenquelle. Für die Vulnerabilitätsanalyse des Untersuchungsgebiets werden Daten der optischen Sensoren Ikonos und RapidEye, sowie Daten aus einem flugzeuggetragenen Laserscansystem verwendet. Mit einer räumlichen Auflösung von 1m sind Aufnahmen des Satelliten Ikonos für Analysen in kleinräumig

strukturierten urbanen Räumen besonders gut geeignet. Der Sensor RapidEye erreicht zwar im Vergleich dazu nur eine räumliche Auflösung von 6,5m, dafür haben die Daten dieser neuen Satellitenkonstellation einige andere Vorteile. Die größere Flächenabdeckung, die höhere spektrale Auflösung und die höhere zeitliche Wiederholungsrate ein und desselben Gebiets zählen zu den großen Vorzügen des RapidEye Sensors. Abb. 1 illustriert das Untersuchungsgebiet und die Flächenabdeckung der verwendeten Szenen der beiden optischen Sensoren. Eine detaillierte Zusammenfassung der technischen Charakteristika ist in Tab. 1 aufgelistet.

Um die physische Struktur eines urbanen Raumes in seinen Formen und Dimensionen ausreichend beschreiben zu können, sind neben zweidimensionalen Satellitendaten noch zusätzliche Informationen notwendig. Flugzeuggetragene Laserscansysteme bieten die Möglichkeit die Oberfläche eines überflogenen Gebiets abzutasten und somit die jeweiligen Objekte in ihrer vertikalen Ausprägung zu beschreiben. Das Ziel bei Laserscanning ist die Messung von zahlreichen Punkten, die in ihrer Gesamtheit die Geländeoberfläche geometrisch beschreiben (ALBERTZ, 2007). In Abb. 2 sind Falschfarbenkomposite der optischen Sensoren und ein aus Laserscandaten abgeleitetes digitales Oberflächenmodell (DOM) gegenüber gestellt.

Details allgemein	IKONOS	RapidEye
Start	24. September 1999	29. August 2008
Anzahl der Satelliten	1	5
Orbithöhe	681km	630km
Repetitionsrate	ca. 1 ½Tage	täglich
Schwadbreite	11,3km	77km
Radiometrische Auflösung	11bit	12bit
Geometrische Auflösung	Pan: 1m MS: 4m	Pan: 5m MS: 6,5m
Spektrale Auflösung	Pan: 450-900nm Blau: 455-516nm Grün: 506-595nm Rot: 632-698nm NIR: 757-853nm	Pan: 440-850nm Blau: 440-510nm Grün: 520-590nm Rot: 630-685nm NIR: 760-850nm Red Edge: 690-730nm
Details verwendeter Szenen		
Scan Azimuth	179,93°	178,356°
Sun Angle Elevation	48,77552°	47,4554°
Aufnahmedatum	21.04.2005	21.08.2009
Greenwich Mean Time	11:17	14:49
Bewölkung	1%	0%

Tab. 1: Details der Sensoren und Informationen zur verwendeten Szenen

Zusätzlich zu den vorgestellten Fernerkundungsdaten werden weitere raumbezogene Daten des digitalen Basis-Landschafts-Modells (Basis-DLM) für die durchgeführte Analyse verwendet. Das Basis-DLM stellt eine Beschreibung der topographischen Objekte in der Landschaft als Vektorformat dar und dient in dieser Studie als Referenzdatensatz (BKG, 2009). Des Weiteren werden administrative Einheiten und die jeweiligen demographischen Zahlen pro Gebietseinheit für die Auswertung herangezogen. Außerdem dient ein Straßennetz des Untersuchungsgebiets aus dem OpenStreetMap-Webportal als externer Inputlayer bei der durchgeführten Landbedeckungsklassifikation.

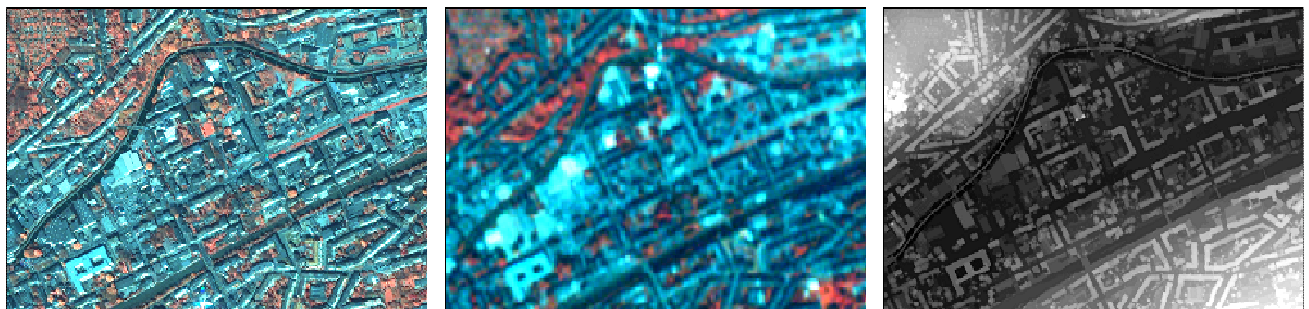


Abb. 2: Detailausschnitt der verwendeten Szenen (v. l. n. r.: Ikonos, RapidEye, digitales Oberflächenmodell).

3 METHODEN

3.1 Hierarchische objekt-orientierte Landbedeckungsklassifikation

Das Ziel einer Landbedeckungsklassifikation aus optischen Satellitendaten ist eine flächendeckende und exakte Extrahierung der tatsächlichen realen Landbedeckung. Damit wird die Fragestellung nach dem ‚was befindet sich wo‘ beantwortet und eine räumliche Analyse hinsichtlich der Vulnerabilität gegenüber Naturereignissen des Untersuchungsgebiets ermöglicht (TAUBENBÖCK et al., 2010).

In den letzten Jahren haben sich objekt-orientierte Verfahren zur Auswertung von Luft- und Satellitenbilder in der Bildverarbeitung etabliert (Blaschke, 2010). Bei einer objekt-orientierten Klassifikation werden Pixel mit ähnlichen spektralen Signaturen zu größeren Clustern (Segmente) zusammengefügt und nicht mehr einzeln betrachtet (BAATZ und SCHÄPE, 2000). Die Zusammenfassung zu ganzen Segmenten ermöglicht es, bei der Klassifizierung realitätsnahe Objekte zu erstellen und verschiedene Formparameter zu berücksichtigen (BLASCHKE und STROBL, 2001).

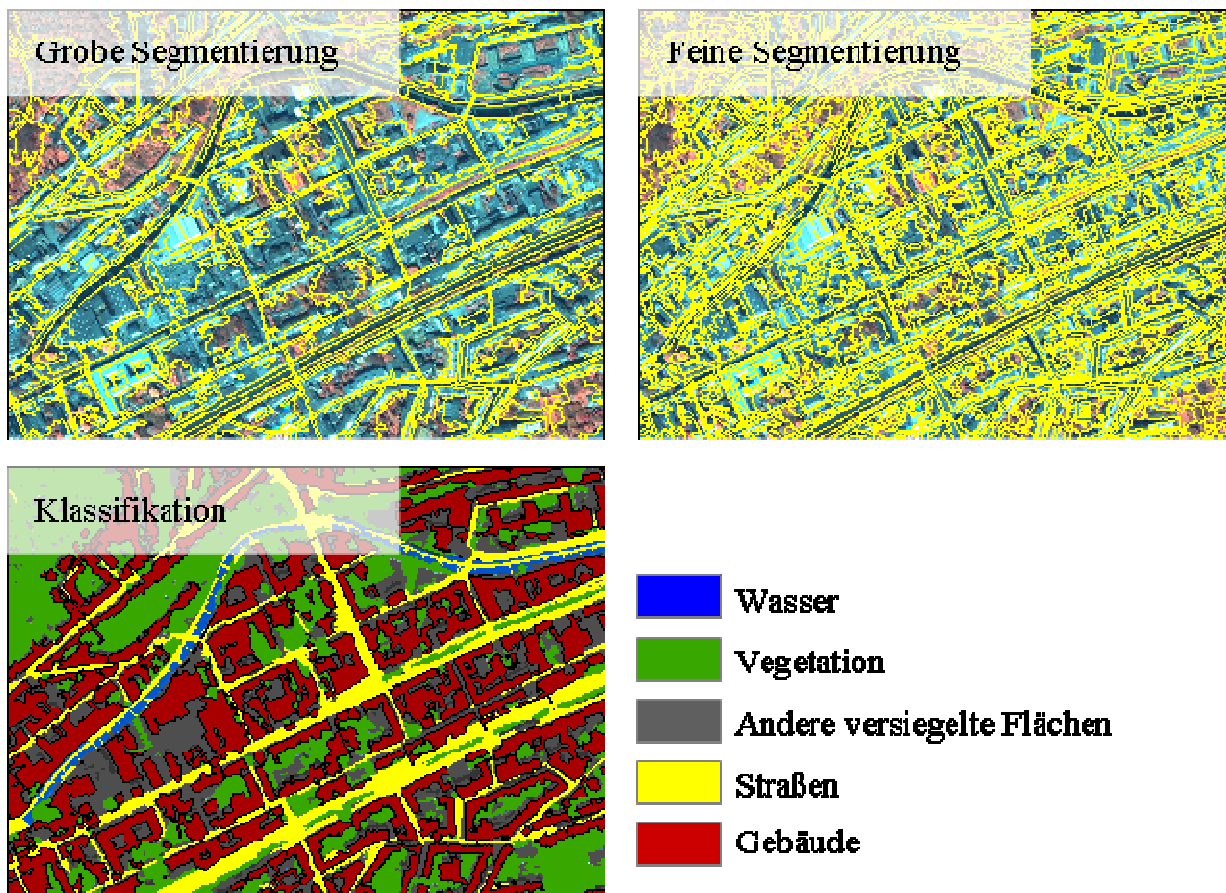


Abb. 3: Hierarchische objekt-orientierte Landbedeckungsklassifikation

Die objekt-orientierte Klassifikation besteht grundsätzlich aus zwei wesentlichen Modulen: Segmentierung und Klassifikation (Abb. 3). Der in dieser Studie angewendete hierarchische objekt-orientierte Ansatz basiert auf Arbeiten von ESCH (2006) und TAUBENBÖCK et al. (2010). Darin wird versucht, wie in Abbildung 3 gezeigt, durch eine multi-skalige Segmentierung verschiedene Ebenen zu schaffen, die die Objekte in der Stadt möglichst realitätsnah als Segment (Objekt) abbilden. Im Klassifikationsprozess werden dann die spektralen, form- und größenbasierten Merkmale sowie Nachbarschafts- und Kontextinformationen synergetisch genutzt, um in einen Fuzzy-Logik basierten Ansatz die höchste Zuordnungswahrscheinlichkeit pro Segment als Klassifikationsgrundlage zu identifizieren (STOLZ, 1998).

Als Ergebnis der Landbedeckungsklassifikation erhält man die Klassen ‚Vegetation‘ (in Bäume/Büsche unterteilt), ‚Wasser‘, ‚Straßen‘, ‚andere versiegelte Flächen‘, sowie ‚Gebäude‘. Mit Hilfe von geographischen Informationssystemen können die Klassen zur räumlichen Analyse, sowie Ableitung von verschiedenen Strukturparametern verarbeitet werden. Für die Vulnerabilitätsanalyse spielt z.B. das Wissen

über den Vegetationsanteil oder Versiegelungsanteil einer bestimmten administrativen Einheit eine wichtige Rolle.

3.2 Gebäudeableitung, Populationsabschätzung und Strukturparameter

Die thematischen Klassen der Landbedeckungsklassifikation bieten einen detaillierten Überblick über den urbanen Raum. Die Landbedeckungsklassifikation bietet bis dato allerdings nur eine zweidimensionale Abbildung des Stadtraumes. Mit aktiven Sensoren ist die Fernerkundung allerdings in der Lage zusätzlich Höheninformationen zu messen (vgl. Kapitel 2.1.2). Aus dem dreidimensionalen Oberflächenmodell können mit Hilfe geeigneter Methoden nicht nur einzelne Gebäude identifiziert, sondern auch die jeweiligen Höheninformationen abgeleitet werden. Eine Gebäudemasken mit Höheninformationen erlaubt es damit Parameter ‚Gebäudehöhe‘ oder ‚Geschoßflächenzahl‘ zu berechnen. Die Komplexität und die thematische Tiefe der Klassifikation werden mit Hilfe des Digitalen Oberflächenmodells somit nicht nur in der horizontalen, sondern auch in der vertikalen Ebene erfasst (WURM und TAUBENBÖCK, 2010a). Die verfügbaren LiDAR-Daten liegen in einer geometrischen Auflösung von einem Meter vor und erlauben deshalb eine Auswertung auf Einzelhausniveau.

Der Ablauf der Methode zur automatischen Gebäudeextraktion ist in Abb. 4 skizziert und ist bei WURM et al. 2011 detailliert beschrieben. Im ersten Schritt werden übergeordnete Raumeinheiten der Baublöcke mit Hilfe externer Informationen aus dem ATKIS Basis-DLM segmentiert. Außerdem fließt eine bereits klassifizierte Vegetationsmaske (s. o.) ein, um Fehlsegmentierung durch Bäume und Sträucher zu vermeiden. Diese Segmentierungsebene bildet die Basis und die räumliche Grundlage für die Ableitung der einzelnen Gebäude. Nach einer geeigneten Segmentierung werden Objekte, die durch eine relative Höhendifferenz zu benachbarten Objekten einen bestimmten Grenzwert überschreiten als Gebäude klassifiziert. Dabei wird die relative Höhe eines Gebäudes durch die Differenz der mittleren Objekthöhe des Einzelgebäudes und der jeweiligen mittleren Blockhöhe ohne Gebäude bestimmt (WURM et al., 2011).

Aus den ermittelten Höhen kann in einem weiteren Schritt die Anzahl der Geschoße eines Gebäudes abgeschätzt werden. Die Anzahl der Stockwerke ist eine wichtige Information in überschwemmungsgefährdeten Gebieten, da eine vertikale Evakuierung von Sachgütern in einem mehrstöckigen Gebäude möglich wird. Häuser mit nur einem Geschoß haben aufgrund dessen eine höhere Verwundbarkeit gegenüber Hochwasser als Häuser mit mehreren Stockwerken. Gebäude mit einem Fahrstuhl (ab fünf Geschoßen) werden aufgrund der Möglichkeit einer raschen vertikalen Evakuierung von Sachgütern als weniger verwundbar als Gebäude ohne eingestuft. Die höhere Vulnerabilität spielt vor allem bei Gewerbegebieten und Lagerhallen eine bedeutende Rolle, da diese in vielen Fällen nur einstöckig sind. Das Wasser kann bei einer Überschwemmung durch den Kontakt zu gefährlichen Stoffen kontaminiert werden, und die Unterlieger auch durch Verseuchung schädigen. Während dem Donau-Hochwasser 1999 wurde allein durch Ölverseuchung ein dreifach so hoher Schaden verursacht als durch das Hochwasser selbst. Auch während den extremen Überschwemmungen im August 2002 wurde der Schaden durch Verseuchung an Gebäuden um 200% und an Sachgütern um 93% erhöht (BÜCHELE et al., 2006). Um die Geschoßzahl eines Gebäudes zu bestimmen wird eine mittlere Geschoßhöhe für das Untersuchungsgebiet definiert. Für die Stadt Wuppertal ist empirisch eine mittlere Geschoßhöhe von 3,35 Meter ermittelt worden.

Der urbane Raum definiert sich aus physischer Perspektive nicht nur über die individuellen Objekte, sondern auch über deren räumlich strukturelles Muster, die städtebauliche Struktur (BANZHAF und HÖFER, 2008; PAULEIT, 1998; BOCHOW, SEGL und KAUFMANN, 2007). So kann die städtebauliche Struktur beispielsweise über Parameter wie Bebauungsgrad, Geschoßflächendichte (GFD) oder Vegetationsanteil quantitativ erfasst werden. Der Bebauungsgrad ist als Verhältnis aller Gebäudegrundflächen zu entsprechender Bezugsfläche definiert. Die GFD für eine bestimmte Raumeinheit ergibt sich aus der Summe aller Vollgeschoße und ist rein aus Fernerkundungsdaten ohne zusätzliche externe Informationen ableitbar. Diese Strukturparameter sind nicht nur für städteplanerische Vorhaben, sondern auch für eine Vulnerabilitätsanalyse relevant (vgl. Abb. 4).

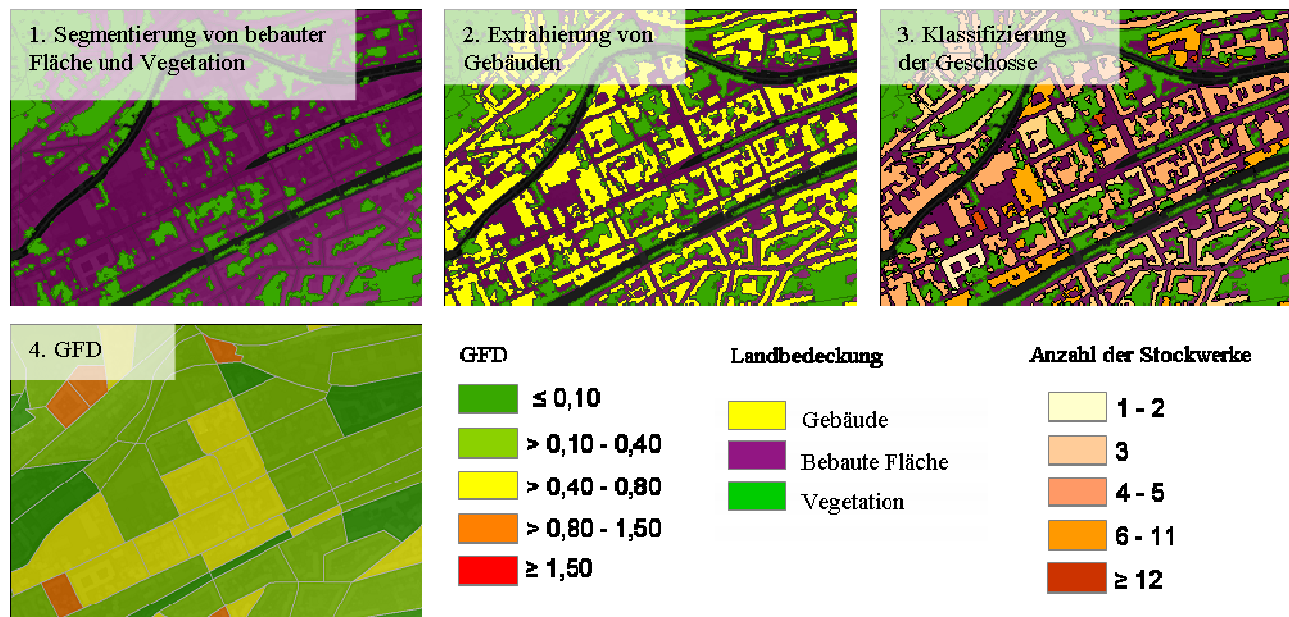


Abb. 4: Ablauf der Gebäudeextrahierung

Die Anzahl der Geschosse einzelner Gebäude dient nicht nur als ein Indikator für die Hochwasservulnerabilität, sondern ist für eine weitere Analyse zur Bevölkerungsverteilung erforderlich. Für die Abschätzung der Bevölkerungsverteilung sind allerdings Informationen über den tatsächlichen Bevölkerungsstand für eine beliebige administrative Einheit notwendig. In Deutschland liegen Bevölkerungsdaten für verschiedene administrative Einheiten wie z.B. Bezirke oder Quartiere vor. Die Gesamtbevölkerung einer administrativen Ebene wird auf die extrahierten Gebäude disaggregiert (STEINNOCHER et al., 2005, AUBRECHT et al. 2009).

Für die räumliche Disaggregation der Bevölkerungsdaten sind folgende drei Annahmen getroffen worden:

- Die Bevölkerung lebt innerhalb der untersuchten Stadtbezirke räumlich gleichmäßig verteilt
- Die Bevölkerung lebt in Gebäuden die einer Wohnnutzung zugeführt wird
- Die Anzahl der Personen pro Gebäude ist abhängig von der Größe des Wohnraums

Die Summe der Geschosflächen stellt die für die Abschätzung maximal zur Verfügung stehende Wohnfläche dar. Bei der Abschätzung der Population muss die Nutzung einzelner Gebäude berücksichtigt werden, um den Fehler bei der Bevölkerungsverteilung möglichst gering zu halten. Eine direkte Ableitung der tatsächlichen Nutzung aus Fernerkundungsdaten stellt sich allerdings als problematisch dar. Um eine starke Verfälschung der Bevölkerungsverteilung zu vermeiden, wird deshalb anhand physischer Strukturmerkmale die Gebäudenutzung indirekt abgeleitet. Mittels verschiedener Kriterien wie z.B. Form- bzw. Größenparameter oder Versiegelungsanteil um ein Objekt, werden mögliche Lagerhallen, Schulen, oder große Industriegebäude für die Populationsanalyse ausgeschlossen. Einzelgebäude, die als wohnnutzbare Gebäude klassifiziert werden, liefern die Basis für die Bevölkerungsdesaggregation, die nach Formel 1 durchgeführt wird.

$$P_h = \frac{Wr_h}{Wr_g} \cdot P_g \quad (1)$$

wobei P_h die Bevölkerung pro Haus, Wr_h den Wohnraum pro Haus, Wr_g den Wohnraum pro Stadtbezirk, A den Gesamtwohnraum und P_g die Gesamtbevölkerung auf Stadtbezirksebene darstellt. Der Wohnraum ist definiert als das mathematische Produkt aus der Gebäudegrundfläche A_h und der Höhe des zugehörigen Gebäudes, angegeben in Anzahl der Geschosse h_h , abzüglich des Wohnungsleerstandes L , falls bekannt (vgl. Formel 2).

$$Wr_h = (A_h \cdot h_h) \cdot (1 - L) \quad (2)$$

Der Gesamtwohnraum für jeden Stadtbezirk Wrg ergibt sich aus der Summe des Wohnraumes aller Einzelgebäude (vgl. Formel 3).

$$Wrg = \sum_{h=1}^1 Wr_h \quad (3)$$

Das detaillierte Wissen über die Bevölkerungsverteilung ist nahezu für alle stadtplanerischen Aktivitäten relevant (BAUDOT, 2000). Nicht nur für Krisenmanagement, sondern auch für nachhaltige Stadtentwicklung, für Infrastruktur- oder auch für Abfallmanagement sind Daten über die Verteilung der Bevölkerung von herausragender Bedeutung. Fernerkundungsdaten liefern aktuelle und flächendeckende Informationen über Umwelt und Stadtstruktur von denen man eine Verbindung zur Bevölkerungsverteilung herleiten kann. Für Städte, die einer extremen und unkontrollierten Wachstumsdynamik unterliegen und somit auch keine aktuellen Daten über die Bevölkerungsverteilung verfügen, kann der vorgestellte Ansatz eine günstige Alternative bieten.

4 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

4.1 3-D-Stadtmodell basierend auf Fernerkundungsprodukten

Die 3-D-Darstellung ist eine Kombination der Ergebnisse aus optischen und dreidimensionalen Oberflächendaten und ermöglicht eine präzise Beschreibung des natürlichen und physiognomischen Charakters eines urbanen Raumes (WURM und TAUBENBÖCK, 2010a). Eine detaillierte 3-D-Darstellung eines bestimmten Gebiets in Kombination mit Informationen zu überschwemmungsgefährdeten Flächen ermöglicht den Entscheidungsträgern mittels Visualisierung die Gefahrensituation modellhaft abzubilden. Je nach vorhandener Vulnerabilität des jeweiligen Objektes können entsprechende Maßnahmen und Vorkehrungen getroffen werden. Die kombinierten Resultate der Landbedeckungsklassifikation und der Gebäudemasken inklusive der abgeleiteten Bevölkerungsverteilung auf Gebäudeebene sind exemplarisch in Abb. 5 als 3-D-Darstellung visualisiert. Sichtbar wird nicht nur das Potenzial der Fernerkundung verschiedene flächendeckende Parameter abzuleiten, sondern auch die Fähigkeit die Kleinräumigkeit und Komplexität urbaner Strukturen im Detail abbilden zu können.

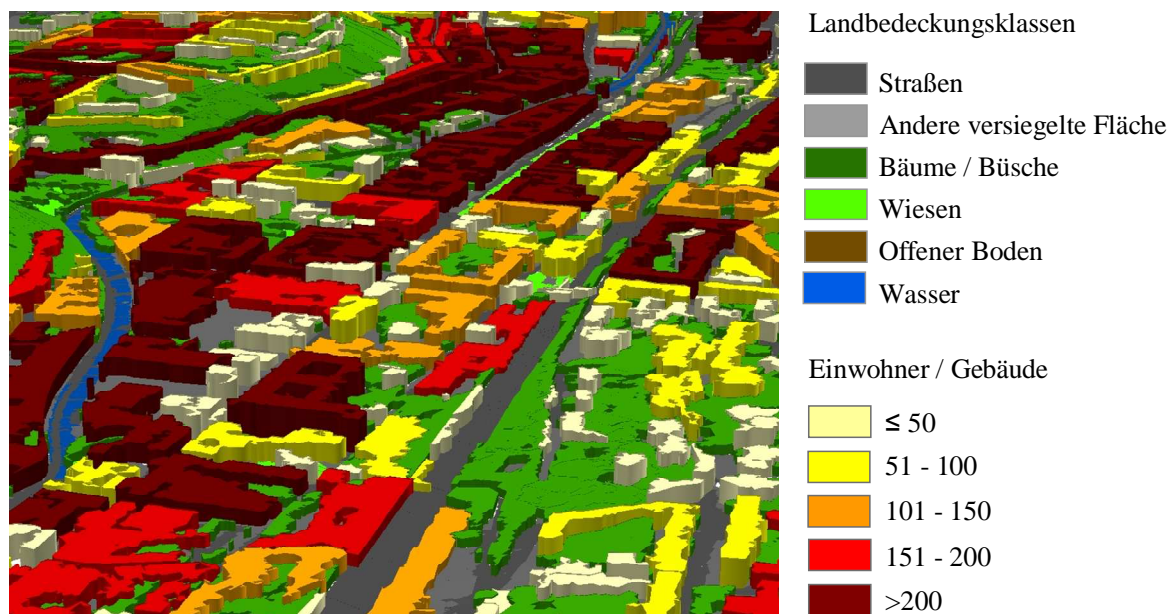


Abb.5: Perspektivische Darstellung des Stadtbezirks Barmen (Wuppertal) von Nord-Westen

4.2 Vulnerabilitätsanalyse

Der Begriff Vulnerabilität findet in unterschiedlichsten wissenschaftlichen Disziplinen Verwendung. Es existieren aktuell mehr als 25 verschiedene Definitionen von den Geisteswissenschaften, Wirtschaftswissenschaften über Naturwissenschaften bis hin zum Desastermanagement (BIRKMANN, 2006). Durch diesen häufigen Gebrauch in unterschiedlichen Bereichen mit differierenden Schwerpunkten

ergibt sich eine gewisse Unschärfe des Begriffs Vulnerabilität (CUTTER, 1996). Um die Potenziale der Fernerkundung im Kontext der Risikoanalyse aufzeigen zu können wird in dieser Arbeit der vielfältige Begriff Vulnerabilität auch als „kurz- oder langzeitige Belastung physischer, demographischer, sozialer, ökonomischer, ökologischer und politischer Komponenten und deren Auswirkungen auf die Kapazität und Leistungsfähigkeit einer Gesellschaft und seiner Struktur“ verstanden (TAUBENBÖCK, 2008).

Die vorgestellten Methoden der Fernerkundung und der geographischen Informationsverarbeitung erlauben aus den vorhandenen Daten eine Vielzahl an unterschiedlichen Produkten und Informationen abzuleiten, die unter anderem auch einen Mehrwert für eine Vulnerabilitätsanalyse leisten können. In Abb. 5 sind einige Variablen, die im Rahmen dieser Arbeit aus Fernerkundungsdaten abgeleitet wurden für die räumliche Einheit der Baublöcke exemplarisch aufbereitet.

Der Vegetationsanteil entspricht dem Verhältnis aller als Vegetation klassifizierten Flächen zur räumlichen Bezugsflächen des Baublocks. Ebenso stellt der Versiegelungsanteil den prozentuellen Anteil aller als versiegelt klassifizierten Flächen in Bezug auf den Baublock dar. Der Parameter ‚Hangneigung‘ gibt für einzelne Blöcke den mittleren Wert der Hangneigung wieder (abgeleitet aus dem digitalen Geländemodell). Mit einer S-Zugehörigkeitsfunktion (vgl. Formel 4) können die einzelnen Parameter einheitlich skaliert und miteinander kombiniert werden. Die Skalierung ist aufgrund quantitativen und qualitativen Differenzen einzelner Indikatoren erforderlich, um diese Indikatoren relativ zu einander ins Verhältnis setzen zu können (BOLLIN und NIDAJAT, 2006). Eine Zusammenführung (vgl. Formel 5) einzelner gewichteter Indizes ermöglicht eine auf Fernerkundung basierende Abschätzung der räumlichen Vulnerabilität gegenüber Hochwasser (vgl. Abb. 4). n_i beschreibt die Anzahl der vorhandenen Indikatoren, f den Gewichtungswert eines Parameters und V den aus (4) berechneten Indexwert.

Formel (4): Indizierung nach Tizhoosh, 1998

$$\begin{array}{lll} \text{Index}(x) = 0 & \text{für } x \leq A & A = \text{minimaler Wert des Wertebereichs} \\ \text{Index}(x) = 2 * ((x - A) \div 2 * \Delta)^2 & \text{für } A \leq x \leq B & B = (A + C) \div 2 \\ \text{Index}(x) = 1 - 2 * ((x - C) \div 2 * \Delta)^2 & \text{für } B \leq x \leq C & C = \text{maximaler des Wertebereichs} \\ \text{Index}(x) = 1 & \text{für } x \geq C & \Delta = \text{Bandbreite der Werte} = B - A = C - B \end{array}$$

Die Verwundbarkeit einzelner Baublöcke (Abb. 6 unten rechts) errechnet sich aus der Kombination der abgeleiteten fünf Indizes, wobei der Index ‚Einwohnerzahl‘ und ‚GFD‘ vierfach gewichtet wurden. Durch diese Gewichtung wird vermieden, dass versiegelte Areale ohne Einwohner und Gebäude aufgrund anderer physischer Gegebenheiten eine höhere Vulnerabilität aufweisen. Der hier präsentierte Vulnerabilitätsindex hat nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Die Abschätzung kann des Weiteren z.B. durch sozio-ökonomische Parameter erweitert und vervollständigt werden.

$$\text{Vulnerabilitätsindex} = 1/n_i * \sum_{j=1}^{n_i} (f * V) \quad (5)$$

In Abbildung 6 sind die fernerkundlich abgeleiteten Indikatoren zur Vulnerabilitätsanalyse und dessen Kombination im Überblick dargestellt. Eine hohe Vulnerabilität (0,5-0,6) zeigt der Block im rechten oberen Eck (vgl. Abb. 6 rechts unten). Die Verwundbarkeit kann durch die hohe Einwohnerzahl, hohe Gebäudedichte, steile Hängen, sowie hohen Anteil an versiegelter Fläche erklärt werden. Der Vulnerabilitätsindex ermöglicht also eine Differenzierung bezüglich Verwundbarkeit zwischen einzelnen Baublöcken. Um das tatsächliche Risiko durch Hochwasser abschätzen zu können werden allerdings ausgewiesene Gefahrenflächen benötigt, die aus hydrologischen Modellen berechnet werden (Risiko = Vulnerabilität * Gefährdung; vgl. UN/ISDR, 2004). Zu Zeit der Bearbeitung dieser Studie lagen noch keine Hochwassergefährdungsergebnisse für das Untersuchungsgebiet vor, können aber jederzeit integriert werden. Deshalb ist in der vorliegenden Vulnerabilitätsanalyse die Hochwasserexposition nicht berücksichtigt worden.



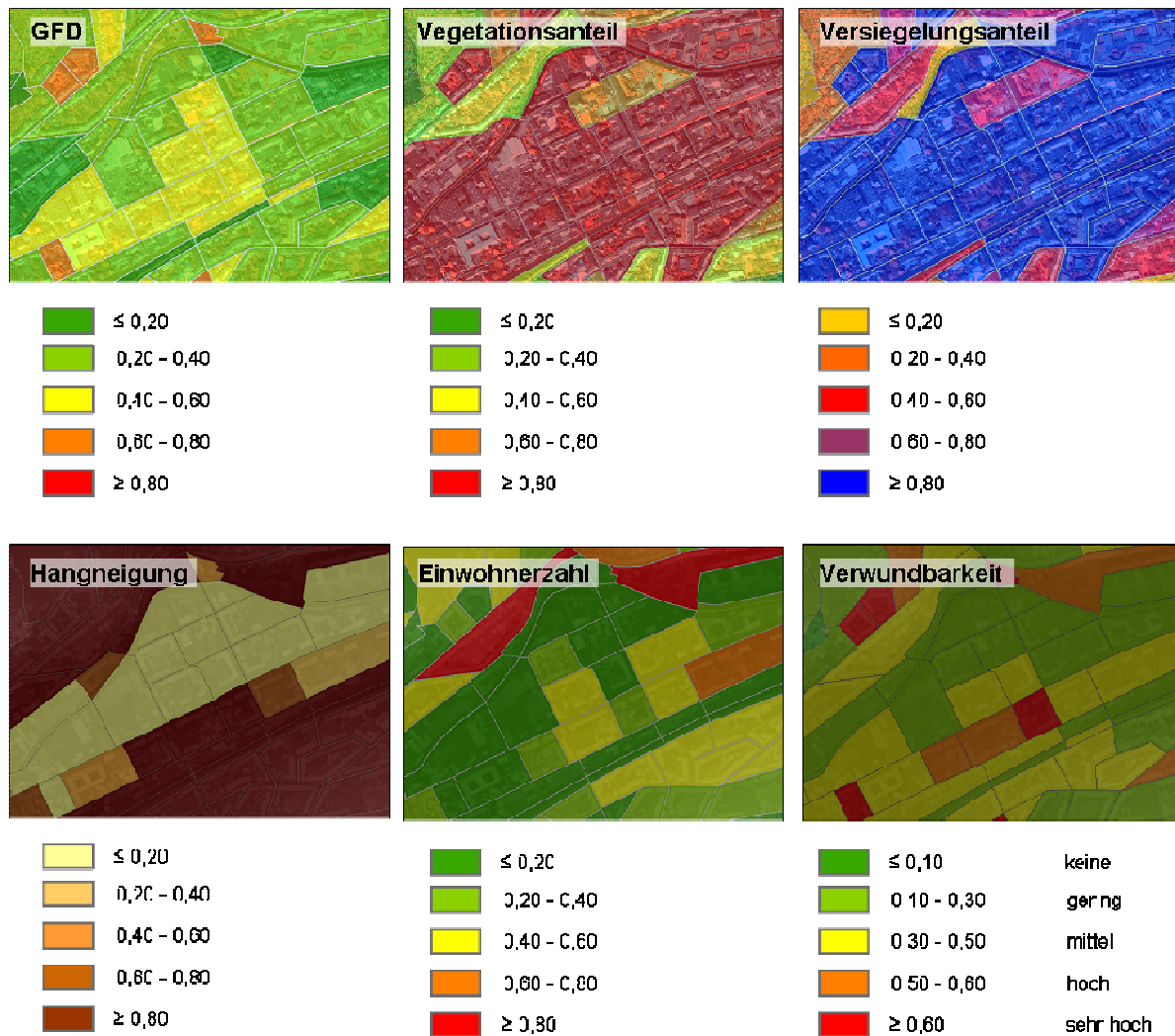


Abb. 6: Indikatoren auf Blockebene und Verwundbarkeit als Kombination aller Indizes

4.3 Genauigkeitsanalyse

Die Daten und Methoden der Erdbeobachtung erlauben es nicht, katastergenaue Resultate zu liefern. Vor diesem Hintergrund ist es von essentieller Bedeutung den Nutzern eine Einschätzung zur Genauigkeit der erzielten Informationen an die Hand zu geben. Die Genauigkeitsanalysen der beiden Landbedeckungsklassifikationen basieren auf einem Vergleich zwischen für jede einzelne Klasse 200 zufällig generierten Punkten und Referenzdaten. Die Landbedeckungsklassifikation der RapidEye Szene ergibt einen prozentualen Anteil von 90,17% richtig klassifizierter Pixel. Das Ergebnis der Ikonos Szene weist nur minimal höhere Werte von 90,83% auf (vgl. Tab. 2). Die Herstellergenauigkeit beschreibt den Anteil der Referenzdaten, der bei der Klassifikation richtig erfasst wurde. Die Nutzergenauigkeit beschreibt den Anteil der Übereinstimmung zwischen den Klassen und den Referenzdaten. Das Mittel der beiden Werte ergibt die Gesamtgenauigkeit für die thematische Erfassung durch die vorliegende Landbedeckungsklassifikation.

Sensor	Ikonos		RapidEye	
	User Acc. [%]	Prod. Acc. [%]	User Acc. [%]	Prod. Acc. [%]
Wasser	100,00	92,50	98,92	91,50
Wiese	92,54	93,00	88,67	90,00
Bäume/Büsche	86,60	90,50	83,33	95,00
Straßen	85,58	89,00	97,53	79,00
Andere versiegelte Fläche	84,73	86,00	84,23	93,50
Offener Boden	96,91	94,00	92,00	92,00
Gesamt	90,83		90,17	

Tab. 2: Genauigkeitsabschätzung Landbedeckungsklassifizierung

Für die Genauigkeitsabschätzung der Geschößzahlen der extrahierten Gebäude wurden insgesamt 8730 Gebäude mit Referenzdaten der Stadt Wuppertal verglichen. Eine exakte Abschätzung der tatsächlichen Geschößzahl trifft nur in 36,94% zu und zeigt somit die Unschärfe in der Klassifikation. Wenn man allerdings die Überschätzung und Unterschätzung von nur einem Geschöß berücksichtigt, dann wird eine Genauigkeit von 82,20% erreicht (vgl. Tab. 3). Diese Annahme ist legitim, wenn man davon ausgeht, dass der Charakter eines Gebäudes dadurch im Wesentlichen immer noch beschrieben bleibt (WURM und TAUBENBÖCK, 2010a).

	Abschätzung der Geschößanzahl						
	≤-3	-2	-1	0	+1	+2	≥+3
			27,89	36,94	17,38		
Mittel	3,62	10,9	82,21			2,24	1,04

Tab. 3: Genauigkeitsabschätzung der Geschößanzahl in %

Die Limitierung der beschriebenen Methode wird vor allem bei der Abschätzung sehr hoher Gebäude deutlich. Bei Gebäuden mit fünf Geschößen oder mehr wird die Anzahl unterschätzt. Bei niedrigen Gebäuden geht der Trend in Richtung einer Überschätzung. Dieser Fehler kann minimiert werden indem man die angenommene durchschnittliche Geschößhöhe für verschiedene Stadtstrukturtypen wie Hochhausbebauung, Einfamilienhausbebauung oder Reihenhausbebauung berücksichtigt.

Der Informationsgehalt über Stadtstrukturtypen kann ebenfalls aus Fernerkundungsdaten abgeleitet werden. Tabelle 4 fasst die Genauigkeitsabschätzung für die durchgeführte Bevölkerungsverteilung auf Stadtquartierebene zusammen. Es ist ersichtlich, dass zwischen verschiedenen Quartieren eine hohe Variabilität in den Genauigkeiten vorhanden ist. Für Stadtquartiere mit einem hohen Wohnnutzungsanteil zeigen die Ergebnisse eine sehr hohe Genauigkeit für die durchgeführte Bevölkerungsverteilung. Vor allem die Quartiere Heidt und Heckinghausen werden mit -2,3% und -1,1% nur geringfügig unterschätzt. Die Bevölkerungsverteilung für Hesselberg mit einer Überschätzung von 3,34% und Clausen 3,48% werden ebenfalls gut repräsentiert. Ein Ausreißer in der Genauigkeit ist das Quartier Elberfeld mit einer Überschätzung von 169,87%. Die Gründe für diese hohe Überschätzung der Bevölkerung liegen an dem hohen Anteil an Gebäuden, welche keiner Wohnnutzung zugeteilt wurden.

Die Limitierung des beschriebenen Ansatzes zur Bevölkerungsverteilung wird vor allem in den Gebieten deutlich, in denen eine stark differenzierte Nutzung der Gebäude vorherrscht. Auch die Auswertung von Häusern mit Giebeldächern stellte sich als schwierig heraus, da diesen Häusern tendenziell ein Geschöß mehr zugewiesen wird (WURM und TAUBENBÖCK, 2010b). Obwohl die Genauigkeiten auf den ersten Blick relativ gering erscheinen, muss erwähnt werden, dass der Referenzdatensatz auf statistischen Meldedaten der Stadt Wuppertal basiert und somit eine genaue Datengrundlage liefert. Die Fernerkundung kann vergleichsweise dazu nur ungenaue Informationen zur der Bevölkerungsverteilung beitragen. Für Gebiete in denen diese Informationen nicht vorhanden sind, kann es z.B. im Pre- und Postdisaster Fall aber eine wichtige Quelle sein. In den meisten Städten Mitteleuropas gibt es viele Referenzdaten, deshalb eignet sich der vorgestellte top-down Ansatz um die Methode zu validieren. Für Städte die einer extremen und unkontrollierten Wachstumsdynamik unterliegen und somit auch keine aktuellen Daten über die Bevölkerungsverteilung verfügen, kann dieser Ansatz eine Alternative bieten.

Name des Quartiers	Fehler in %	Name des Quartiers	Fehler in %
Elberfeld	+ 169,87	Rott	- 40,28
Nordstadt	- 20,96	Sedansberg	- 27,76
Ostersbaum	- 24,30	Hatzfeld	42,03
Südstadt	- 37,21	Kothen	- 33,27
Griffenberg	- 22,87	Hesselberg	3,34
Friedrichsberg	- 20,27	Lichtenplatz	38,65
Barmen-Mitte	21,85	Heckinghausen	- 1,10
Fr. Engels-Allee	12,74	Heidt	- 2,30
Loh	-13,05	Hammesberg	-18,44
Clausen	3,48		

Tab.4: Genauigkeitsanalyse der Bevölkerungsverteilung auf Quartierebene



5 ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegende Arbeit zeigt auf, wie geometrisch höchst aufgelöste optische Satellitenbilder und ein digitales Oberflächenmodell für die Ausweisung von Strukturmerkmalen im urbanen Raum verwendet werden können. Dazu wird dargestellt welchen Beitrag die Fernerkundung zu einer Verwundbarkeitsanalyse leisten kann.

Es werden objekt-orientierte Methoden angewendet, um Landbedeckungsklassen und bauliche Strukturen auf Basis ihrer Physiognomie zu unterscheiden. Die Fernerkundung ermöglicht die Bereitstellung einer aktuellen, flächendeckenden und vergleichsweise kostengünstigen Geo-Informationsbasis, um das kleinräumige physische urbane System räumlich zu erfassen. Städtische Strukturen können auf diese Weise in Form von dreidimensionalen Grundlagendaten weitgehend automatisiert hergestellt werden und mit hoher geometrischer Genauigkeit und thematischer Tiefe bereitgestellt werden. Mit einer Klassifikationsgüte von über 90% in der thematischen Erfassung der Landbedeckung wird bei weitgehender Automatisierung des Prozessablaufes ein hoher Genauigkeitsgrad erzielt.

Der Beitrag zeigt des Weiteren eine Möglichkeit mit fernerkundungsbasierten und kommunalstatistisch erhobenen Daten die Bevölkerungsverteilung dem kleinräumigen, heterogenen Stadtgebiet entsprechend, abzuschätzen. Dabei werden Bevölkerungsdaten von Stadtbezirksebene auf Gebäudeebene disaggregiert. Trotz hoher Genauigkeiten und Übertragbarkeit der Klassifikationsansätze kann die hohe räumliche und thematische Qualität und Verlässlichkeit von Katasterinformationen nicht erreicht werden. Die vorgestellten Methoden sind in einen weitgehend automatisierten Arbeitsablauf eingebunden, wodurch eine relativ rasche Prozessierung bis zum vorliegenden Ergebnis erzielt wird.

Die Fernerkundung biete den Stadtplanern und Entscheidungsträgern wertvolle raumbezogene Grundlageninformationen, wie Stadtstrukturtypen und Einschätzungen zur räumlichen Vulnerabilität die flächendeckend und hoch aktuell bereitgestellt werden können. Außerdem stellt die Fernerkundung im globalen Kontext oftmals die einzige verfügbare und unabhängige Datenquelle dar. Gerade vor dem Hintergrund der dynamischen weltweiten Urbanisierung wird es künftig auch von zentraler Bedeutung sein, die fernerkundlichen Methoden weiterzuentwickeln, um auch ohne externe statistische Zusatzdaten, verlässliche Bevölkerungsabschätzungen durchzuführen

6 DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchten sich die Autoren beim BBK für die Förderung des Projektes KIBEX bedanken (Förderungskennzahl: AZ III.1-413-10-00-368). Des Weiteren möchten wir uns bei der Stadt Wuppertal für die Bereitstellung der LiDAR Rohdaten, weiterer Geobasisdaten sowie der Begleitung des Projektes bedanken.

7 LITERATURVERZEICHNIS

- ALBERTZ, J.: Einführung in die Fernerkundung – Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. 3., aktualisierte und erweiterte Auflage. Darmstadt, 2007.
- AUBRECHT, C., STEINNOCHER, K., HOLLAUS, M., und WAGNER, W.: Integrating earth observation and GIScience for high resolution spatial and functional modeling of urban land use. In: Computers, Environment and Urban System. 2008
- BAATZ, M. und SCHÄPE, A.: Multiresolution segmentation – an optimization approach for high quality multiscale image segmentation. Angewandte geographische Informationsverarbeitung XI: Beiträge zum AGIT Symposium Salzburg 2000, S.12-23.
- BANZHAF, E. und HÖFER, R.: Monitoring urban structure types as spatial indicators with CIR aerial photographs for a more effective urban environmental management. In: Journal of selected topics in applied earth observation and remote sensing, IEEE, vol. 1, issue 2, pp. 129- 138, 2008.
- BAUDOT, Y.: Geographical analysis of the population of fast-growing cities in the third world. In: DONNAY, J., BARNSLEY, M., LONGLEY, P. (Hrsg.): Remote sensing and urban analysis, Taylor and Francis, London 2000.
- BIRKMANN, J.: Antrag zur Bearbeitung eines Forschungs- und Entwicklungsvorhabens. Kritische Infrastruktur Bevölkerung und Bevölkerungsschutz im Kontext klimawandelbeeinflusster Extremwetterereignisse (KIBEX). United Nations University Bonn, 2009.
- BLASCHKE, T. und STROBL, J.: What's wrong with pixels? In: Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. GIS no. 6, S. 12-23, 2009.
- BLASCHKE, T.: Object based image analysis for remote sensing. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 65 (1), 2-16, 2010.
- BKG - Bundesamt für Kartographie und Geodäsie: Bericht über die Tätigkeit des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie. Frankfurt am Main 2009
- BOCHOW, M., SEGL, K., und KAUFMANN, H.: Automating the build-up process of feature-based fuzzy logic models for the identification of urban biotopes from hyperspectral remote sensing data. In: Urban Remote Sensing Joint Event, 2007.

- BOLLIN, C. und HIDAJAT, R.: Community-based risk index: Pilot implementation in Indonesia. In: BIRKMANN, J. (2006): Measuring Vulnerability to Natural hazards – Towards Disaster Resilient Societies. New York 2006, United Nations University.
- BÜCHELE, B. KREIBICH, H., KRON, A., IHRINGER J., OBERLE, P., MERZ, B., NESTMANN, F.: Flood-risk mapping: contribution towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks. In: Natural Hazard and Earth System Sciences 6, S. 485-503. Karlsruhe, 2006.
- CUTTER, S. L.: Vulnerability in environmental hazards. Progress in Human Geography 20, 1996, S. 529-539.
- ESCH, T.: Erfassung und Bewertung der Bodenversiegelung. In: TAUBENBÖCK, H und DECH, S. (Hrsg.): Fernerkundung im urbanen Raum – Erdbeobachtung auf dem Weg zur Planungspraxis. S. 58-62, Darmstadt, 2010.
- KROPP, J., HOLSTEIN, A., LISSNER, T., ROITHMEIER, O., HATTERMANN, F., HUANG, S., ROCK, J., WECHSUNG, F., LÜTTGER, A., POMPE, S., KÜHN, I., COSTA, L., STEINHÄUSER, M., WALTHER, C., KLAUS, M., RITCHIE, S., METZGER, M.: Klimawandel in Nordrhein-Westfalen – Regionale Abschätzung der Anfälligkeit ausgewählter Sektoren. Potsdam, 2009.
- PAULEIT, S.: Das Umweltwirkgefüge städtischer Siedlungsstrukturen: Darstellung des städtischen Ökosystems durch eine Strukturtypenkartierung zur Bestimmung von Umweltqualitätszielen für die Stadtplanung. Unpublished PhD Thesis, 153 p, 1998.
- STEINNOCHER, K., PETRINI, F., TÖTZER, T., WEICHELBAUM, J.: Räumliche Disaggregation von sozio-ökonomischen Daten. Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XVII- Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2005
- STOLZ, R.: Die Verwendung der Fuzzy Logic Theorie zur wissensbasierten Klassifikation von Fernerkundungsdaten. Münchner Geographische Abhandlungen, Reihe B. Geobuch Verlag, München, 1998.
- TAUBENBÖCK, H.: Vulnerabilitätsabschätzung der erdbebengefährdeten Megacity Istanbul mit Methoden der Fernerkundung. Dissertation Bayerische Julius-Maximilians-Universität Würzburg, 2008.
- TAUBENBÖCK, H., ESCH, T., WURM, M., ROTH, A. und DECH, S.: Object-based feature extraction using high spatial resolution satellite data of urban areas. In: Journal of Spatial Science. Vol. 55 (1), S.117-132, Perth 2010.
- TAUBENBÖCK, H., WURM, M., NETZBAND, M., ZWENZNER, H., ROTH, A., RAHMAN, A., und DECH, S.: Flood risks in urbanized areas – multi-sensoral approaches using remotely sensed data for risk assessment, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11, S. 431-444, 2011
- TIZHOOSH, H.R.: Fuzzy-Bildverarbeitung. Einführung in Theorie und Praxis. Berlin 1998
- UNITED NATIONS/ISDR (International Strategy for Disaster Reduction): Living with Risk: A global Review of Disaster Reduction Initiatives. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland: UN Publications. 2004.
- WURM, M., TAUBENBÖCK, H., KRINGS, S., BIRKMANN, J., ROTH, A. UND DECH, S.: Derivation of population distribution for vulnerability assessment in flood-prone German cities using multisensoral remote sensing data. In: Proceedings of the SPIE Europe Remote Sensing. Berlin, 2009.
- WURM, M. und TAUBENBÖCK, H.: Das 3-D Stadtmodell als planungsrelevante Grundlageninformation. In: TAUBENBÖCK, H und DECH, S. (Hrsg.): Fernerkundung im urbanen Raum - Erdbeobachtung auf dem Weg zur Planungspraxis. S. 66-75, Darmstadt, 2010a.
- WURM, M. und TAUBENBÖCK, H.: Abschätzung der Bevölkerungsverteilung. In: TAUBENBÖCK, H und DECH, S. (Hrsg.): Fernerkundung im urbanen Raum - Erdbeobachtung auf dem Weg zur Planungspraxis. S. 143-152, Darmstadt, 2010b.

