

GIS-gestützte Bildanalyse der städtischen Vegetation als ein Indikator urbaner Lebensqualität

MATTHIAS MÖLLER, Tempe, Arizona & THOMAS BLASCHKE, Salzburg

Keywords: remote sensing, vegetation index, object-based image analysis, orthophoto, urban green

Abstract: *GIS-based Image Analysis of Urban Vegetation as an Indicator of Urban Quality of Life.* Urban areas are the most densely populated regions of Earth today. These settlement areas are far from natural in status and much more adapted to the special needs of our functional, economic life. We have developed an indicator for the estimation of surrounding vegetation for each building as a measurement for urban life quality. The categorization of "feeling comfortable and/or natural" in urban areas introduces qualitative, human-centered perspective to remote sensing. In a case study in the Phoenix Metropolitan area (Arizona, USA) digital orthophotos are classified into major urban land use/land cover classes following an object-based approach. Building footprints and vegetation are classified with a high accuracy. For all buildings in the study area ten surrounding circles (buffers) are created and the fraction of vegetation for each circle is calculated. The percentage of vegetated area inside every fringe represents the newly designed fraction of surrounding vegetation (FSV). This FSV is a useful tool for city planners and allows a direct measurement of life quality centered for each single building but mapped in an aggregated manner so that areas across parts of a city are comparable and planning measures can be based upon this index.

Zusammenfassung: Städtische Gebiete gehören zu den am dichtesten besiedelten Gebieten der Erde und stellen eine stark veränderte Umwelt dar. Sie sind weitgehend funktional ausgerichtet, um die Bedürfnisse unseres modernen Lebens zu befriedigen. In dieser Studie wird ein Indikator zur Einschätzung urbaner Lebensqualität vorgestellt. Dieser Index ist auf den Menschen zentriert und folgt der Hypothese des „Wohlfühlens in einer naturnahen Umgebung“ über den Parameter Vegetation. In dieser Untersuchung wurden Orthophotos eines Teils der Metropole Phoenix, USA, analysiert. Zunächst wurden die Hauptklassen urbaner Nutzung aus Fernerkundungsdaten extrahiert (Vegetation, Gebäude, Boden, Oberflächenwasser). Anschließend wurden für alle Gebäude je 10 konzentrische Ringe und in Folge der Vegetationsanteil jedes Ringes berechnet. Aus dem prozentualen Anteil von Vegetation im jeweiligen Abstandsring wird ein neuer Index berechnet, der *fraction of surrounding vegetation* (FSV). Der FSV unterstützt Planungen, da er als eine direkte Messgröße für die Abschätzung des menschlichen Wohlfühlens in Abhängigkeit der umgebenden Vegetation betrachtet werden kann.

1 Einleitung

Städtische Räume sind die Wachstumszellen und Lebenszentren von mehr als der Hälfte der Erdbevölkerung (UN 2002). Hier werden die ökonomischen Werte erwirtschaftet und konsumiert. Um das System „Stadt“

funktionstüchtig zu halten, ist ein ausgeklügeltes Netzwerk an Logistik zwingend notwendig. Lebensadern und -zentren dieses Systems sind Straßen und Bauwerke; sie stellen das Umfeld unseres städtischen Lebensraumes dar. Mit dem natürlichen Lebensraum des Menschen hat die künstliche

Stadt nicht mehr viel gemeinsam. Nichtsdestotrotz ist der Mensch ein Teil der Natur und benötigt für die individuelle Gesundheit einige naturbedingte Voraussetzungen (WHO 1946). Zu diesen zählt insbesondere das Vorhandensein von belebter, grüner Vegetation im nahen Wohnumfeld. Mit Vegetation bestandene Orte werden oft und gerne von Menschen aufgesucht, denn schon das Grün der Pflanzen wirkt positiv auf das psychische Wohlempfinden (FROHN 2004). Durch die von Vegetation verbesserte Luftqualität ist auch ein positiver Einfluss in physischer Hinsicht gegeben.

Die Erfassung von Vegetation ist daher eine wichtige Grundvoraussetzung für die Beurteilung der städtischen Lebensqualität. Zukünftige Planungen können auf diesen Informationen basieren, gezielte Strategien und Fördermaßnahmen etwa zum Anpflanzen von Vegetation sollten auf einer genauen Vegetationsinventur aufsetzen. Da eine vollständige terrestrische Kartierung aufwändig und daher zumindest nicht regelmäßig durchführbar ist, werden häufig Luftbilder interpretiert oder Fernerkundungsdaten mittels Bildverarbeitung klassifiziert (MÖLLER 2001, 2003). Prinzipiell gelangt man auf diese Weise zu flächendeckenden Aussagen des Vegetationsbestands, basierend auf einer „Draufsicht“. Dazu werden prozentuale Flächenanteile von „Grün“ und „Nicht-Grün“ berechnet und z. B. „vegetation fraction“ (GITELSON et al. 2002) oder Biomasse-Indikatoren verwendet. Die Ergebnisse sind meist nur mit Zusatzerhebungen oder zusammen mit Zusatzdaten auch in qualitativer Hinsicht interpretierbar.

2 Methodik

In dieser Studie wird zunächst eine Methode beschrieben, Vegetation aus digitalen Ortholuftbildern zuverlässig zu erfassen. In einem zweiten Schritt werden aus denselben Fernerkundungsdaten Gebäudegrundrisse abgeleitet. Im abschließenden Teil der Untersuchung wird mittels GIS-Analyseoperationen jedes Gebäude, ausgehend von seinem Mittelpunkt, daraufhin analysiert, wieviel Anteile welcher Art von Vegetation in

gewissen Abständen um das Objekt anzufinden ist. In einem Vorläuferprojekt wurde ein ähnlicher Ansatz zur Erfassung und Bewertung von urbanem Grün von SCHÖPFER et al. (2005) für die Stadt Salzburg, Österreich, beschrieben. Diese Methode wurde dahingehend abgeändert, dass nunmehr keine externen Geobasisdaten, wie die Gebäudegrundrisse aus Katasterdaten, benötigt werden. Einzige Quelle zur Ableitung und Bewertung von Grün in dieser Untersuchung sind die digitalen Luftbilddaten.

Eine grundlegende Hypothese bzw. eine neue Arbeitsrichtung ist der Objekt-basierte Ansatz der Bildverarbeitung, der auf einer Segmentierung aufsetzt. Unter Segmentierung versteht man in der digitalen Bildverarbeitung die Gruppierung benachbarter Bildelemente (Pixel) zu Pixelgruppen (Regionen, Segmenten, Bildprimitiven) aufgrund von Ähnlichkeitskriterien (Spektralsignatur, Textur). Im Gegensatz zur Klassifikation und zum Clustering sind unter Segmentierung Verfahren zu verstehen, welche die Pixel nicht aufgrund ihrer Ähnlichkeit im Merkmalsraum zusammenfassen, sondern im Bild an sich (Ortsraum). Es handelt sich also nicht nur um eine Zusammenfassung spektral ähnlicher Pixel, sondern es wird gleichzeitig dem räumlichen Zusammenhang Rechnung getragen. Segmentierungsansätze existieren in verschiedenen Bereichen der Bildverarbeitung, insbesondere in physikalischen Anwendungen und in den Materialwissenschaften, seit den 80er Jahren. In Anwendungen von Erdbeobachtungsdaten ist erst seit ca. dem Jahr 2000 ein sprunghafter Anstieg der Verwendung von Segmentierungsverfahren als Vorstufe der Bildklassifikation zu beobachten. Diese Zunahme fällt zusammen mit der Etablierung der so genannten „1m-Generation“ der optischen Erdbeobachtungssatelliten (Ikonos, Quickbird, OrbView) (BLASCHKE & STROBL 2001) und mit der Verfügbarkeit kommerzieller Software, die Bildverarbeitung und GIS-Operationen verbindet (FLANDERS et al. 2003, BENZ et al. 2004). Es wird vielfach behauptet und für verschiedenste Anwendungen auch belegt, dass in hochauflösenden Daten diese Form der Re-

gionalisierung Vorteile gegenüber der multivariaten Betrachtung von Pixeln ergibt (BENZ et al. 2004, LANG 2005, MEINEL et al. 2001, MÖLLER 2004), auch wenn diese Gegenüberstellung stark vereinfacht ist, da z. B. Texturparameter ebenfalls die Kontextinformation mit abdecken (BLASCHKE 2003). BURNETT & BLASCHKE (2003) haben eine auf ökologischer Theorie basierende Methodologie entwickelt, über mehrere Segmentierungen Beziehungen zwischen Objekten und deren Unterobjekten, z. B. „Wald“ und „Einzelbaum“ zu modellieren. Auf dieser Methodologie basieren mittlerweile zahlreiche Anwendungen. Einen Überblick dazu sowie zum Segmentierungsprozess im Rahmen einer Bildklassifikation geben HAY et al. (2003), BENZ et al. (2004) und BLASCHKE et al. (2004).

3 Untersuchungsraum, Datenaufbereitung und Bilddatenanalyse

3.1 Untersuchungsgebiet

Für die vorliegende Studie wurde exemplarisch ein Testgebiet mit einer Größe von $2\text{ km} \times 2\text{ km}$ in der Stadt Tempe (Arizona, USA) ausgewählt. Es handelt sich um ein Gebiet mit gemischter Bebauung: typische Einfamilienhäuser dominieren, im Süden liegt ein Gewerbegebiet und im Nordosten befinden sich Teile der Arizona State University (Abb. 1). Die Stadt Tempe ist Teil der Metropole Phönix und liegt naturräumlich in der Sonora Wüste, die sich durch ein trockenheißes Klima auszeichnet.

Das Untersuchungsgebiet ist, verglichen mit dem durchschnittlichen Durchgrünungsgrad der gesamten Metropole, relativ dicht mit Vegetation bestanden. In dieser Gegend greifen alte Wasserrechte, die eine wöchentliche Flutung des gesamten Grundstückes garantieren.

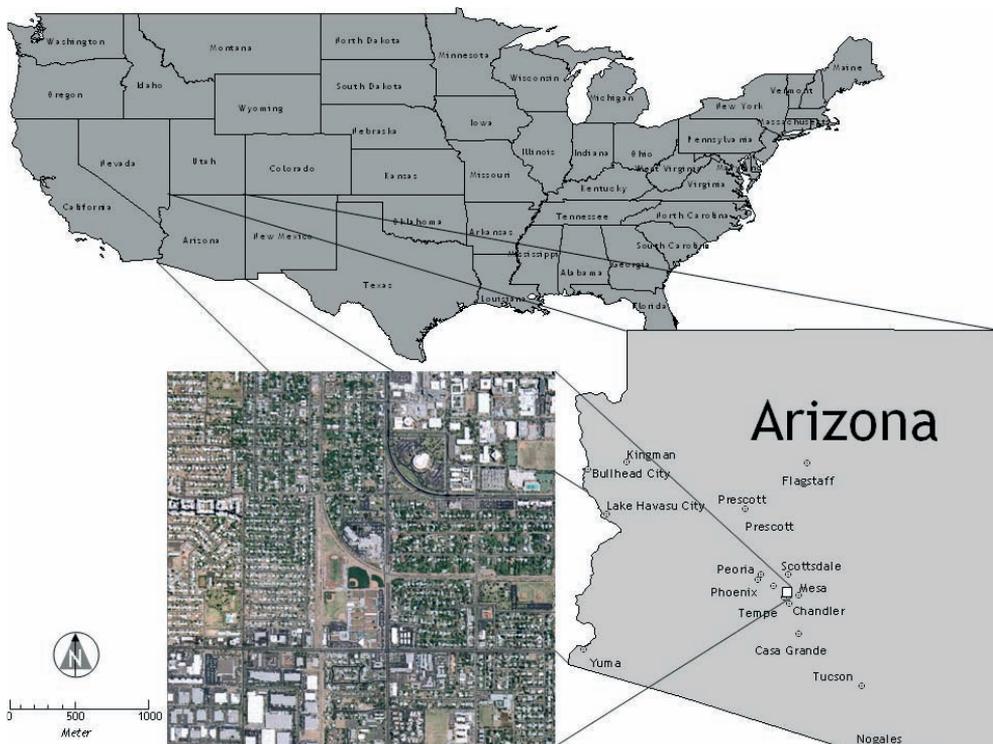


Abb. 1: Untersuchungsgebiet Tempe, Arizona, USA.

3.2 Vorverarbeitung der Bilddaten

Für diese Untersuchung wurden digitalisierte Echtfarben Ortholuftbilder verwendet, die in einer räumlichen Auflösung von 0.61 m (2 Fuß) vorliegen. Die Bilder wurden im September 2003 von der Fa. Landiscor aufgenommen. Die Bilddaten wurden auf eine räumliche Auflösung von 1 m formatiert, um so eine Vergleichbarkeit mit Satellitenbilddaten (Ikonos, Quickbird, Orbview) zu einem späteren Zeitpunkt zu gewährleisten. Da die spektrale Information des Nahen Infrarots fehlt, wurde mit Hilfe der u. g. Formel ein künstlicher Kanal *Normalized Differenced Green/Red Vegetation Index* ‚ndgrvi‘ erzeugt:

$$NDGRVI = \frac{dn_{green} - dn_{red}}{dn_{green} + dn_{red}} \quad (1)$$

Der NDGRVI repräsentiert, ähnlich der so genannten *red edge* (vgl. JENSEN 2004), belebte Vegetation in relativ hohen Pixelwerten, geringe oder fehlende Vegetation in niedrigen Werten. Entsprechend sind die mit Vegetation bestandenen Flächen auch visuell eindeutig auszumachen. Im Einzelnen können folgende Werte in etwa für die Differenzierung von Vegetationstypen festgestellt werden:

Tab. 1: Typischer NDGRVI für Vegetation.

Vegetationstyp	NDGRVI
Bodendeckendes Gras, vital	0.13–0.25
Bodendeckendes Gras, Stress durch Wassermangel	0.01–0.07
Baum, Busch, vital	0.16–0.35

3.3 Bildsegmentierung

Zunächst werden die multispektralen Orthobilddaten zusammen mit dem Datensatz des NDGRVI in homogene Objekte segmentiert. Die Segmentierung stellt eine Zwischenstufe zwischen Vorverarbeitung und Klassifikation dar, da durch diesen Bearbeitungsschritt die Geometrie der später zu klassifizierenden Objekte geschaffen wird.

Unterschiedliche Segmentierungen können dabei in der Regel nicht generell als „richtig“ oder „falsch“ bezeichnet werden (BLASCHKE & STROBL 2001). Sie sollten dem Anwendungszweck und dem Auswertungsmaßstab entsprechend zielführend sein, d. h. die zu klassifizierenden Objekte gegeneinander abgrenzen. Eine nach diesen Kriterien geringe Segmentierungsqualität wirkt sich nachteilig auf die Klassifikationsgüte aus, da die Klassifikation anhand der Mittelwerte der Segmenteigenschaften (Spektralsignatur, Streuung, Form, Nachbarschaftseigenschaften etc.) erfolgt (NEUBERT & BLASCHKE 2004). Ein aktuell verbreitetes Bildanalysewerkzeug ist die Software eCognition (Definiens 2004), das über die Segmentierung hinaus auf eine segmentbasierte Klassifikation von Bilddaten abzielt.

In Tab. 2 sind die Segmentierungsparameter dargestellt, die die Zielobjektkategorien und –objekte Gebäude, Vegetation und versiegelte bzw. unversiegelte Flächen bestmöglich repräsentieren. Die Auswahl der Segmentierungsparameter ist nach wie vor ein kritischer Schritt in diesem Ansatz (NEUBERT & BLASCHKE 2004). Die Software unterstützt zwar das Abschätzen sinnvoller Parameter durch verschiedene Hilfsmittel und Statistiken, die Entscheidung liegt jedoch beim Anwender. Für eine ausführliche Diskussion der Segmentierungslevels und Forschungsansätze zur Bestimmung „robuster“ oder „signifikanter“ Ebenen sei auf LANG (2002) und TUFTE (2003) verwiesen.

Die Segmentierungsparameter in Tab. 2 beziehen sich auf die Software eCognition

Tab. 2: Segmentierungsparameter.

level	segmentation mode	scale parameter	shape-factor	compactness	smoothness
3	spectral diff.	12			
2	Normal	30	0.1	0.8	0.2
1	Normal	10	0.1	0.5	0.5

Gewichtung: Echtfarbenorthophoto alle Kanäle mit Gewichtung 1, NDRGVI ohne Gewichtung

Tab. 3: Regelbasierte Klassendefinitionen.

Hauptklasse	Unterklasse	Definition I	Definition II
Gebäude		 Area 34–50 m ²	 Shape Index 2.5–3.5
	Rotes Gebäude		Std. Nearest Neighbor
	Weißes Gebäude		Std. Nearest Neighbor
	Dunkles Gebäude		Std. Nearest Neighbor
Boden		 keine Vegetation	
	Versiegelte Flächen		Std. Nearest Neighbor
	Parkplatz		Std. Nearest Neighbor
	Roter Boden/Sport		Std. Nearest Neighbor
	Offener Boden		Std. Nearest Neighbor
Vegetation		 NDGRVI 146.7–149	Std. Nearest Neighbor
	Rasenflächen	 keine Bäume	
	Bäume, Büsche	 Ortho, blau, 105–107	
Wasser		Std. Nearest Neighbor	

und auf den Algorithmus von BAATZ & SCHÄPE (2000). Während die Methodologie von BURNETT & BLASCHKE (2003) von mehreren levels ausgeht, die in ihrer spezifischen Kombination den Schlüssel zum Verständnis der Landschaft darstellen (siehe LANG et al. 2004), sind anthropogene Objekte stärker von ihrer Form geprägt (LANG & BLASCHKE 2003) und weisen nicht notwendigerweise hierarchische Beziehungen auf. Daher wird in der folgenden Klassifikation nur das level 3 verwendet.

3.4 Klassifikation

In der überwachten Objekt-basierten Klassifikation werden zunächst die Hauptklassen definiert, die anschließend durch die beschreibenden Parameter weiter unterteilt und gegeneinander abgegrenzt werden. In diesem Ansatz gibt es zwei prinzipielle Klassifikationsmethoden, die auf multispektralen Charakteristika aufsetzen: standard nearest neighbor, nearest neighbor (Definiens

2004). Weitere Definitionen zur Abgrenzung der Klassen gegeneinander sind Regelbasiert (vgl. Tab. 3). Die folgenden Hauptklassen werden für das Untersuchungsgebiet verwendet:

- Gebäudeflächen,
- Wasserflächen,

Tab. 4: Klassifikationsergebnis.

Hauptklasse	Unterklasse	Fläche in ha
Gebäude	Rotes Gebäude	0.24
	Weißes Gebäude	26.44
	Dunkles Gebäude	38.02
Boden	Versiegelte Flächen	113.45
	Parkplatz	13.26
	Roter Boden/Sport	0.84
	Offener Boden	68.30
Vegetation	Rasenflächen	55.76
	Bäume, Büsche	82.70
Wasser		0.75

- vegetationsfreie Geländeoberfläche, unterteilt in offenen Boden und versiegelte Flächen,
- Vegetation, unterteilt in die Unterklassen bodendeckende Rasenflächen und höhere Vegetation wie Büsche und Bäume.

Die einzelnen Klassen sind wie folgt definiert:

Die Klassifikationsgenauigkeit wurde anhand von 50 zufällig über das Untersuchungsgebiet verteilter Punkte evaluiert (random point Methode, vgl. ERDAS 2003). So konnten eine Klassifikationsgenauigkeit von 82% und ein Kappa Index von $\kappa = 0.76$ ermittelt werden.

4 Analyse der Klassifikationsergebnisse

4.1 Ermittlung des Durchgrünungsgrades

Zunächst wird ein Durchgrünungsgrad oder Grünindex ähnlich wie bei SCHÖPFER et al. (2005) ermittelt, der den durchschnittlichen Anteil von Vegetation je Flächeneinheit angibt. Er wird direkt aus den beiden Klassen „Bäume & Büsche“ und „bodendeckende Rasenflächen“ ermittelt. Diese Klassen gehen mit jeweils gleicher Gewichtung in die Berechnung ein. Der Vegetationsanteil wird

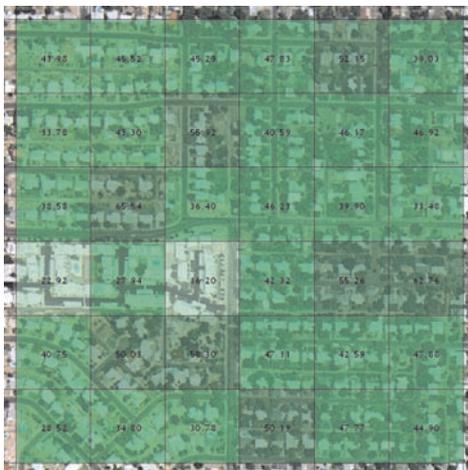


Abb. 2: Grünindex über die Fläche gemittelt über einen Teil des Untersuchungsgebietes.

über ein $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ großes Raster gemittelt und die resultierenden Werte anschließend in vier Klassen eingeteilt. Anhand des Grünindex sind effektiv Gebiete mit geringem Vegetationsanteil und Gebiete mit hohem Vegetationsgrad zu unterscheiden (Abb. 2). Für mittelmaßstäbliche Planungen stellt der Grünindex auf Rasterzellenbasis in dieser Form eine sehr effiziente Datenbasis dar. In dem konkreten Beispiel ist festzustellen, dass Gebäude mit großen Grundrissen meist in Zellen liegen, die einen geringen Vegetationsanteil aufweisen. Auffallend sind drei Zellen mit Werten von 16.2%, 22.92% und 27.94% Vegetation. Hier nehmen einerseits die Gebäude selbst einen großen Flächenanteil der jeweiligen Zelle ein, andererseits sind die direkt umgebenden Flächen versiegelt und werden als Parkplätze genutzt. Es handelt sich bei diesem Komplex um eine mehrgeschossige Wohnanlage.

Die Zahlen in Abb. 2 geben für jede Zelle mit einer Größe von $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ den prozentualen Anteil der Vegetation an. Dieser Grünindex ist allerdings nur eingeschränkt brauchbar, wenn Aussagen über individuelle Gebäude hinsichtlich der unmittelbar umgebenden Vegetation gemacht werden sollen. Damit einher gehend kann auch für den Zugang zu, bzw. den Ausblick auf Vegetation der dort lebenden Personen nur auf Basis von Einzelhäusern eine konkrete Aussage gemacht werden. Um eine solche Analyse durchzuführen, muss jedes Gebäude individuell – jedoch automatisiert – betrachtet werden.

Da Gebäudegrundrisse in den USA – anders als z. B. in Deutschland – nicht im Kataster geführt werden, ist zunächst die automatisierte Erfassung dieser Außengrenzen notwendig. Da die Objekt-basierte Klassifikation hinsichtlich der Gebäudedetektion geometrisch genaue Ergebnisse liefert, können diese als Eingangsdaten verwendet werden. Zunächst wurden die Gebäude mit einer Grundfläche größer 50 m^2 extrahiert, um so die Objekte, die keine permanente Aufenthaltsfunktion aufweisen (also weder reine Wohn-, noch Arbeitsfunktion), von der weiteren Analyse auszuschließen. Bei letzteren handelt es sich im Wesentlichen um

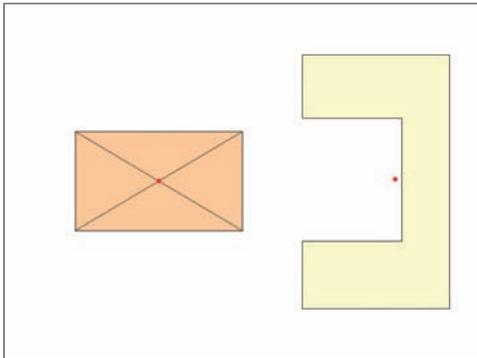


Abb. 3: Zentroide unterschiedlicher Formen.

Nebengebäude, also Garagen, Schuppen und Anbauten, die mit dem Haupthaus in keiner direkten Verbindung stehen.

Für jedes Hauptgebäude wurde der Zentroid berechnet, der Flächenschwerpunkt des jeweiligen Grundrisses. Dabei kann es aufgrund der unregelmäßigen Form des Gebäudegrundrisses auch dazu kommen, dass der Zentroid außerhalb des eigentlichen Gebäudes liegt (Abb. 3). In diesen hier insgesamt 43 Fällen liegt der Abstand des Zentroids maximal 6 m vom eigentlichen Gebäude entfernt. Der minimale Abstand des Zentroids liegt bei 0.5 m, der Mittelwert der Abweichungen bei 1.85 m und die Varianz bei 1.53 m.

Zentroid: rot, links in der Mitte des Objektes, rechts außerhalb des Objektes gelegen.

4.2 Analyse und Beurteilung des umgebenden Vegetationsanteiles

Ausgehend vom jeweiligen Zentroid wurden zehn Kreise mit jeweils 10 m Abstand zueinander berechnet, was einem maximalen Radius von 100 m entspricht. Der Wert wurde analog zur Größe der Rasterzelle für die Berechnung des Durchgrünungsgrades gewählt (s. o.). Abb. 4 zeigt, dass dieser Umkreis weit größer ausfällt als die uneingeschränkte Sicht vom jeweiligen Gebäude aus. Auch der Großteil der täglichen Aktionen im direkten Umkreis des Gebäudes (im Sinne der Lebensfunktion „wohnen“, nicht z. B. „sich versorgen“) dürfte deutlich geringer ausfallen als 100 m, liegt vielmehr in einer Spanne von 0 m–40 m.

Zehn Umkreise mit einem Abstand von je 10 m um den Zentroid eines Gebäudes.

Im nächsten Schritt wurden die Flächenanteile der beiden Vegetationsklassen berechnet, so wie sie in den einzelnen Kreisringen vorkommen. Die Gesamtfläche der Vegetation wurde dann in prozentualen Anteilen zur Gesamtfläche des jeweiligen Ringes berechnet. Das Ergebnis dieser GIS Operationen ist der Flächenanteil umgebender Vegetation (engl.: *fraction of surrounding vegetation* oder FSV). In Tab. 5 ist der FSV für alle 1863 Gebäude aufgelistet.

Wie erwartet, ist in einem Abstand von bis zu 10 m um den Flächenzentroid der Vegetationsanteil gering. Das erklärt sich dadurch, dass in diesem Kreis hauptsächlich die Gebäude selbst liegen (Abb. 4). Beson-

Tab. 5: Anzahl der Gebäude nach prozentualen Flächenanteil der umgebenden Vegetation (FSV) in Kreisringen von 10 m–100 m.

FSV	Abstand vom Gebäude in m									
	bis 10 m	> 10 bis 20 m	> 20 bis 30 m	> 30 bis 40 m	> 40 bis 50 m	> 50 bis 60 m	> 60 bis 70 m	> 70 bis 80 m	> 80 bis 90 m	> 90 bis 100 m
bis 25 %	1232	646	621	589	607	527	528	517	554	551
bis 50 %	485	596	742	772	858	947	948	962	983	979
bis 75 %	136	482	441	465	374	377	379	375	321	329
bis 100 %	10	139	59	37	24	12	8	9	5	4



Abb. 4: Zentroid für ein Gebäude und Umkreise.

ders wichtig für das menschliche Wohlbefinden ist die Abstandsclass $>10\text{ m}-20\text{ m}$, denn sie sollte im Wesentlichen die das Gebäude direkt umgebenden Anlagen repräsentieren. Dazu zählen primär private Gärten als die am häufigsten genutzten Erholungsanlagen. Entsprechend finden sich hier auch hohe Anteile von Vegetation für sehr viele Gebäude. Genau 621 Gebäude, das sind 33.13% aller Gebäude, weisen einen Vegetationsanteil von mehr als 50% im Kreisring von $>10\text{ m}-20\text{ m}$ auf. Immerhin noch 94 Gebäude haben keine Vegetation im Kreisring $>10\text{ m}-20\text{ m}$. Hierbei handelt es sich jedoch nicht um Gebäude, die primär dem privaten Wohnen dienen, sondern fast ausschließlich um Gewerbekomplexe und Teile der Universität.

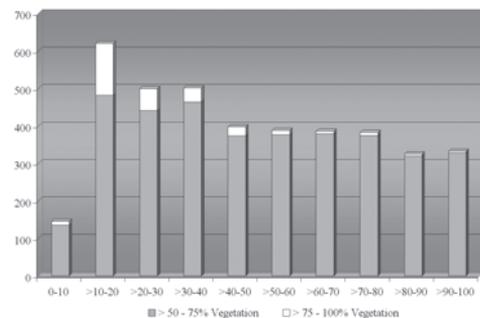


Abb. 5: Gebäude mit FSV $\geq 50\%$.

Mit einem deutlichen Abstand folgt die Klasse $>20\text{ m}-30\text{ m}$. Hier weisen noch 500 Gebäude oder 26.83% einen Vegetationsanteil von mehr als 50% auf. Sehr ähnlich ist



a) mit unterlegtem Luftbild

b) je dunkler der Farbton, desto höher der FSV_a**Abb. 6:** Gemittelter prozentualer Flächenanteil (FSV_a) von Vegetation um die Gebäude.

die nächste Abstandsklasse $> 30\text{ m} - 40\text{ m}$ besetzt. Erst in der Klassen $> 40\text{ m} - 50\text{ m}$ ist ein deutlicher Rückgang klar auszumachen, auch als Sprung in Abb. 5. Insbesondere der Vegetationsanteil in der Klasse $> 75 - 100\%$ geht auf nur noch wenige Gebäude zurück.

Zusätzlich wurde auch der Vegetationsanteil gemittelt über alle Abstandsklassen für jedes Gebäude berechnet. Das Ergebnis, der gemittelte (*average*) Flächenanteil umgebender Vegetation (FSV_a), veranschaulicht die Verteilung der umgebenden Vegetation. Helle, grüne Töne in Abb. 6a und b stehen für einen geringen Vegetationsanteil in der Umgebung bis 100 m, dunkle grüne Töne weisen auf einen hohen umgebenden Vegetationsanteil hin. Der größte FSV_a für ein Gebäude wurde mit einem Wert von 82% ermittelt.

5 Zusammenfassende Beurteilung und Ausblick

Die vorgestellte Studie sowie zahlreiche andere Forschungsarbeiten (BLASCHKE et al. 2001, MEINEL et al. 2001, SCHIEWE & TUFTE 2002, BURNETT et al. 2003, TUFTE 2003, MÖLLER 2004, LANG 2005) unterstreichen die Vorteile der auf Bildsegmentierung basierenden Methoden gegenüber pixelbasier-

ten Verfahren. Dies äußert sich oft nur geringfügig in der Klassifikationsgüte (MEINEL et al. 2001), vor allem, wenn diese ausschließlich über Zufallspunkte evaluiert wird. Unterschiede bestehen insbesondere in der Anzahl der unterscheidbaren Klassen, im Anteil unklassifizierter Flächen und in der Form und Verteilung der resultierenden Objekte. Das von Auswertungen auf Pixelbasis bekannte salt-and-pepper-Rauschen wird weitgehend überwunden. Dies wird durch eine gewisse Generalisierung durch die Bildung von Segmenten und Objekten erzielt. Falls in spezifischen Untersuchungen gerade die Details von Interesse sind, ist eine feinere multiskalare Segmentierung zu wählen (BURNETT & BLASCHKE 2003), oder eine Kombination aus Pixel-basierten und Objekt-basierten Verfahren (KOCH et al. 2003).

In dieser Untersuchung wurde ein kombinierter Fernerkundungs/GIS-Ansatz gewählt, der die individuelle Wohnperspektive betrachtet. Der Ansatz baut auf dem Grünraumindex von SCHÖPFER et al. (2005) auf, mit zwei wesentlichen Unterschieden: Er kommt ohne externe GIS-Daten aus, indem die notwendigen Gebäudegrundrisse aus den Fernerkundungsdaten selbst abgeleitet werden, und in der GIS-Analyse werden

konzentrische Kreise und damit pseudo-kontinuierliche Abstandsmaße für Vegetationsanteile individuell für jedes Gebäude berechnet.

Mit dem FSV wird ein neuer Index eingeführt, der eine aussagekräftige Maßeinheit für den Anteil von Vegetation in unterschiedlichen Kreisringen um Gebäude liefert. Er kann ausschließlich aus Echtfarben-Orthobilddaten ohne zusätzliche Informationen abgeleitet werden. Der FSV kann mit Hilfe von Objekt-basierten Bildverarbeitungsmethoden und GIS Operationen aus den Fernerkundungsdaten in einem operationalisierbaren Arbeitsprozess berechnet werden.

Der FSV ist als Bewertungsgröße für den Zugang und die Wahrnehmung umgebender Vegetation gedacht. Dabei wird in dieser Variante nicht unterschieden zwischen bodenaher (z. B. Grasflächen) und hoher Vegetation (Büsche, Bäume). Um den FSV weiter zu entwickeln, wird in laufenden und zukünftigen Arbeiten dieser Index zunächst dahingehend verfeinert, dass er zwischen diesen Hauptklassen an Vegetation unterscheidet. Er soll dann auch an anderen Regionen der Metropole Phoenix getestet werden. Besondere Aufmerksamkeit gilt hierbei der Fragestellung, inwieweit der Index eine Differenzierung der Siedlungsgebiete in *mesic* (durchgrünt, mit verhältnismäßig viel Vegetation) und *xeric* (eher trocken, mit naturnaher Vegetation) ermöglicht.

In dem gewählten Ansatz bereitet es momentan noch Probleme, die Zahl der Bewohner eines Gebäudes abzuleiten. Diese Größe ist aber notwendig, um die Anzahl der direkt Betroffenen exakt einschätzen zu können. Zwar unterscheiden sich die Gebäude – bezogen auf ihre jeweilige Hauptnutzung – hinsichtlich der Größe ihres Grundrisses, doch müssen hier weitere Kriterien getestet werden. In Zusammenarbeit mit der fortgesetzten Grünraumstudie in der Stadt Salzburg sollen schließlich auch neue Wege des accuracy assessments beschritten werden, die die subjektive Wahrnehmung der Einwohner in den Mittelpunkt stellen.

In einem nächsten Schritt soll der FSV auf andere Stadtgebiete weltweit ausge-

dehnt werden. Als Datengrundlage wird zukünftig sowohl auf hochauflösende Satellitenbilddaten wie auch auf extrem hochauflösende digitale Flugzeugscannerdaten (MÖLLER 2003) zurückgegriffen, die dann auch die Information des Infraroten Spektralbereiches beinhalten und somit eine detailliertere Erfassung und Differenzierung von Vegetation ermöglichen sollten.

Danksagungen

Die Autoren danken dem Land Salzburg, das im Rahmen eines Wettbewerbs durch ein „Land Salzburg Research Fellowship“ die gemeinsame Forschungsarbeit ermöglicht hat, den Mitarbeitern der Arbeitsgruppe LARG am Zentrum für Geoinformatik der Universität Salzburg für die inhaltlichen Anregungen, JASON WALKER und ALEXANDER BUYANTUYEV, beide Arizona State University, für anregende Diskussionen und die Aufbereitung der Orthobilddaten sowie der Firma Definiens AG, München, für die Unterstützung dieser Arbeit.

Literatur

- BAATZ, M. & SCHÄPE, A., 2000: Multi-resolution Segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. – In: STROBL, J. BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, G. (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII: 12–23; Wichmann, Heidelberg.
- BENZ, U., HOFMANN, P., WILLHAUCK, G., LINGENFELDER, I. & HEYNEN, M., 2004: Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. – ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing **58**: 239–258.
- BLASCHKE, T., 2003: Object-based contextual image classification built on image segmentation. – IEEE/NASA workshop on Advances in Techniques for Analysis of Remotely Sensed data, proceedings, Washington DC, CD-ROM.
- BLASCHKE, T. & J. STROBL, 2001: What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. – GIS Zeitschrift für Geoinformationssysteme (6): 12–17.
- BLASCHKE, T., CONRADI, M. & LANG, S., 2001: Multi-scale image analysis for ecological monitoring of heterogeneous, small structured land-

- scapes. – Proceedings of SPIE, Toulouse, 35–44.
- BLASCHKE, T., BURNETT, C. & PEKKARINEN, A., 2004: New contextual approaches using image segmentation for object-based classification. – In: DE MEER, F. & DE JONG, S. (eds.): Remote Sensing Image Analysis: Including the spatial domain. – 211–236; Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- BURNETT, C. & BLASCHKE, T., 2003: A multi-scale segmentation/object relationship modeling methodology for landscape analysis. – Ecological Modelling **168** (3): 233–249.
- BURNETT, C., AAVIKSOO, K., LANG, S., LANGANKE, T. & BLASCHKE, T., 2003: An Object-based Methodology for Mapping Mires Using High Resolution Imagery. – In: JÄRVET, A. & LODE, E. (eds.): Ecological Processes in Northern Wetlands. – 239–244; Tallinn.
- Definiens, 2004: eCognition Professional User Guide 4. Definiens Imaging, München.
- ERDAS, 2003: ERDAS IMAGINE Tour Guides. – ica Geosystems GIS & Mapping, LLC, Atlanta, GA.
- FLANDERS, D., HALL-BEYER, M. & PEREVERZOFF, J., 2003: Preliminary evaluation of eCognition object-based software for cut block delineation and feature extraction. – Canad. J. Remote Sensing, **29** (4): 441–452.
- FROHN, J., (Hrsg.), 2004: Grün für Körper und Seele: Zur Wertschätzung und Nutzung von Stadtgrün durch die Bielefelder Bevölkerung. – Universität Bielefeld, Diskussionspapier Nr. 37.
- GITELSON, A., KAUFMAN, Y., STARK, R. & RUNDQUIST, D., 2002: Novel algorithms for remote sensing estimation of vegetation fraction. – Remote Sensing of Environment **80**: 76–87.
- HAY, G., BLASCHKE, T., MARCEAU, D. & BOUCHARD, A., 2003: A comparison of three image-object methods for the multiscale analysis of landscape structure. – ISPRS International Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, **57**: 327–345.
- JENSEN, J., 2004: Introductory Digital Image Processing. – 3rd Ed., 544 p.; Prentice Hall.
- KOCH, B., JOCHUM, M., IVITS, E. & DEES, M., 2003: Pixelbasierte Klassifizierung im Vergleich und zur Ergänzung zum objektbasierten Verfahren. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2003** (3): 195–204.
- LANG, S., 2002: Zur Anwendung des Holarchie-konzeptes bei der Generierung regionalisierter Segmentierungsebenen in höchstauflösenden Bilddaten. – In: BLASCHKE, T. (Hrsg.): Fernerkundung und GIS. Neue Sensoren – Innovative Methoden. – 24–33; Wichmann Verlag, Heidelberg.
- LANG, S., 2005: Image Objects and Landscape Objects Interpretation, Hierarchical Representation and Significance. – PhD Thesis, Salzburg University.
- LANG, S. & BLASCHKE, T., 2003: Hierarchical object representation – a comparative study on multi-scale mapping of man-made and natural features. – International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation vol. XXXIV-3/W8, 181–186.
- LANG, S., BURNETT, C. & BLASCHKE, T., 2004: Multiscale object-based image analysis – a key to the hierarchical organisation of landscapes. – Ekológia, supplement, *pages pending*.
- MEINEL, G., NEUBERT, M. & REDER, J., 2001: Pixelorientierte versus segmentorientierte Klassifikation von IKONOS-Satellitendaten. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2001** (3): 157–170.
- MÖLLER, M., 2001: New Remote Sensing Systems and GIS-Techniques for the Monitoring of Urban Ecological Processes. – In: EHLERS, M. (ed.): Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology. – Proceedings of SPIE, Vol. **4545**: 109–117.
- MÖLLER, M., 2003: Urbanes Umweltmonitoring mit digitalen Flugzeugscannerdaten. – Buch mit CD, 126 S.; Wichmann, Karlsruhe.
- MÖLLER, M., 2004: Monitoring Long Term Transition Processes of a Metropolitan Area with Remote Sensing. – In: Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2004, Anchorage, AK, CD ROM.
- NEUBERT, M. & BLASCHKE, T., 2004: Segmentierung von Fernerkundungsdaten als Grundlage zur Ableitung von Landschaftsstrukturmaßen. – In: WALZ, U., LUTZE, G., SCHULTZ, A. & SYRBE, R.-U. (eds.): Landschaftsstruktur im Kontext von naturräumlicher Vorprägung und Nutzung – Datengrundlagen, Methoden und Anwendungen. – IÖR Schriften **43**: 91–108; Dresden.
- SCHIEWE, J. & TUFTE, L., 2002: Potential und Probleme multiskalarer Segmentierungsmethoden der Fernerkundung. – In: BLASCHKE, T. (Hrsg.): Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren – Innovative Methoden. – 42–51; Wichmann-Verlag, Heidelberg.
- SCHÖPFER, E., LANG, S. & BLASCHKE, T., 2005: A “Green Index” incorporating remote sensing and citizen’s perception of green space. – International Archives of Photogrammetry, Re-

- mote Sensing and spatial information sciences, Vol. No. XXXVII-5/W1, 1–6; Tempe, AZ.
- TUFTE, L., 2003: Automatisierte Bestimmung von Bearbeitungsskalen für die multiskalige Auswertung von hoch auflösenden Fernerkundungsdaten. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* **2003** (5): 383–394.
- United Nations, UN, 2002: World Urbanization Prospects – The 2001 revision Data Tables and Highlights. – ESA/P/ WP.173. http://www.un.org/esa/population/publications/wup2001/wup_2001dh.pdf (10. August 2005).
- World Health Organization, WHO, 1946: Preamble to the Constitution of the World Health Organization as adopted by the International Health Conference, New York, 19–22 June, 1946; signed on 22 July 1946 by the representatives of 61 States (Official Records of the World Health Organization, no. 2, p. 100) and entered into force on 7 April 1948.
- Anschriften der Autoren:
- Dr. rer. nat. MATTHIAS MÖLLER
Arizona State University, International Institute for Sustainability, PO Box 873211
Tempe, AZ 85287, USA
Tel.: +1-480-965 0987, Fax: +1-480-965 8087
e-mail: matthias.moeller@asu.edu
- PD Mag. Dr. THOMAS BLASCHKE
Universität Salzburg, Zentrum für GeoInformatik Salzburg, Hellbrunnerstraße 34
A-5020 Salzburg, Österreich
Tel.: +42-662-80445225, Fax: +43-662-8044 525
e-mail: thomas.blaschke@sbg.ac.at
- Manuskript eingereicht: Juni 2005
Angenommen: August 2005