



Flächennutzungsmonitoring IV Genauere Daten – informierte Akteure – praktisches Handeln

IÖR Schriften Band 60 · 2012

ISBN: 978-3-944101-03-3

Auf dem Weg zu einem Monitoring der Bodenversiegelung – Herausforderungen und Lösungsansätze

Wieke Heldens, Thomas Esch

Heldens, W.; Esch, T. (2012): Auf dem Weg zu einem Monitoring der Bodenversiegelung – Herausforderungen und Lösungsansätze. In: Meinel, G.; Schumacher, U.; Behnisch, M. (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring IV. Genauere Daten – informierte Akteure – praktisches Handeln. Berlin: Rhombos, IÖR Schriften 60, S. 95-103.

Auf dem Weg zu einem Monitoring der Bodenversiegelung – Herausforderungen und Lösungsansätze

Wieke Heldens, Thomas Esch

Zusammenfassung

Die Lokalisierung und Quantifizierung der versiegelten Fläche ist unverzichtbar für eine fundierte Diskussion über die Folgen der Flächeninanspruchnahme. Nur wenige flächendeckende und räumlich differenzierte Kartierungen der Versiegelung sind aktuell verfügbar. Daher besteht Bedarf an einer Technik zur regelmäßigen Erhebung und Fortschreibung (Änderungsdetektion) der versiegelten Flächen. Fernerkundung hat ein hohes Potenzial bezüglich des Monitorings der Bodenversiegelung. Herausforderungen für dieses Monitoring sind jedoch unterschiedliche Aufnahmezeitpunkte (phänologische und radiometrische Unterschiede) sowie Sensoreigenschaften und Verfügbarkeit von Trainingsdaten. Um dies zu untersuchen und mögliche Lösungen zu entwickeln, wurden am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) ein operationeller Versiegelungsprozessor implementiert und erste Versiegelungskartierungen mit Landsat und Rapid Eye Daten generiert.

1 Einführung

Seit Jahrzehnten ist in Deutschland ein stetiger Zuwachs der Siedlungs- und Verkehrsfläche zu verzeichnen. Eng verknüpft mit dieser Entwicklung ist die kontinuierliche Zunahme der Bodenversiegelung. Die Versiegelung von Flächen führt unweigerlich zum Verlust der ökologischen, geschichtlichen und ertragsbezogenen Funktionen, weshalb die Erlangung detaillierter Daten zur raumzeitlichen Entwicklung der Bodenversiegelung unverzichtbar für die Diskussion über die Charakteristika der Flächeninanspruchnahme und deren Folgen ist. Allerdings sind aktuell nur wenige flächendeckende und räumlich differenzierte Kartierungen der Versiegelung verfügbar. Noch dazu wurden bzw. werden diese Datenbestände meist im Zuge von Einzelprojekten erhoben, d. h. sie sind regional begrenzt und eine Fortschreibung findet in der Regel nicht statt. Gerade ein regelmäßiges Monitoring ist aber dringend notwendig, um über entsprechende Änderungsanalysen eine quantitative und qualitative Bewertung der Versiegelungsentwicklung vornehmen zu können.

Aktuell verfügbare, bundesweite Datensätze zur Bodenversiegelung sind rar. Ein erster Ansatz und Datenbestand („Indikator Versiegelung“) wurde von der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) entwickelt. Das Verfahren beruht dabei auf der Auswertung von Angaben des automatisierten Liegenschaftsbuches, die im Rahmen der

„Umweltökonomischen Gesamtrechnungen der Länder“ erhoben werden (Frie, Hensel 2007). Darüber hinaus haben sich fernerkundungsbasierte Verfahren als hilfreiches Instrument zur räumlich detaillierten Kartierung der Bodenversiegelung erwiesen. Aufgrund der großflächigen Abdeckung und der Möglichkeit zur regelmäßigen Aufnahme und weitestgehend automatisierten Auswertung bieten Fernerkundungsverfahren ein hohes Potenzial hinsichtlich des Monitorings der Bodenversiegelung. Eine Notwendigkeit und zugleich Herausforderung mit Blick auf die quantitative und qualitative Analyse der Versiegelungsentwicklung ist jedoch die Gewährleistung einer konstanten Güte in der Abschätzung der Versiegelungswerte. Um diese Anforderungen zu erfüllen, werden aktuell verschiedene Konzepte verfolgt, die im Rahmen dieses Beitrags näher beleuchtet werden sollen.

2 Bundesweite Kartierungen der Bodenversiegelung mittels Satellitenbilddauswertung

2.1 Ansätze und Datenbestände

Momentan gibt es zwei verschiedene, deutschlandweite Bodenversiegelungskartierungen, die mittels Erdbeobachtungsdaten erstellt wurden. Im Rahmen von REFINA wurde durch die Universität Würzburg und das DLR eine Versiegelungskartierung für das Jahr 2000 generiert. Datengrundlage war die Landsat Abdeckung von Image2000 (Klein et al. 2010). Basierend auf dem in diesem Projekt entwickelten iSurf-A Modul (Esch et al. 2009), wurde von der Universität Würzburg eine deutschlandweite Versiegelungskartierung für das Jahr 2006 erstellt (Thiel et al. 2010), die auf Image2006 Satellitendaten basierte.

Der GMES Fast Track Service (FTS) Soil Sealing Layer ist eine europaweite Versiegelungskarte vom Jahr 2006 (EEA 2009), welcher von der Firma Astrium Services hergestellt wurde. Diese Kartierung wurde im Jahr 2009 aktualisiert und soll in Zukunft im Rahmen von GIO weiterhin regelmäßige Updates erfahren. Grundlage für diese Kartierungen waren die Image2006 und Image2009 Abdeckungen mit Satellitendaten von Europa. Eine umfassendere Erläuterung dieser Initiative und den entsprechenden Produkten findet sich im Beitrag von Jochum et al. in dieser Ausgabe.

Abbildung 1 und 2 zeigen die Ergebnisse einer Validierung dieser beiden Datensätze am Beispiel der Städte Leipzig und Passau. Aus Luftbildern, IKONOS Satellitenaufnahmen und ATKIS Daten wurden Referenzkarten erstellt, anhand derer die beiden Produkte verglichen werden konnten. Die Ergebnisse der Modellierung mit iSurf-A zeigen einen mittleren absoluten Fehler von 15,5 % (Passau) und 19,1 % (Leipzig) für die versiegelte Fläche; für FTS Soil Sealing beträgt der mittlere absolute Fehler 21,0 % (Passau) und 28,1 % (Leipzig). Die Wertebereiche der mittleren Fehler sind für beide Versiegelungskartierungen sehr

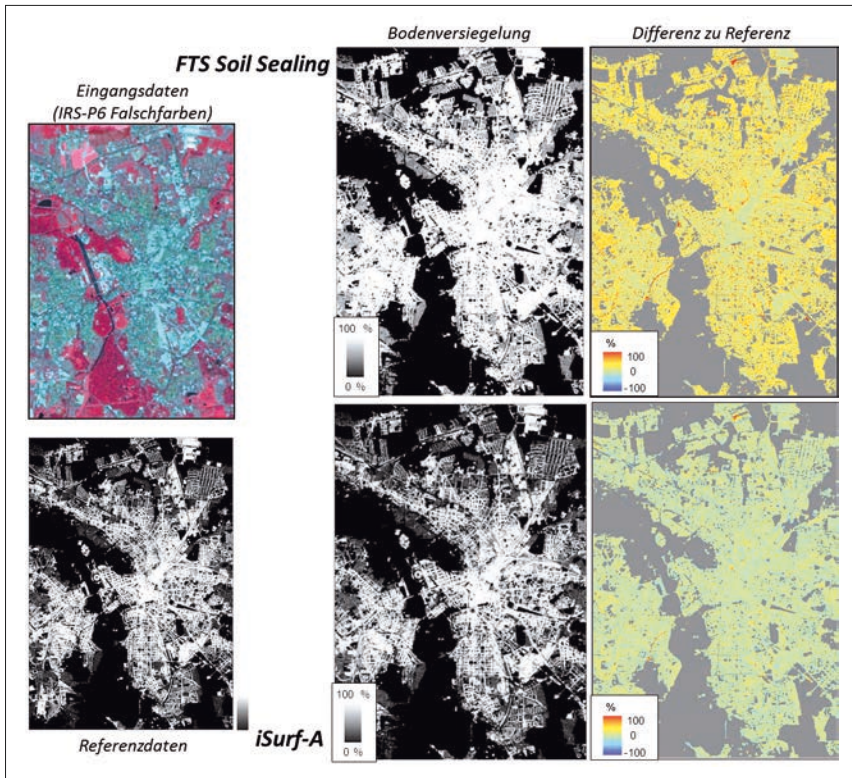


Abb. 1: Bodenversiegelung und Differenz zur Referenz für FTS Soil Sealing Layer und iSurf-A am Beispiel der Stadt Leipzig (Quelle: die Autoren)

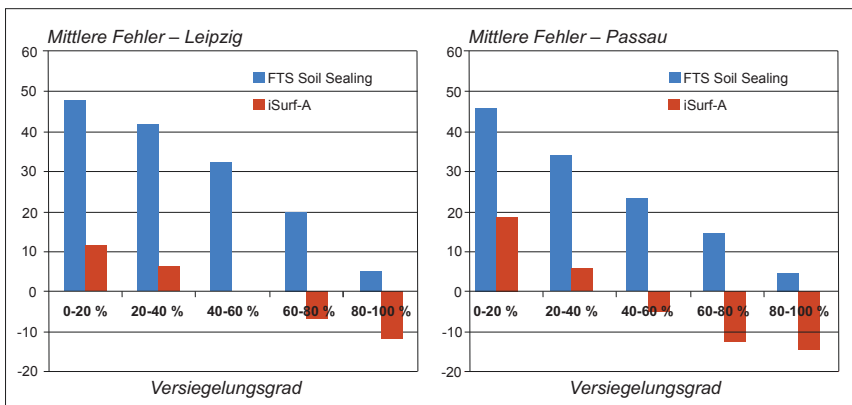


Abb. 2: Mittlere Fehler gegenüber der Referenz für die Städte Leipzig und Passau (Quelle: die Autoren)

unterschiedlich: für iSurf-A liegen diese bei -1,3 % und -0,7 % versiegelte Fläche, während der mittlere Fehler für FTS Soil Sealing bei 18,3 % und 26,7 % versiegelte Fläche liegt. Abbildung 2 gibt zusätzliche Informationen zum Unterschied im mittleren Fehler zwischen beiden Datensätzen, aufgeteilt nach verschiedenen Versiegelungskategorien. iSurf-A unterschätzt die Versiegelung von hochversiegelten Flächen und überschätzt die Versiegelung in gering versiegelten Gebieten. Beim Berechnen des mittleren Fehlers gleicht sich dies aus, auch weil der Fehler in der Modellierung eine klare Normalverteilung aufweist. Die FTS Soil Sealing Layer zeigt eine generelle Überschätzung der versiegelten Fläche, die mit höheren Versiegelungsgraden (> 80 %) abnimmt.

2.2 Potenziale und Grenzen der bestehenden Verfahren mit Blick auf Monitoringanforderungen

Wie im Absatz 2.1 beschrieben, lassen sich Versiegelungsdaten grundsätzlich mit hinreichender Genauigkeit über die Auswertung von Satellitenaufnahmen erheben. Ein Vorteil hierbei ist, dass die satellitenbasierten Verfahren eine flächendeckende und zugleich räumlich sehr detaillierte Kartierung ermöglichen, wodurch auch eine strukturelle Charakterisierung der Situation möglich ist. Da es eine Vielzahl an Satellitendaten gibt, die sogar mehrmals jährlich aufgezeichnet werden, ist eine bedarfsorientierte Erhebung mit flexiblen Fortschreibungsintervallen möglich. Die direkte Einbindung der digitalen (Ergebnis-)Daten in GIS ermöglicht eine vergleichsweise einfache Einbindung der Ergebnisse in existierende Datenbanken und Anwendungen. Die Möglichkeit zur Automatisierung der Kartierungs- und Monitoringaufgaben ist insbesondere mit Blick auf die großen Datenmengen einer bundesweiten Auswertung von großem Vorteil. Darüber hinaus garantiert eine automatisierte Modellierung, dass jeder Datensatz auf die gleiche Weise analysiert wird. Auf einzelne Bildpixel bezogen kann es jedoch zu hohen Abweichungen in den errechneten Versiegelungsgraden kommen. Daher ist eine auf die einzelnen Pixel bezogene Analyse von Veränderungen aktuell nur sehr bedingt möglich und begrenzt sich hauptsächlich auf die Identifizierung von neu versiegelten Flächen (maximale Änderung des Versiegelungsgrades). Bei einer räumlichen Generalisierung (z. B. auf Baublöcke, Stadtteile oder Gemeindeflächen) werden die mittleren Fehler bzw. Abweichungen jedoch sehr gering (Normalverteilung der Abweichungen um Null) und die Aussagekraft hinsichtlich der zeitlichen Entwicklung der Versiegelungsfläche wird höher.

Diesen Potenzialen stehen einige Herausforderungen gegenüber, die mit der Auswertung von Satellitendaten einhergehen. Diese Themen sind schon länger Gegenstand der Forschung in der Fernerkundung. So machen zum Beispiel wechselnde Wetter- und Umweltbedingungen oder aber Aufnahmezeitpunkte der Satellitendaten die automatische Auswertung der Aufnahmen schwieriger. Es entstehen dadurch z. B. Effekte in den Satellitendaten, die durch eine phänologische Änderung bedingt sind, sich aber als eine

vermeintliche Änderung in der modellierten, versiegelten Fläche niederschlagen. Auch unterschiedliche Beleuchtungsverhältnisse (z. B. Sonnenstand) und Aufnahmegeometrien können die Satellitenbilder so verändern, dass bei gleichem, tatsächlichem Versiegelungsgrad ein anderes spektrales Signal entsteht, was eine automatische Auswertung erschwert. Zuletzt können unterschiedliche Bodenbedeckungen ähnliche spektrale Eigenschaften besitzen. Dies ist zum Beispiel für helle Betonflächen und trockene, offene Böden der Fall.

Für ein zuverlässiges Monitoring ist ferner die Verfügbarkeit von Satellitensystemen gleicher oder sehr ähnlicher Eigenschaften über einen langen Zeitraum notwendig. Mit den Abdeckungen der Image1990/2000/2006 Satellitendaten von Europa ist eine regelmäßig erhobene Datenbasis verfügbar. Allerdings bestehen die Abdeckungen teilweise aus Szenen unterschiedlicher Sensoren, was eine automatische Kartierung deutlich erschwert, da die zu Grunde liegenden Modelle die unterschiedlichen Sensoreigenschaften berücksichtigen müssen. Mit den Satelliten der Europäischen Sentinel-Missionen werden aber regelmäßige Aufnahmen mit gleichbleibenden Sensoreigenschaften für längere Zeit verfügbar werden. Die ersten Satelliten der Sentinel-Missionen werden voraussichtlich 2013 starten (ESA 2012). Die Daten dieser Satelliten mit einer räumlichen Auflösung von 10 m bis 20 m (Sentinel-2) werden frei verfügbar sein.

3 Entwicklung eines Versuchsträgers zur operationellen Versiegelungskartierung

Um die Herausforderungen und Lösungsmöglichkeiten für ein Monitoring der Bodenversiegelung zu erforschen, hat das DLR sich zum Ziel gesetzt, einen Versuchsträger (thematischen Prozessor) zu entwickeln, der operationell Daten verarbeiten kann (unterschiedliche Sensoren, Zeiten, Aufnahmebedingungen etc.). Auf dieser Grundlage werden umfassende Informationen und Erkenntnisse zu den auftretenden Effekten generiert, die das Monitoring bislang einschränken (siehe 2.2). Dieser Ansatz wird im Folgenden beschrieben.

Der Fokus liegt auf der automatisierten Verarbeitung multispektraler Erdbeobachtungsdaten (EO Daten) – vor allem, aber nicht nur, Rapid Eye, Landsat und IRS-P6 LISS III. Deutschland ist das primäre Anwendungsgebiet für die damit verbundenen Tests. Als Ausgangsbasis wird die iSurf-A Methodik zur Versiegelungsmodellierung mittels Support Vector Machines (SVM) (Esch et al. 2009) verwendet. Als Prozessierungsumgebung wird CATENA (automatisierte Kette für die Prozessierung von Satellitendaten, entwickelt von DLR-IMF) verwendet.

3.1 Methodik

Um die Versiegelung abzuleiten, wird das iSurf-A Modul genutzt. Dabei wird zunächst ein Referenzdatensatz herangezogen, der für ein bestimmtes Gebiet, etwa eine Stadt oder einen Stadtteil, die tatsächliche Versiegelungssituation beschreibt. Mithilfe von Regressionsverfahren (Support Vector Regression) kann auf der Grundlage dieser Referenzdaten eine Beziehung zwischen dem Versiegelungsgrad und den spektralen Eigenschaften der verwendeten Fernerkundungsdaten, d. h. der Farbinformation jener Bildpixel, die das Referenzgebiet abdecken, erstellt werden. Diese Beziehung wird in Form eines entsprechenden Regressionsmodells gespeichert (z. B. in einer Modellbibliothek), welches sich nun auf beliebige Szenen des verwendeten Sensorsystems übertragen lässt.

Das iSurf-A Modul wurde nun in einem weiteren Schritt in CATENA implementiert. Diese Prozessierungsumgebung verwaltet verschiedene Rechenprozesse und bietet eine Möglichkeit zur Ansteuerung und Überwachung dieser Operationen. Da CATENA die Implementierung beliebiger Module ermöglicht, lassen sich volloperationelle Prozessierungsketten umsetzen. Eine Hauptfunktion von CATENA ist die Vorverarbeitung von Satellitendaten. Dazu sind unter anderem Module zur Georeferenzierung und atmosphärischen Korrektur verfügbar. Abbildung 3 zeigt die Prozessierungskette für den Versiegelungsprozessor. Sie besteht aus einer Vorprozessierung der Satellitendaten in Form einer Georeferenzierung und atmosphärischer Korrektur, um auf diese Weise einen möglichst standardisierten Input an EO-Daten für die nachfolgende Modellierung der Bodenversiegelung zu gewährleisten. Anschließend wird unter Einsatz des iSurf-A Moduls die Versiegelung modelliert, je nach Bedarf mit einem existierenden Modell aus der Modellbibliothek oder mithilfe von verfügbaren Referenzdaten.

3.2 Erste Ergebnisse

In den Abbildungen 4 und 5 sind einige Ergebnisse des operationellen Versiegelungsprozessors dargestellt. Hierfür wurden Rapid Eye (RE) Daten aus dem Jahr 2009 mit einer räumlichen Auflösung von 5 m verwendet¹. Abbildung 4 zeigt die berechnete Versiegelung von Nordrhein-Westfalen für die Siedlungs- und Verkehrsflächen aus ATKIS. Es ist ein Regressionsmodell für Köln erstellt worden, das anschließend auf die anderen RE Szenen (insgesamt sechs Szenen) übertragen wurde. Nach der Berechnung der Versiegelung wurden die Flächen außerhalb der Siedlungs- und Verkehrsflächen ausmaskiert. Der mittlere absolute Fehler liegt zwischen 18,8 % und 22,5 % versiegelter Fläche; in den dunkelblau und hellblau markierten Gebieten ist sie allerdings höher. In den dunkelblau eingerahmten Arealen erschwerte Schleierbewölkung die automatische Kartierung. In der hellblau markierten Region hatte der Sensor unter einem anderen Blickwinkel aufgenommen. Beide Phänomene sorgen dafür, dass der Versiegelungsgrad überschätzt wird.

¹ Bereitstellung durch das DLR aus dem Rapid Eye Sciences Archive (RESA) (2011).

Abbildung 5 zeigt den Einfluss von unterschiedlichen Trainingsdaten. Hier sind die errechneten Versiegelungsgrade für das Gewerbegebiet am Autobahnkreuz Köln-West dargestellt, wobei unterschiedliche Referenzdaten benutzt worden sind. Einmal hatten die Referenzdaten die gleiche räumliche Auflösung wie die Fernerkundungsdaten (rechts), das andere Mal war die räumliche Auflösung der Referenzdaten wesentlich geringer (25 m, links). Das Ergebnis zeigt, dass bei genaueren Referenzdaten der Wertebereich der berechneten Versiegelungsgrade viel größer ist. Auch der mittlere absolute Fehler ist geringer: 18,7 % gegenüber 31,7 % Versiegelung bei den niedrig aufgelösten Trainingsdaten.

4 Fazit

Fernerkundung hat ein hohes Potenzial für das Monitoring der Bodenversiegelung. Der prototypische Versiegelungsprozessor, der zurzeit am DLR entwickelt wird, trägt dazu bei, die Herausforderungen der operationellen Auswertung solcher Daten anzugehen. Die vollautomatische Berechnung von Versiegelungsgraden auf Basis von Rapid Eye und Landsat Daten hat gezeigt, dass für die Verbesserung der Genauigkeit phänologische und radiometrische Unterschiede kompensiert werden müssen. Mögliche Ansätze dazu sind eine verbesserte radiometrische Anpassung der verwendeten Datensätze und die Verwendung von Vegetationsindizes als zusätzliche Layer, um den phänologischen Einfluss zu reduzieren. Zusätzlich soll die Verwendung einer Wolkenmaske integriert werden, um Gebiete mit Wolken aus der Analyse auszuschließen. Ein weiterer Forschungsschwerpunkt gilt den Referenzdaten und der Übertragbarkeit der Regressionsmodelle. Bis jetzt wurden die höchsten Genauigkeiten bei Verwendung von großflächigen und räumlich höchst aufgelösten Trainingsdaten erreicht. Diese sind jedoch meist nicht verfügbar, weshalb das Übertragen der Regressionsmodelle notwendig ist.

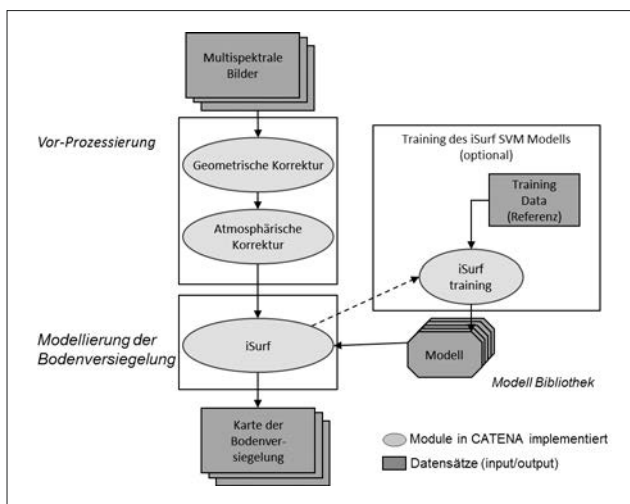


Abb. 3: Implementierung der Versiegelungsprozessierung in CATENA (Quelle: die Autoren)

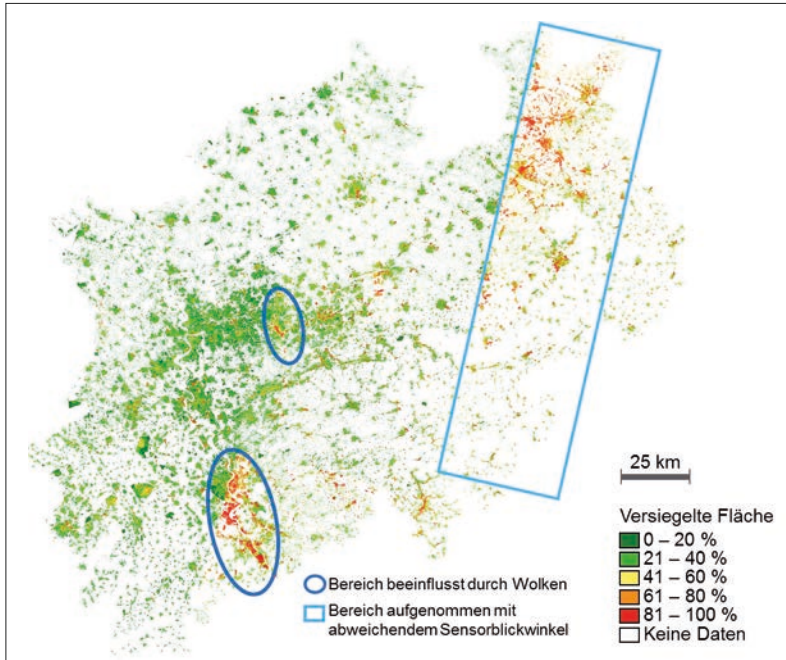


Abb. 4: Versiegelte Fläche in Nordrhein-Westfalen auf Basis von Rapid Eye Daten. In den markierten Bereichen wird die Versiegelung durch Wolkenbedeckung und abweichende Sensorblickwinkel überschätzt (Quelle: die Autoren)

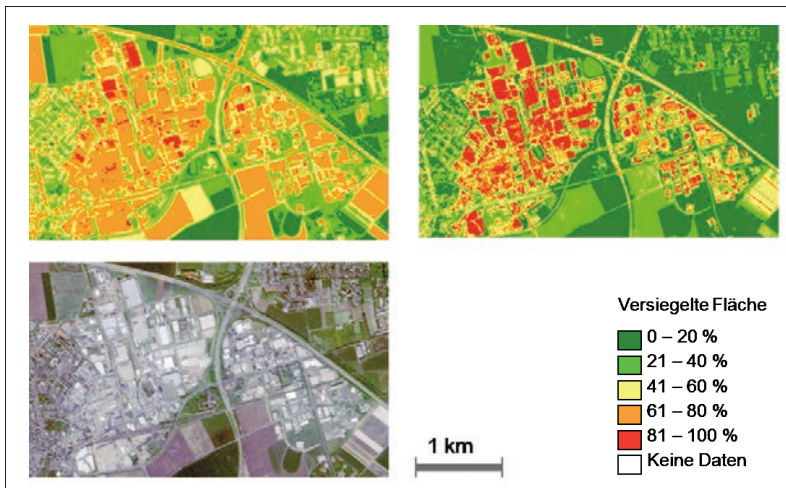


Abb. 5: Berechnete versiegelte Fläche für die Region um das Autobahnkreuz Köln-West auf Basis von Rapid Eye Daten (5 m Auflösung). Links wurden Referenzdaten mit einer Auflösung von 25 m verwendet, rechts hatten die Referenzdaten eine Auflösung von 5 m. Zur Orientierung wurde unten links eine Echtfarbandarstellung eingefügt (Quelle: die Autoren)

5 Literatur

- EEA – European Environment Agency (2009): GMES Fast Track Service Precursor on Land Monitoring. High-resolution core land cover data built-up areas incl. degree of soil sealing. Enhancement. Updated Delivery Report European Mosaic.
<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eea-fast-track-service-precursor-on-land-monitoring-degree-of-soil-sealing-100m-1/> (Zugriff: 14.08.2012).
- ESA – European Space Agency (2012): http://www.esa.int/esaLP/SEM4T4KXMF_LPgmes_0.html (Zugriff: 13.08.2012).
- Esch, T.; Himmler, V.; Schorcht, G.; Thiel, M.; Wehrmann, T.; Bachofer, F.; Conrad, C.; Schmidt, M.; Dech, S. (2009): Large-area assessment of impervious surface based on integrated analysis of single-date Landsat-7 images and geospatial vector data. In: Remote Sensing of Environment 113/2009, 1678-1690.
- Frie, B.; Hensel, R. (2007): Schätzverfahren zur Bodenversiegelung: UGRdL-Ansatz. In: Statistische Analysen und Studien NRW 44, 19 ff.
http://www.it.nrw.de/statistik/analysen/stat_studien/2007/band_44/Frie_Hensel_44.pdf (Zugriff: 14.08.2012).
- Klein, D.; Klein, R.; Wettemann, J.; Heldens, W.; Himmler, V.; Esch, T. (2010): Entwicklung und Evaluierung eines Flächenbarometers als Grundlage für ein nachhaltiges Flächenmanagement. Endbericht.
- Thiel, M.; Himmler, V.; Pfletschinger, P.; Ulmann, T. (2010): Studie ‚Versiegelung2006‘ – Satellitengestützte Erfassung der Bodenversiegelung in der Bundesrepublik Deutschland. Interner Bericht für das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumordnung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR).