

# Copernicus Land Monitoring – hochauflösende Daten zur Bodenversiegelung in Europa

Christian Schleicher<sup>1</sup>, Jürgen Weichselbaum<sup>1</sup>

<sup>1</sup>GeoVille, Innsbruck · schleicher@geoville.com

**Zusammenfassung:** Die Europäische Umweltagentur (EEA) plant für das Referenzjahr 2015 die dritte Aktualisierung des europaweiten hochauflösenden Landbedeckungsdatensatzes zur Bodenversiegelung (High Resolution Layer Imperviousness). Neben der Kartierung des Status 2015 ist die Erfassung der Veränderungen von Versiegelungsgrad und -fläche von Bedeutung. Aufgrund der bisher limitierten Verfügbarkeit qualitativ hochwertiger Satellitendaten konnten vorausgegangene Kartierungen diese Information nur in eingeschränkter Genauigkeit zur Verfügung stellen. Durch die Verwendung von multisensoralen und multitemporalen Daten und durch die Verwendung neuer Satellitentechnologien, wie z. B. Sentinel-2, sowohl die Erfassung der versiegelten Fläche als auch die Veränderungen des Versiegelungsgrades verbessert werden.

**Schlüsselwörter:** Copernicus, Bodenversiegelung, High Resolution Layer (HRL)

**Abstract:** *The European Environment Agency intends to implement the third update of the European High Resolution Layer Imperviousness (HRL Imperviousness) for the year 2015. Besides mapping of the status 2015, specifically the measure of changes of built-up areas and imperviousness degree is of importance. Because of limited availability of high quality satellite data, previous mapping activities could provide this information only with limited accuracy. By applying multi-sensoral and multi-temporal data and new satellite technology, as e. g. Sentinel-2, the detection of built-up area as well as sealing changes shall be improved.*

**Keywords:** Copernicus, Imperviousness, High Resolution Layers (HRL)

## 1 Einleitung

### 1.1 Copernicus HRL Imperviousness

Der Copernicus *HRL Imperviousness* ist Teil des Portfolios von satellitenbasierten, hochauflösenden Landbedeckungsdatensätzen, die eine europaweit konsistente Landbeobachtung für spezifische Themenbereiche (Bodenversiegelung, Wald, Grasland, Wasserflächen, Bodenfeuchtigkeit) ermöglichen. Der Datensatz zur Bodenversiegelung bildet bebaute Flächen und den Grad der Bodenversiegelung im Zeitraum 2006-2009-2012 ab und wird nun für das Jahr 2015 aktualisiert. Mit einer Auflösung von 20 m ergänzt der *HRL Imperviousness* die etablierte *CORINE Land Cover* Datenbank mit räumlich detaillierteren Daten in Bezug auf Lage, Ausdehnung und Entwicklung von versiegelten Flächen, die zudem in einem kürzeren Dreijahreszyklus erneuert werden. Als Eingangsdaten wurden für die Produktionen in 2006, 2009 und 2012 bi-temporale Satellitendaten von SPOT, IRS-P6 (Resourcesat-1 und -2) und RapidEye (nur 2012) mit 20 m Auflösung verwendet. Für die im Rahmen der *Copernicus Land Monitoring Services* geplante Aktualisierung, deren Produktion im dritten Quartal 2016 beginnen soll, werden neben oben genannten Sensoren insbesondere die Daten des im Juni 2015 gestarteten Sentinel-2A sowie andere verfügbare hochauflösende Satellitendaten verwendet, wie z. B. jene der verschiedenen Landsat-Missionen. Mit diesen multitemporalen Aufnahmen

wird eine lückenlose und wolkenfreie Abdeckung, aber auch die Möglichkeit einer automatisierten Zeitserienauswertung geschaffen. Das Endprodukt bilden konsistente Statuslayer in 20 m und aggregierter 100 m Auflösung für 39 europäische Staaten, sowie die entsprechenden Veränderungsdaten für den Zeitraum 2006-2009-2012-2015.

## 1.2 Historie des HRL Imperviousness

Die Idee zur Erstellung eines europaweiten hochauflösenden Datensatzes der Bodenversiegelung wurde im Rahmen von verschiedenen GMES (*Global Monitoring of Environment and Security*) Forschungsprojekten, wie z. B. EC FP6 geoland / FP7 geoland2 oder den ESA GMES Service Elements SAGE & Land geboren. Diese Projekte ermöglichten die entsprechenden konzeptionellen und methodischen Vorarbeiten, um mittels hochauflösender, optischer Satellitendaten zum ersten Mal einen detaillierten Überblick über die Siedlungsentwicklung und der damit einhergehenden Bodenversiegelung als einen der drängenden Umweltfaktoren in Europa zu bekommen und Lücken aufgrund von unregelmäßig bzw. zu grob aufgelösten Daten aus anderen europäischen Kartierungen (z. B. CORINE *Land Cover*) zu schließen. Als Folge der ersten erfolgreichen Demonstrationen beschloss die Europäische Umweltagentur (EEA) die erste Beauftragung eines europaweiten Datensatzes zur Bodenversiegelung im Jahre 2006. Der erste *HRL Imperviousness 2006* (damals noch unter dem Synonym ‚*Soil Sealing*‘) wurde in der Frühphase von GMES durch ein Konsortium europäischer Firmen im Rahmen des ‚*GMES Fast Track Service Precursor on land monitoring 2006*‘ auf der Basis von hochauflösenden Satellitendaten produziert. Dieses Produkt wurde im Zuge des FP7 Projekts geoland2 im Jahre 2009 aktualisiert, wobei auch erstmals Methoden für die Veränderungsdetektion zur Anwendung kamen. Die zweite Aktualisierung fand als Teil der GMES *Initial Operations* (GIO) für das Referenzjahr 2012 statt, und wurde durch mehrere Konsortien europäischer Dienstleister realisiert.

Im Jahr 2014 begann die operative Phase von Copernicus. Mit dem Start der Sentinel-Missionen werden in Copernicus nun Satellitendaten der neuesten Generation eingesetzt. Diese werden zum ersten Mal für die Copernicus Land Monitoring Services 2015 zum Einsatz kommen, in deren Rahmen nicht nur die Erneuerung des *HRL Imperviousness* geplant ist, sondern auch die Erstellung bzw. Erneuerung anderer HRLs, wie *HRL Grassland*, *HRL Forest* und *HRL Wetness and Water*, sowie des neuen *HRL Small Woody Features*.

## 2 Methode

Grundlage für die Erfassung bebauter Flächen ist der Zusammenhang zwischen satellitenbasierten Messparametern (in diesem Fall vor allem biophysikalische Variablen bzw. spektrale Indizes wie z. B. NDVI) und der Bodenversiegelung. Der Zusammenhang wurde in früheren Produktionen auf europäischer Ebene bereits mehrfach erfolgreich angewendet (WEICHSELBAUM et al. 2007, GANGKOFNER et al. 2010 & 2011, SCHLEICHER et al. 2015). Die Methode für die Erstellung des *HRL Imperviousness 2015* und der Generierung eines Datensatzes der Veränderungen zwischen 2012 und 2015 umfasst mehrere Schritte die in folgenden Kapiteln näher vorgestellt werden.

## 2.1 Datenselektion und Aufbereitung

Aufgrund der großen Menge und Heterogenität der Eingangsdaten ist die Auswahl, Beschaffung und Verwaltung der Daten aus unterschiedlichen Quellen und insbesondere deren Aufbereitung einer der wichtigsten Schritte für europaweit konsistente Ergebnisse. Der wichtigste Eingangsdatensatz sind die hochauflösenden Bilddaten aus dem durch die ESA koordinierten *Copernicus Space Component Data Access* (CSCDA). HR IMAGE 2015 besteht aus einer bi-temporalen europaweiten Abdeckung aus SPOT und Resourcesat-2 und wird nun kontinuierlich durch Sentinel-2 Daten ergänzt. Um den Anforderungen nach einer mehrfachen Abdeckung pro Jahr gerecht zu werden, erfolgt zudem eine selektive Auswahl von möglichst wolkenfreien Landsat-8 Daten.

Für alle Daten, für die keine oder unzureichende Wolken-/Schattenmasken existieren, werden diese mithilfe eines automatisierten Ansatzes basierend auf dem fmask Algorithmus erstellt (ZHU et al. 2012). Für HR IMAGE Daten (SPOT, IRS), bei denen aufgrund fehlender spektraler Information der fmask Algorithmus nicht direkt angewendet werden kann, erfolgt eine manuelle Verbesserung der Maskierung.

Neben der Maskierung von Wolken und Schatten ist auch eine radiometrische Korrektur der Daten erforderlich, um Einflüsse der Atmosphäre, radiometrische Unterschiede zwischen den Sensoren und auch unterschiedlicher Aufnahmezeitpunkte zu minimieren. Um die Vergleichbarkeit der Daten weiter zu verbessern und zusätzlich sichtbare Übergänge zwischen den Bilddaten zu minimieren, wird außerdem eine „Bild zu Bild“ Anpassung vorgenommen.

Für eine weitere effiziente Prozessierung erfolgt die Erstellung von Bild Kompositen in 250 km × 250 km Kacheln, deren Lage denen des europäischen LAEA Referenzrasters entspricht.

Sehr hochauflösende Bilddaten, die aus dem VHR IMAGE 2015 Datensatz (z. B. Pléiades, WorldView-2) entnommen werden und der ebenfalls über das CSCDA verfügbar ist, werden zusätzlich benötigt, um eine Referenzdatenbank von In-situ-Daten zur absoluten Kalibrierung der Versiegelungsdichte zu erstellen (siehe 2.2). Dies ist eine Neuerung im Produktionsprozess und wird die Genauigkeit der aus den Satellitendaten abgeleiteten Messungen der Bodenversiegelung erhöhen.

Zwischen 150 und 200 TB an Daten werden für die europaweite Auswertung benötigt, auf die direkt zur weiteren Auswertung der Daten zugegriffen werden kann.

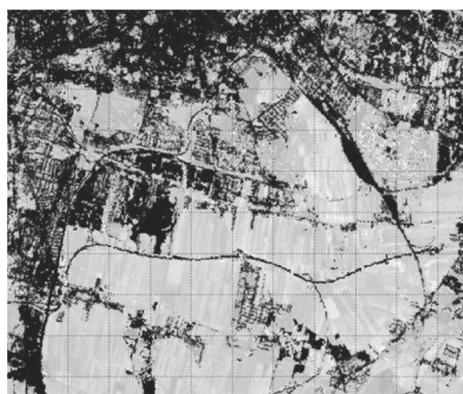
## 2.2 HRL Imperviousness Referenzdatenbank

Die absolute Kalibrierung der Versiegelungswerte erfordert den Aufbau einer neuen europaweiten Datenbank mit Referenzwerten der Versiegelungsdichte. Dazu werden insgesamt ca. 5.000 Stichproben mit je 100 Sub-Stichproben zur präzisen Erhebung des Versiegelungsgrads erhoben. Die Stichproben werden unter Verwendung von Zusatzdaten wie z. B. CORINE *Land Cover*, und *HRL Imperviousness* 2012 für die folgenden Dichteklassen stratifiziert: 0 % (keine Versiegelung), 1-20 %, 21-40 %, 41-60 %, 61-80 %, 81-100 %, und auf Basis der VHR IMAGE 2015 Daten interpretiert.

### 2.3 HRL Imperviousness Produktionsmethode

Die Produktion des *HRL Imperviousness* basiert auf der Auswertung der Bildkomposite und daraus abgeleiteter Indizes, wie z. B. NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) und NDBI (*Normalized Difference Built-up Index*). Insbesondere der NDVI eignet sich aufgrund der inversen Korrelation zwischen der Vegetationsdichte und dem Versiegelungsgrad, unter Berücksichtigung der Effekte durch offenen Boden oder Wasserflächen für die Differenzierung von versiegelten und unversiegelten Flächen (CARSLON et al. 2000, GILLIES et al. 2003) sowie für die Bestimmung der Versiegelungsdichte.

Die aus den kalibrierten Bilddaten abgeleiteten Indices und weitere Bildparameter werden mithilfe von überwachten Methoden klassifiziert um eine Maske der versiegelten Gebiete zu erstellen. Die Trainingsstichproben für die Klassifizierung werden aus der Referenzdatenbank entnommen (siehe 2.2). Um die Veränderungen festzustellen und mögliche Fehler in der aktuellen bzw. vorangegangenen Versiegelungsmaske zu detektieren, werden die Ergebnisse der Klassifizierung mit dem *HRL Imperviousness* 2012 kombiniert. Nachfolgend findet eine visuelle Kontrolle statt um sowohl Klassifizierungsfehler in der aktuellen Auswertung als auch Fehler im *HRL Imperviousness* 2012 festzustellen und zu korrigieren.



#### Versiegelungsdichte

□	0 %
□	1-20 %
□	21-40 %
□	41-60 %
□	61-80 %
□	81-100 %

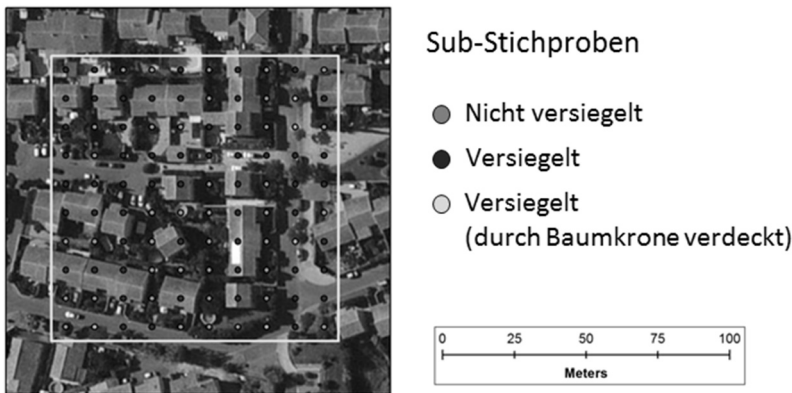
#### Abb. 1:

High Resolution Layer Imperviousness  
(Bildquelle: AIRBUS Defence and Space (FR))

Um für die identifizierten versiegelten Gebiete die Versiegelungsdichte zu bestimmen, wird die Beziehung zwischen den Werten der Referenzdatenbank (tatsächlicher Versiegelungsgrad) und den aus den Kompositen abgeleiteten Parametern (e. g. NDVI) hergestellt und basierend darauf die Versiegelungsdichte berechnet. Innerhalb der Versiegelungsflächen werden die Veränderungen der Versiegelungsdichten zwischen dem aktuellen und dem vorhergehenden Datensatz berechnet, unter Berücksichtigung von spektralen und geometrischen Schwellenwerten (GANGKOFNER et al. 2010). Der *HRL Imperviousness* besteht damit aus einem aktualisierten Status der Versiegelungsfläche und -dichte sowie einer Veränderungskarte zur vorangegangenen Auswertung. Zusätzlich wird ein Layer erstellt, welcher die Veränderungen entsprechend ihrer Ausprägung klassifiziert und erkennen lässt, ob es sich um eine zu- oder Abnahme der Versiegelungsfläche oder um eine Zu- oder Abnahme der Versiegelungsdichte handelt. Alle Layer werden am Ende in ein konsistentes europäisches Produkt überführt, welches zusätzlich noch in das europäische Referenzraster mit 1 ha Auflösung und für lokale Anwendungen in die jeweiligen nationalen Projektionen überführt wird.

## 2.4 Genauigkeitsanforderungen und Validierung

Die thematische Nutzer- und Herstellergenauigkeit (*user's and producer's accuracy*) der Status- und Veränderungsprodukte des *HRL Imperviousness 2015* soll min. 90 % betragen. Die Genauigkeit des Statusprodukts wird durch Stichproben auf Länderebene erhoben. Die Stichproben werden in Straten verteilt um sicherzustellen, dass alle vorkommenden Klassen gleichermaßen repräsentiert werden (STEHRMAN et al. 1998). Zum stratifizieren der Dichteklassen 1-30 %, 31-100 % sowie der nicht versiegelten Gebiete werden neben dem *HRL Imperviousness* Zusatzdaten wie z. B. CORINE Land Cover verwendet, damit sowohl Kommissions- als auch Omissionsfehler detektiert werden. Pro Stratum werden mindestens 50 Stichproben erhoben, wobei jede Stichprobe wiederum 100 Sub-Stichproben zur präzisen Erhebung des Versiegelungsgrads enthält – parallel zur Erhebung der Sub-Stichproben für die Referenzdatenbank (siehe Kapitel 2.2 und Abb. 2).



**Abb. 2:** Stichprobe mit 100 interpretierten Sub-Stichproben (Bildquelle: AIRBUS)

Alle Stichproben werden auf Basis sehr hochauflösender Satellitendaten aus dem VHR-IMAGE-2015-Datensatz entnommen (z. B. Pléiades, WorldView-2), visuell interpretiert und die Ergebnisse in einer Konfusionsmatrix zusammengefasst, welche sowohl die Gesamtgenauigkeit des *HRL Imperviousness* als auch die Nutzer- und Herstellergenauigkeit angibt. Die Validierung der Veränderungen umfasst die fünf Klassen Zu- und Abnahme der Versiegelungsdichte, Zu- und Abnahme der Versiegelungsfläche und unveränderte Flächen und wird nach dem gleichen Schema durchgeführt wie die Validierung des Statusprodukts.

## 3 Anwendung und Ausblick

Der *HRL Imperviousness* ermöglicht die bisher detaillierteste Abschätzung der Bodenversiegelung in Europa, konsistent für insgesamt 39 Länder (EEA39). Der Datensatz unterstützt die Analyse von Einflüssen die von bestehenden bzw. neuen Bebauungsflächen ausgehen und sich negativ auf unterschiedliche Ökosysteme auswirken. Darüber hinaus ermöglicht dieser Datensatz die Abschätzung der Vulnerabilität von Mensch und Infrastruktur z. B. in

Bezug auf Naturgefahren. Damit stellt er eine wichtige Informationsquelle für die Evaluierung von Gesetzesvorgaben in diesem Bereich dar und ist eine profunde Datengrundlage für Entscheidungssträger und die Öffentlichkeit in Umweltfragen (cf. EEA, SOER 2015).

Für bevorstehende Aktualisierungen der Europäischen *High Resolution Layer* wird es durch den Einsatz von verbesserten Satellitentechnologien mit höherer Aufnahmedichte, wie z. B. die der Sentinel-2A/B-Satelliten, die Möglichkeit geben, die Qualität der abgeleiteten Produkte zu erhöhen. Insbesondere durch die Auswertung von kontinuierlichen Zeitserien kann die Stabilität der abgeleiteten Parameter und damit die Genauigkeit verbessert werden (ZHU et al. 2013). Eine besondere Herausforderung stellt dabei die benötigte Speicher- und Rechenkapazität dar, welche für die Auswertung dieser enormen Datenmengen benötigt wird.

## Literatur

- EEA (2015), The European environment – state and outlook 2015. Synthesis Report, European Environment Agency, Copenhagen.
- GANGKOFNER, U., WEICHELBAUM, J., KUNTZ, S., BRODSKY, L., LARSSON, K. & De PASQUALE, V. (2010), Update of the European High-resolution Layer of Built-up Areas and Soil Sealing 2006 with Image2009 Data. 30th EARSeL Symposium 2010: Remote Sensing for Science, Education and Culture.
- LEFEBVRE, A., BEAUGENDRE, N., PENNEC, A., SANNIER, C. & CORPETTI, T. (2013), Using data fusion to update built-up areas of the 2012 European High-Resolution Layer Imperviousness. In: Proceedings of the 33rd EARSeL Symposium Conference, Matera, Italy, 3-6 Juni 2013, 321-328.
- SCHLEICHER, C., WEICHELBAUM, J., SANNIER, C. & LANGANKE, T. (2015). Copernicus High Resolution Layer Imperviousness for an operational monitoring of built-up areas throughout Europe. Mapping Urban Areas from Space Conference 4-5 of October 2015 ESA-ESRIN, Frascati.
- STEHMAN, S. V. & CZAPLEWSKI, R. L. (1998), Design and Analysis for Thematic Map Accuracy Assessment: Fundamental Principles. *Remote Sensing of Environment*, 62, 331-334.
- WEICHELBAUM, J., GANGKOFNER, U. & HOFFMANN, C. (2007), GMES Fast Track Precursor delivers European high resolution information on built-up areas. Proceedings of ERDAS User Group Meeting, Fürstfeldbruck.
- ZHU, Z. & WOODCOCK, C. E. (2012), Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, doi:10.1016/j.rse.2011.10.028 (paper for Fmask version 1.6.).
- ZHU, Z. & WOODCOCK, C. E. (2013), Continuous Change Detection and Classification of Land Cover Using All Available Landsat Data. *Remote Sensing of Environment*, 144, 152-171.