

GeoBerichte 14

LANDESAMT FÜR
BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE



Flächenverbrauch und Bodenversiegelung in Niedersachsen



Niedersachsen



GeoBerichte 14

Landesamt für
Bergbau, Energie und Geologie

Flächenverbrauch und Bodenversiegelung in Niedersachsen

HANS-WERNER BASEDOW, IRMGARD BOLZE,
MARION GUNREBEN, PHILIPP JACOB,
JAN SBRESNY, THOMAS SCHRAGE,
ANJA STEININGER &
JÜRGEN WEICHSELBAUM

Hannover 2017

Impressum

Herausgeber: © Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie

Stilleweg 2
30655 Hannover
Tel. (0511) 643-0
Fax (0511) 643-2304

Download unter www.lbeg.niedersachsen.de

3. überarbeitete Auflage

Version: 27.06.2017

Redaktion: Ricarda Nettelmann
Mail: bodenkundlicheberatung@lbeg.niedersachsen.de

Titelbild: Foto: T. Schubert (LBEG).

ISSN 1864–6891 (Print)

ISSN 1864–7529 (digital)

DOI 10.48476/geober_14_2017

GeoBer.	14	S. 3 – 91	51 Abb.	13 Tab.	4 Anh.	Hannover 2017
---------	-----------	-----------	---------	---------	--------	---------------

Flächenverbrauch und Bodenversiegelung in Niedersachsen

HANS-WERNER BASEDOW, IRMGARD BOLZE, MARION GUNREBEN, PHILIPP JACOB, JAN SBRESNY,
THOMAS SCHRAGE, ANJA STEININGER & JÜRGEN WEICHSELBAUM

Kurzfassung

Die zunehmende Nutzung von Flächen als Siedlungs- und Verkehrsflächen und die damit zusammenhängende Versiegelung von Böden zählen zu den drängenden Problemen im Umweltschutz.

Daten zum Flächenverbrauch und zur Bodenversiegelung sind für Niedersachsen aus der Auswertung von Satellitenbildern im Rahmen des EU-Projektes GSE Land erhoben worden. Diese Daten wurden den Bewertungen aus den Nutzungserhebungen der Katasterverwaltung gegenüber gestellt, mit dem Ziel, die Aussagegenauigkeit von Versiegelungsdaten hinsichtlich der räumlichen Auflösung zu verbessern.

In einem abschließenden Kapitel werden Empfehlungen zur Reduktion von Flächenverbrauch und Bodenversiegelung aus planerischer und bautechnischer Sicht ausgesprochen.

Inhalt

1.	Einleitung	5
2.	Begriffsbestimmungen	5
2.1.	Flächenverbrauch	5
2.2.	Bodenversiegelung	6
3.	Folgen von Flächenverbrauch und Bodenversiegelung	6
3.1.	Ökologische Folgen	6
3.2.	Soziale und ökonomische Folgen	9
4.	Umfang von Flächenverbrauch und Bodenversiegelung in Niedersachsen	10
4.1.	Daten der tatsächlichen Nutzung – Katasterdaten	10
4.1.1.	Methodik	10
4.1.2.	Flächeninanspruchnahme und Bodenversiegelung in Niedersachsen.....	13
4.2.	Satellitenbilddauswertungen	16
4.2.1.	Methodik	19
4.2.2.	Datenübernahme und Datenanpassung	31
4.2.3.	Ergebnisse	35
5.	Empfehlungen zur Reduktion von Flächenverbrauch und Bodenversiegelung	44
5.1.	Rechtlicher Rahmen.....	44
5.1.1.	Raumordnungsrecht	44
5.1.2.	Baurecht.....	45
5.2.	Planungsinstrumentarien	45
5.2.1.	Flächenrecycling	45
5.2.2.	Innenverdichtung.....	47
5.2.3.	Handelbare Flächenausweisungsrechte.....	47
5.3.	Baumaßnahmen.....	48
5.3.1.	Belag- und Baustoffwahl	48
5.3.2.	Regenwasserversickerung.....	55
5.3.3.	Teilversiegelung	67
6.	Literatur	75
7.	Anhang	78
7.1.	Anhang 1: Ermittelte Versiegelungsgrade nach den Nutzungsarten des ALB	78
7.2.	Anhang 2: Ermittelte Versiegelungsgrade nach den Objektarten von ATKIS®	80
7.3.	Anhang 3: Bevölkerungsbezogene Indikatoren	86
7.4.	Anhang 4: Flächen- und schutzgebietsbezogene Indikatoren.....	87

1. Einleitung

Die zunehmende Inanspruchnahme von Böden für Siedlungs- und Verkehrsflächen wird auch als Flächenverbrauch bezeichnet. Neben ökologischen Folgen sind damit vielfach auch ökonomische Probleme verbunden – vor allem im Hinblick auf den einsetzenden demographischen Wandel. Aus Bodenschutzsicht von besonderer Bedeutung ist die mit der Überbauung einhergehende Bodenversiegelung, die zu negativen Folgen für die natürlichen Bodenfunktionen führt.

Zur Beschränkung des Flächenverbrauches sind aus diesen Gründen auf vielen Ebenen Zielvorgaben formuliert worden. Die bekannteste Vorgabe dürfte das so genannte 30-ha-Ziel der Bundesregierung sein, welches mehrfach parteiübergreifend bestätigt worden ist (BMU 1998, BUNDESREGIERUNG 2002, CDU/CSU/SPD 2005). Es besagt, dass bis zum Jahre 2020 nur noch täglich 30 ha neu an Siedlungs- und Verkehrsfläche überbaut werden sollten. Derzeit liegt die Rate noch bei bundesweit täglich 66 ha (gleitender Vierjahresdurchschnitt 2012–2015; STATISTISCHES BUNDESAMT 2016).

Auch Niedersachsen bekennt sich dazu, die Zunahme des Flächenverbrauches einschränken zu wollen. Im Bodenqualitätszielkonzept Niedersachsen werden ökologische Zielvorgaben für Flächenverbrauch und Bodenversiegelung empfohlen: So sollten die Obergrenzen der Grundflächen- und der Geschossflächenzahlen besser als bisher ausgenutzt werden, um ein Flächen sparendes Bauen zu gewährleisten (GUNREBEN et al. 2003). Das Ziel, den Flächenverbrauch zu reduzieren, ist auch in die CDU-FDP-Koalitionsvereinbarung 2008–2013 aufgenommen worden (CDU/FDP 2008), sowie im Koalitionsvertrag der Rot-Grünen Landesregierung 2013–2018 verankert. Dort wird als konkretes Ziel formuliert, den Flächenverbrauch bis zum Jahr 2020 auf nur noch 3 ha zu senken (SPD/GRÜNE 2013). Darüber hinaus wurde in der 6. Regierungskommission der Niedersächsischen Landesregierung „Energie- und Ressourceneffizienz“ 2008 ein eigener Arbeitskreis „Flächenverbrauch und Bodenschutz“ eingerichtet. Dessen Ziel war es, Handlungsempfehlungen zur Begrenzung des Flächenverbrauches zu erarbeiten. Dabei sollen ökologische, ökonomische und soziale Aspekte beachtet werden (MU 2008).

Mit dem vorliegendem Bericht wird dargestellt, welchen Umfang Flächenverbrauch und Bodenversiegelung in Niedersachsen haben und wie die Entwicklungstendenzen nach derzeitigem Sachstand sind.

Da die Versiegelungsgrade der einzelnen Nutzungen nicht flächendeckend erfasst werden, wurde zur Ableitung des Versiegelungsgrades aus den Daten zur tatsächlichen Nutzung am LBEG (damals NLF) ein Berechnungsmodell entwickelt, um Aussagen zur Bodenversiegelung machen zu können. Seit Mitte 2017 wird der Versiegelungsgrad am LBEG mittels des bundesweit verwendeten UGRdL-Ansatzes (UGRdL 2012: 111 ff) ermittelt.

Auswertungen von Daten und Berechnungen aus den amtlichen Liegenschaftskatastern und aus der Satellitenbilderhebung werden vorgestellt.

Zur Reduktion von Flächenverbrauch und Bodenversiegelung werden Empfehlungen aus Sicht des Bodenschutzes unter Berücksichtigung von Anforderungen an den Baugrund gegeben.

Der vorliegende Bericht richtet sich sowohl an Vertreter von Kommunen wie an Raum- und Stadtplaner, aber auch der interessierte Bürger ist angesprochen, der seine eigenen Baumaßnahmen versickerungsfreundlich sowie ökologisch und ökonomisch sinnvoll gestalten möchte.

2. Begriffsbestimmungen

2.1. Flächenverbrauch

Der Umweltindikator „Flächenverbrauch“ errechnet sich aus der täglichen Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche. Er wird in Hektar pro Tag angegeben. Die Daten zur Siedlungs- und Verkehrsfläche werden von der Arbeitsgemeinschaft „Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder“ (AG UGRdL) für alle Bundesländer zusammengestellt. Grundlage für die Berechnung ist dabei die Flächen-erhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung, die auf den Angaben des Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystems (ALKIS) basiert, mit dem Stichtag 31.12. des jeweils angegebenen Jahres. Definitionsgemäß bilden die

folgenden Nutzungsarten des AdV¹-Nutzungsartenverzeichnisses zusammen die Siedlungs- und Verkehrsfläche:

- Gebäude- und Freifläche (Nutzungsart 100–200),
- Betriebsfläche ohne Abbauland (Nutzungsart 300 ohne 310),
- Erholungsfläche (Nutzungsart 400),
- Verkehrsfläche (Nutzungsart 500),
- Friedhof (Nutzungsart 940).

2.2. Bodenversiegelung

Die Siedlungs- und Verkehrsfläche ist nicht gleichzusetzen mit der versiegelten Fläche. In der Erhebung der Siedlungs- und Verkehrsfläche sind auch Flächen enthalten, die nur wenig versiegelt sind (z. B. Erholungs- und Friedhofsflächen). Beispielsweise ist in der Klasse der Gebäude- und Freifläche mit Hausgärten und Begleitgrün ein Teil der Fläche nicht versiegelt. Der real versiegelte Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche wird bisher in der Statistik nicht kenntlich gemacht. Unter versiegelten Flächen werden dabei diejenigen Flächen verstanden, die aus städtebaulicher Sicht überbaut oder befestigt sind (z. B. wassergebundene Oberflächen, asphaltierte, betonierte oder gepflasterte Flächen). Zur Berechnung der tatsächlich versiegelten Flächen hat die Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz einen Berechnungsvorschlag vorgelegt (LABO 2007). Dieser Ansatz wird zur Erhebung des Indikators „Versiegelung“ in der umweltökonomischen Gesamtrechnung der Länder verwendet (UGRD_L 2012) und findet seit Mitte 2017 am LBEG zur Berechnung der Bodenversiegelung in Niedersachsen Anwendung. Bis dahin wurde die Versiegelung mittels eines ähnlichen für Niedersachsen entwickelten Berechnungsmodells ermittelt (s. S. 10ff).

3. Folgen von Flächenverbrauch und Bodenversiegelung

3.1. Ökologische Folgen

Die zunehmende Flächeninanspruchnahme muss im Rahmen einer an der Nachhaltigkeit orientierten Raumordnungs- und Bodenschutzplanung differenziert bewertet werden: Neben Folgen wie Freiraumzerschneidungen, erhöhten Anforderungen an die Mobilität durch weite Wege oder auch die Verschlechterung der Lebensqualität in Innenstädten leiden vor allem die Böden an der zunehmenden Überplanung und Überbauung, da die Neuausweisungen zu einem großen Teil auf bisher landwirtschaftlich genutzten Böden stattfindet, deren Anteil stark zurückgeht (vgl. Abb. 1).

Nicht selten sind von dieser Flächeninanspruchnahme wertvolle Böden betroffen, die besonders fruchtbar und damit auch besonders schutzwürdig sind (vgl. GUNREBEN & BOESS 2008). Der Rückgang dieser Böden ist sowohl vor dem Hintergrund des weltweit wachsenden Bedarfes an Nahrungsmitteln als auch des zunehmenden Bedarfes an Flächen für den Anbau nachwachsender Rohstoffe problematisch.

¹ AdV = Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder.

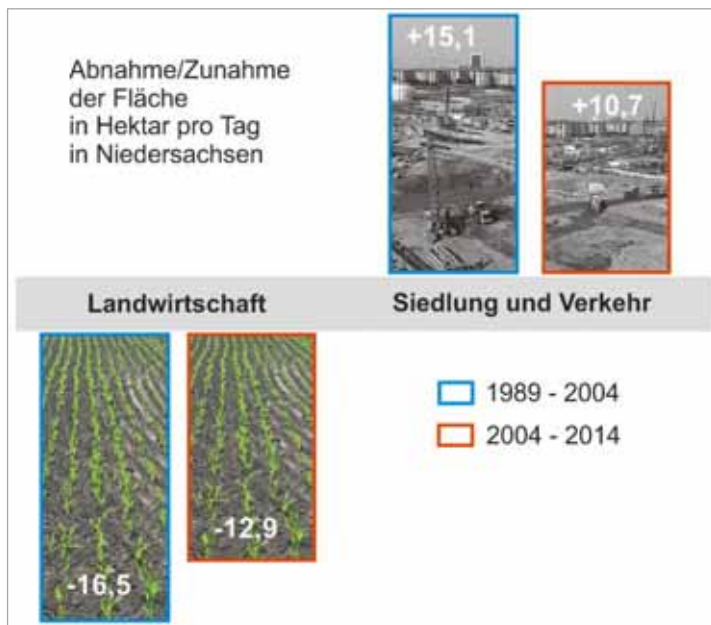


Abb. 1: Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen in Niedersachsen.

Eine gravierende Nebenwirkung der zunehmenden Flächeninanspruchnahme ist die Versiegelung der Böden. Etwa 30–50 % der Verkehrs- und Siedlungsflächen sind jeweils versiegelt. Mit der Bodenversiegelung einher geht der Verlust eines der wertvollsten Umweltgüter, nämlich des fruchtbaren Bodens. Die Böden sind Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere und Pflanzen. Durch die Versiegelung gehen die natürlichen Bodenfunktionen verloren, ein Gas- und Wasseraustausch mit der Atmosphäre findet nicht mehr statt, und die Böden können das versickernde Regenwasser nicht mehr filtern. Unter versiegelten Flächen ist auch die Neubildung von Grundwasser behindert, da die Niederschläge größtenteils durch die Kanalisation abgeleitet werden. Dadurch kann die Hochwassergefahr steigen (Abb. 2).

Auch für das Mikroklima hat die Versiegelung des Bodens erhebliche Konsequenzen. Über versiegelten Flächen erhöht sich die Temperatur, da die Verdunstung herabgesetzt ist und sich die künstliche Oberfläche stärker aufheizt, als es eine Fläche mit natürlichem Bewuchs tun würde. Die relative Luftfeuchtigkeit wird herabgesetzt und die Luftqualität verringert sich, da Schadstoffe nicht mehr ausgekämmt werden und keine Sauerstoffproduktion mehr stattfinden kann. Bioklimatische Belastungssituationen können die Folge sein.

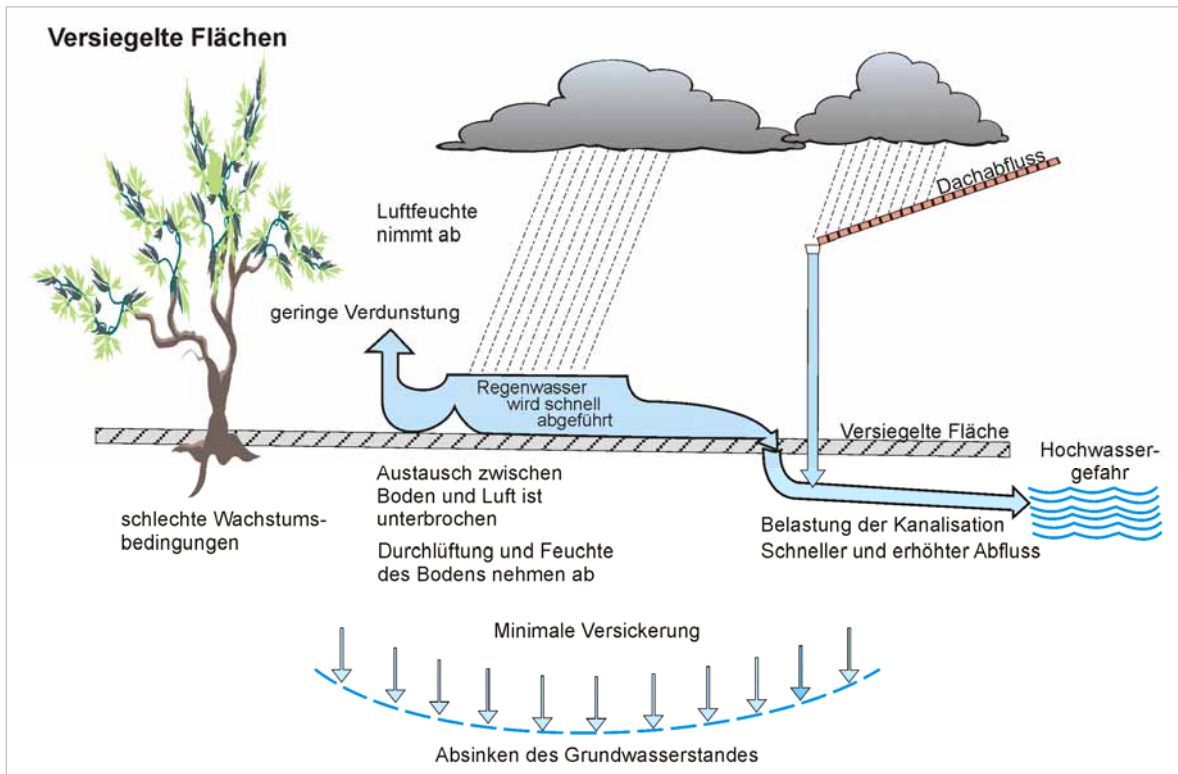


Abb. 2: Ökologische Folgen der Bodenversiegelung.

Einmal überbauter Boden ist in seinen natürlichen Funktionen für Generationen verloren: Es dauert 100–300 Jahre, bis sich 1 cm humosen Bodens gebildet hat. Ein Ackerboden hat davon ca. 30–40 cm. Die niedersächsischen Böden haben bis zu mehreren Tausend Jahren benötigt, um sich in ihrer heutigen Form entwickeln zu können. Bei Verlust oder Überbauung sind die Böden folglich nur sehr schwer wieder herstellbar.

3.2. Soziale und ökonomische Folgen

In der Vergangenheit war man davon ausgegangen, dass die Ausweisung neuer Wohngebiete zu einer steigenden Bevölkerungszahl führt und in der Folge zur Sicherung kommunaler Finanzen durch höhere Steuereinnahmen beiträgt.

Vor allem vor dem Hintergrund des erwarteten Bevölkerungsrückgangs (vgl. Abb. 3) müssen die sozialen und ökonomischen Folgen des Flächenverbrauches in Zukunft stärker als bisher

berücksichtigt werden. Mittel- und langfristig wird der demographische Wandel in vielen Städten und Gemeinden Niedersachsens zu erheblichen Bevölkerungsrückgängen führen. Sowohl technische Infrastrukturen (z. B. Kanalisation) als auch soziale Einrichtungen wie Schulen und Kindergärten werden dann nicht mehr ausgelastet sein und können – vor allem in den Randbereichen der Gemeinden – zur Kostenfalle für die Kommunen werden (vgl. MUNLV 2008).

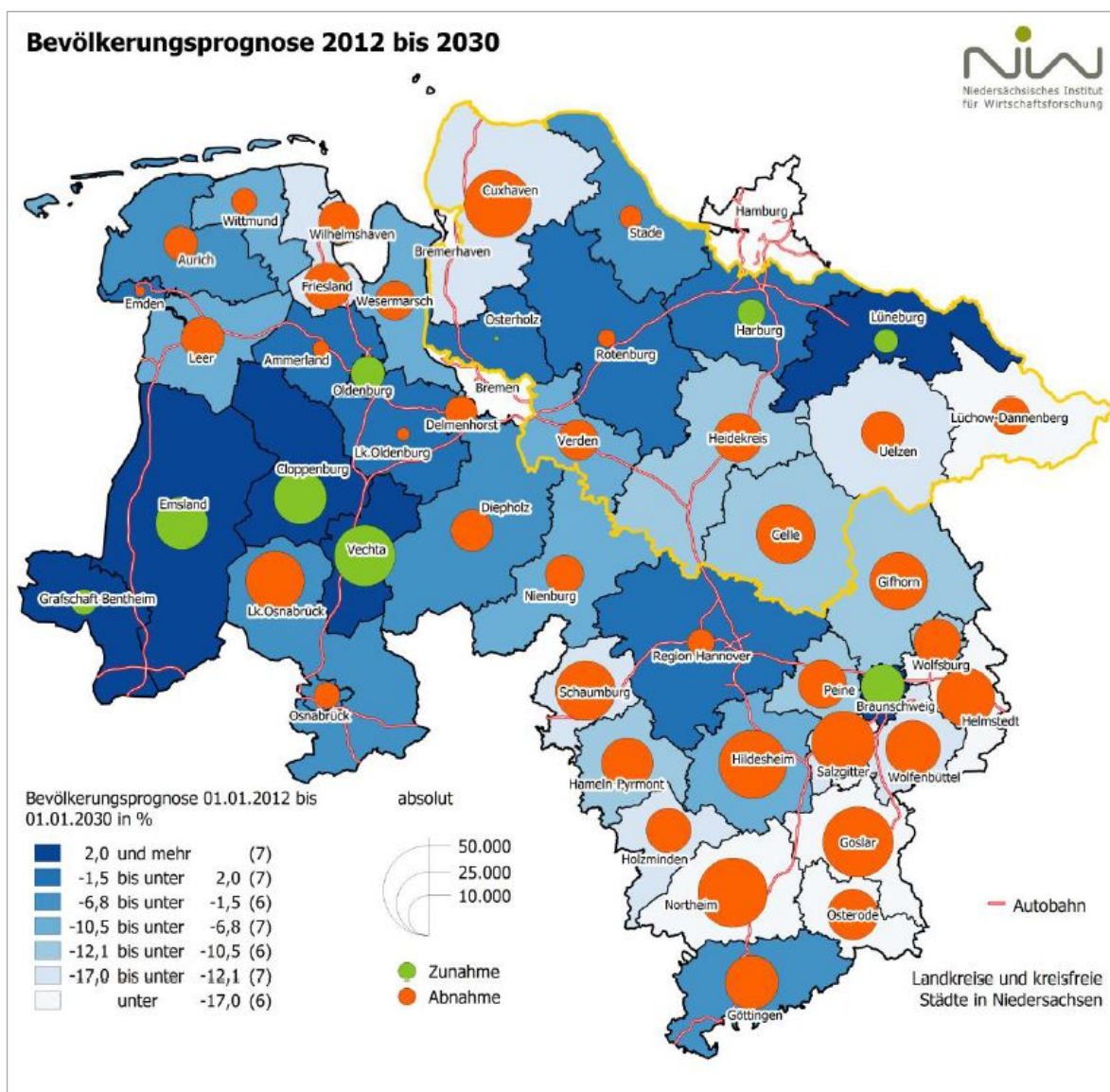


Abb. 3: Bevölkerungsprognose 2005–2020 (CORDES et al. 2014).

Vor allem im Süden und in der Mitte Niedersachsens wird mit einem – unterschiedlich starken – Bevölkerungsrückgang gerechnet. Zunehmende Flächenausweisungen können dann in den Außen- und Randbereichen bereits bestehender Siedlungen zu städtebaulichen Schieflagen in den bebauten Bereichen und Innenstädten führen: So muss mit wachsenden Leerständen ebenso gerechnet werden, wie mit einem Verfall der Bausubstanz, was insgesamt zu einem Imageverlust der gewachsenen Siedlungen führen kann.

Soziale Benachteiligungen können durch erhöhte Anforderungen an die Mobilität entstehen, da beispielsweise die Wege zu Versorgungseinrichtungen weiter werden. Die soziale Entmischung von Stadtquartieren kann aufgrund einseitiger Bevölkerungsentwicklungen (z. B. hoher Migrantenanteil einzelner Stadtteile) zu sozialen Konflikten führen. Der Immobilienbesitz als Altersvorsorge von Hausbesitzern kann vor dem Hintergrund zunehmender Neuausweisungen bei abnehmendem Bedarf aufgrund des Bevölkerungsrückgangs zu einer Entwertung führen.

Verstärktes Augenmerk wird in Zukunft darauf gelegt werden müssen, die ökonomischen Vorteile bereits bestehender Siedlungsstrukturen zu nutzen. So können die Infrastrukturkosten für die Kommunen durch eine rentable Auslastung bereits bestehender Gebäude- und Infrastruktureinrichtungen begrenzt werden.

Der volkswirtschaftliche Nutzen beispielsweise der Revitalisierung innerörtlicher Brachen überwiegt in aller Regel gegenüber einer Neuausweisung auf der „grünen Wiese“ und kann in Einzelfällen bis zu 200 €/m² betragen (UBA 2004).

4. Umfang von Flächenverbrauch und Bodenversiegelung in Niedersachsen

4.1. Daten der tatsächlichen Nutzung – Katasterdaten

4.1.1. Methodik

Wie bereits erwähnt, können die Daten zur Siedlungs- und Verkehrsfläche, aus denen sich der Flächenverbrauch berechnet, dem Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) entnommen werden. Grundlage für die Berechnung ist dabei die Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung, mit dem Stichtag 31.12. des jeweils angegebenen Jahres. Die Erhebung der Daten der tatsächlichen Nutzung erfolgt durch die Katasterbehörden.

Die Daten werden jährlich auf Gemeindeebene zusammengeführt. Die Nutzungsarten Gebäude- und Freifläche, Betriebsfläche (ohne Abbauland), Erholungsfläche, Verkehrsfläche und Friedhof bilden dabei definitionsgemäß die Siedlungs- und Verkehrsfläche. Die Daten werden digital vom Landesamt für Statistik Niedersachsen (LSN) bereitgestellt.

Die Siedlungs- und Verkehrsfläche ist nicht mit der tatsächlich versiegelten Fläche gleichzusetzen, da in ersterer auch Freiflächen wie Hausgärten enthalten sind.

Daten zur Versiegelung werden von der Katasterverwaltung nicht gesondert erhoben und können daher auch nicht den amtlichen Statistiken entnommen werden. Die LABO (2007) hat einen Berechnungsvorschlag vorgelegt, wie die versiegelte Fläche aus den Katasterdaten zur tatsächlichen Nutzung errechnet werden kann.

Am LBEG wurde die gemeindebezogene (Netto-)Versiegelung für Niedersachsen bis Mitte 2017 mittels eines ähnlichen Berechnungsmodells ermittelt: Durch digital erhobene und exakt vermessene Flächendaten aus einem Pilotgebiet wurden die Versiegelungsgrade auf ganz Niedersachsen hochgerechnet (THARSEN & GUNREBEN 2001): Flurstücksgenau vermessene Daten, die neben der Bebauung mit Häusern auch die ebenerdige Versiegelung durch Straßen, Grundstückszufahrten etc. berücksichtigen, wurden im Beispielgebiet durch die

Vermessung versiegelter Flächen auf Flurstücksebene anhand von Luftbildern ermittelt. Auf Parallelprojektion umgerechnete und mit dem Digitalen Geländemodell (DGM) korrigierte Luftbilder (Orthofotos) sowie gescannte Katasterkarten im Abbildungsmaßstab 1 : 1 000 bildeten im Wesentlichen die Basis für das On-Screen-Digitizing der ebenerdigen Flächenversiegelung. Objekte, die sich über den Erdboden erhoben, wurden stereoskopisch vermessen. Bei Objekten, deren Versiegelungsart am Bildschirm nicht zu identifizieren war, wurde ein Feldvergleich durchgeführt. Erfasst wurden befestigte Flächen, Dächer und Straßen (Abb. 4).

Über die Verschneidung der flurstücksbezogenen Versiegelungsdaten mit den ebenfalls flurstücksbezogenen Daten des Automatisierten Liegenschaftsbuches (ALB) aus dem Beispielgebiet ließ sich jeder vorhandenen Nutzung ein mittlerer Versiegelungsgrad zuweisen. Durch die Übertragung des Versiegelungsanteils auf die landesweit verfügbaren Daten zu den gemeindespezifischen Nutzungsarten ließ sich die Versiegelungssituation Niedersachsens darstellen. Eine Übersicht zu den mit diesem Verfahren ermittelten Versiegelungsgraden nach den ALB-Nutzungsarten befindet sich in Anhang 1.



Abb. 4: Versiegelungserfassung für das Beispielgebiet.

Neben dem ALB lag landesweit für Niedersachsen das Amtliche Topografisch-Kartografische Informationssystem (ATKIS®) vor.

Durch die Verwendung von ATKIS®-Daten zur Darstellung der Versiegelungsverhältnisse ließ sich eine Darstellung auf einer anderen Maßstabebene erzielen. Während das Verfahren mittels ALB nur großräumige Übersichtsdarstellungen zuließ, bot ATKIS® die Möglichkeit, genauer zu arbeiten.

Das Verfahren unterscheidet sich von der Berechnung auf ALB-Basis, da zusätzlich mit Geometrien gearbeitet wurde (THARSEN & GUNREBEN 2001). Die Flächen gleicher Nutzung wurden zu einheitlichen Polygonen (Objektarten) zusammenfasst. Durch das Verschneiden der ATKIS®-Geometrie für das Beispielgebiet mit

der Geometrie der versiegelten Flächen im Beispielgebiet ließ sich ein mittlerer Versiegelungswert für jede Objektart errechnen. Eine Übersicht zu den danach ermittelten Versiegelungsgraden nach den ATKIS®-Objektarten befindet sich in Anhang 2. Dieser Versiegelungsgrad wurde den ATKIS®-Attributdaten für ganz Niedersachsen hinzugefügt und erlaubte die Darstellung der Versiegelungsverhältnisse mit ATKIS®-Genauigkeit (vgl. Abb. 5). Bei der Darstellung handelt es sich um Mittelwerte, und es sollten nur Übersichtsbetrachtungen durchgeführt werden. Details herauszugreifen (z. B. einen einzelnen Straßenzug), und diese dann separat weiter zu bearbeiten, würde unter Umständen zu Fehlern führen.

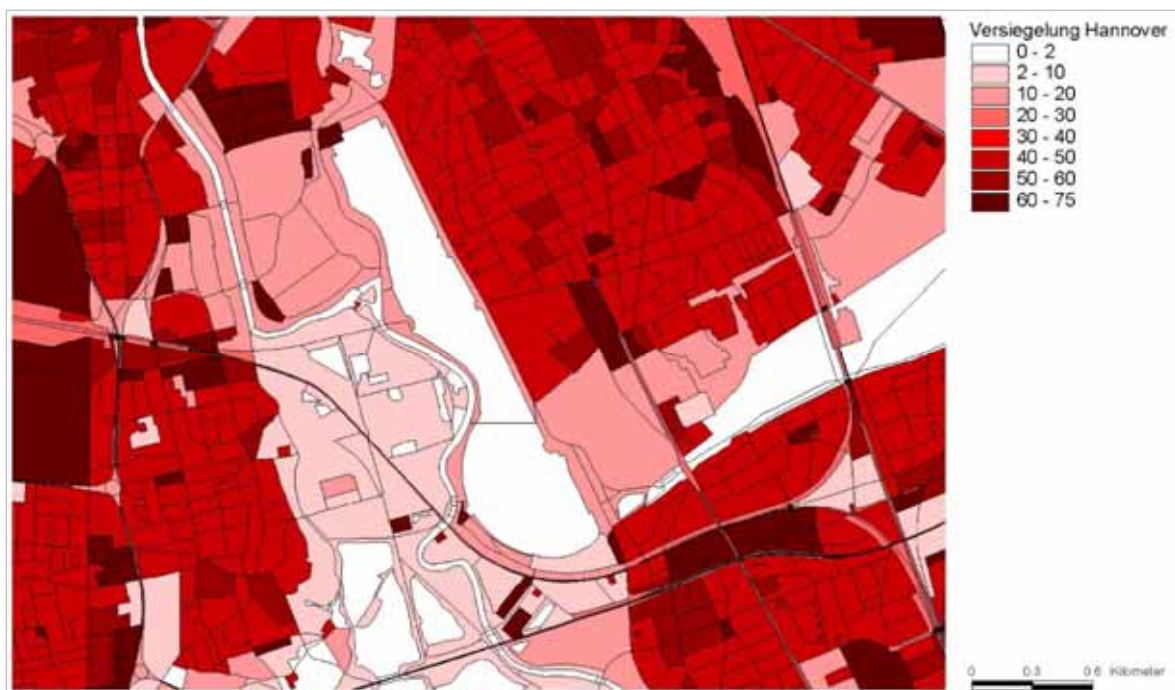


Abb. 5: ATKIS®-Objektarten (Beispiel: Hannover).

4.1.2. Flächeninanspruchnahme und Bodenversiegelung in Niedersachsen

Der Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche an der Landesfläche beträgt derzeit (Stand 2015) knapp 14 % bei steigender Tendenz (vgl. Abb. 8). Die neuen Überbauungen gehen dabei zum größten Teil auf Kosten landwirtschaftlich genutzter Böden, deren Anteil stark zurückgeht.

Nicht selten sind von dieser Flächeninanspruchnahme wertvolle Böden betroffen, die besonders schutzwürdig sind, zum Beispiel:

- fruchtbare Böden,
- Extremstandorte,
- Dokumente der Naturgeschichte.

Eine Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche ist vor allem im Westen des Landes zu verzeichnen (vgl. Abb. 6).

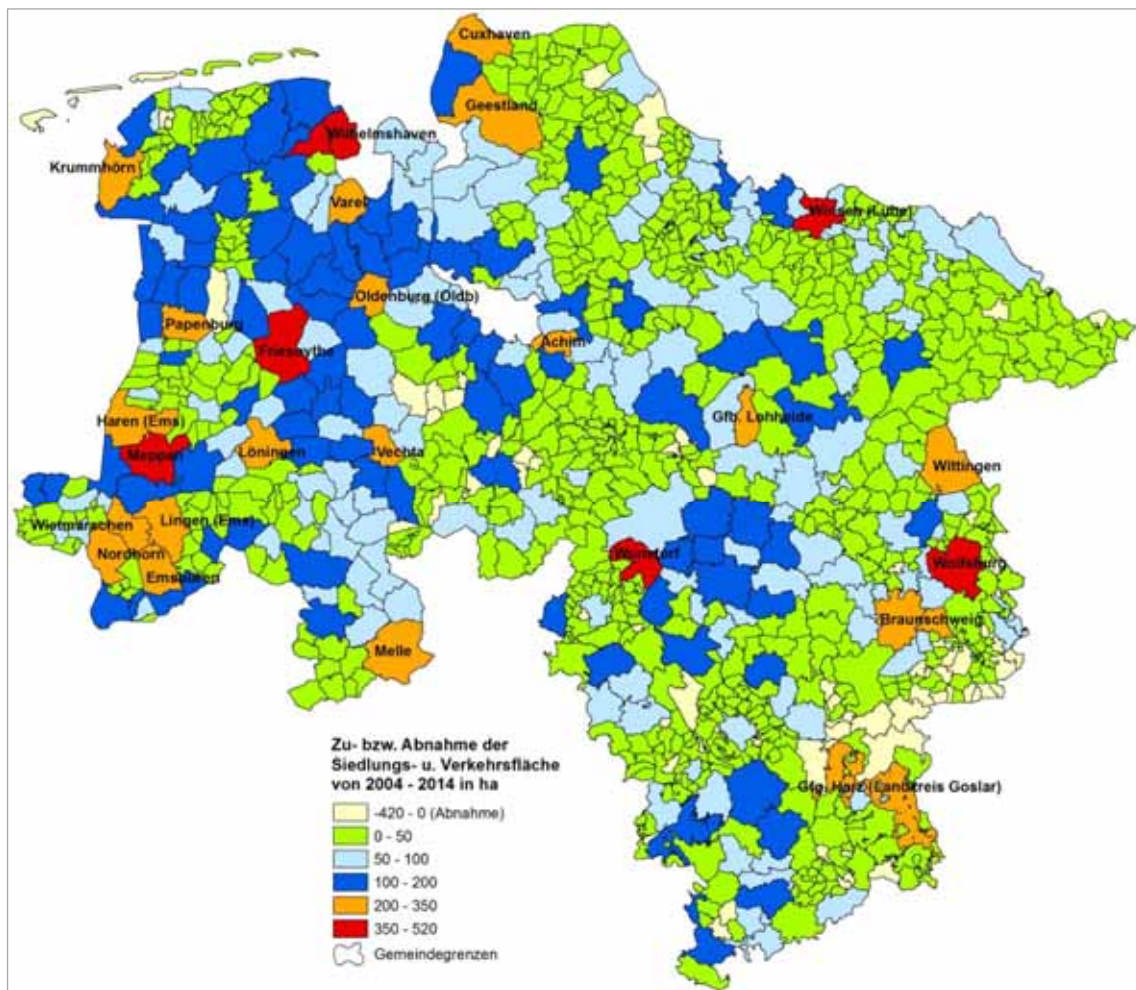


Abb. 6: Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche in den niedersächsischen Gemeinden 2004–2014.

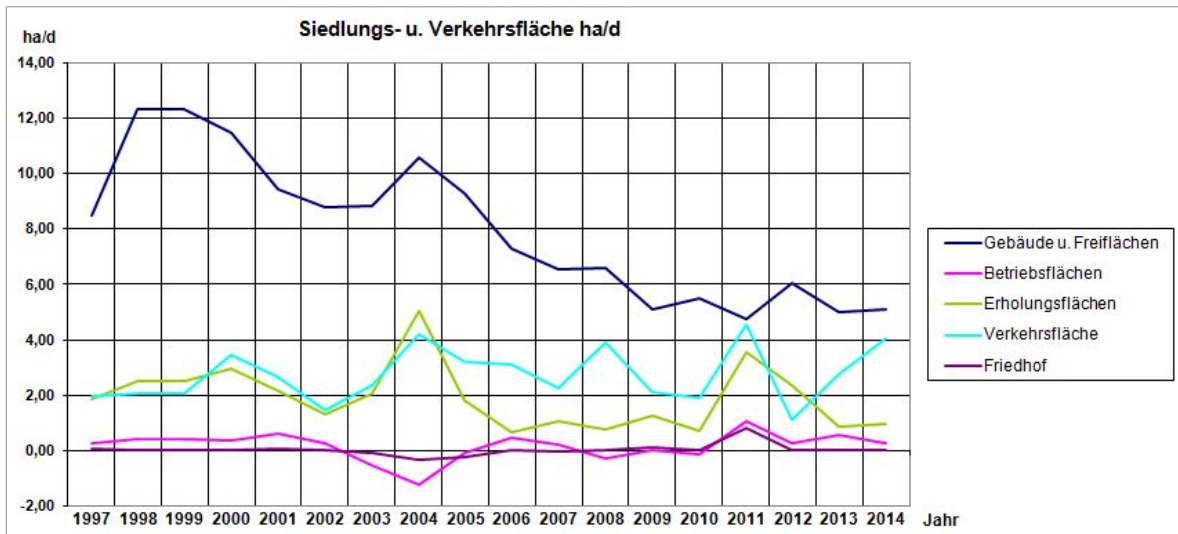


Abb. 7: Entwicklung der einzelnen Nutzungsklassen der Siedlungs- und Verkehrsflächen in Niedersachsen 1997–2014.

Wie sich die Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche auf die einzelnen Nutzungsarten bezogen darstellt, kann Abbildung 7 entnommen werden. Deutlich wird, dass die jeweils höchsten Anteile auf die Gebäude- und Freiflächen entfallen.

Die zunehmende Versiegelung der Böden ist eng an die Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche in Niedersachsen gekoppelt. Aktuell sind in Niedersachsen 6,4 % der Landesfläche versiegelt (Daten bis 2015, vgl. Abb. 8).



Abb. 8: Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche und der Bodenversiegelung in Niedersachsen.

Die höchsten Versiegelungsgrade liegen dabei in den Ballungsgebieten, d. h. in den großen Städten und ihren Umlandgemeinden (vgl. Abb. 9).

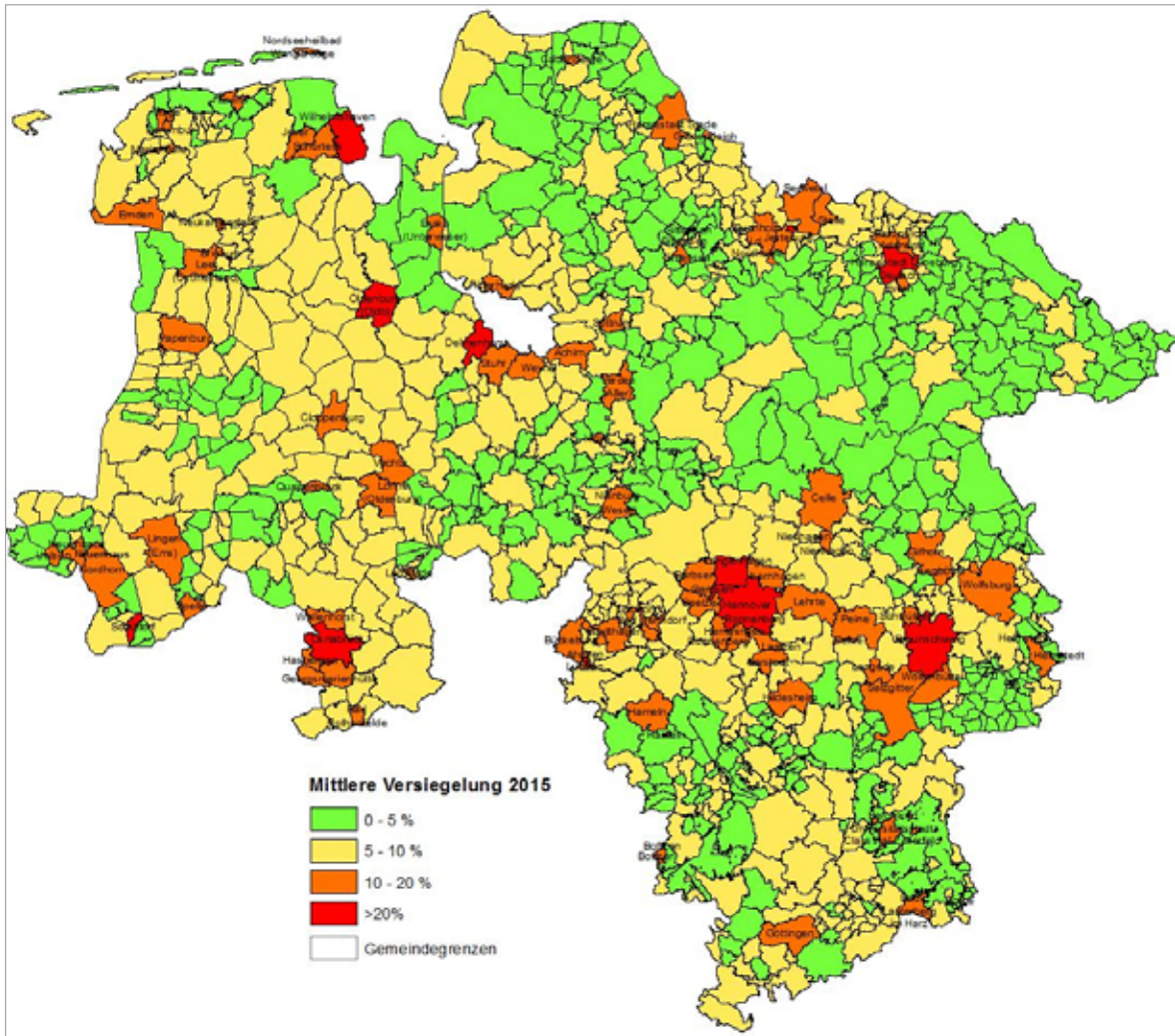


Abb. 9: Versiegelungsgrad nach dem UGRdL-Ansatz in den niedersächsischen Gemeinden (Stand: 2015).

Der Flächenverbrauch unterliegt, ebenso wie die mit ihm zusammenhängende Versiegelung, im langjährigen Mittel starken Schwankungen (vgl. Abb. 10). Seit etwa dem Jahr 2000 scheinen die höchsten Zuwachsraten überschritten zu sein. Eine Ausnahme bilden die Jahre 2003 und 2004, in denen aufgrund der damals erwarteten Abschaffung der Eigenheimzulage die Fertigstellung von Wohneigentum einen hohen Zuwachs erfahren hat.

Wenn die bundesweite Zielvorgabe für 2020 auf Niedersachsen heruntergerechnet wird, dann bedeutet dies, dass die Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche bis dahin auf ca. 3,6 ha/Tag reduziert werden müsste. Der Koalitionsvertrag der Rot-Grünen Landesregierung (2013–2018) liegt mit dem dort verankerten Ziel von max. 3 ha/Tag bis zum Jahr 2020 noch darunter (SPD/GRÜNE 2013)

Aktuell (Stand 2015) liegt der Flächenverbrauch in Niedersachsen noch bei ca. 9,5 ha/Tag (Abb. 10).

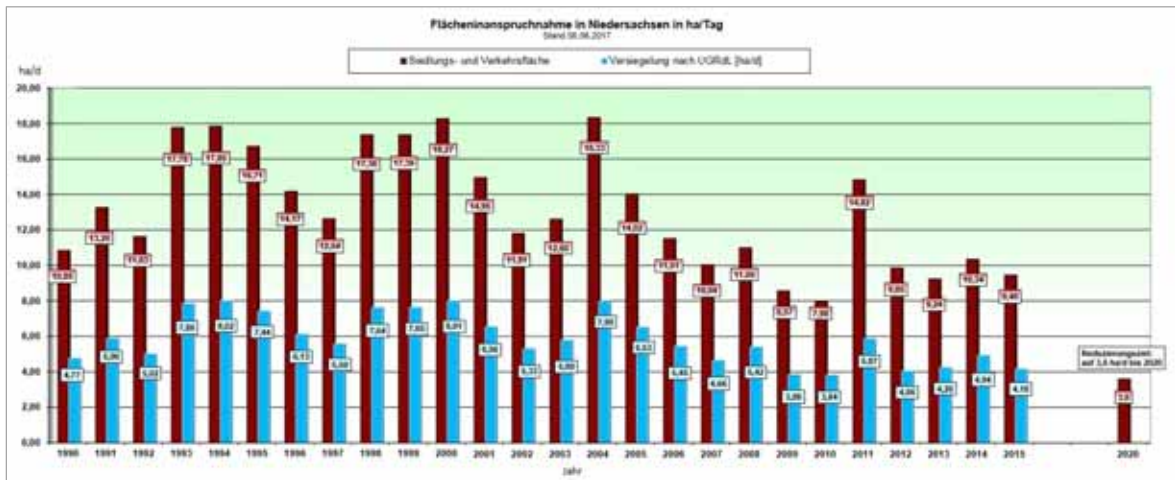


Abb. 10: Entwicklung der Indikatoren Flächenverbrauch und Versiegelung im langjährigen Mittel.

4.2. Satellitenbildauswertungen

Der GMES-Dienst für Raumplanung (GMES – Global Monitoring for Environment and Security, Globale Umwelt- und Sicherheitsüberwachung¹) basiert auf der gemeinsamen Nutzung von innovativer Satellitentechnologie und nutzerseitigen in-situ-Datenbanken. Der Informationsdienst offeriert eine Reihe von Geo-Informationenprodukten mit dem inhaltlichen Fokus auf der Flächeninanspruchnahme durch Siedlungs- und Verkehrsflächen und Bodenversiegelung und ist das Ergebnis einer langjährigen Entwicklungsarbeit in diversen GMES-Projekten (z. B. ESA GSE SAGE² und GSE Land³, FP6 geoland & BOSS4GMES, FP7 geoland2⁴). Im Rahmen des Projektes GSE Land, einem GMES-Service-Element der Europäischen Weltraumorganisation ESA, wurden diese Dienste für Verwaltungsbehörden in neun europäischen Ländern implementiert und validiert, u. a. im Land Niedersachsen für das LBEG.

Der GMES-Dienst für Raumplanung bietet einen grenzüberschreitenden Einblick in aktuelle Entwicklungen und zukünftige Trends der Landschaftsentwicklung und deren Auswirkungen auf die Umwelt. Die Informationsprodukte basieren auf hoch auflösenden, aus Satellitendaten abgeleiteten Landnutzungsdaten aus dem Land Monitoring Core Service (LMCS) und wurden speziell für die Unterstützung von unterschiedlichen europäischen, nationalen und regionalen Überwachungs- und Berichtspflichten konzipiert. Entscheidend dabei ist die Bereitstellung der Informationen in verbesserter geometrischer, thematischer und zeitlicher Qualität, welche durch bestehende europaweite Datensätze (wie z. B. CORINE Land Cover⁵) nicht in ausreichender Detailtiefe und Aktualität erreicht werden kann.

¹ GMES: <http://www.gmes.info/>.

² ESA GSE SAGE: <http://www.gmes-sage.info/>.

³ ESA GSE Land: <http://www.gmes-gseland.info/>.

⁴ GMES Land: <http://www.land.eu/>.

⁵ Corine Land Cover: <http://etc-lusi.eionet.europa.eu/CLC2000>.

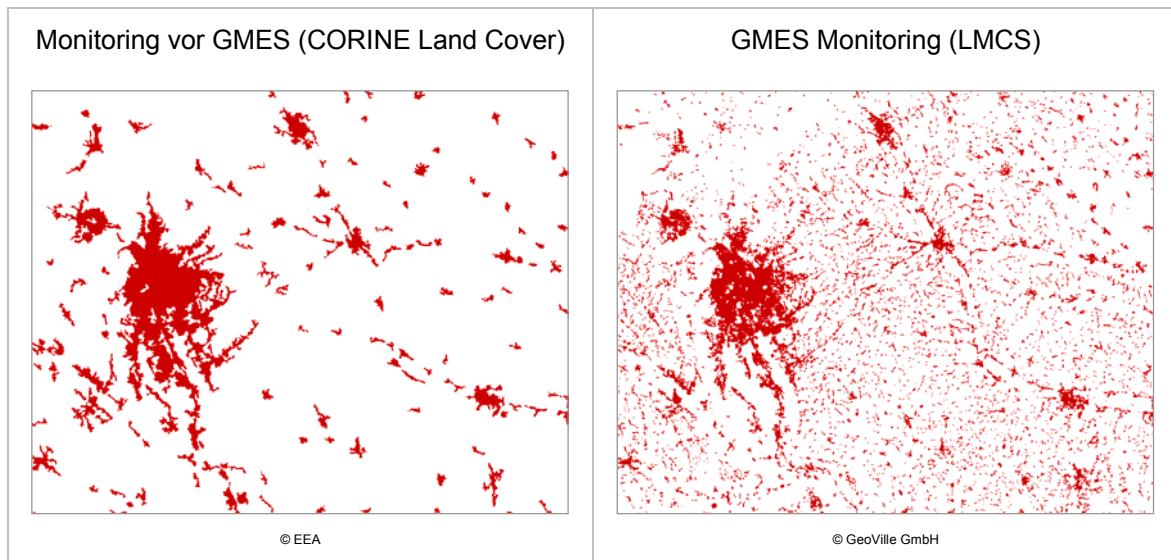


Abb. 11: Hoch auflösendes Monitoring von Siedlungsflächen mit dem GMES Land Monitoring Core Service.

Derartige Berichtspflichten entstehen beispielsweise aus europäischen Direktiven wie der Wasserrahmenrichtlinie, nationalen Bodenschutzstrategien oder regionalen Raumordnungsgesetzen. Die potenzielle Nutzergruppe dieser Informationsprodukte umfasst somit alle mit Agenden der Raumplanung befassten Verwaltungsbehörden auf Bundesländerebene, aber auch Bundesministerien, Umweltbundesämter sowie Organisationen und Einrichtungen auf europäischer Ebene (z. B. Europäische Kommission – Generaldirektion Regionalpolitik, Europäische Umweltagentur).

Der Informationsdienst liefert ein Set von Geoinformationsprodukten, bestehend aus Karten, Statistiken, Indikatoren und Szenarien, welche direkt in nutzerseitige Informationssysteme bei Verwaltungsbehörden integriert und als Analysebasis für unterschiedliche fachspezifische Anwendungen verwendet werden können (Abb. 12):

- detaillierte Karten der Landbedeckung und Landnutzung sowie Bodenversiegelung (s. Kap. 4.2.1.1.):
Diese Karten zeigen mit großer Genauigkeit die Flächeninanspruchnahme und Entwicklung von Siedlungs- und Verkehrsflächen sowie weiterer Hauptklassen der Landbedeckung. Als weitere Informationsschichten werden aus den Satellitendaten Karten zur Bodenversiegelung innerhalb von Siedlungsgebieten gewonnen.

- bevölkerungsbezogene Indikatoren zur Darstellung der Bevölkerungsexposition (z. B. gegenüber Naturgefahren, Schadstoffbelastungen oder durch den Klimawandel verursachte Risiken, s. Kap. 4.2.1.2.):
Die Landnutzungs- und Bodenversiegelungskarten werden mit statistischen Daten zur Bevölkerungsverteilung verknüpft. Mittels GIS-Modellverfahren können die Bevölkerungsdaten räumlich geschärft (disaggregiert) werden. Diese räumlich präzisere Darstellung der realen Bevölkerungsverteilung bildet die Grundlage für Analysen zur Bevölkerungsexposition und Anwendungen im Bereich des Risikomanagements.
- flächenbezogene Indikatoren zur Darstellung raumplanungsrelevanter Kennzahlen sowie der Auswirkungen von Flächeninanspruchnahme und Siedlungsentwicklung auf die Umwelt (s. Kap. 4.2.1.3.):
Die flächenbezogenen Indikatoren stellen wesentliche raumplanerische Kennzahlen (z. B. Bevölkerungsdichte) geographisch und statistisch dar. Durch die Kombination der Landnutzungsdaten mit weiteren statistischen und räumlichen in-situ-Daten (z. B. Bodentypen, Naturschutzgebiete) können Trends der Flächeninanspruchnahme sowie die daraus resultierenden Umweltauswirkungen räumlich sichtbar gemacht werden.

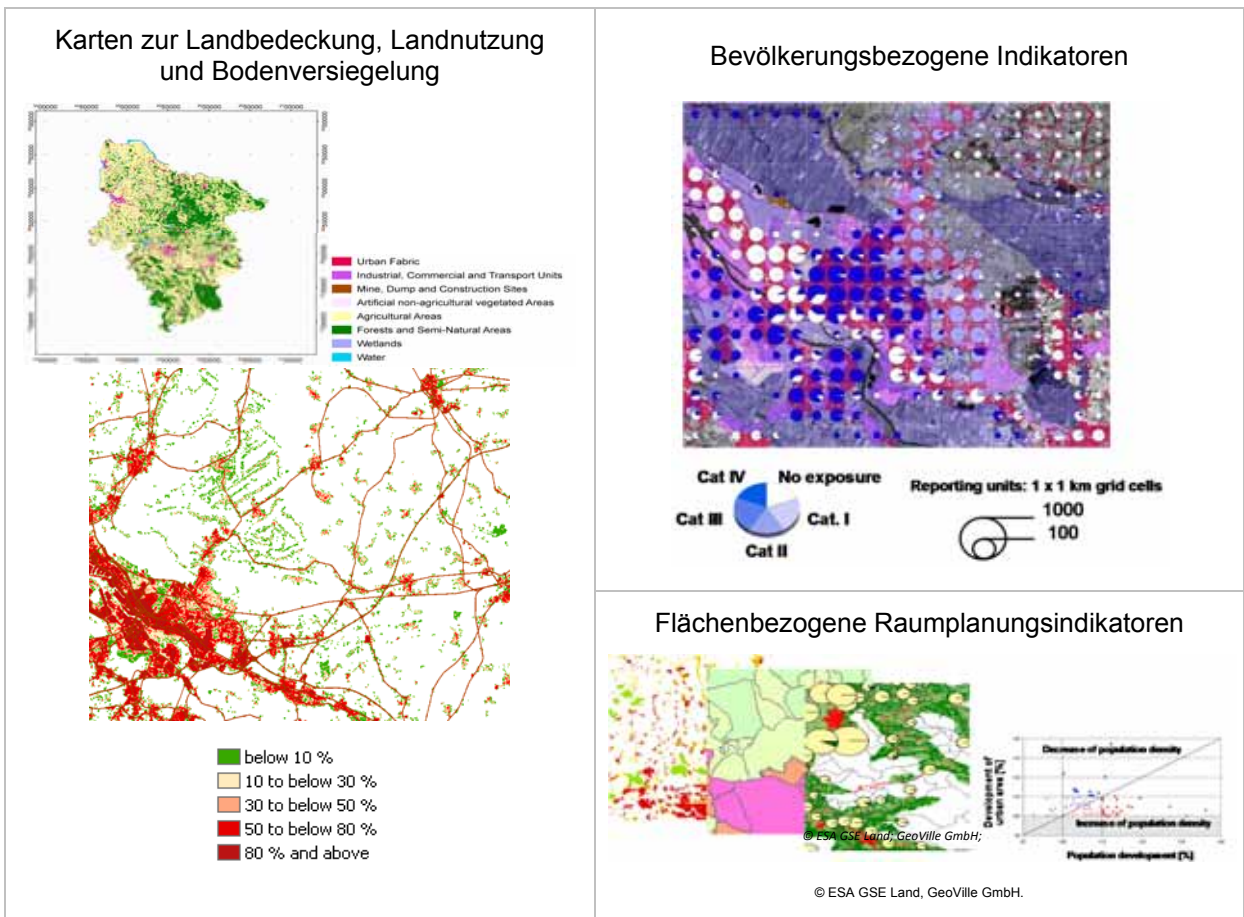


Abb. 12: Integriertes Produktportfolio des Informationsdienstes für die Raumplanung.

Die Raumplanung bildet einen der wesentlichen Informationsdienste des zukünftig operationellen GMES Land Monitoring Core Service (LMCS). Die Weiterentwicklung und Operationalisierung des Informationsdienstes für die Raumplanung ist durch das Ende 2008 begonnene und aus dem 7. Forschungsrahmenprogramm der Europäischen Union co-finanzierte Projekt geoland2 sichergestellt. Innerhalb des Projektes GSE Land wurden neben Niedersachsen folgende Gebiete bearbeitet: internationaler Raum Luxemburg/Deutschland/Frankreich/Belgien (Saar-Mosel, ca. 38 000 km²), internationaler Raum Österreich/Deutschland/Schweiz/Liechtenstein (Bodensee-Region, ca. 23 500 km²), internationaler Raum Belgien/Großbritannien/Frankreich/Niederlande (SAIL-Region, ca. 19 200 km²), Agglomerationsraum Madrid (ca. 8 200 km²). Beispiele hierfür können auf dem Geodatenportal <http://www.land.eu/portal/> gefunden werden.

4.2.1. Methodik

4.2.1.1. Karten zur Landbedeckung, Landnutzung und Bodenversiegelung – M2.6/M2.4

Landbedeckung/Landnutzung – M2.6 sowie zeitliche Veränderung – M2.4

Die Landbedeckungs-/Landnutzungskarten M2.6 (Aufnahmejahr 2005) und M2.4 (Aufnahmejahr 2000) nehmen auf Basis von hoch auflösenden Satellitendaten eine grundlegende Inventarisierung der Landschaft, unter besonderer Berücksichtigung der Ausdehnung, Dichte und Veränderung von Siedlungsflächen vor. Thematisch bauen die Kartenprodukte auf der bekannten Nomenklatur von CORINE Land Cover auf.

Zu den Siedlungsklassen zählen Gebiete mit städtisch geprägten Flächen (Klasse 11000), Industrie-, Gewerbe- und Verkehrsflächen (12000), Abbauflächen, Deponien und Baustellen (13000) sowie künstlich angelegten, nichtlandwirtschaftlich genutzten Grünflächen wie Parks, Sportplätzen etc. (14000). Im Gegensatz zur sehr groben Objektgeometrie von CORINE (25 ha) werden diese Siedlungsflächen ab einer Mindestfläche von 0,25 ha kartiert. Des Weiteren werden die Siedlungsklassen anhand der Bebauungsdichte differenziert (s. dazu das nachfolgende Kapitel „Karten zur Bodenversiegelung“).

Außerhalb von Siedlungsflächen werden die Klassen Landwirtschaftliche Nutzung (20000), Wald und (halb)natürliche Flächen (30000), Feuchtgebiete (40000) sowie Wasserflächen (50000) kartiert. Diese Klassen werden mit einer Mindestobjektgröße von 1 ha erfasst.

Beide Kartenprodukte M2.4 und M2.6 besitzen die gleichen technischen Spezifikationen. Während M2.6 jedoch einen vergleichsweise aktuellen Zeitpunkt abbildet, basiert M2.4 auf Satellitendaten eines älteren Zeitpunkts. Ein sinnvolles Zeitintervall für diese regelmäßigen Aufnahmen liegt üblicherweise im Bereich von drei bis fünf Jahren, kann jedoch bei verfügbaren wolkenfreien Satellitenaufnahmen auch kürzer gewählt werden. Die Erstellung der Kartierungen erfolgt nicht unabhängig voneinander: Entweder wird von einer bestehenden aktuellen Kartierung auf einen historischen Zeitpunkt rückda-

tiert („downdate“), oder eine historische Kartierung auf einen aktuellen Zeitpunkt aktualisiert („update“). Durch diese automatisierte „Change Detection“ werden gezielt Veränderungsflächen aus den multitemporalen Satellitendaten herausgearbeitet, während in stabilen Flächen ohne Veränderung die ursprünglichen Objektgeometrien sowie die thematischen Klassenzuweisungen erhalten bleiben.

Die Erstellung der Kartenprodukte M2.6 und M2.4 erfolgt auf Basis von hoch auflösenden Satellitendaten. Für die Auswertung werden multispektrale Satellitenbilder des französischen SPOT- (Systeme pour l’Observation de la Terre) oder des indischen IRS- (Indian Remote Sensing Satellite) Satelliten herangezogen. Deren Sensoren bieten Spektralkanäle im sichtbaren Licht sowie im nahen und mittleren Infrarot an, wodurch sie speziell für die Detektion von Veränderungen der Vegetation sowie zur Trennung von versiegelter und vegetationsbedeckter Landbedeckung geeignet sind. Die räumliche Auflösung der verwendeten Daten beträgt 10–20 m, wodurch ein guter Kompromiss zwischen lokaler Detailerkennbarkeit und Kosten für die Satellitenbilder erzielt wird. Da nicht alle Klassen (speziell die Nutzungsdifferenzierung innerhalb von Siedlungsgebieten) mit automatischen Methoden erfasst werden können, werden digitale topographische Karten zur besseren Objektidentifizierung als weitere Informationsgrundlage herangezogen.

Der Auswertungsprozess gliedert sich in folgende Schritte:

- Vorprozessierung, d. h. die Vorbereitung der Satelliten- und Zusatzdaten auf den eigentlichen Auswertungsprozess,
- Kartierung der Landbedeckung/-nutzung, dieser Prozess ist in einen automatischen Erfassungsprozess (Segmentierung und Klassifizierung) und die visuelle Nachbearbeitung der Klassifikationsresultate gegliedert,
- Nachprozessierung und Qualitätskontrolle.

Vorprozessierung

In diesem Schritt werden alle verwendeten Satellitenbilder und sonstigen Zusatzdaten, wie z. B. topographische Karten und Digitale Höhenmodelle, in einheitliche Datenformate sowie in ein einheitliches geometrisches Bezugssystem transferiert.

Die Satellitenbilder selbst werden mit Hilfe eines digitalen Höhenmodells und geeigneten Bodenkontrollpunkten in das zuvor festgelegte kartographische Referenzsystem eingepasst, damit eine direkte Überlagerung der Daten mit anderen Datenquellen im GIS möglich ist. Diesen Transformationsprozess bezeichnet man auch als Orthorektifizierung (Abb. 13). Weiterhin wird die Produktionsumgebung für die eigentliche Kartierungsarbeit vorbereitet.

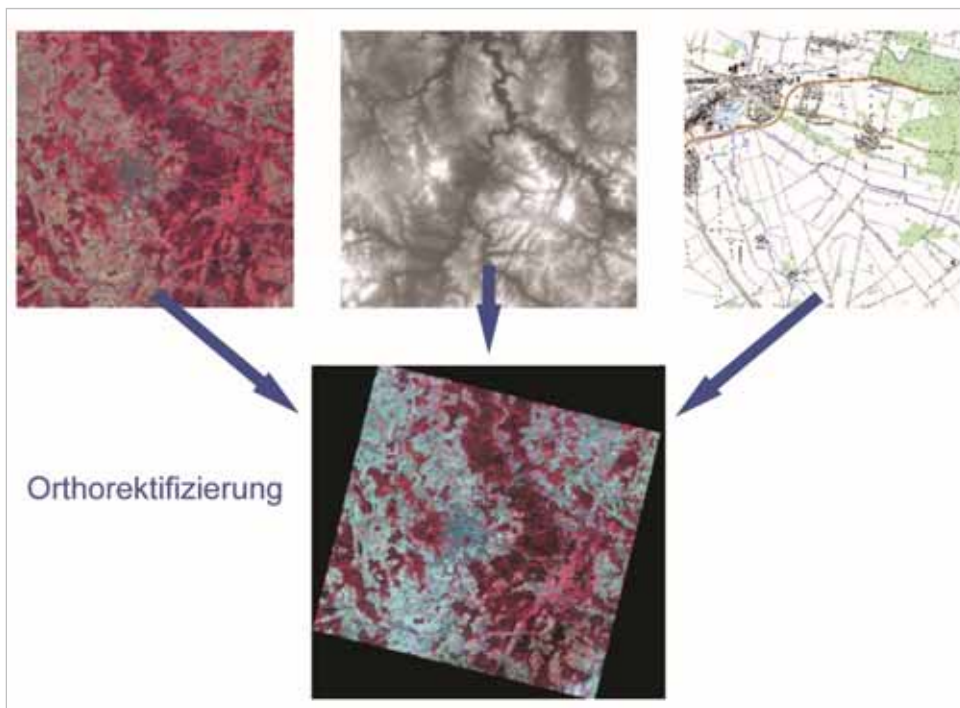


Abb. 13: Prozess der Orthorektifizierung – Eingangsdaten: Satellitenbild, digitales Höhenmodell, geometrische Referenz (hier: topographische Karte).

Kartierung der Landbedeckung/-nutzung

Im Zuge der Kartierung werden die orthorektifizierten Satellitenbilder mittels Bildsegmentierung in homogene Landschaftsobjekte zerlegt (segmentiert) und anschließend über segmentbasierte Klassifizierungsalgorithmen klassifiziert. Diese erste Vorklassifizierung beruht auf bestimmten Bildeigenschaften (Grauwerte der einzelnen Bildkanäle, Textur, Geometrie, Nachbarschaftsbeziehungen etc.) und grenzt relativ homogene Landschaftseinheiten voneinander ab, z. B. Siedlungen, Wald, sonstige vegetationsbedeckte Flächen, Wasser (Abb. 14). Je nach Konfiguration des Vorklassifikationsprozesses können noch weitere Differenzierungen automatisch vorgenommen werden.

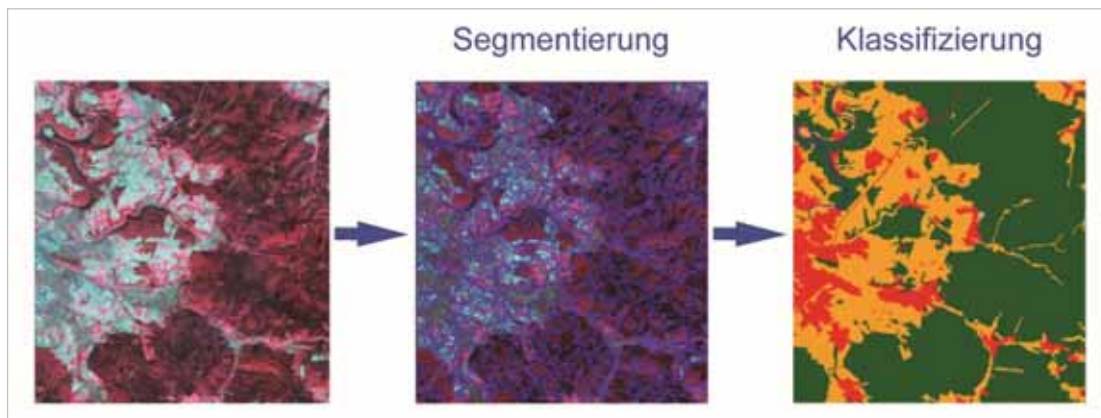


Abb. 14: Automatische Vorklassifizierung ausgewählter Landbedeckungsklassen mit Hilfe von Bildsegmenten.

Anschließend wird das vorklassifizierte Kartenprodukt durch erfahrene Bildinterpreten mit Hilfe der Satellitendaten und topographischen Karten visuell geprüft. Hierbei werden verbleibende Fehlklassifikationen korrigiert sowie noch fehlende restliche Klassen mittels visueller Bildinterpretation aufgenommen. Während die Landbedeckung meist auf automatischem Wege mit

hoher Genauigkeit erfasst werden kann, erfordert die korrekte Interpretation der Landnutzung entsprechende Zusatzdaten (topographische Karten, Flächennutzungsdaten u. ä.). Die Herausforderung besteht darin, Flächen mit gleicher Landbedeckung (z. B. bebaute Flächen) in unterschiedliche Landnutzungsklassen zu differenzieren, z. B. in Wohn- oder Gewerbegebiete (Abb. 15).

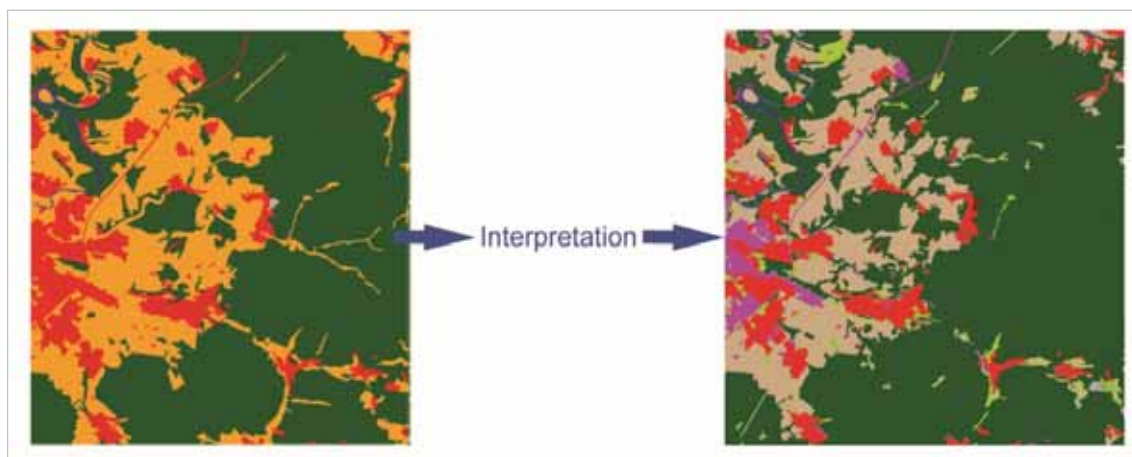


Abb. 15: Verfeinerung der Vorklassifizierung durch visuelle Bildinterpretation.

Nachprozessierung und Qualitätskontrolle

Den Abschluss bilden ausgewählte Bearbeitungsschritte, welche die vorliegende Karte in ein standardisiertes Kartenprodukt verwandeln. Darunter fällt beispielsweise die Anwendung von digitalen Filtern zur Applikation von Mindestobjektgrößen und Mindestobjektbreiten. Objekte unter der Mindestobjektgröße werden gemäß definierter Regeln eliminiert. Es können sich weitere Produktionsschritte anschließen, wie beispielsweise die Umwandlung des Produkts in andere Datenformate oder andere geographische Projektionssysteme, oder die Mosaikierung von einzelnen Subgebieten zu regionalen Übersichtskarten.

Eine wesentliche Prozesskomponente bilden die abschließenden Qualitätskontrollen. Die Qualitätskontrollen bestehen aus standardisierten Verfahren zur qualitativen und quantitativen Prüfung der Ergebnisse. Qualitative Checks beziehen sich auf die formale Korrektheit der Daten im Sinne der technischen Spezifikationen (Formate, Metadaten, Attribute etc.). Ebenso wird eine quantitative Kontrolle der inhaltlich-thematischen und geometrischen Qualität vorgenommen. Um aussagekräftige Informationen, z. B. Flächenbilanzen, aus den Kartenprodukten ableiten zu können, müssen für jede Validierungsmethode entsprechende Mindeststandards eingehalten werden. Die Gesamtgenauigkeit der Kartierung muss im Falle einer Überprüfung mit unabhängigen Referenzpunkten (d. h. an jedem Punkt wird das Klassifikationsergebnis mit einer unabhängigen visuellen Interpretation verglichen) bei mindestens 95 % liegen. Die resultierenden Genauigkeitswerte (Gesamtgenauigkeit, klassenspezifische Genauigkeiten) sind ein wesentlicher Bestandteil des Kartenproduktes und werden immer in Form von Validierungsberichten mitgeliefert.

Karten zur Bodenversiegelung

Der Datensatz zur Bodenversiegelung innerhalb von Siedlungsflächen wird für alle urbanen Landnutzungsklassen (Klassen 11000 städtisch geprägte Flächen, 12000 Industrie/Gewerbe/Verkehrsflächen, 13000 Abbauflächen/Depotien/Baustellen, 14000 Künstlich angelegte Grünflächen) berechnet. Alle nicht-urbanen Klassen erhalten einen Bodenversiegelungswert von 0 %.

Die Grundlage für die Berechnung der Bodenversiegelung ist ein aus den Satellitendaten in 10-m-Auflösung berechneter und kalibrierter (d. h. über mehrere Satellitenbildszenen hinweg angepasster) Vegetationsindex. Dieser Vegetationsindex (NDVI – Normalised Difference Vegetation Index) wird aus den multispektralen Satellitendaten, präziser aus dem roten (RED) und dem infraroten Kanal (NIR, near infrared) berechnet: $NDVI = (NIR-RED)/(NIR+RED)$.

Die Nutzung dieses Indexes für die Aufnahme der Bodenversiegelung beruht auf dem unterschiedlichen Reflexionsgrad von gesunder Vegetation im sichtbaren Spektralbereich (geringe Reflektion) bzw. im nahen Infrarot-Bereich (hohe Reflektion). Andere Oberflächenmaterialien, wie z. B. versiegelte Flächen, zeigen keinen solchen kennzeichnenden Unterschied des Reflexionsgrades beider Bereiche. Für die Kartierung wird der inverse Zusammenhang zwischen Grad der Vegetationsbedeckung, abgeleitet aus dem NDVI, und dem Grad der Bodenversiegelung (bzw. Bebauungsdichte) modelliert.

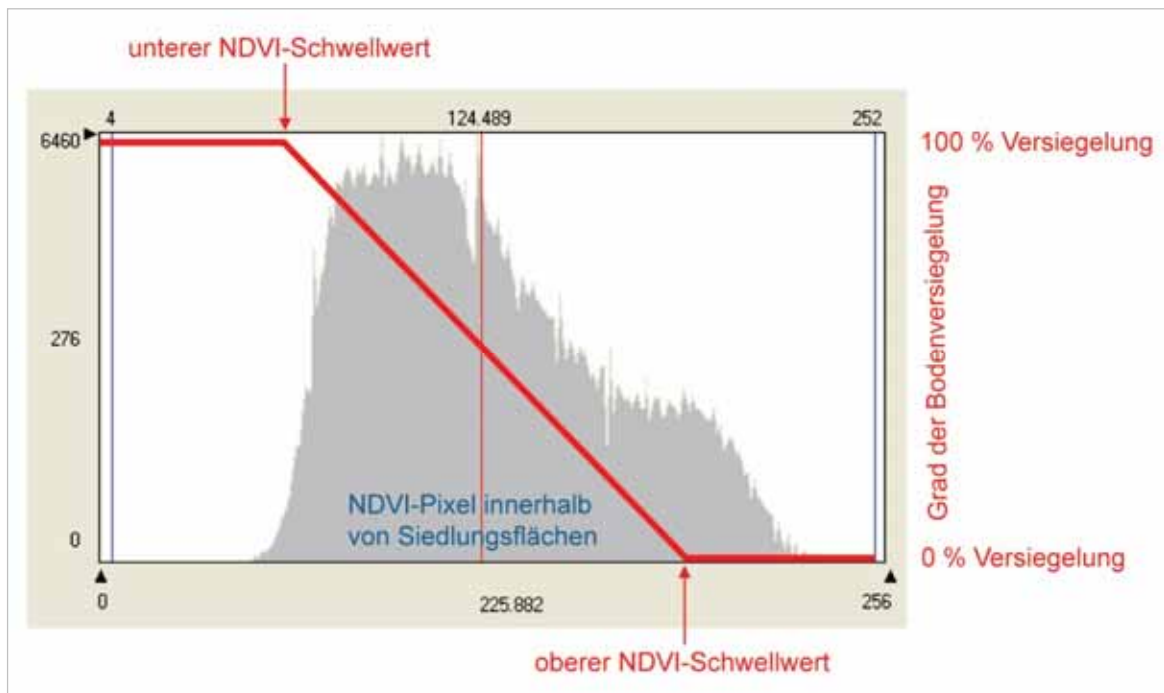


Abb. 16: Modellierung der Bodenversiegelung aus satellitenbasiertem Vegetationsindex.

Über diesen inversen linearen Zusammenhang kann der Versiegelungsgrad aus dem NDVI übersetzt werden. Abbildung 16 zeigt die beispielhafte Verteilung der NDVI-Pixelwerte (in 10-m-Auflösung) innerhalb der Siedlungsflächen, wobei aus dem NDVI mittels Bildverarbeitungsoperationen folgende Schwellwerte gewonnen werden:

- unterer NDVI-Schwellwert 1 am Übergang von vollständiger Bodenversiegelung 100 % (keine Vegetation) zu 99 % (minimaler Anteil an Vegetationsflächen),
- oberer NDVI-Schwellwert 2 am Übergang von Bodenversiegelung 0 % (vollkommen vegetationsbedeckt) zu 1 % (minimaler Anteil an versiegelten Flächen).

Unterhalb von Schwellwert 1 wird ein Versiegelungswert von 100 %, oberhalb von Schwellwert 2 ein Versiegelungswert von 0 % angewendet. Zwischen beiden Schwellwerten wird wiederum ein linearer Zusammenhang zwischen NDVI und Bodenversiegelung 1–99 % angenommen.

Das Zwischenergebnis ist ein Rasterlayer in 10-m-Auflösung, wobei jedem Pixel entsprechend dem obigen Verfahren ein Versiegelungswert zwischen 0 und 100 % zugewiesen wird. Für vereinfachte Darstellungen kann folgende zu CORINE Land Cover kompatible Standardklassifizierung auf die Daten angewendet werden:

- 0 %: keine Bodenversiegelung,
- 1–30 %: Siedlungsflächen mit geringer Bodenversiegelung,
- 30–50 %: Siedlungsflächen mit mittlerer Bodenversiegelung,
- 50–80 %: Siedlungsflächen mit hoher Bodenversiegelung,
- 80–100 %: Siedlungsflächen mit sehr hoher Bodenversiegelung.

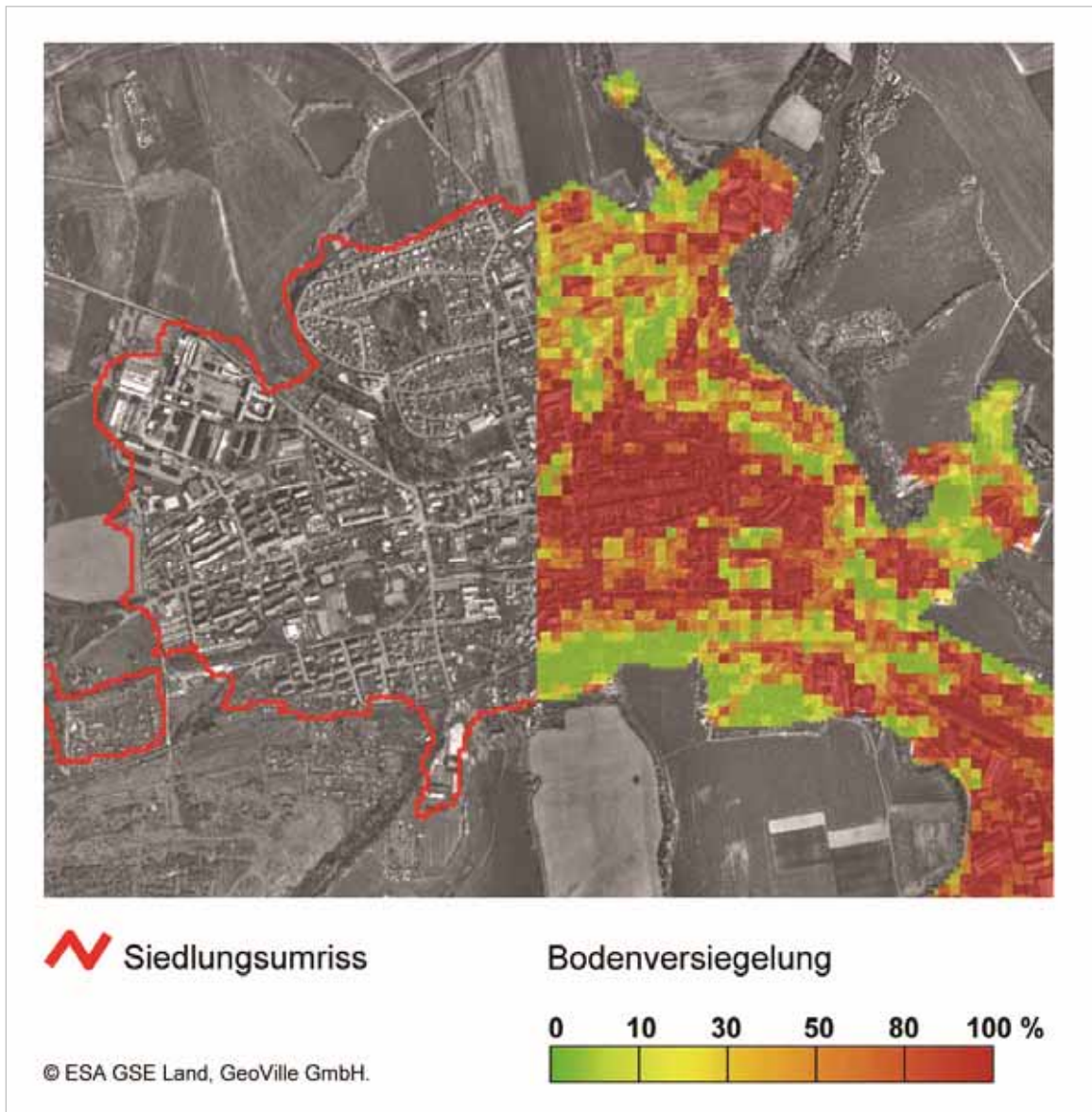


Abb. 17: Darstellung der pixelbasierten Bodenversiegelung innerhalb von Siedlungsgebieten in voller Auflösung.

Aus dem in voller Auflösung vorliegenden Zwischenprodukt (Abb. 17) wird über ein räumliches Aggregationsverfahren das Endprodukt mit 100 x 100 m Rasterzellengröße erstellt. Dieses Produkt mittelt potenzielle Fehlerquellen (z. B. nicht vegetationsbedeckte, aber auch nicht versiegelte Oberflächen) aus und wird mit einer validierten Genauigkeit von 90 % ausgeliefert.

Die Validierung der Bodenversiegelungskarte erfolgt über hochauflösende Orthofotos. Für ausgewählte Referenzflächen werden tatsächlich versiegelte Flächen aus dem Orthofoto digitalisiert und der Versiegelungsgrad auf Referenzzellen mit 100 m Maschenweite hochgerechnet. Der auf diese Weise abgeleitete Versiegelungsgrad wird dem automatisch berechneten Versiegelungsgrad aus den Satellitendaten gegenübergestellt, wobei die mittlere Abweichung aller Referenzrasterzellen unter 10 % liegen muss.

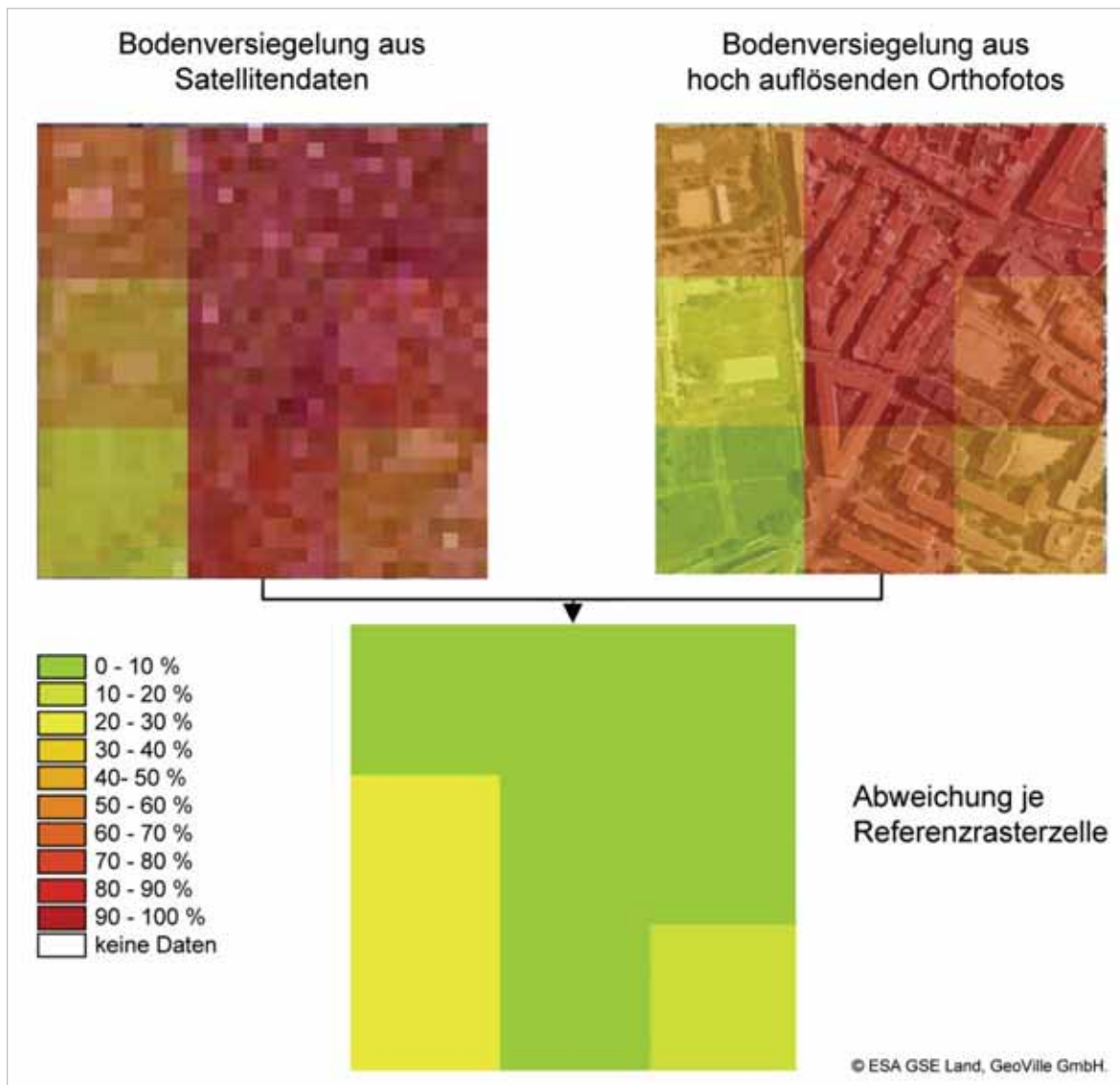


Abb. 18: Validierung der Bodenversiegelung mit hochauflösenden Orthofotos.

Beide Kartenprodukte M2.6 und M2.4 werden als Eingangsdatensätze für weitergehende Analysen verschiedener Parameter, wie beispielsweise der Entwicklung der Bodenversiegelung, der Flächeninanspruchnahme auf hochwertigen Böden, der Bevölkerungsdichte, oder des Landverbrauchs pro Einwohner verwendet. Eine detaillierte Beschreibung dieser Analysen und deren Methodik erfolgt im nächsten Kapitel.

4.2.1.2. Bevölkerungsbezogene Indikatoren – Produkt PR1

Die Methoden für die Berechnung der bevölkerungs- (PR1) sowie flächen- und schutzgebietsbezogenen Indikatoren (PR2) basieren auf Standard-GIS-Routinen zur räumlichen Datenverschneidung. Um den Informationsgehalt der bevölkerungsbezogenen Indikatoren zu erhöhen, wird vor der Berechnung der eigentlichen Indikatoren eine räumliche Schärfung (Disaggregation) der amtlichen Bevölkerungsstatistik durchgeführt.

Das eingesetzte Modellverfahren basiert auf komplexen räumlichen Analyseoperationen und verknüpft die satellitenbasierte Landnutzung und Bebauungsdichte mit den Bevölkerungszahlen aus der amtlichen Statistik. Die Methode der räumlichen Disaggregation basiert auf der Annahme, dass statistische Informationen, die sich auf administrative Einheiten beziehen, auf Grundlage detaillierter Landnutzungsdaten räumlich verfeinert werden können. Im Gegensatz zur aggregierten Statistik, in der Einwohnerzahlen völlig unabhängig von der realräumlichen Situation (Siedlungen, Wälder, Gewässer, Landwirtschaftsflächen) für Gesamteinheiten, z. B. Gemeinden, vorliegen, lokalisiert das Modell die Wohnbevölkerung nur in tatsächlichen Wohngebieten.

Folgende Eingangsdaten werden für die Bevölkerungsmodellierung sowie die nachfolgende Berechnung der Indikatoren zur Bevölkerungsexposition verwendet:

- Landnutzungsdaten und Bodenversiegelungskarten M2.6 und M2.4,
- administrative Grenzen (NUTS-3 für Disaggregation, LAU-1/LAU-2 für Validierung)¹,
- Bevölkerungsstatistik (auf NUTS-3/LAU-1/LAU-2-Ebene),
- thematische Karten zur Darstellung der Bevölkerungsexposition (z. B. Naturgefahrenzonierung, Schadstoffimmissionen).

Neben der räumlichen Verteilung der Wohngebiete innerhalb der administrativen Einheit berücksichtigt das Modell auch die aus den Satellitendaten berechnete Bebauungsdichte (bzw. den Grad der Bodenversiegelung). Dabei folgt das Modell der Grundannahme, dass eine höhere Bebauungsdichte innerhalb von Wohngebieten auch einer höheren Bevölkerungsdichte entspricht (Abb. 19).

¹ Die Systematik der Gebietseinheiten für die Statistik (NUTS – Nomenclature of Territorial Units for Statistics) wurde von Eurostat eingeführt, um für die Erstellung regionaler Statistiken für die Europäische Union eine einheitliche und konsistente territoriale Untergliederung zur Hand zu haben. NUTS-3-Gebiete kennzeichnen sich

durch eine Einwohnerzahl zwischen 150 000 und 800 000 und werden in weitere lokale Gebietseinheiten (LAU – Local Administrative Units) gegliedert. In Deutschland entspricht LAU-2 den Gemeinden und LAU-1 den Landkreisen. NUTS-3 ist somit ein Bindeglied zwischen Landkreisen und Bundesländern.

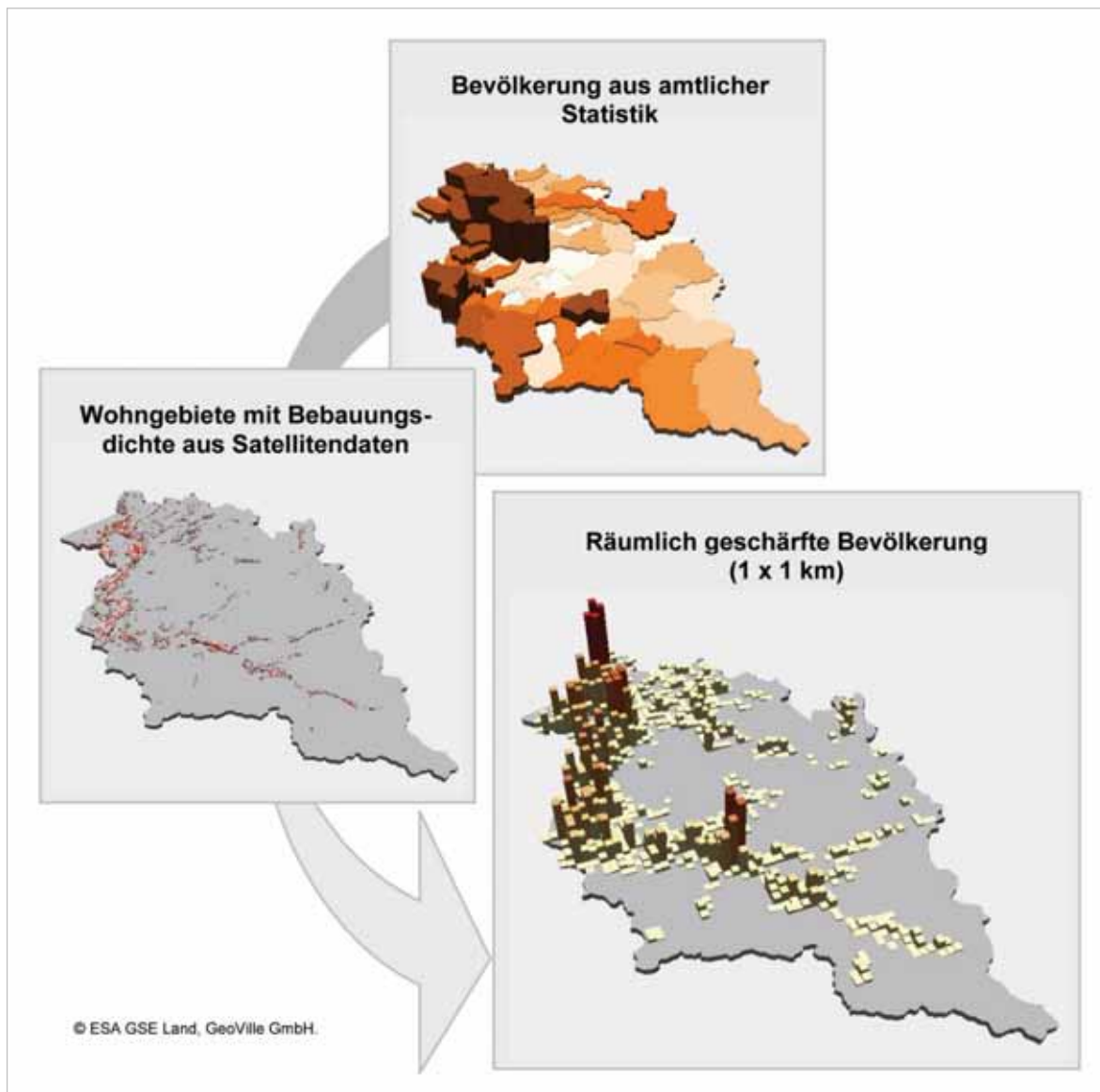


Abb. 19: Schärfung der aggregierten Bevölkerungsstatistik mit Landnutzungsdaten und Bebauungsdichte.

Die Schätzung des Zusammenhangs zwischen Bebauungsdichte und Bevölkerungsdichte folgt dabei regionsspezifischen Relationen, den so genannten k-Faktoren. Die Beziehung der k-Faktoren, also der Umrechnungsfaktoren, zwischen Bebauungs- und Bevölkerungsdichte ist dabei für jede Region spezifisch. Somit lassen sich bei gleicher Bebauungsdichteklasse regionsspezifisch sehr variable Bevölkerungsdichten aus den Daten ableiten. Als Ergebnis stehen räumlich detailliertere Bevölkerungswerte für

gleichförmige 1x1-km-Rasterzellen als GIS-Datensatz zur Verfügung.

Für die Validierung wird die disaggregierte Bevölkerungsverteilung wieder in gröbere räumliche Einheiten zusammengefasst und mit entsprechend feinen statistischen Bevölkerungsdaten verglichen. Der mittlere Fehler der Abweichungen der einzelnen Disaggregationsergebnisse von den statistischen Referenzdaten liegt dabei in einem Bereich von maximal 20 %. Grundsätzlich gilt: je kleiner die Referenzeinheiten bei der Validierung, desto kleiner die be-

obachtete absolute Abweichung, aber desto größer der relative Fehler. Weiter kommt es in Gebieten mit einem hohen Bebauungsanteil, also größeren Städten, tendenziell zu einer leichten Unterschätzung der Bevölkerung, während in ländlichen Bezirken die Bevölkerung eher leicht überschätzt wird. Das dürfte darauf zurückzuführen sein, dass ab einer gewissen (hohen) Bebauungsdichte die Bevölkerungsdichte stärker zunimmt, als die Bebauungsdichte. Ein Grund dafür könnte die zunehmende Bebauungshöhe in Stadtzentren sein. Da die eingesetzten Verfahren aber generell auf eine europaweite Umsetzbarkeit abzielen, wird der sehr lokale und teuer zu beschaffende Parameter der Gebäudehöhe in diesem regionalen Modell nicht berücksichtigt.

Die Berechnung der Indikatoren zur Bevölkerungsexposition erfolgt anschließend im GIS mit Standardoperationen der räumlichen Verschneidung. Dabei wird je 1x1-km-Rasterzelle über eine flächenhafte Analyse jener Anteil der Bevölkerung quantifiziert, der dem jeweiligen potenziellen Phänomen, z. B. Hochwasser, ausgesetzt ist. Die Ergebnisse stehen als thematische Karten und statistische Datenbank für Folgeanalysen zur Verfügung.

4.2.1.3. Flächen- und schutzgebietsbezogene Indikatoren – PR2

Die Produktgruppe PR2 umfasst eine Reihe von räumlichen Indikatoren, die sich aus der Kombination von real-räumlichen Landnutzungskarten aus Satellitendaten sowie weiteren räumlichen und statistischen Daten im GIS ableiten lassen. Alle Indikatoren werden auf der Gemeindeebene berechnet. Wie auch die bevölkerungsbezogenen Indikatoren in PR1 basieren die PR2-Indikatoren auf Standard-GIS-Routinen, die sich je nach Indikator zu komplexeren räumlichen Analyseketten zusammenfügen.

Das Indikatorenservice PR2 hat das Ziel, Trends der Flächeninanspruchnahme sowie die daraus resultierenden Umweltauswirkungen transparent zu machen. Die Indikatoren sind in die DPSIR-Indikatorensystematik der OECD, adaptiert durch die Europäische Umweltagentur, eingebettet (Abb. 20). Diese Systematik kategorisiert räumliche Indikatoren über eine kausale Kette von Einflussgrößen, wobei die Indikatoren zur Flächeninanspruchnahme die Bereiche Pressure, State und Impact abdecken:

- Driving forces (treibende Kräfte) sind Bereiche öffentlichen Lebens, deren Prozesse Druck auf die Umwelt ausüben können, z. B. Wirtschaftssektoren, private und öffentliche Haushalte, welche ein Fortschreiten der Flächeninanspruchnahme verursachen,
- Pressures sind die resultierenden Umweltbelastungen, z. B. Flächeninanspruchnahme durch Bodenversiegelung oder erhöhte Bevölkerungsdichte,
- State ist der Zustand des Umweltbereichs, der den Belastungen ausgesetzt ist, z. B. Verlust von natürlichen Flächen durch Siedlungsentwicklung,
- Impact ist die spezifische Wirkung durch die Umweltbelastung, z. B. Fragmentierung der Landschaft durch zunehmende Verkehrsinfrastruktur,
- Responses sind die gesellschaftlichen bzw. politischen Reaktionen auf Umweltbelastung, z. B. Umweltgesetzgebung zur Reduktion fortschreitender Flächeninanspruchnahme.

Land consumption impact (PR2) – Indicator Service

Drivers, Pressure, State, Impact, Response (DPSIR)

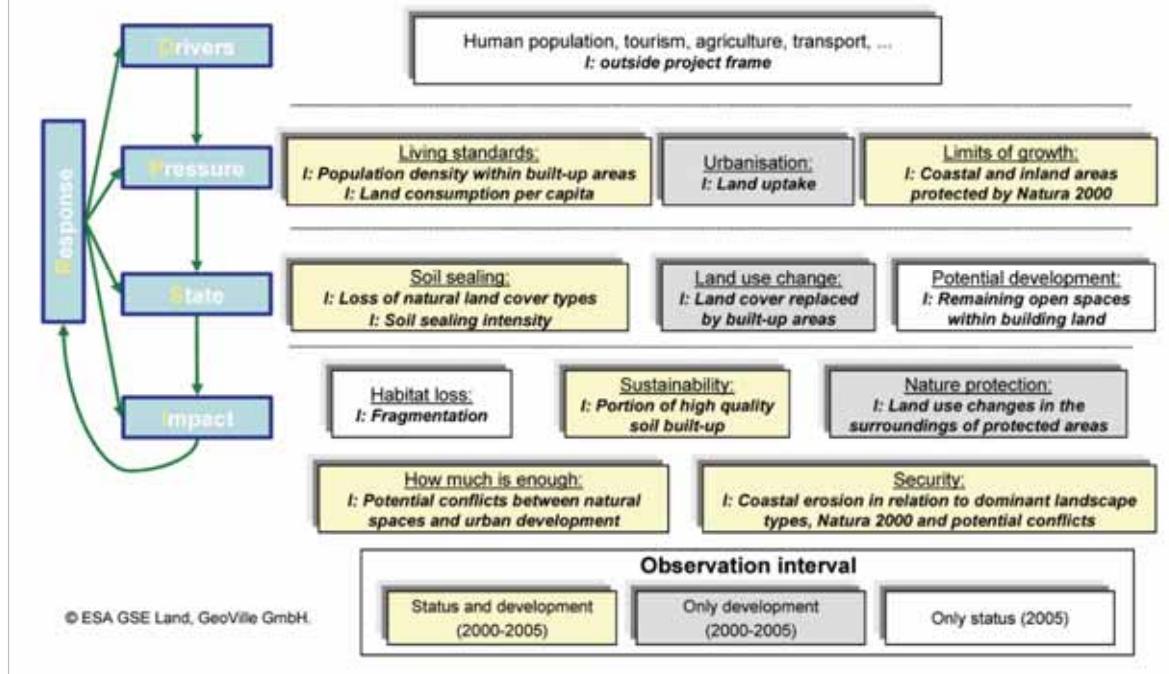


Abb. 20: Raumplanungsindikatoren im DPSIR-Konzept.

Folgende Eingangsdaten werden für die Indikatorenberechnung verwendet:

- Landnutzungsdaten und Bodenversiegelungskarten M2.6 und M2.4,
- administrative Grenzen (auf LAU-2-Ebene),
- Bevölkerungsstatistik (auf LAU-2-Ebene),
- zusätzliche räumliche Informationslayer:
 - Straßennetzwerk und Schienenstrecken,
 - Naturschutzgebiete (z. B. Natura 2000),
 - Böden (z. B. hochwertige landwirtschaftliche Böden),
 - Zonierungsdaten der Landnutzung/ Flächenwidmungspläne,
 - Küstenerosionszonen.

Im Rahmen der Indikatorengruppe PR2 werden dabei folgende flächen- und schutzgebietsbezogene Indikatoren zur Verfügung gestellt (Tab. 1):

Tab. 1: Flächen- und schutzgebietsbezogene Indikatoren (PR2).

Indikator (Originaltitel in Englisch)	Erklärung
#01 Soil sealing intensity	Der Bodenversiegelungsindikator wird über kalibrierte Vegetationsindizes aus den Satellitendaten abgeleitet und auf Gemeindeebene gemittelt. Es werden mittlere Versiegelungsgrade, bezogen auf Wohngebiete, Industriegebiete, die gesamte Siedlungsfläche sowie die gesamte Gemeindefläche berechnet.
#02 Land cover replaced by built-up areas #03 Loss of natural and semi natural land cover types #04 Land uptake	Diese Indikatorengruppe bezieht sich auf ausgewählte Veränderungen der Landbedeckungsstruktur: <ul style="list-style-type: none"> ■ Art und Umfang der für Siedlungs- und Verkehrszwecke in Anspruch genommenen Flächen, ■ Verlust an natürlichen und halb-natürlichen Landbedeckungstypen, ■ Flächeninanspruchnahme durch neue Wohn- bzw. Industrie- und Gewerbegebiete.
#05 Land consumption per capita	Der Landverbrauch pro Kopf stellt die rechnerisch auf einen einzelnen Einwohner fallende Siedlungs- und Verkehrsfläche dar (m ² je Einwohner).
#06 Remaining open spaces within building land	Das Ausmaß verfügbarer Freiflächen innerhalb des Siedlungsgefüges, entsprechend amtlich festgelegter Landnutzungs-/Flächenwidmungskategorien (d. h. für zukünftige Bebauung gewidmetes Bauland bzw. Bauerwartungsland).
#07 Potential conflicts between natural spaces and urban development	Dieser Indikator lokalisiert und quantifiziert potenzielle Konfliktflächen aus einer zukünftigen Erweiterung der Siedlungsfläche im Vergleich zu bestehenden natürlichen Flächen.
#08 Fragmentation	Die Fragmentierung (Zerschneidung) der Landschaft durch Siedlungs- und Verkehrsflächen wird durch diesen Indikator dargestellt. Der zugrundeliegende Fragmentierungsparameter ist die „Effektive Maschenweite“ von noch unzerschnittenen Freiflächen.
#09 Coastal erosion in relation to dominant landscape types, Natura 2000 and potential conflicts	Dieser Indikator berechnet den Grad der Flächeninanspruchnahme in Küstengebieten und analysiert potenzielle Konfliktgebiete in von Erosion betroffenen Küstenstreifen.
#10 Population density within built-up areas	In Erweiterung zur Bevölkerungsdichte innerhalb von administrativen Einheiten (z. B. Einwohner pro km ² Gemeindefläche) stellt dieser Indikator die Einwohnerzahl in Relation zur tatsächlichen Siedlungs- oder Wohngebietsfläche (Einwohner pro ha) dar.
#11 Portion of high quality soil built-up	Thema dieses Indikators ist die Analyse der Flächeninanspruchnahme im Vergleich zu hochwertigen, schutzwürdigen Böden.
Pressures on protected areas #12 Coastal and inland areas protected by Natura 2000 #13 Land use changes in the surroundings of protected areas	Der Druck auf geschützte Gebiete durch Flächeninanspruchnahme wird durch diese beiden Indikatoren beschrieben: <ul style="list-style-type: none"> ■ Art und Umfang der Flächeninanspruchnahme innerhalb von Naturschutzgebieten entlang von Küsten bzw. im Hinterland, ■ Art und Umfang der Flächeninanspruchnahme im Nahbereich von Naturschutzgebieten.

Alle Ergebnisse stehen als digitale, thematische Karten und statistische Datenbank direkt für Folgeanalysen zur Verfügung. Die Auslieferung erfolgt auf digitalem Datenträger (CD/DVD) oder online zusammen mit der nötigen technischen Dokumentation (Produktions- und Validierungsbericht).

4.2.2. Datenübernahme und Datenanpassung

Die Produkte von M2.4, M2.6, PR1 und PR2 sind im Jahr 2008 in die Internet- und Intra-netapplikationen des LBEG integriert worden.

Im NIBIS®-Kartenserver sind fünf Karten zu den Themen Flächenverbrauch und Versiegelung eingestellt (z. B. Abb. 21 und Abb. 22). Diese Themen sind frei zugänglich. Der NIBIS®-Kartenserver kann über den Link <http://nibis.lbeg.de/cardomap3/> aufgerufen werden.

Zusätzlich bietet das LBEG diese Themen über den Kartenserver auch als WebMapServices (WMS) an. Diese machen die Karten des LBEG für andere Plattformen (z. B. ArcGIS®) verfügbar.

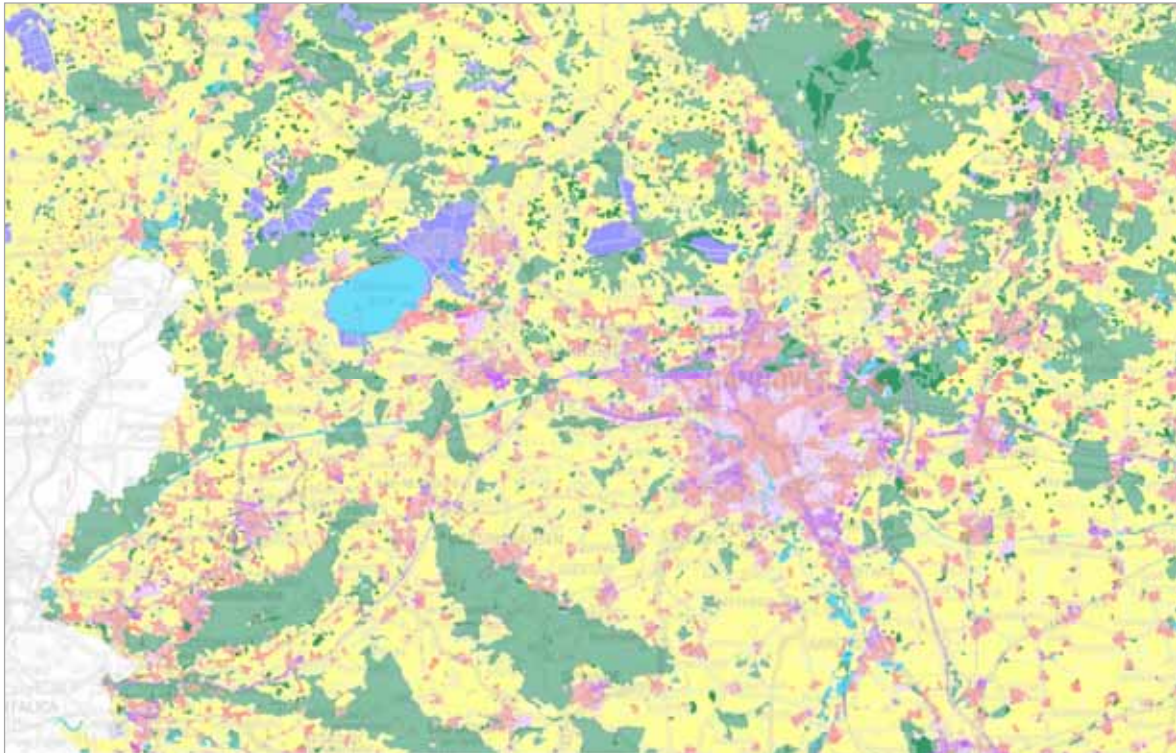


Abb. 21: Karte der Landbedeckung Niedersachsens im Kartenserver des LBEG (Auszug).

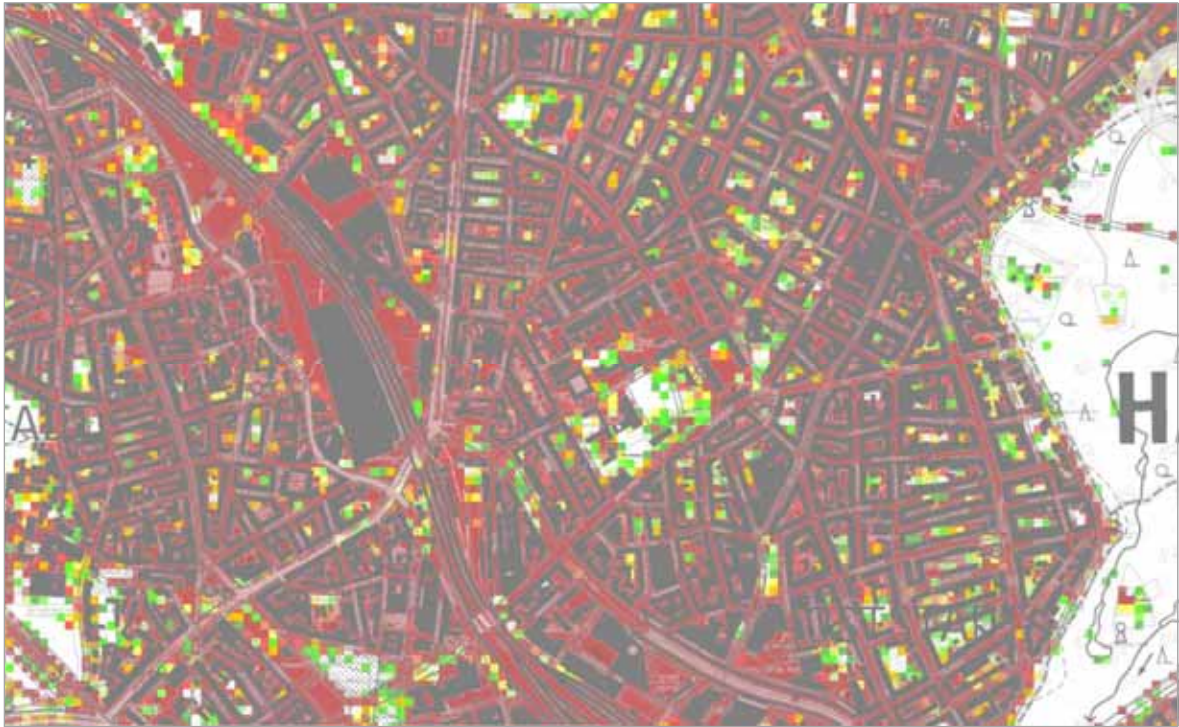


Abb. 22: Karte der Bodenversiegelung Niedersachsens im Kartenserver des LBEG (Auszug).

Bei der Verwendung der Versiegelungsdaten in den hauseigenen Systemen sind einige Probleme aufgetreten, die nachfolgend beschrieben und deren Lösungen aufgezeigt werden.

Rasterdatenweite

Die Originaldaten sind mit einem Raster von 10 x 10 m ausgeliefert worden. Für die Darstellung im Internet ist eine Transformation in ein anderes Datenformat notwendig. Diese Umrechnung kann jedoch mit ArcGIS® für Gesamt-Niedersachsen nicht durchgeführt werden. Daher musste die Auflösung auf ein Raster von 20 x 20 m verkleinert werden.

Immanente Probleme durch die Satellitenbildauswertung

Bei der Analyse der Versiegelungsdaten haben sich bei einigen Strukturen Probleme aus der Satellitenbildauswertung gezeigt:

- Linienelemente wie Straßen oder Flüsse, deren Breite im Bereich der Rasterauflösung liegt, werden nicht überall erkannt. Der Effekt kann sich verstärken, wenn z. B. Straßenbäume die Straßen oder Kanäle verdecken. Das Ergebnis sind unvollständige bzw. nicht mehr vorhandene Linien.

Zur Lösung dieser Probleme werden die Original-Rasterdaten mit ATKIS®-Daten überlagert.

Die Objektgruppe 3100 „Straßenverkehr“ enthält unter anderem die folgenden Objekte:

- 3101 Straße,
- 3102 Weg,
- 3104 Straße (komplex),
- 3105 Straßenkörper,
- 3106 Fahrbahn.

Die Straßen können in ATKIS® auf zwei verschiedene Arten gespeichert werden:

- Wenn sie eine gewisse Größe oder Komplexität haben, werden sie als Polygone entsprechend der verbrauchten Fläche modelliert. Diese können direkt übernommen werden.
- Die Analyse der Daten zeigt, dass die interessierenden Straßen sämtlich als Linien gespeichert sind. In vielen Fällen ist die Breite des Verkehrsweges (BRV) oder die Breite der Fahrbahn (BRF) angegeben. In den weitaus meisten Fällen sind beide Angaben aber nicht vorhanden. Ein großer Teil der Verkehrsstraßen sind als Wege gekennzeichnet. Da aber über die Oberfläche nichts bekannt ist, ist es schwierig, etwas über die Versiegelung zu sagen. Selbst die als Hauptwirtschaftswege gekennzeichneten Linien sind nicht verlässlich versiegelt, sie werden deshalb hier ignoriert.
Aus diesem Grund wird eine Auswahl über das Datenfeld WDM (Widmung) getroffen und allen Linien des Straßenverkehrs entsprechend Tabelle 2 eine Standardbreite zugeordnet, wenn diese nicht in den Daten vorhanden ist:

Tab. 2: Zuweisung von Standardbreiten für ATKIS®-Objekte.

ATKIS®-Objekt		Standardbreite
1301	Autobahn	25 m
1303	Bundesstraße	10 m
1305	Landstraße	7,5 m
1306	Kreisstraße	7,5 m
1307	Gemeindestraße	7,5 m

Die Linienobjekte werden mit der Hälfte ihrer Breite gepuffert und dadurch in Polygone umgewandelt. Der Versiegelungsgrad wird auf 100 % gesetzt.

Die Wasserflächen in der Objektgruppe 5100 enthalten folgende hier relevanten Objekte:

- 5101 Strom, Fluss, Bach,
- 5102 Kanal (Schifffahrt),
- 5103 Graben, Kanal (Wasserwirtschaft).

Genauere Untersuchungen haben gezeigt, dass auch nicht alle Binnenseen korrekt klassifiziert sind. Deswegen wird die Objektart

- 5112 Binnensee, Stausee, Teich

ebenfalls aufgenommen.

Genau wie bei den Straßen sind die Ströme, Flüsse, Bäche und Kanäle zum Teil als Polygone, zum Teil als Linien gespeichert. Auch hier ist die Breite des Gewässers manchmal angegeben (fast immer bei den Gräben), häufig aber nicht. Hier werden diejenigen Gewässerlinien ausgewählt, die eine Breite von mindestens 12 m haben. Diese werden mit der Hälfte ihrer Breite gepuffert und mit den Polygonen zusammengeführt. Die Wasserflächen erhalten den Versiegelungsgrad 0 %.

Abbildung 23 zeigt anhand der Straßen durch den Stadtwald in Hannover, wie sich Datenmanipulationen auf die Qualität der Darstellung auswirken: Vorher erscheinen die Straßen unvollständig oder gar nicht. Nach der Überlagerung mit ATKIS® sind die Linien durchgängig.

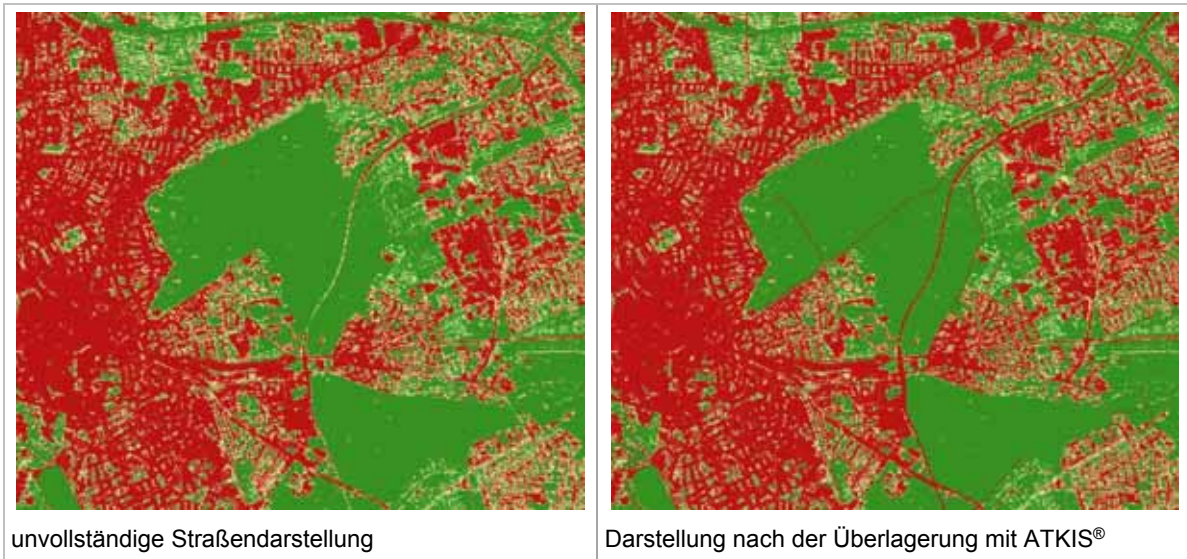


Abb. 23: Karte der Bodenversiegelung Niedersachsens (2005) im Intranetsystem CARDO des LBEG.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Übernahme der ausgewerteten Satellitenbilder eine deutliche Verbesserung der Datengrundlage im NIBIS® bezüglich Versiegelungs- und Landnutzungsdaten bewirkt hat. Die Daten

haben eine höhere Auflösung, und sie sind wesentlich differenzierter als ATKIS®-Daten, insbesondere im städtischen Bereich. Das Beispiel einer Bebauung mit Innenhöfen aus Hannover (Abb. 24) zeigt dies eindrucksvoll:

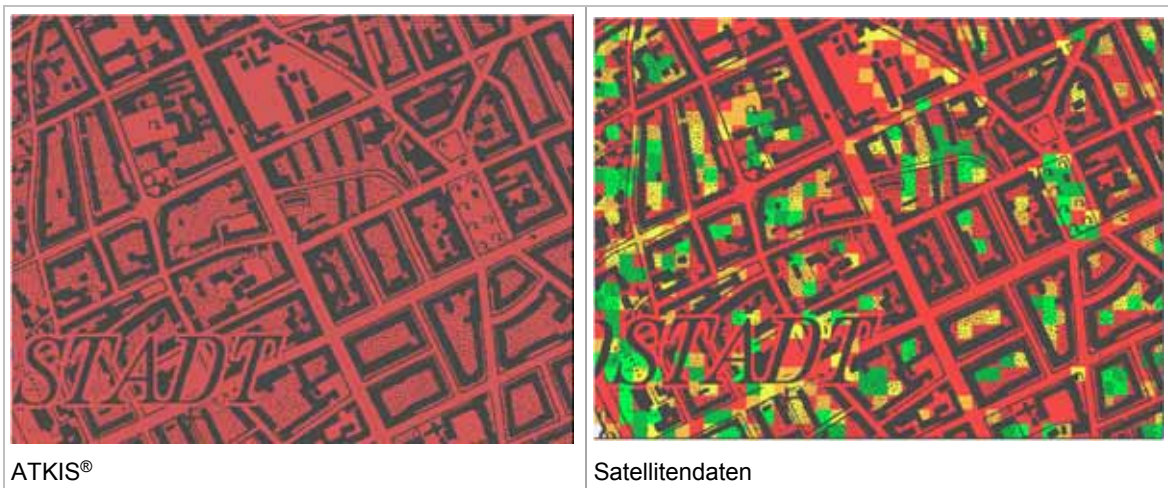


Abb. 24: ATKIS®-DLM25-Ortslagen und Karte der Bodenversiegelung Niedersachsens (2005) im Intranetsystem CARDO des LBEG.

4.2.3. Ergebnisse

4.2.3.1. Landbebeckung

Die Auswertung von Satellitenbildern aus den Jahren 2000 und 2005 wurde hinsichtlich der CORINE-Landbedeckungseinheiten (Ebene 1 für alle Klassen und Ebene 2 für bebaute Flächen) durchgeführt (Abb. 25).

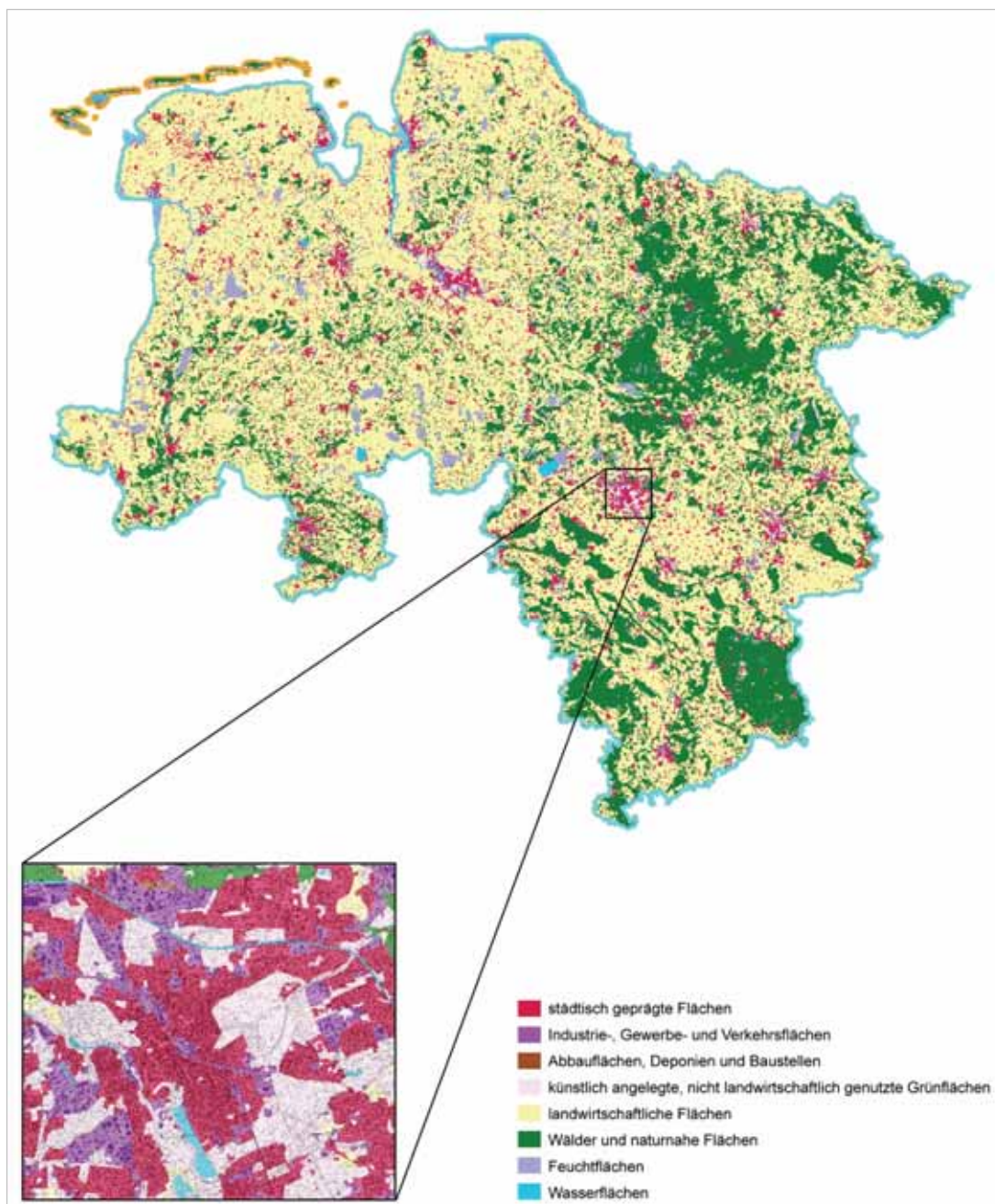


Abb. 25: Karte der Landbedeckung Niedersachsens (2005).

Der größte Teil der Landbedeckung entfällt demnach mit mehr als 60 % auf landwirtschaftliche Flächen, gefolgt von Wäldern und naturnahen Flächen (knapp 25 %). Welchen Anteil die einzelnen Landbedeckungen in Niedersachsen aufweisen, kann Tabelle 3 entnommen werden.

Tab. 3: Anteil der Landbedeckungen an der Gesamtfläche Niedersachsens (Auswertung aus den Satellitenbildern 2005).

Art der Landbedeckung	Anteil an der Gesamtfläche Niedersachsens
städtisch geprägte Flächen	6,8 %
Industrie-, Gewerbe- und Verkehrsflächen	1,5 %
Abbauflächen, Deponien und Baustellen	0,3 %
künstlich angelegte, nicht landwirtschaftlich genutzte Grünflächen	1,4 %
landwirtschaftliche Flächen	61,6 %
Wälder und naturnahe Flächen	24,6 %
Feuchtfächen	2,5 %
Wasserflächen	1,3 %

Der Vergleich der Satellitenbilddauswertungen der Jahre 2000 und 2005 macht deutlich, dass Veränderungen in der Landbedeckung in erster Linie bei den folgenden Nutzungen aufgetreten sind (Tab. 4):

Tab. 4: Nutzungsänderungen 2000–2005 in Niedersachsen mit dem größten Flächenumfang (Auswertung aus den Satellitenbildern 2000 und 2005).

Nutzung 2000	Nutzung 2005	Umfang (in ha)
Feuchtfächen	landwirtschaftliche Flächen	4 027
landwirtschaftliche Flächen	städtisch geprägte Flächen	3 051
landwirtschaftliche Flächen	Industrie-, Gewerbe- und Verkehrsflächen	2 304
landwirtschaftliche Flächen	Abbauflächen, Deponien und Baustellen	1 981

Die großen Änderungen bei den Feuchtfächen resultieren vor allem aus Nutzungsänderungen in zwei großen Moorbereichen: Im Bourtanger Moor im Westen Niedersachsens befanden sich im Jahr 2000 noch große Flächen unter Torfabau, die im Jahr 2005 dann bereits in die Rekultivierung eingeflossen sind. Die vorbereitenden Arbeiten für die Rekultivierung führten dabei zur (irrtümlichen) Klassifikation landwirtschaftlicher Flächen. Im Gebiet westlich des Dümmer wurde Niedermoor unter Grünland umgebrochen und in ackerbauliche Nutzflächen (Maisanbau) überführt.

Von diesen Nutzungsänderungen bei den Mooren abgesehen, liegen die Hauptänderungen in der Umwandlung landwirtschaftlicher Flächen in Siedlungsflächen sowie in Industrie- und Gewerbeflächen (vgl. Tab. 4).

Auch die Daten zur Änderung der Landbedeckung zwischen den Jahren 2000 und 2005 sind auf dem Kartenserver im Internet eingestellt (Abb. 26). Damit kann flurstücksgenau nachvollzogen werden, wo in Niedersachsen im Betrachtungszeitraum beispielsweise neue Baugebiete oder neue Abbauflächen entstanden sind.



Abb. 26: Veränderung der Landbedeckung 2000–2005 in Niedersachsen im Kartenserver des LBEG (Auszug).

4.2.3.2. Bodenversiegelung

Für alle Siedlungsklassen der Landnutzungs-kartierung erfolgte eine pixelbasierte automatische Erfassung des Versiegelungsgrades (Abb. 27) mittels Vegetationsindex (vgl. Kap. 4.1.1). Zwischen der Vegetationsintensität und dem Versiegelungsgrad besteht ein inverser Zusammenhang, d. h. je höher der Vegetationsanteil bei einer Fläche ist, desto geringer ist die Versiegelung. Die Pixelauflösung beträgt 10 m, die Datengenauigkeit liegt bei ca. 80 %.

Nach den Auswertungen der Satellitenbilder (Stand 2005) ist Niedersachsen zu 4,7 % versiegelt. Die Werte liegen damit etwas unter den Versiegelungsgraden, die durch die Auswertung der Katasterdaten ermittelt worden sind (vgl. Kap. 4.1.2).

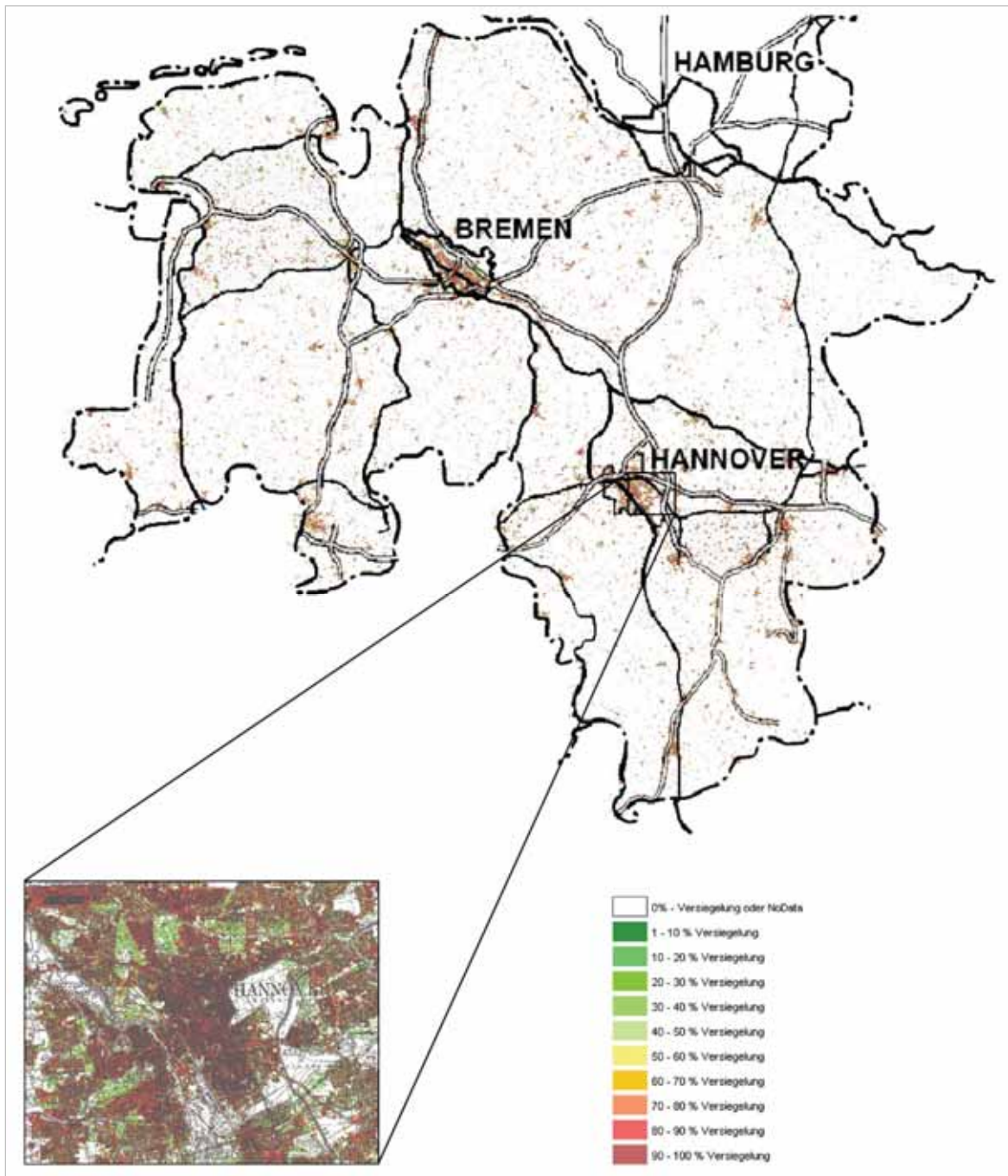


Abb. 27: Karte der Bodenversiegelung in Niedersachsen 2005.

Die Auswertungen zur Bodenversiegelung sind – jeweils für das Jahr 2000 und 2005 – ebenfalls auf dem Kartenserver des LBEG im Internet eingestellt.

Aus einem Vergleich der Versiegelungsdaten 2000 und 2005 lassen sich die Veränderungen in der Bodenversiegelung flurstücksgenau für ganz Niedersachsen ermitteln (Abb. 28).

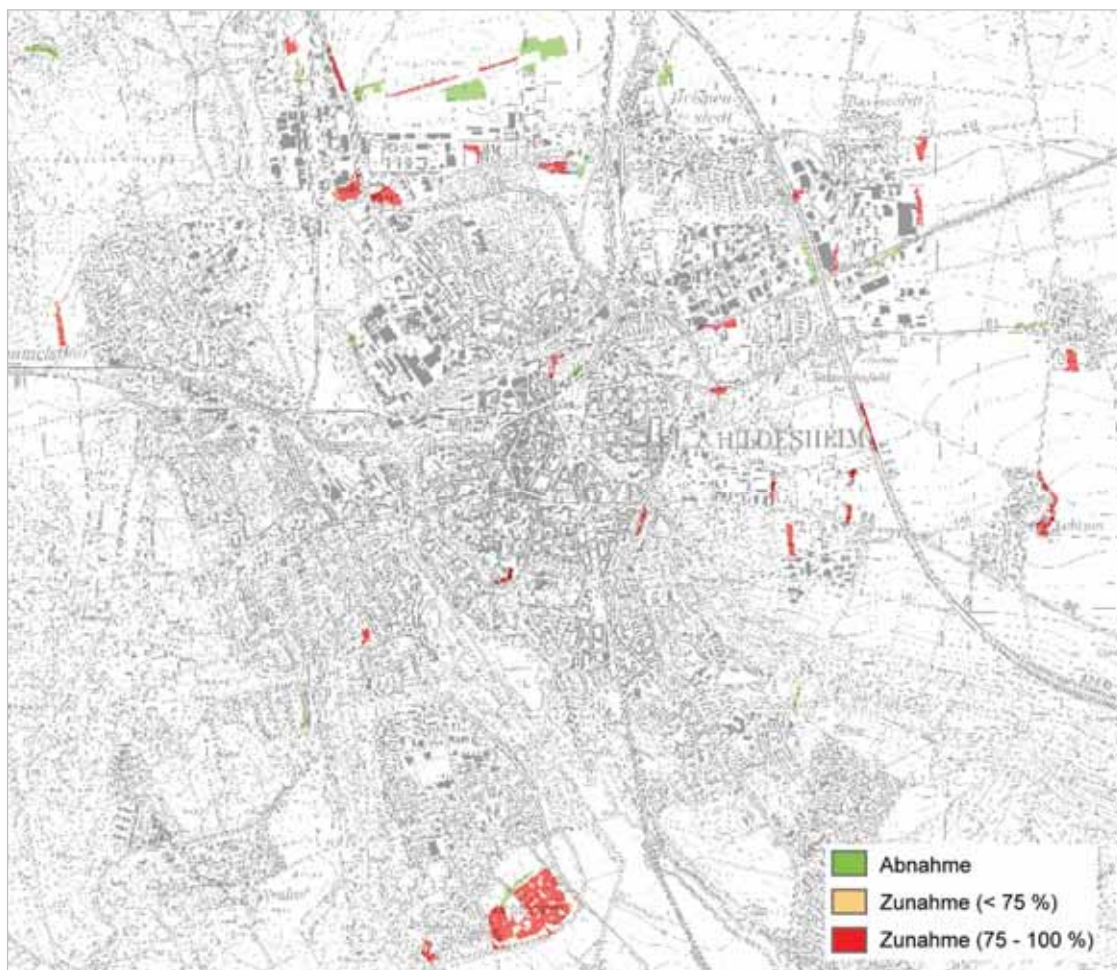


Abb. 28: Veränderung der Bodenversiegelung 2000–2005.

4.2.3.3. Bevölkerungsbezogene Indikatoren – Produkt PR1

Durch Verschneidung der Daten aus der Satellitenbilddauswertung mit den Daten zur Bevölkerung und den Daten zur Wassererosionsgefährdung konnte ermittelt werden, wie hoch beispielsweise der Anteil der Bevölkerung in wassererosionsgefährdeten Gebieten ist (Abb. 29). Da vor allem die Gebiete in den südniedersächsischen Lössbereichen von Wassererosion betroffen sind, liegen dort auch die Bereiche, in denen mit einem unterschiedlich hohem Bevölkerungsanteil in den von Wassererosion gefährdeten Bereichen gerechnet werden muss.

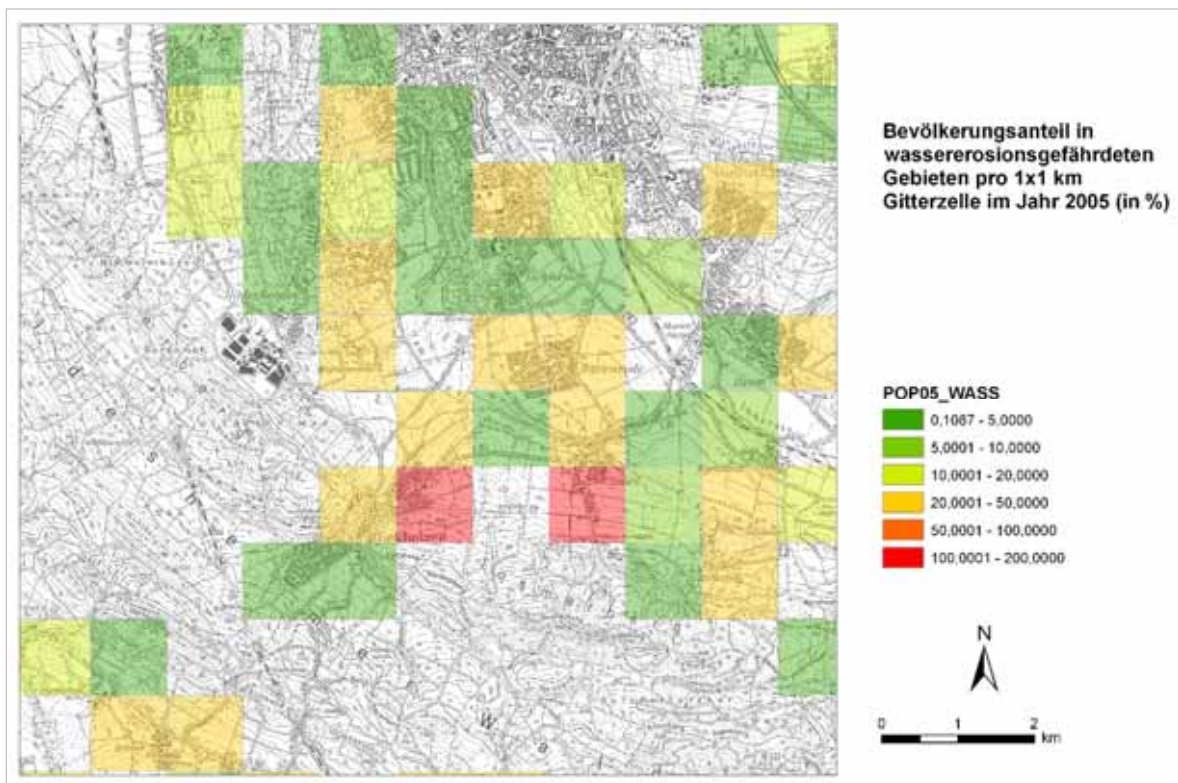


Abb. 29: Bevölkerungsanteil in wassererosionsgefährdeten Gebieten (Produkt PR1 – POP05_WASS).

Abbildung 30 zeigt eine Verschneidung der Bevölkerungszahlen mit der Hochwassergefährdungskarte 1 : 50 000 des LBEG. Für die beiden Gefährdungsstufen 1 (potenziell überflutungsgefährdet) und 2 (in tiefliegenden Bereichen potenziell überflutungsgefährdet) werden auf einem 1x1-km-Gitter die jeweiligen Bevölkerungsanteile angegeben, soweit überflutungsgefährdete Bereiche betroffen sind.

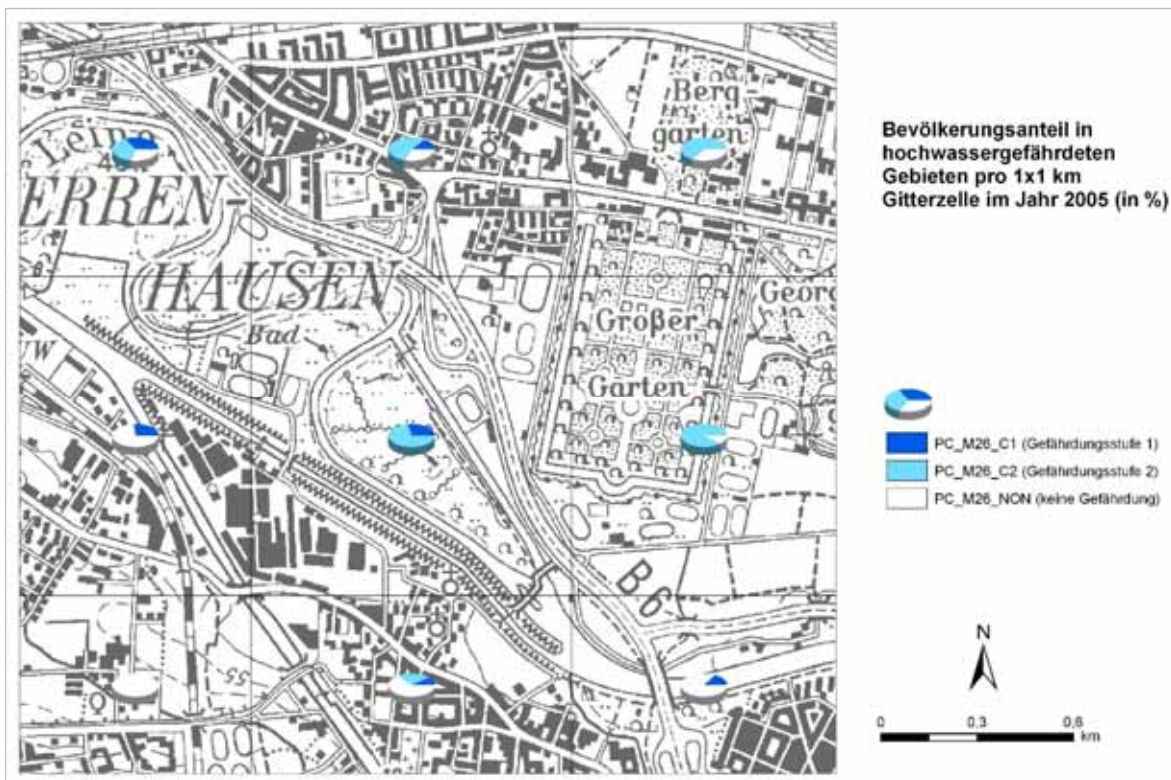


Abb. 30: Anteil der Bevölkerung in Hochwassergefährdungsgebieten (Produkt PR1 – PC_M26).

Alle Berechnungen und Auswertungen, die unter Einbeziehung von Bevölkerungsdaten durchgeführt worden sind (PR1-Produkte, vgl. Kap. 4.2.1), sind im Anhang 3 aufgeführt.

4.2.3.4. Flächen- und schutzgebietsbezogene Indikatoren – Produkt PR2

Die Wohngebiete haben nach Auswertung der Satellitenbilder in den Jahren von 2000 bis 2005

niedersachsenweit um insgesamt fast 40 km² zugenommen, wobei die Gemeinden mit den höchsten Zunahmen Braunschweig (136 ha) und Wolfsburg (90 ha) sind (Abb. 31). Bei den Industrie- und Gewerbegebieten lag die Zunahme insgesamt bei ca. 28 km².

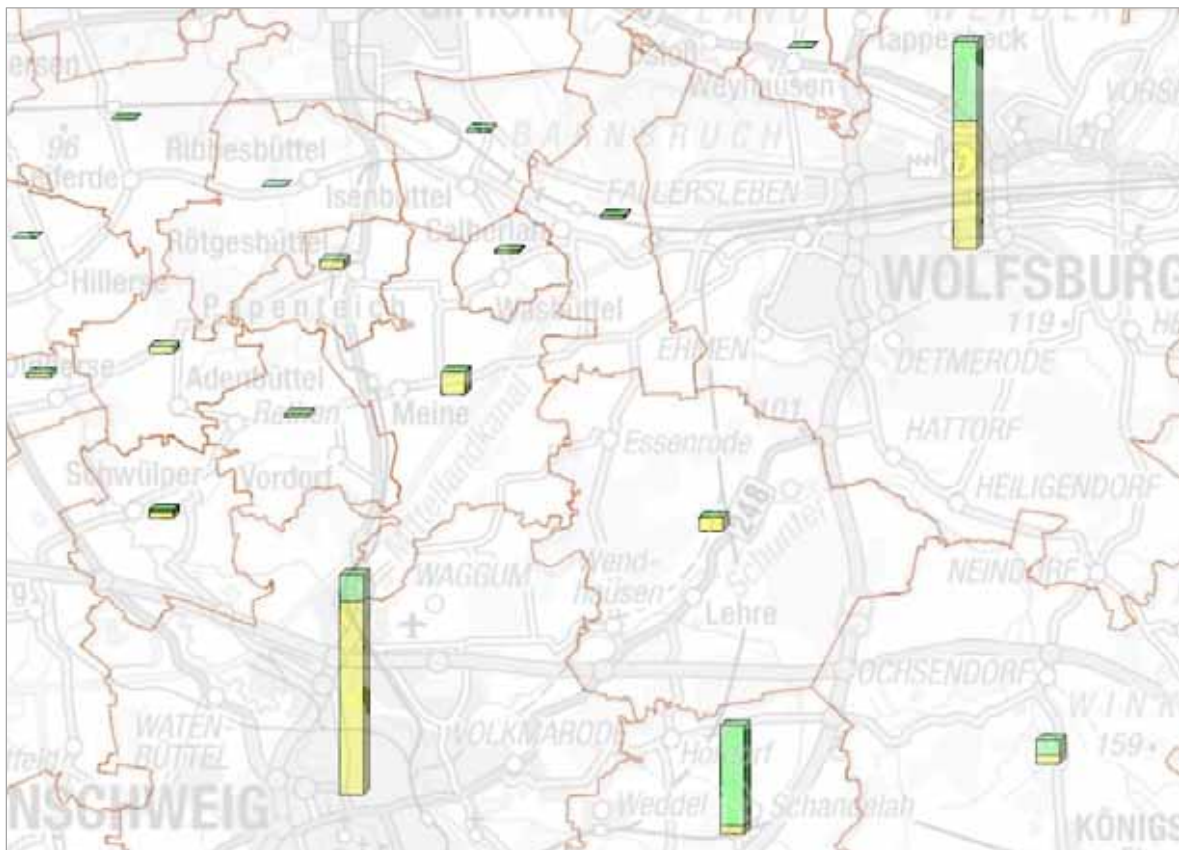


Abb. 31: Zunahme der Wohnflächen sowie der Gewerbe- und Industrieflächen in den Gemeinden in Niedersachsen in den Jahren 2000–2005 (Produkt PR 2 – Ind 04).

Insgesamt wurden in den Jahren 2000–2005 nach der Auswertung der Satellitenbilder fast 85 km² neu bebaut. Danach waren durch die Neubebauung mehr als 90 % der bis dahin landwirtschaftlich genutzten Flächen und zu ca. 8 % Wälder und naturnahe Flächen betroffen.

Für den Bodenschutz von besonderer Bedeutung ist die Frage, inwieweit der Flächenverbrauch besonders schutzwürdige Böden betrifft. Zu den schutzwürdigen Böden zählen insbesondere Böden mit hoher Lebensraumfunktion:

- Böden mit besonderen Standortbedingungen,
- Böden mit hoher natürlicher Bodenfruchtbarkeit

sowie Böden mit hoher Archivfunktion:

- Böden mit hoher naturgeschichtlicher Bedeutung,
- Böden mit hoher kulturgeschichtlicher Bedeutung,
- seltene Böden.

Im Rahmen von Planungs- und Genehmigungsverfahren sind diese Böden regelmäßig im Abwägungsprozess zu berücksichtigen (vgl. GUNREBEN & BOESS 2008). Deshalb wurden bei der Auswertung von Satellitenbildern auch Verschneidungen mit den schutzwürdigen Böden vorgenommen.

In Abbildung 32 ist beispielhaft dargestellt, wie hoch in den niedersächsischen Gemeinden die Zunahme bebauter Gebiete auf Böden mit hoher natürlicher Bodenfruchtbarkeit ist.

Insbesondere die südlichen Umlandgemeinden Hannovers, aber auch Teile der Braunschweiger und Hildesheimer Börde weisen eine hohe Zunahme von Siedlungsgebieten auf Böden mit hoher natürlicher Bodenfruchtbarkeit auf.

Welche Datenauswertungen zusätzlich vorgenommen wurden sowie alle durchgeführten Berechnungen zu Umweltindikatoren (PR2-Produkte) sind im Anhang 4 aufgeführt.

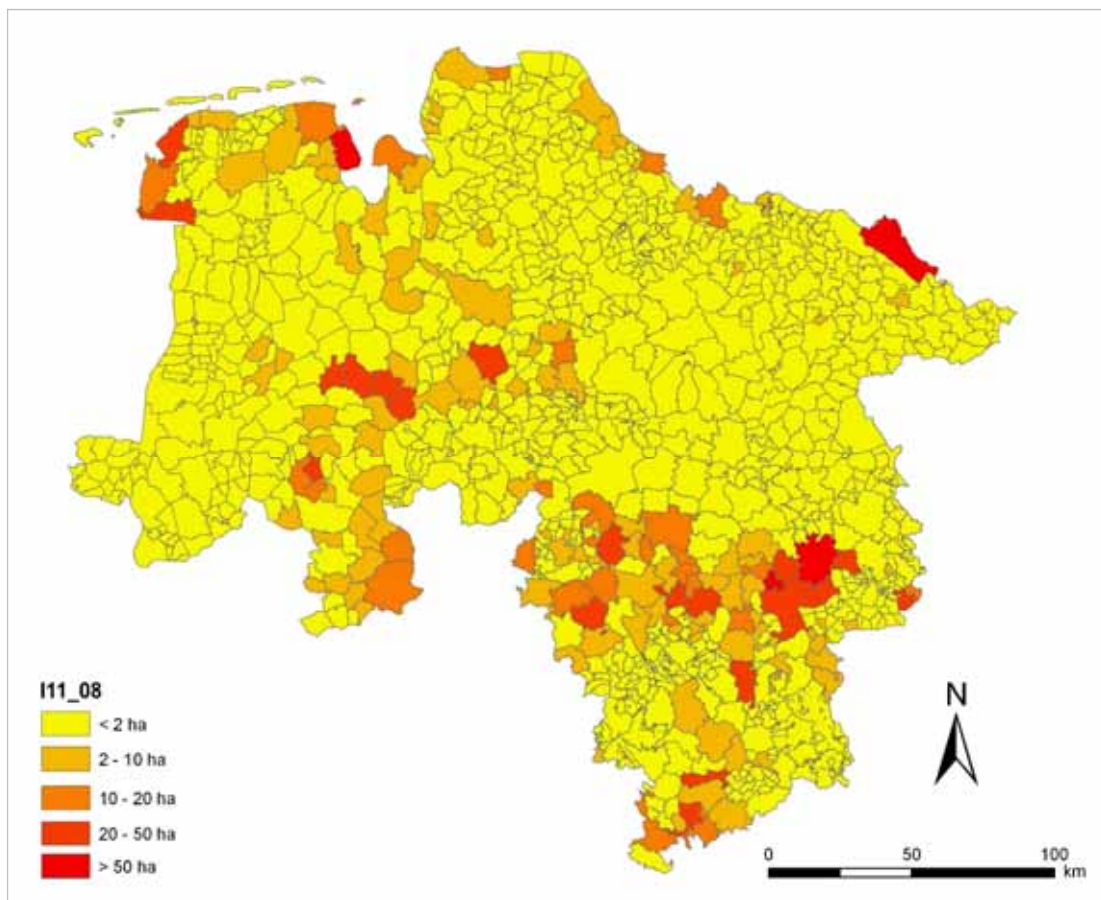


Abb. 32: Zunahme der bebauten Flächen 2000–2005 auf Böden mit hoher natürlicher Bodenfruchtbarkeit (Satellitenbildauswertung, PR2 – Ind 08).

5. Empfehlungen zur Reduktion von Flächenverbrauch und Bodenversiegelung

5.1. Rechtlicher Rahmen

Den rechtlichen Rahmen sowohl für die Eindämmung des Flächenverbrauches wie für die Neuversiegelung von Böden bildet neben der Raumordnung insbesondere die Bauleitplanung. Auch die naturschutzrechtliche Eingriffsregelung stellt mit ihren Vermeidungs-, Minimierungs- und Kompensationsgeboten ein geeignetes Instrument zur Begrenzung der Flächeninanspruchnahme dar (vgl. auch GUNREBEN & SCHNEIDER 2001).

5.1.1. Raumordnungsrecht

Übergeordnete planerische Bedeutung hat die Raumordnung, auf deren Grundlage die Bauleitplanung erfolgt. Das Raumordnungsgesetz (ROG) bildet den Rahmen für die überörtliche Landesplanung und nennt dabei für den Bodenschutz die folgenden Grundsätze, die für die Verminderung des Flächenverbrauches von Belang sind (vgl. § 2 ROG):

- Vorrang der Wiedernutzung brach gefallener Siedlungsflächen vor der Inanspruchnahme von Freiflächen und
- Sicherung bzw. funktionale Wiederherstellung der Freiräume in ihrer Bedeutung für funktionsfähige Böden, für den Wasserhaushalt, die Tier- und Pflanzenwelt sowie für das Klima.

Die Grundsätze und Ziele für die Raumordnung und Landesplanung in Niedersachsen sind im niedersächsischen Landesraumordnungsprogramm (LROP) niedergelegt. Zum Bodenschutz und dabei besonders zur Begrenzung des Flächenverbrauches sind die folgenden Vorschriften formuliert (LROP 2008):

- Die nicht durch Siedlungs- oder Verkehrsflächen in Anspruch genommenen Freiräume sollen zur Erfüllung ihrer vielfältigen Funktionen insbesondere bei der Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen, dem Erhalt der Kulturlandschaften,

der landschaftsgebundenen Erholung sowie der Land- und Forstwirtschaft erhalten werden.

- Die Freiräume sind zu einem landesweiten Freiraumverbund weiterzuentwickeln. Die Funktionsvielfalt des landesweiten Freiraumverbundes ist zu sichern und zu entwickeln.
- Die weitere Inanspruchnahme von Freiräumen für die Siedlungsentwicklung, den Ausbau von Verkehrswegen und sonstigen Infrastruktureinrichtungen ist zu minimieren. Bei der Planung von raumbedeutsamen Nutzungen im Außenbereich sollen möglichst große unzerschnittene und von Lärm unbeeinträchtigte Räume erhalten, naturbetonte Bereiche ausgespart und die Flächenansprüche und die über die direkt beanspruchte Fläche hinausgehenden Auswirkungen der Nutzung minimiert werden.
- Böden sollen als Lebensgrundlage und Lebensraum, zur Erhaltung der biologischen Vielfalt und in ihrer natürlichen Leistungs- und Funktionsfähigkeit gesichert und entwickelt werden. Flächenbeanspruchende Maßnahmen sollen dem Grundsatz des sparsamen Umgangs mit Grund und Boden entsprechen; dabei sollen Möglichkeiten der Innenentwicklung und der Wiedernutzung brachgefallener Industrie-, Gewerbe- und Militärstandorte genutzt werden. Böden, welche die natürlichen Bodenfunktionen und die Archivfunktionen in besonderem Maß erfüllen, insbesondere Böden mit einer hohen Lebensraumfunktion, sollen erhalten und vor Maßnahmen der Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung besonders geschützt werden.

Im Unterschied zur Bundesraumordnung, deren Festlegungen sich auf die Planungsebene beziehen, zwingen die landesplanerischen Ziele sämtliche öffentlichen Planungsträger zur Beachtung. Die landesweit bindenden Konzepte der Landesplanung fordern von den kommunalen Gebietskörperschaften eine Anpassung ihrer Planungen an die jeweiligen landesplanerischen Ziele.

5.1.2. Baurecht

Soweit die landesplanerischen Ziele sich auf die Bauleitplanung beziehen, die die bauliche und sonstige Nutzung von Grundstücken in einem Gemeindegebiet regelt, ist durch die Anpassung der kommunalen Planung eine Bindung an die Landesvorgaben gegeben.

Zu den Bauleitplänen zählen der Flächennutzungsplan als vorbereitender Bauleitplan, der das gesamte Gemeindegebiet abdeckt, und der Bebauungsplan als rechtsverbindlicher Bauleitplan, der sich nur auf einen Teilbereich des Gemeindegebietes bezieht. Die Bauleitplanung soll neben einer nachhaltigen städtebaulichen Entwicklung auch dazu beitragen, die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen. Die Bauleitplanung und somit die städtebauliche Entwicklung wird durch das Baugesetzbuch (BauGB) geregelt. Im Baugesetzbuch liegen vorwiegend allgemeine Regelungen zum Schutz des Bodens vor. Von zentraler Bedeutung ist die sogenannte Bodenschutzklausel:

- Mit Grund und Boden soll sparsam und schonend umgegangen werden, dabei sind Bodenversiegelungen auf das notwendige Maß zu begrenzen (§ 1a Abs. 1 BauGB).

Neben der Minimierung der Flächeninanspruchnahme muss also die Begrenzung der Bodenversiegelung bei der Aufstellung der Bauleitpläne im Vordergrund stehen.

Die Gemeinden sind des Weiteren dazu verpflichtet (§ 1a Abs. 2 BauGB), zu erwartende Eingriffsfolgen in Natur und Landschaft zu vermeiden und auszugleichen (Eingriffsregelung nach dem Bundesnaturschutzgesetz). In der Regel stellt die Versiegelung des Bodens einen Eingriff im Sinne des Naturschutzrechtes dar, da sie eine Veränderung der Gestalt oder Nutzung von Grundflächen darstellt und die Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts oder des Landschaftsbildes erheblich oder nachhaltig beeinträchtigt. Der Verursacher des Eingriffs ist verpflichtet, entstehende erhebliche oder nachhaltige Beeinträchtigungen entsprechend auszugleichen. Ein Ausgleich ist z. B. durch Entsiegelungsmaßnahmen möglich.

5.2. Planungsinstrumentarien

Ohne eine Weiterentwicklung bestehender und gegebenenfalls eine Einführung neuer planerischer Instrumentarien ist nach Einschätzung von Experten eine Reduzierung der Flächeninanspruchnahme für Siedlungen und Verkehr allerdings nicht möglich (BfN 2008, UBA 2004). Im Folgenden werden exemplarisch einige der Instrumente vorgestellt, die als besonders effektiv eingeschätzt werden.

5.2.1. Flächenrecycling

Durch die Wiedernutzung ehemaliger Industrie- oder Gewerbebrachen kann die Neuausweitung von Flächen in bisher unbebauten Außenbereichen gemindert werden.

Die Brachflächen sind in der Regel gut erschlossen, besitzen eine überwiegend gute Infrastruktur und befinden sich häufig in einer für die Folgenutzung günstigen Lage. Oft sind auf diesen Grundstücken allerdings Schadstoffbelastungen aus der Vornutzung anzutreffen, deren Art und Höhe in der Regel nicht bekannt ist. Trotzdem sind diese Flächen zumeist nur eingeschränkt altlastenrelevant und daher ohne aufwändige Sanierungsmaßnahmen wieder nutzbar. Die Unkenntnis über die Schadstoffbelastung verhindert jedoch häufig, dass diese Flächen zügig vermarktet werden und stattdessen Wohn- und Gewerbegebiete eher am Stadtrand auf der „grünen Wiese“ errichtet werden. Die Erfassung und Bewertung der Industrie- und Gewerbebrachen in einem Brachflächenkataster kann wesentlich zur Verbesserung der Datensituation beitragen. Die Bewertung des Altlastenrisikos der Gewerbe- und Industriebrachen erleichtert die Vermarktung der Standorte, indem Investoren gezielt informiert werden können (DAHLMANN, HERNANDEZ DIAZ & SCHNEIDER 2007).

Die freiwillige Sanierung von Brachflächen ist in Niedersachsen aus Mitteln des EFRE-Strukturfonds für die Förderperiode 2014–2020 förderfähig. „Gefördert werden Vorhaben zur Sanierung verschmutzter Brachflächen (einschließlich Flächen in Umwandlungsgebieten (Konversionsflächen)) mit dem Ziel der nachhaltigen Nachnutzung“. „Gegenstand der Förderung ist insbesondere die Sanierung von schädlichen Bodenveränderungen oder Altlasten. Eingeschlossen sind erforderliche Detailplanungen und Überwachungsmaßnahmen“ (MU 2015).

Die Förderung dient der Verminderung der Inanspruchnahme bisher nicht bebauter Flächen.

Zurzeit bestehen noch große Unsicherheiten bei der quantitativen und qualitativen Abschätzung der Gewerbe- und Industriebrachen in Niedersachsen, aber auch bundesweit. Flächendeckende Kataster gibt es derzeit noch nicht. Angaben zu den Potenzialen beruhen daher auf Schätzungen. Nach einer Studie des Umweltbundesamtes belaufen sich die Brachflächenpotenziale auf durchschnittlich 4,5 % der Gesamtfläche einer Gemeinde. Diese ungenutzten Potenziale können, rein rechnerisch gesehen, den gesamten realistisch geschätzten Neuansiedlungsbedarf in den Gemeinden kurzfristig, zum Teil auch mittelfristig, decken (UBA 1998).

In der Wohnbauland-Umfrage 2014 des Landes Niedersachsen (N-BANK 2014) wurde auch das

Brachflächenpotenzial in den niedersächsischen Kommunen abgefragt (Abb. 33). Das gesamte Brachflächenpotenzial in Niedersachsen betrug demnach Ende 2003 rund 6 050 ha. Den Großteil der Brachen mit 4 707 ha stellen ehemalige Militärflächen. Deutlich geringer ist der Anteil der Industrie- und Gewerbebrachen mit 1 100 ha. Post- und Bahnbrachen sind mit nur 240 ha vertreten.

Mit Eignung für Wohnnutzung standen Ende 2013 in Niedersachsen gut 1 400 ha Brachflächen zur Verfügung. Davon entfielen mit 1 010 ha nahezu 75 % auf Militärbrachen. 22 % stellten Industrie- und Gewerbebrachen mit Flächen von 320 ha. Die verbleibenden 70 ha sind Bahn- und Postbrachen. Von den 1 400 ha für eine Wohnnutzung geeigneten Brachflächen liegen allerdings nur 380 ha tatsächlich innerhalb von Siedlungsbereichen.



Abb. 33: Brachflächenpotenziale in Niedersachsen (N-BANK 2014: 30).

5.2.2. Innenverdichtung

Auch durch den Vorrang der Innenverdichtung vor der Außenentwicklung können bisher nicht bebaute Böden an den Rändern von Städten und Gemeinden geschont werden.

Dabei sollten die zulässigen Bebauungsdichten stärker als bisher ausgenutzt werden. Um eine weiter gehende Ausnutzung der Grundflächen zu erreichen und den Flächenverbrauch durch Wohn- und Gewerbebebauung zu verringern, ist es aus Sicht des Bodenschutzes notwendig, sich den zulässigen Obergrenzen des Baurechts mehr als bisher anzunähern. Insbesondere bei der Neuausweisung von Gewerbegebieten in den Randbereichen der Verdichtungsräume ist eine Reduzierung des extensiven Flächenverbrauches empfehlenswert. Nicht selten werden dort durch die großzügige, auf die Fläche statt in die Höhe gehende Bauweise, beispielsweise von Baumärkten und Einkaufszentren auf der grünen Wiese, Freiflächen verbaut und für den Bodenschutz hochwertige Flächen in Anspruch genommen.

Die konsequente Unterschreitung der planrechtlichen Grenzwerte bei Neuausweisungen von Wohnbau- sowie Gewerbe- und Industrie-flächen hat in der Vergangenheit zu einem intensiven Flächenverbrauch geführt, der den Zielen des Bodenschutzes entgegensteht. Die Festsetzung von Grundflächen- und Geschossflächenzahlen für Teile eines Baugebietes bzw. für einzelne Grundstücke im Bebauungsplan obliegt den Gemeinden und darf lediglich die zulässigen Obergrenzen nach Baunutzungsverordnung (BauNVO) nicht überschreiten. Es wird jedoch deutlich, dass die benannten Höchstwerte für die meisten Baugebietstypen nicht einmal annähernd zur Hälfte ausgeschöpft werden. Langfristig muss aus Sicht des Bodenschutzes eine stärkere Annäherung an die gesetzlichen Obergrenzen gefordert werden. Daneben besteht auch nach §§ 16 und 17 BauNVO die Möglichkeit, Mindestmaße sowie Ausnahmen vom Höchstmaß der baulichen Nutzung im Bebauungsplan festzusetzen.

Zu einer dauerhaften Verminderung des intensiven Flächenverbrauches ist es aus Sicht des Bodenschutzes jedoch erstrebenswert, generell ein Mindestmaß an Bebauungsdichte (vgl. § 16 Abs. 4 BauNVO) – d. h. untere Grenzwerte für Geschossflächenzahl (GFZ) und Grundflächenzahl (GRZ) – zu schaffen, die mit einer selbstbindenden Wirkung für die Gemeinden in den

Festsetzungen der Bebauungspläne nicht unterschritten werden sollten, wie es bereits 2003 im niedersächsischen Bodenqualitätszielkonzept empfohlen wurde (Tab. 5).

Tab. 5: Empfohlene Qualitätsstandards für Mindestdichten der Bebauung (GUNREBEN et al. 2003).

Baugebiete	Grundflächen-dichte	Geschoss-flächen-dichte
Kleinsiedlungsgebiete	0,1	0,2
reine und allgemeine Wohngebiete sowie Ferienhausgebiete	0,2	0,6
besondere Wohngebiete	0,3	0,8
Dorfgebiete und Mischgebiete	0,3	0,6
Kerngebiete	0,5	1,5
Gewerbegebiete, Industriegebiete und sonstige Sondergebiete	0,4	1,2
Wochenendhausgebiete	0,1	0,1

Die Entwicklung zu flächensparendem Bauen verharrt demgegenüber – vor allem im Geschossflächenbau – seit etwa zehn Jahren auf niedrigem Niveau.

5.2.3. Handelbare Flächenausweisungsrechte

Das Modell handelbarer Nutzungsrechte ist aus dem Emissionshandel bekannt. Gegenwärtig in der Erprobung befindet sich eine entsprechende Anwendung auch für den Handel mit Flächenzertifikaten. Im Koalitionsvertrag der Regierungsparteien vom Oktober 2009 wurde vereinbart, „einen Modellversuch zu initiieren, in dem Kommunen auf freiwilliger Basis ein überregionales Handelssystem für die Flächennutzung erproben“ (CDU, CSU/FDP 2009). In einem Modellvorhaben im Auftrag des Umweltbundesamtes wurde daraufhin der Flächenzertifikatehandel wissenschaftlich untersucht und ein Praxistest vorbereitet (UBA 2012). Aktuell wird Handel mit Flächenzertifikaten erstmals überregional mit verschiedenen Kommunen in der Praxis erprobt (UBA 2015).

Den Kommunen werden Flächenzertifikate zugeteilt. Nur unter Nutzung von Flächenzertifikaten ist die Schaffung von neuem Baurecht im Außenbereich möglich. Baumaßnahmen im In-

nenbereich oder auf Brachflächen (Militär-, Industrie- oder Gewerbebrachen) sind hingegen ohne Flächenzertifikate durchführbar. Die Zertifikate sind unter den Kommunen handelbar. Flächensparende Planungen werden so ökonomisch lohnenswert, weil die nicht benötigten Zertifikate an solche Kommunen verkauft werden können, die einen höheren Ausweisungsbedarf haben und zusätzliche Rechte zukaufen möchten. Eine Siedlungsflächenzunahme würde nur noch in den Bereichen stattfinden, in denen die höchste Nachfrage besteht. Eine sogenannte Flächenangebotspolitik, bei der Flächen auf Vorrat ausgewiesen werden, in der Hoffnung, neue Einwohner oder Betriebe anzuziehen (UBA 2015) wäre ökonomisch nicht mehr attraktiv, wenn sich eingesparte Zertifikate am Markt gewinnbringend verkaufen lassen.

5.3. Baumaßnahmen

Wie schon im Kapitel 5.1.2 erwähnt, wird die bauliche und sonstige Nutzung von Grundstücken in einem Gemeindegebiet in der Bauleitplanung festgelegt. So können die Kommunen im Bebauungsplan unter anderem festsetzen, dass z. B. wenig frequentierte Verkehrsflächen, öffentliche Parkplätze, Stellplätze auf privaten Grundstücken sowie deren Zufahrten und Hofflächen mit einer wasserdurchlässigen Oberflächenbefestigung herzustellen sind. Dadurch bleibt die natürliche Funktion des Bodens erhalten, und das Niederschlagswasser kann versickern.

5.3.1. Belag- und Baustoffwahl

Damit der Boden weiterhin seine natürlichen Funktionen ausüben kann, sollte bei der Planung zur Gestaltung der Grundstücke im privaten und auch öffentlichen Bereich sowie bei Verkehrsflächen immer vorab geprüft werden, ob eine wasserdurchlässige Oberflächenbefestigung möglich ist. Nur dort, wo das Niederschlagswasser in ausreichendem Maße in den Boden versickern kann, bleibt der natürliche Wasserkreislauf erhalten. Der Boden speichert das Wasser, reinigt es beim Durchlaufen der Bodenschichten und führt es dem Grundwasser zu. Durch die Wasserspeicherung im Boden kann ein Teil des Wassers auch über die Vegetation verdunsten und somit zur Erhaltung des Kleinklimas beitragen. Die Lebensbedingungen

für die Menschen und Tiere bleiben erhalten oder werden noch verbessert.

Zur Befestigung von Zufahrten, Wegen, Stellplätzen usw. bieten sich versickerungsfähige Beläge an, die im Handel in umfangreicher Produktpalette angeboten werden und sich sehr gut zur natürlichen Gestaltung verschieden genutzter Bereiche eignen.

Empfehlenswert ist es, sich schon bei der Planung der Baumaßnahme von entsprechenden Fachleuten beraten zu lassen.

5.3.1.1. Versickerungsfähige Beläge

Entscheidend für die Wahl der Oberflächenbefestigung sind neben der Optik die Nutzungsart und die Nutzungsintensität. Nicht jede Oberflächenbefestigung eignet sich in gleichem Maße für die auf einem Grundstück anfallenden Nutzungsarten. So eignet sich z. B. eine Oberflächenbefestigung mit Rasengittersteinen sehr gut zur Versickerung des Niederschlagswassers, erfüllt aber die Ansprüche an den Geh- bzw. Fahrkomfort (Benutzung mit Kinderwagen) eher schlecht. Da jedoch verschiedene Beläge miteinander kombiniert werden können, ergibt sich eine große Vielfalt an Gestaltungsmöglichkeiten.

Folgende Kriterien sollten für die Planung der Oberflächenbefestigung beachtet werden:

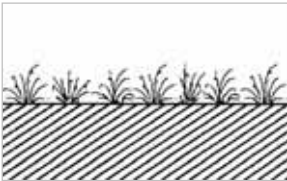
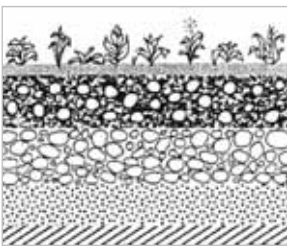
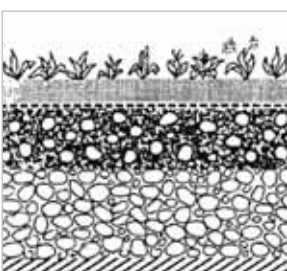
- **Belastbarkeit:** Die Oberflächenbefestigung muss den Ansprüchen der Nutzungsart gerecht werden.
- **Wasserdurchlässigkeit:** Es muss gewährleistet sein, dass das Niederschlagswasser dauerhaft in den Untergrund versickern kann.
- **Gefälle:** Für eine optimale Versickerung nicht vorgesehen. Bei wasserdurchlässigen Verkehrsflächen ist zur Ableitung von Niederschlagswasser in seitliche Entwässerungsanlagen eine Querneigung von 1 % zu berücksichtigen.
- **Porenanteil:** Eine hohe Permeabilität der Oberfläche ist für die Wasserversickerung maßgebend.
- **Fugenbreite und Fugenfüllung:** Ein hoher Fugenanteil und eine Fugenfüllung mit grobkörnigem Material (z. B. Splitt) gewährleisten eine gute Versickerung.

- Tragschicht: Der Aufbau und die Schichtdicke der Tragschichten sind abhängig vom Untergrund und variieren je nach Wahl des Oberflächenbelages und den Nutzungsansprüchen. Zur Erhaltung der Durchlässigkeit darf keine Vermischung der aufeinander folgenden Tragschichten durch Ausspülung von Feinanteilen des Materials erfolgen, was u. a. durch den Einbau eines Trennvlieses vermieden werden kann.
- Untergrund: Für die Aufnahme des Wassers und Weiterleitung in das Grundwasser ist die Beschaffenheit des Untergrundes wichtig. Die Wasserdurchlässigkeit ist abhängig vom anstehenden Boden und weist im Idealfall einen k_f -Wert von $\geq 1 \times 10^{-5}$ m/s auf. Mit Einschränkungen ist eine Regenwasserversickerung allerdings noch bis zu einer Durchlässigkeit von $k_f > 10^{-6}$ möglich.

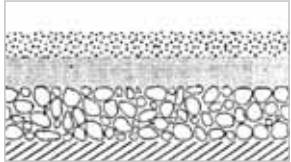
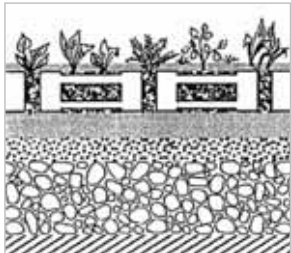
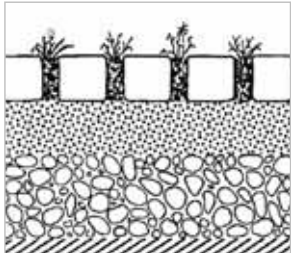
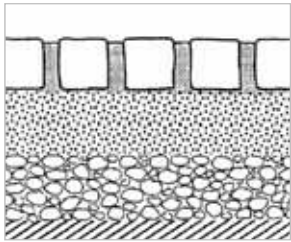
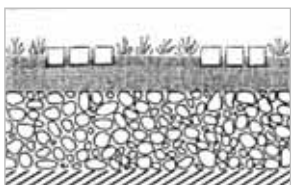
Eine Flächenbefestigung besteht immer aus dem Oberflächenbelag und einem Unterbau (Tragschicht). Der Aufbau der Tragschicht hängt von der Bodenbeschaffenheit sowie der zu erwartenden Belastung ab, ist dementsprechend zu dimensionieren und unter Verwendung geeigneter Materialien (z. B. Kies/Schotter) herzustellen. Erforderliche Mindeststandards sind in verschiedenen Regelwerken (z. B. FGSV 1995a, FGSV 2001, FGSV 2002, FGSV 2007a, FGSV 2007b und DIN-Normen (z. B. DIN 4020 (2003), DIN EN 1997-2 (2007), DIN 18130-1 (1998), DIN 18315 (2006), DIN 18316 (2006)) vorgegeben und sollten bei der Planung unbedingt beachtet werden.

In Tabelle 6 werden zur Übersicht verschiedene versickerungsfähige Bodenbeläge, deren Eigenschaften und mögliche Anwendungsbereiche genannt.

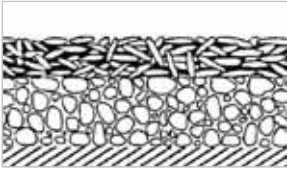
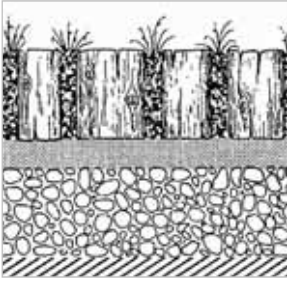
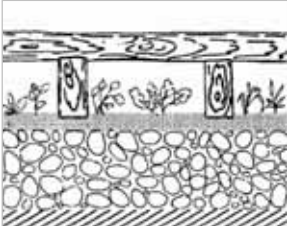
Tab. 6: Eigenschaften und Anwendungsbereiche versickerungsfähiger Belagsarten, nach STADT SIEGEN (2006), GUNREBEN & SCHNEIDER (2001), GREITEN (2003).

Belagsart und Aufbau	Eigenschaften	Anwendungsbereich
Rasenflächen 	+ hohe Versickerung, + Erhalt von Bodenfunktionen und Wasserhaushalt, + Lebensraum für Pflanzen und Tiere, - geringe Belastbarkeit.	<ul style="list-style-type: none"> ■ gelegentlich benutzte Parkflächen, ■ Seitenstreifen von Straßen, ■ Fußwege.
Schotterrassen 	+ voll versickerungsfähig, + gute Tragfähigkeit, + vielfältiger Pflanzenbewuchs, + natürliches Erscheinungsbild, - Gesteinsverlagerung bei Brems- oder Anfahrvorgängen möglich, - Spurrillenbildung.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Stellflächen, ■ Spielflächen, ■ wenig frequentierte Verkehrsflächen wie Zufahrten und Parkplätze, Festplätze, Feuerwehrezufahrt.
Geotextilschotter 	+ gute Versickerung, + durch Geotextilgewebe erhöhte Tragfähigkeit, + durchgehende Pflanzendecke, - Gesteinsverlagerung bei Brems- oder Anfahrvorgängen möglich.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Stellflächen, ■ Zufahrtswege, ■ Parkrandbereiche, ■ Fußwege.

Tab. 6 (Fortsetzung).

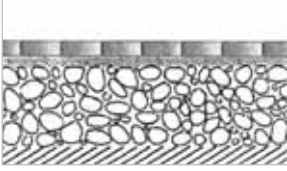
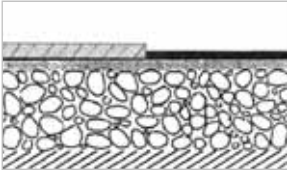
Belagsart und Aufbau	Eigenschaften	Anwendungsbereich
<p>Kies-/Splittdecken (wassergebundene Decken)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> + gute Versickerung, + Ausbreitung von Pionierpflanzen möglich, + einfache Herstellung, - nicht sehr tragfähig. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ wenig frequentierte Fahr- bzw. Gehwege und Stellplätze, ■ Fuß- und Radwege.
<p>Rasengittersteine, Rasenkammersteine</p> 	<ul style="list-style-type: none"> + gute Versickerung, + gut belastbar und befahrbar, + große Hohlräume (bis ca. 50 % unversiegelte Fläche), + Schutz der Pflanzen in den Hohlräumen, - bei Trockenheit spärlicher Bewuchs, - schlecht begehbar. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Parkplätze, ■ Zufahrtswege, ■ Fahrspuren für Garagen- und Feuerwehzufahrten, ■ zur Befestigung nicht zu steiler Böschungen, ■ stark benutzte Randzonen.
<p>Rasenfugenpflaster, Natursteinpflaster</p> 	<ul style="list-style-type: none"> + mittelmäßige Versickerung, + hohe Versickerung bei Fugenbreite > 3 cm, + hohe Belastbarkeit, + befahrbar, + Gras- oder Pflanzenbewuchs möglich, - Wasserundurchlässigkeit bei Fugenverdichtung gegeben. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Fußwege, ■ Stellflächen, ■ Parkplätze, ■ Zufahrts- und Fahrwege, ■ Hof und Terrasse.
<p>Splittfugenpflaster</p> 	<ul style="list-style-type: none"> + hoher Versickerungsanteil bei Fugenbreiten > 3 cm, + stark belastbar und befahrbar, - Wasserundurchlässigkeit bei Fugenverdichtung gegeben, - kein Pflanzenbewuchs. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Fußwege, ■ Stellflächen, ■ Parkplätze, ■ Zufahrts- und Fahrwege, ■ Hof und Terrasse.
<p>Fahrspuren</p> 	<ul style="list-style-type: none"> + gute Versickerung, + befahrbar, - eingeschränkte Einsatzmöglichkeit. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Zufahrten zu Stellplätzen oder Garagen, ■ wenig befahrene Wege.

Tab. 6 (Fortsetzung).

Belagsart und Aufbau	Eigenschaften	Anwendungsbereich
<p>Rindenschrot</p> 	<ul style="list-style-type: none"> + gute Versickerung, + pflegeleicht, + bodenfreundlich, - Pflanzenwuchs wird unterdrückt, - muss regelmäßig erneuert werden. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Gartenwege, ■ selten befahrene Stellflächen.
<p>Holzpfaster</p> 	<ul style="list-style-type: none"> + mittelmäßige Versickerung, + natürliches Material, daher gestalterisch ansprechend, + Fugenbegrünung, - bei Fugenverdichtung wasserundurchlässig, - bei Algenbildung Rutschgefahr. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Gartenwege, ■ gering frequentierte Übergangszonen, ■ Terrassen, ■ Spielflächen.
<p>Holzroste</p> 	<ul style="list-style-type: none"> + mittelmäßige Versickerung, + natürliches Material, daher gestalterisch ansprechend, + geringe Versiegelung, da Pflanzen auch unter dem Holz wachsen, - nicht befahrbar, - Lebensdauer begrenzt. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Gartenwege, ■ Spielflächen, ■ Sitzplätze, ■ Ruheazonen.

Folgende Bodenbeläge (Tab. 7) werden in der Regel als versiegelt (nicht wasserdurchlässig) angesehen:

Tab. 7: Eigenschaften und Anwendungsbereiche versiegelnder Belagsarten, nach STADT SIEGEN (2006), GUNREBEN & SCHNEIDER (2001), GREITEN (2003).

Belagsart und Aufbau	Eigenschaften	Anwendungsbereich
<p>Verbundpflaster, Plattenbeläge</p> 	<ul style="list-style-type: none"> + geringe Wasserdurchlässigkeit, da engfugige Verlegung, + geringe Wasserspeicherung in der Oberfläche, - hoher Wasserabfluss. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Wohnstraßen, ■ Plätze, Schulhöfe, ■ Fuß- und Radwege.
<p>Beton- und Asphaltdecken</p> 	<ul style="list-style-type: none"> + keine Versickerung mehr möglich, + verhindert Schadstoffeintrag in den Boden, + hohe Belastbarkeit, - völlige Versiegelung, - hoher Wasserabfluss, - Vorhalten einer Entwässerungsanlage nötig. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ stark befahrene Straßen, ■ Parkplätze und Hofflächen mit gewerblicher und industrieller Nutzung.

5.3.1.2. Wasserdurchlässige Befestigung von Verkehrsflächen

Verschiedene Verkehrs- und Nutzflächen (z. B. Wohn- und Anliegerstraßen, Radwege, Parkplätze) können mit einer wasserdurchlässigen Befestigung erstellt werden. Hierfür können z. B. wasserdurchlässige Pflaster und Plattenbeläge (mit Sickeröffnungen, aufgeweiteten Fugen oder haufwerksporigen Betonsteinen), wasserdurchlässiger Asphalt oder auch wasserdurchlässiger Beton (Drainbeton) verwendet werden, die den Anforderungen der geltenden Vorschriften und Normen entsprechen.

Voraussetzung

- Es muss gewährleistet sein, dass das Niederschlagswasser dauerhaft ohne Stau bis in den Untergrund versickern kann.
 - Der Aufbau und der Untergrund müssen eine entsprechend hohe Tragfähigkeit und Wasserdurchlässigkeit¹ aufweisen.
 - Für die ordnungsgemäße Entwässerung einer Verkehrsfläche muss die zu erwartende Bemessungsregenspende² von 270 l/(s x ha) vollständig und dauerhaft versickert werden können. Hierzu müssen der Untergrund und alle Schichten des Oberbaues einschließlich Pflasterdecke eine Wasserdurchlässigkeit von $k_f \geq 5,4 \times 10^{-5}$ m/s aufweisen (FGSV 1998).
- Ist der Untergrund nicht gut, aber noch ausreichend durchlässig (zwischen etwa $5,4 \times 10^{-5}$ m/s und $5,4 \times 10^{-6}$ m/s), befindet man sich regelmäßig in Bereichen der Frostempfindlichkeitsklasse F2 oder F3. Die darüber anzuordnende Frostschicht sollte – je nach regionaler Frosteinwirkung – auf Grund der ohnehin vorhandenen, ungünstigen Wasserverhältnisse 10–20 cm dicker ausgeführt werden, als sich dies bei üblicher Bemessung ergeben würde. Dies bewirkt zum einen, dass die eventuell unzureichende Tragfähigkeit bei diesen Böden kompensiert werden kann, und gleichzeitig, dass dem eingesickerten Wasser über ein größeres Volumen der Frostschicht ein längerer Zeitraum zur Verfügung steht, um in weniger durchlässigen Böden durch das Planum versickern zu können (BORGWARDT, GERLACH & KÖHLER 2001).
 - Für die Herstellung der Verkehrsflächen gelten grundsätzlich die „Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen“ (FGSV 2001).
 - Auf Grund der grobkörnigen Baustoffgemische des Oberbaues fehlt die reinigende Filterpassage des Bodens. Deshalb darf eine Versickerung nur vorgenommen werden, wenn
 - der Abstand zum Grundwasser mindestens 2 m beträgt,
 - die Baumaßnahme nicht in einem Wasserschutzgebiet liegt,
 - im Winter auf den Einsatz von Taumitteln verzichtet wird,
 - auf der Fläche keine Wasser gefährdenden Stoffe gelagert oder umgeschlagen werden.

¹ Wasserdurchlässigkeit: Eigenschaft einer Schicht, Wasser durch offene Poren durchsickern zu lassen; Kenngröße ist der Durchlässigkeitsbeiwert k_f in m/s (vgl. FGSV 1998).

² Bemessungsregenspende: Die Eingangsgröße zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit versickerungsfähiger Pflastersysteme ist der auf die befestigte Oberfläche auftreffende Niederschlag. Der hierfür maßgebliche Bemessungsregen ist mit Hilfe einfacher Bemessungsverfahren unter Berücksichtigung statistischer Niederschlagsdaten

oder auf Grund von Auswertungen des Deutschen Wetterdienstes (KOSTRA-Daten) zu ermitteln (vgl. DWA 2005). Dabei wird die Bemessungsregenspende r_{10} (0,2) zugrunde gelegt. Sie bezeichnet einen statistisch einmal in fünf Jahren auftretenden Regen bei einer Regendauer von 10 Minuten. Diese Regenspende muss durch eine versickerungsfähig befestigte Verkehrsfläche dauerhaft und vollständig versickern, um eine ordnungsgemäße Entwässerung gewährleisten zu können (vgl. BORGWARDT & ULONSKA 2008).

Anforderung an den Aufbau

Für Verkehrswege mit geringer Belastung bietet sich, wo es technisch möglich ist, die durchlässige Verkehrsflächenbefestigung (z. B. Pflasterdecke) an. Hierbei wird das Niederschlagswasser von der Oberfläche aufgenommen und kann dann in den Unterbau und Untergrund versickern. Bei einer guten Durchlässigkeit des Bodens versickert das Regenwasser vollständig.

Bei einer ungünstigen Durchlässigkeit des Bodens kann das Regenwasser vom Untergrund nicht vollständig aufgenommen werden und ist teilweise in eine seitliche Versickerungs- oder Entwässerungsanlage abzuleiten. Wasserdurchlässige Befestigungen mit Pflaster, Platten, Asphalt und Beton sollten nach dem anerkannten Stand der Technik hergestellt werden. Dazu ist das „Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen“ (FGSV 1998) zu beachten.

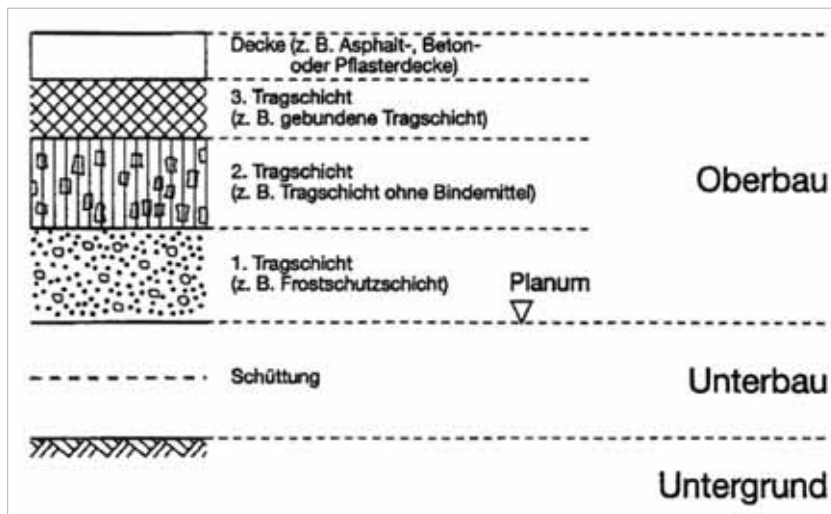


Abb. 34: Aufbau einer wasserdurchlässigen Befestigung (aus FGSV 1998).

Der Aufbau einer wasserdurchlässig befestigten Verkehrsfläche (vgl. Abb. 34) muss unter Berücksichtigung verschiedener dynamischer Belastungen so berechnet werden, dass er auf Dauer tragfähig und frostsicher bleibt, zusätzlich das Regenwasser aufnimmt und in den Untergrund weiterleitet. Der vorhandene Untergrund muss den Anforderungen der „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau“ (ZTVE-StB) genügen (FGSV 1998).

Untergrund

Der Untergrund muss ohne zusätzliche Maßnahmen eine Wasserdurchlässigkeit von $k_f \geq 5,4 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ und bei einem verstärkten Oberbau (Erhöhung der Frostschuttschicht) den Wert von $k_f \geq 5,4 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ aufweisen. Bei noch geringeren Durchlässigkeitswerten des

Untergrundes ($k_f < 5,4 \times 10^{-6} \text{ m/s}$) ist es erforderlich, das in den Oberbau eingesickerte Wasser oberhalb des Planums in seitliche Entwässerungsanlagen (z. B. Mulden oder Rigolen) einzuleiten (BORGWARDT & ULONSKA 2008).

Oberbau

Der Oberbau einer wasserdurchlässig befestigten Verkehrsfläche besteht aus der Pflasterdecke selbst und den Tragschichten. Für die Tragschichten können alle gebräuchlichen Aufbauten verwendet werden. In Bereichen größerer Frostempfindlichkeit besteht die unterste Tragschicht aus einer Frostschuttschicht. Darauf folgt die eigentliche Tragschicht. Die oberste Tragschicht besteht aus Bettung, Pflastersteinen und Fugenfüllung. Auch diese Materialien müssen die Anforderungen an die Tragfähigkeit und Durchlässigkeit erfüllen.

Tragschichten

Für versickerungsfähige Pflasterbauweisen sollten stets ungebundene Tragschichten (Schichten ohne Bindemittel) verwendet werden. Diese sollten als Kies- oder Schottertragschichten aus natürlichen abgestuften Gesteinskörnungen mit geringem Feinkornanteil ausgeführt werden. Die Kornzusammensetzung ist maßgebend für die Erreichung der erforderlichen Tragfähigkeit und die Filterstabilität¹ der angrenzenden Schichten. Für die Tragschichten ist eine Wasserdurchlässigkeit von $k_f \geq 5,4 \times 10^{-5}$ m/s einzuhalten.

Bettungs- und Fugenmaterial

Als Bettungs- und Fugenmaterial eignen sich vorrangig natürliche Gesteinskörnungen. Diese sollten eine hohe Kornfestigkeit haben, damit unter den auf die Pflasterfläche wirkenden Beanspruchungen keine Kornzerkleinerung eintritt. Für Bettung und Fugen sollte das gleiche Material verwendet werden, um die Anforderungen an die Wasserdurchlässigkeit und Filterstabilität einzuhalten.

Pflasterdecke

Die letzte Schicht des Oberbaues bildet die wasserdurchlässige Pflasterdecke (Deckschicht). Je nach Wahl der Pflastersteine versickert das Wasser in einem offenporigen Gefüge, Sickeröffnungen im Stein oder durch größere Fugenbreiten. Die Anforderungen an die Tragfähigkeit und Durchlässigkeit müssen auch hier eingehalten werden.

Der begrenzende Faktor für die Wasseraufnahme bei versickerungsfähigen Pflasterdecken ist das Infiltrationsvermögen² der Deckschicht. Verschiedene Einflüsse (z. B. Verschmutzung durch Staub und Reifenabrieb, mangelnde Pflege) können dazu beitragen, dass die Durchlässigkeit der Oberfläche mit der Nutzungsdauer abnimmt.

Alternativ zur Pflasterbauweise kann für wasserdurchlässige Verkehrsflächen für Wohn- und Anliegerstraßen, Radwege und Parkplätze auch die Asphaltbauweise angewandt werden. Im

„Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen“ (FGSV 1998) werden für die Asphaltbauweise Regelwerke und Normen sowie Kriterien genannt, die zu berücksichtigen und einzuhalten sind. In Fachgremien wird derzeit ein neues Merkblatt zum Thema „wasserdurchlässiger Asphalt“ erstellt. Grundlage sind u. a. die Ergebnisse von Laboruntersuchungen, Änderungen bei der Zusammensetzung der Mischungsverhältnisse sowie bisherige Erkenntnisse beim Einbau. Die Anwendung der Asphaltbauweise sollte immer nach dem aktuellen bzw. neuesten Stand der Technik erfolgen.

Im „Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen“ (FGSV 1998) wird unter Beachtung der gültigen Regelwerke und Normen auf eine weitere Möglichkeit zur Herstellung wasserdurchlässiger Verkehrsflächen mit Drainbeton hingewiesen.

Durch das offenporige Gefüge der Asphalt-schichten oder des Drainbetons kann Schmutz bis in die darunter liegenden Schichten eingespült werden und hier die Wasserdurchlässigkeit der Konstruktion reduzieren.

Um das überschüssige Wasser nach einem Starkregenereignis sowie nach längerer Nutzungsdauer ableiten zu können, sollten die wasserdurchlässig befestigten Flächen mit einer Querneigung von 1 % hergestellt und eine seitliche Versickerungs- oder Entwässerungsanlage vorgehalten werden (FGSV 1998).

¹ Filterstabilität: Stabilität angrenzender Mineralstoffgemische gegen Erosion (Ausspülen von Feinkorn in darunterliegende Schichten, vgl. FGSV 1998).

² Infiltration: Zutritt von Wasser in die Oberfläche einer Schicht; Kenngröße ist die Infiltrationsrate in m/s (vgl. FGSV 1998).

5.3.2. Regenwasserversickerung

Grundsätzlich soll das Niederschlagswasser an Ort und Stelle in den Untergrund versickern und damit zur Grundwasserneubildung und Verbesserung des Mikroklimas beitragen.

Dies ist aber auf Grund der Ausweisung von immer mehr neuen Siedlungs-, Industrie- und Infrastrukturflächen und den damit verbundenen vielen voll versiegelten Flächen sowie die Ableitung des Regenwassers über die Kanalisation nur noch bedingt möglich. Da den Kommunen die Abwasserbeseitigungspflicht (einschließlich der Beseitigung des Niederschlagswassers) obliegt, können sie in der Gemeindeverordnung oder Ortssatzung neben den Gebühren auch zwingende Vorgaben zum Abwasseranschluss festlegen. So besteht in vielen Kommunen durch die getrennte Berechnung für die Einleitung von Schmutz- und Niederschlagswasser in die Kanalisation seit einiger Zeit die Möglichkeit einer dezentralen oder zentralen Versickerung des Niederschlagswassers. Auch der Rückbau von versiegelten Flächen zugunsten einer dezentralen Versickerung wird von einigen Kommunen befürwortet und mit einem aufgelegten Förderprogramm finanziell unterstützt.

5.3.2.1. Gesetzliche Vorgaben

Neue gesetzliche Regelungen im EU-, Bundes- und Landesrecht sowie im Kommunalen Satzungsrecht tragen dazu bei, dass mit Boden und Grundwasser verantwortungsvoller umgegangen wird.

Die im Baugesetzbuch (BaugB 2004) in § 9 Abs. 1 genannten Vorgaben können in den Bebauungsplänen festgesetzt werden, unter anderem auch die Versickerung des Niederschlagswassers auf den Grundstücken.

Die dezentrale Versickerung von Niederschlagswasser auf Wohngrundstücken ist in Niedersachsen meistens ohne Genehmigung möglich.

In der Regel sind die Kommunen zur Beseitigung des Abwassers und Niederschlagswassers verpflichtet. Auch hier wird immer öfter zugelassen oder festgelegt, dass das nicht verunreinigte Niederschlagswasser auf dem Grundstück versickert werden kann oder muss. Dies ist aber nur bei günstigen Bodenverhältnissen (Fein- bis Mittelkies, sandiger Kies, Grob-, Mittel- und Feinsand sowie schluffiger Sand) umsetzbar. Bei ungünstigen Bodenverhältnissen (Schluff und Ton) kann es erforderlich werden, dass nur ein Teil des Niederschlagswassers versickert werden kann und der Rest in die Kanalisation eingeleitet werden muss.

Das Versickern von Niederschlagswasser in Wasserschutzgebieten unterliegt besonderen Regelungen und kann gegebenenfalls ganz untersagt werden. Ebenso ist zu beachten, dass das Einleiten von Niederschlagswasser in das Grundwasser in einigen Kommunen der Erlaubnis durch die Wasserbehörde bedarf.

5.3.2.2. Voraussetzungen für die Planung von Versickerungsanlagen

Beim Bau von Versickerungsanlagen ist in jedem Fall der Schutz des Bodens und des Grundwassers zu beachten.

Schon in der Bauleitplanung sollte das Erschließungskonzept berücksichtigt werden, da für eine Niederschlagswasserversickerung einige Aspekte zur Ersteinschätzung des Untergrundes zu prüfen sind (s. Tab. 8).

Tab. 8: Verwendung, Art und Herkunft von Grundlagendaten für eine Ersteinschätzung zur Versickerung (DWA 2005, verändert).

Verwendung	Informationsgrundlage	Quelle
Beurteilung der Boden-/ Untergrundverhältnisse (z. B. k_f -Werte)	Bodenkarte, Geologische Karte, Ingenieurgeologische Karte, Baugrundgutachten, Sondierbohrungen etc.	Fachbehörden (z. B. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Untere Wasserbehörden, Umweltämter)
Beurteilung der Grundwasserverhältnisse (z. B. Grundwasserflurabstand, Fließrichtung, Abstandsgeschwindigkeit)	Geologische/Hydrogeologische Karte, Grundwasserstandsmessungen, Grundwassergleichenplan, Flurabstandsplan, hydrogeologische Gutachten etc.	Fachbehörden (z. B. LBEG), Wasserversorgungsunternehmen
Beurteilung der topografischen Verhältnisse (z. B. Hangneigung)	Topografische Karte, Deutsche Grundkarte, Digitales Geländemodell	Landesvermessungsamt (Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen (LGN)), Katasterverwaltung in den Behörden für Geoinformation, Landentwicklung und Liegenschaften (GLL)
Beurteilung möglicher Restriktionen	Flächennutzungsplan, Bebauungsplan, Altlastenkataster, Altlastengutachten, Gebietsentwicklungsplan, Schutzgebiete (Landschafts-, Natur- und Wasserschutzgebiete)	Verwaltungsbehörden (Städte, Gemeinden, Landkreise), Fachbehörden
Vorbeurteilung	Erfahrungswerte	Bodenkarte, geologische Karte, Personen mit Ortskenntnis
Beurteilung der technischen Machbarkeit	Katasterplan, Leitungsplan, örtliche Begehung	Katasterverwaltungen, Versorgungsunternehmen, Verwaltungsbehörden

Des Weiteren sind in Niedersachsen zu den Versickerungseigenschaften und der stofflichen Vorbelastung der Böden zielgerichtete, standardisierte und damit vergleichbare Aussagen mit der Methodenbank des Fachinformationssystems Boden (MÜLLER & WALDECK 2011) im Niedersächsischen Bodeninformationssystem (NIBIS®) des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) möglich. Hier werden Daten und Methoden zur Verfügung gestellt, die Aussagen zu den benannten Kenngrößen und eine Beurteilung ermöglichen, ob eine Regenwasserversickerung sinnvoll ist. Die Genauigkeit der Auswertungen zur Regenwasserversickerung ist immer in Relation zur benutzten Datengrundlage zu sehen. Liegen für Teilbereiche Niedersachsens detaillierte Bodeninformationen im Maßstab 1 : 1 000 oder 1 : 5 000 nicht in

ausreichender Anzahl oder Qualität vor, so können die Auswertungen auf Grundlage der nächst kleineren Maßstabsebene durchgeführt werden (z. B. Bodenkarte im Maßstab 1 : 25 000 oder 1 : 50 000). Für eine Übersicht, ob die Einrichtung dezentraler Regenwasserversickerungsanlagen sinnvoll ist, reichen diese Genauigkeiten aus. Die Festlegung konkreter Ausführungsbestimmungen, beispielsweise im Bebauungsplan, ist dann jedoch auf Grundlage gezielter Nacherhebungen zu treffen (vgl. SCHNEIDER 2001).

Für die bodenkundlichen Anwendungsbereiche wurde die Einstufung der Wasserdurchlässigkeit von HÖPER, RAISSI & REUTTER (2007) dargestellt (vgl. Abb. 35):

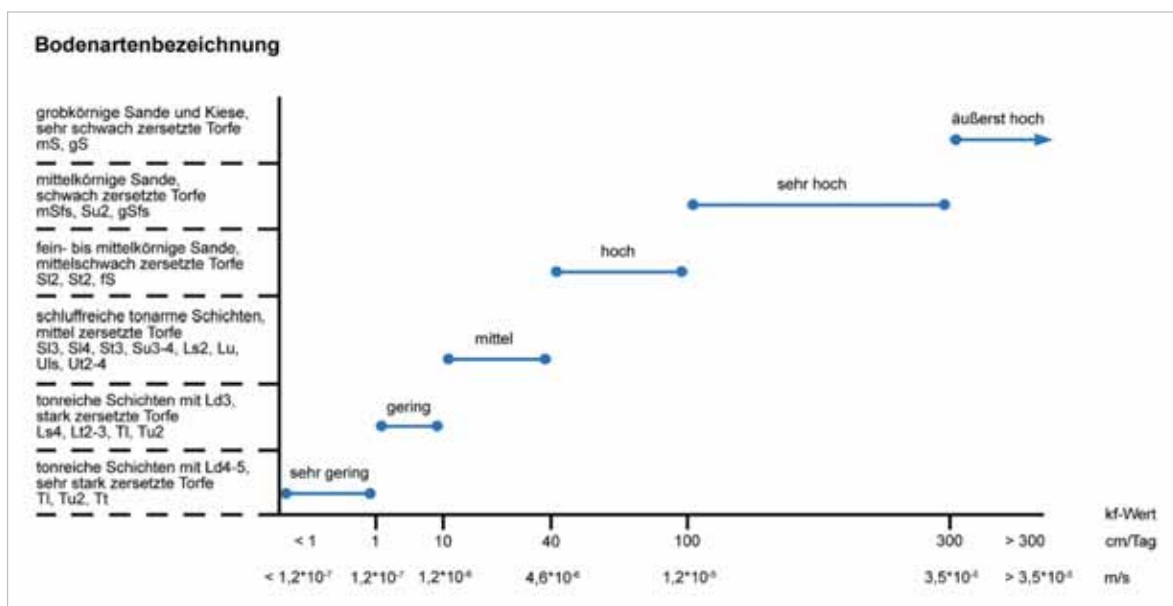


Abb. 35: Einstufung der Wasserdurchlässigkeit im wassergesättigten Boden in Abhängigkeit von Bodenart und effektiver Lagerungsdichte (Kürzel nach Ad-HOC-AG BODEN 2005).

Zur groben Voreinschätzung der Versickerungsleistung des Bodens kann ein einfacher Feldversuch durchgeführt werden (s. Abb. 36).

Kurztest der Bodenbeschaffenheit
Ist der k_f -Wert unbekannt, kann anhand des nachfolgenden Kurztestes die ungefähre Versickerungsmöglichkeit des Untergrunds eingegrenzt werden.

1. Eine 50 x 50 cm große und ca. 30 cm tiefe Grube ausheben. Wichtig: Nicht in die Grube treten, um Verdichtung zu vermeiden!
2. Um ein Aufschwemmen des Bodens zu verhindern, wird er mit einer Kiesschicht abgedeckt. Ein Messstab wird in den Boden geschlagen. 10 cm oberhalb der Grubensohle wird eine Markierung am Messstab angebracht.
3. Nun wird die Grube mit Wasser gefüllt und 1-2 Stunden durch regelmäßiges Nachfüllen vorgewässert (Gartenschlauch).
4. Wasser nun bis zur Markierung einfüllen. Mit einem Messeimer nach 10 Minuten so viel Wasser auffüllen, wie nötig ist, um den Wasserstand wieder bis zur Markierung zu heben. Aus der nachgefüllten Wassermenge lässt sich die Durchlässigkeit des Bodens abschätzen.
5. Schritt 4 so oft wiederholen (mindestens 3 mal), bis sich ein konstanter Wert einstellt.
6. Bewertung:
Wassermenge < 1,5 Liter in 10 Minuten: kaum Versickerung möglich (Schluff),
Wassermenge = 1,5 Liter in 10 Minuten: Versickerung möglich (schluffiger Sand),
Wassermenge > 3 Liter in 10 Minuten: Versickerung gut möglich (Sand, Kies).

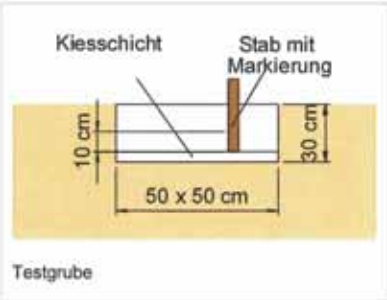


Abb. 36: Feldversuch zur Versickerungsleistung des Untergrundes (INTEWA 2009).

Für die Versickerung des Niederschlagswassers ist die Beschaffenheit des Untergrundes von großer Bedeutung, vorrangig die Mächtigkeit und die Durchlässigkeit der einzelnen Bodenschichten. Die Durchlässigkeit z. B. von Lockergesteinen hängt überwiegend von ihrer Korngröße, Kornverteilung und Lagerungsdichte ab und wird durch den Durchlässigkeitsbeiwert (k_f -Wert) ausgedrückt. Bei Lockergesteinen variiert sie im Allgemeinen zwischen 1×10^{-2} und 1×10^{-10} . Die k_f -Werte gelten für Fließvorgänge in der wassergesättigten Zone. Entscheidend für die Ausbreitung der Wasserinhaltsstoffe in der ungesättigten Zone und für die Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung ist nicht der für die gesättigte Zone bestimmte k_f -Wert, sondern der in der ungesättigten Zone geringere $k_{f,u}$ -Wert. Der entwässerungstechnisch relevante Versickerungsbereich (vgl. Abb. 37) liegt etwa in einem k_f -Bereich zwischen 1×10^{-3} und 1×10^{-6} m/s (DWA 2005).

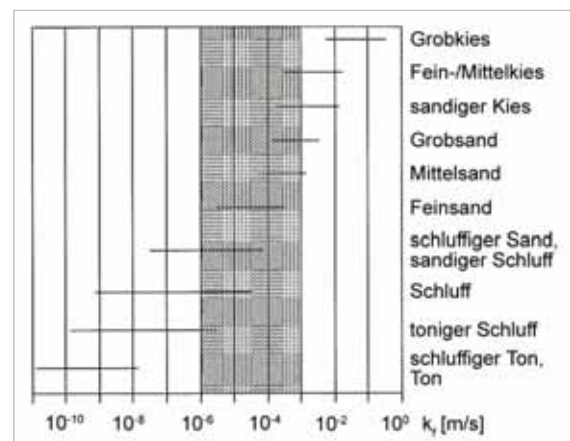


Abb. 37: Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte von Lockergesteinen und entwässerungstechnisch relevanter Versickerungsbereich (DWA 2005).

Welches Entwässerungskonzept für die Versickerung technisch möglich ist, muss in jedem Einzelfall betrachtet werden und sollte vorher an Hand von Bodenuntersuchungen und Versickerungsversuchen geprüft werden. Sollten Bodenproben für Laborversuche entnommen werden, sind Bohrungen oder Schürfe anzulegen.

Insbesondere für die Planung von Versickerungsanlagen in mittel bis gering durchlässigen Böden, in denen eine Versickerung noch möglich ist (toniger Schluff, Ton mit $10^{-6} < k_f < 10^{-5}$), sowie in durchlässigen Böden mit gering Wasser leitenden Zwischenschichten, sind gegebenenfalls bautechnische Auswirkungen zu beachten. Die verstärkte Durchfeuchtung des Bodens kann bei bestimmten Bodenarten, wie z. B. Ton, zu einer ungünstigen Änderung der Konsistenz und damit einer Minderung der Tragfähigkeit oder Quellhebungen führen. Auf befestigten Flächen können unter Lasteinwirkung ungleichmäßige Setzungen oder Hebungen auftreten. Auswirkungen der Versickerung und Durchfeuchtung auf benachbarte Gebäude oder solche innerhalb der betrachteten Flächen sind zu prüfen. Dementsprechend sollte die Planung einer Versickerungsanlage in tonig-schluffigen Böden eine geotechnische Bewertung des Bodens im Hinblick auf die geplante Nutzung beinhalten. Insbesondere in Hanglagen ist die Böschungsstabilität zu beachten.

Karbonat-, Sulfat- und Salzgesteine sind grundsätzlich wasserlöslich. Die konzentrierte Einleitung von Sickerwasser in den Untergrund kann zur Bildung instabiler, einsturzgefährdeter Hohlräume führen.

Für die Planer in den Ingenieurbüros und Behörden sind die gültigen Regelwerke (z. B. DWA-Merkblätter (insbesondere DWA-A138, DWA 2005), Richtlinien für die Anlage von Straßen – Teil: Entwässerung (RAS-Ew), EU- und DIN-Normen) ein wichtiges Instrumentarium für die Planung und den Bau von Versickerungsanlagen.

Abflüsse von befestigten Flächen können mit Schadstoffen belastet sein und bei einer Niederschlagswasserversickerung eine Gefährdung des Grundwassers bedeuten. Deshalb werden diese Abflüsse in drei Kategorien (unbedenkliche, tolerierbare und nicht tolerierbare Niederschlagsabflüsse) eingeteilt (vgl. Tab. 9). Diese Einteilung wurde unter Berücksichtigung der Prüfwerte der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) für das Grundwasser und der weitgehend identischen Prüfwerte der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV 1999) für das Sickerwasser im Übergangsbereich von der ungesättigten zur gesättigten Zone erstellt (DWA 2005).

Tab. 9: Qualität der Niederschlagsabflüsse (DWA-A138, DWA 2005, in: INTEWA 2009, verändert).

Fläche/Gebiet	Qualitative Bewertung	
<ul style="list-style-type: none"> ■ Gründächer, Wiesen und Kulturland, ■ Dachflächen ohne Verwendung von unbeschichteten Metallen (Kupfer, Zink und Blei), Terrassenflächen in Wohn- und vergleichbaren Gewerbegebieten. 	unbedenklich	Unbedenkliche Niederschlagsabflüsse können ohne Vorbehandlungsmaßnahmen über die ungesättigte Zone (unterhalb des Wurzelraums und oberhalb des Grundwasserspiegels) versickert werden (z. B. in Rigolen).
<ul style="list-style-type: none"> ■ Dachflächen mit üblichen Anteilen aus unbeschichteten Metallen, ■ Rad- und Gehwege in Wohngebieten, verkehrsberuhigte Bereiche, ■ Hofflächen und PKW-Parkplätze ohne häufigen Fahrzeugwechsel sowie wenig befahrene Verkehrsflächen (bis DTV* 300 Kfz), ■ Straßen mit DTV* 300–5 000 Kfz, z. B. Anlieger-, Erschließungs- und Kreisstraßen, ■ Rollbahnen von Flugplätzen, ■ Dachflächen in Gewerbe- und Industriegebieten mit signifikanter Luftverschmutzung, ■ s. DWA-A138... 	tolerierbar	Tolerierbare Niederschlagsabflüsse können nach geeigneter Vorbehandlung oder unter Ausnutzen der Reinigungsprozesse (Sedimentationsanlage, Regenwasserzisterne, bewachsener Boden etc.) über die ungesättigte Zone versickert werden.
<ul style="list-style-type: none"> ■ Hofflächen und Straßen in Gewerbe- und Industriegebieten mit signifikanter Luftverschmutzung, ■ Sonderflächen s. DWA. 	nicht tolerierbar	Nicht tolerierbare Niederschlagsabflüsse können nur nach einer Vorbehandlung versickert werden.

* DTV: durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke.

In einer Versickerungsanlage kann Niederschlagswasser von Wohngebieten und weniger frequentierten Parkflächen in der Regel ohne Vorbehandlung versickert werden.

Niederschlagswasser von stark befahrenen Verkehrsflächen und Parkplätzen sowie von Flächen in Gewerbegebieten und Flughäfen kann mit Schadstoffen belastet sein. Ob hier eine Versickerung erfolgen kann, hängt vom Ergebnis einer Überprüfung der zu erwartenden Schadstoffe und deren Konzentrationen ab.

Für Wasserschutzgebiete müssen besondere Regelungen beachtet werden.

Regelungen innerhalb des Nachbarrechtes (z. B. Abstand zu angrenzenden Gebäuden) sind ebenfalls zu berücksichtigen.

Der Abstand zu nicht wasserdicht unterkellerten Gebäuden sollte mindestens 6 m betragen.

Zwischen der Sohle einer Mulde, Rigole oder eines Sickerschachtes und dem Grundwasser (bezogen auf den mittleren höchsten Grundwasserstand) sollte der Abstand mindestens 1 m betragen.

Eine Verdichtung des Untergrundes im Bereich einer geplanten Versickerungsanlage durch die Bautätigkeit oder andere Einflüsse ist grundsätzlich zu vermeiden.

5.3.2.3. Versickerung von Niederschlagsabflüssen

Bei der dezentralen und zentralen Versickerung werden die Niederschlagsabflüsse von Siedlungs- und Verkehrsflächen gezielt in vorgesehene Versickerungsanlagen eingeleitet (Abb. 38). Es kann zwischen ober- und unterirdischen Versickerungsanlagen gewählt werden. Grundsätzlich ist oberirdischen Versickerungen (Flächen- und Muldenversickerung), auch zum Schutz des Grundwassers, Vorrang einzuräumen, da nur hier das Niederschlagswasser durch eine bewachsene und belebte Bodenschicht gefiltert wird.

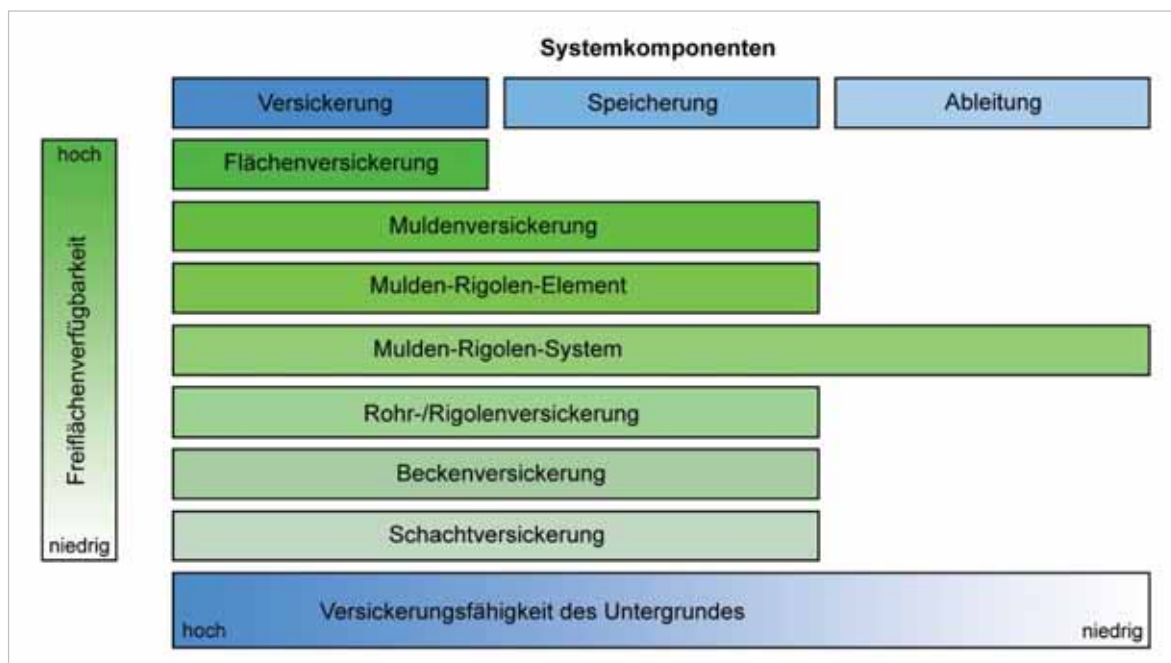


Abb. 38: Einsatzmöglichkeiten von Versickerungsanlagen (DWA 2005, verändert).

Flächenversickerung

Diese Methode kommt dem natürlichen Vorgang am nächsten. Das Niederschlagswasser von der befestigten Terrassen- oder Hoffläche kann ohne Speicherung oder Rückhaltung direkt durch eine Rasenfläche oder angrenzende bepflanzte Fläche versickern. Auch das Niederschlagswasser von wenig frequentierten Verkehrsflächen kann zum Versickern in die unbefestigten Seitenstreifen geleitet werden. Voraussetzung für eine Flächenversickerung ist allerdings, dass eine genügend große Fläche und ein sehr gut aufnahmefähiger Untergrund zur Verfügung stehen.

Muldenversickerung

Eine einfache und kostengünstige Methode zur Versickerung von Niederschlagswasser ist die Muldenversickerung (vgl. Abb. 39). Hierbei wird das Niederschlagswasser mittels einer offenen Rinne oder eines Rohres in eine flache, begrünte Mulde geleitet, kurzfristig zwischengespeichert und versickert dann nach und nach über eine belebte Bodenzone in den Untergrund. So können Stoffe, die im Niederschlagswasser enthalten sind, auf Grund der Reinigungsleistung der bewachsenen Oberbodenschicht abgebaut bzw. zurückgehalten werden.

Es ist darauf zu achten, dass die Mulden horizontal liegend und flach (≤ 30 cm tief) ausgebildet hergestellt werden. Das Wasser in der Mulde sollte nicht länger als ein bis zwei Tage eingestaut bleiben, da dies zu Ablagerungen und damit zu einer Verdichtung des Oberbodens führen kann. Bei starkem Geländegefälle wird eine Muldenunterbrechung empfohlen.



Abb. 39: Beispiel für eine Muldenversickerung mit Muldenunterbrechungen zum Ausgleich des Geländegefälles.

Foto: Bolze, LBEG.

Nachstehende Angaben können für eine Planung zum Bau von Versickerungsmulden auf privaten Grundstücken berücksichtigt werden (vgl. GREITEN 2003):

- Die Fläche sollte mindestens die Größe eines Zehntels der versiegelten Flächen haben.
- Die Mulde sollte möglichst flach ausgeführt werden (10–30 cm tief) und je nach vorhandener Bodenart pro 100 m² angeschlossener Fläche mindestens folgendes Volumen aufweisen:
 - bei Mittel- bis Grobsand 2 m³,
 - bei Feinsand 3 m³,
 - bei lehmigem Sand 4 m³.

Rigolen- und Rohrversickerung

Für diese Versickerungsart wird nur ein geringer Flächenbedarf benötigt. Sie eignet sich für einen weniger durchlässigen Untergrund. Gegenüber der Flächen- und Muldenversickerung muss jedoch mit höherem Herstellungsaufwand und höheren Kosten gerechnet werden.

Das Niederschlagswasser wird bei der Rigolenversickerung direkt von der zu entwässernden Fläche ober- oder unterirdisch in einen Graben (Rigole) geleitet, der mit einem Material von großer Speicherfähigkeit wie z. B. Kies oder Schotter gefüllt ist, dort zwischengespeichert und dann in den Untergrund weitergegeben. Anstelle von Kies oder Schotter können auch seit einiger Zeit im Handel erhältliche Kunststoffelemente eingebaut werden. Bei einer Rohr-Rigolenversickerung wird zusätzlich ein perforiertes Rohr in den Kies oder Schotter eingebettet. Um das Eindringen von Feinmaterial aus dem aufgebrauchten Füllboden bzw. aus dem umgebenden Boden in den Kies- oder Schottergraben zu vermeiden, wird der Einbau eines Schutzvlieses empfohlen. Zwischen dem Zulauf und dem Rohr-Rigolensystem sollte ein Kontroll- bzw. Absetzschacht eingebaut werden, dadurch können absetzbare Stoffe zurückgehalten und die Funktionsfähigkeit des Systems verlängert werden (vgl. Abb. 40).

Die Speicherkapazität errechnet sich aus dem Porenvolumen des Füllmaterials, der Querschnittsabmessung von Rigole bzw. Rohr und der Länge der Versickerungseinrichtung.

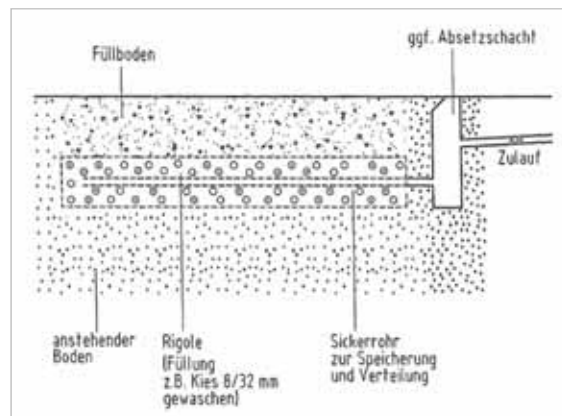


Abb. 40: Rohr-Rigolenelement (DWA 2005).

Versickerung durch Mulden-Rigolen-Elemente

In einem Mulden-Rigolen-Element wird das Niederschlagswasser über eine Mulde in die Rigole geleitet. Die Kombination von zwei separaten Versickerungsformen ermöglicht einen großen ober- und unterirdischen Speicherraum auch bei weniger durchlässigem Untergrund. Über die bewachsene, mindestens 10 cm starke Bodenzone der Mulde wird das Niederschlagswasser gefiltert, im Kies- oder Schotterkörper der Rigole gespeichert und kann anschließend im Untergrund versickern. Endet die Einsatzmöglichkeit von Mulden bei Erreichen einer Durchlässigkeit des Untergrundes von $k_f \leq 5 \times 10^{-6}$ m/s, ist ein Mulden-Rigolen-Element auch bei Durchlässigkeiten bis zu $k_f \geq 1 \times 10^{-6}$ m/s einsetzbar, bringt allerdings längere Entleerungszeiten der Rigole mit sich (DWA 2005).

Schachtversickerung

Eine weitere Versickerungsmethode mit geringem Flächenbedarf und für weniger durchlässigen Untergrund geeignet, ist die Schachtversickerung. Hierbei wird das Niederschlagswasser in einem Brunnenschacht, z. B. aus Betonschachtringen, gesammelt und durch eine Sandschicht (Filterschicht) an der Sohle des Schachtes sowie ein Sand-Feinkies-Gemisch, in das der Brunnenschacht eingebettet ist, in den Untergrund abgeben.

Es werden zwei Ausführungsarten (Typ A und Typ B) angeboten (vgl. Abb. 41):

Typ A

Der Schacht kann mit Betonschachtringen (Minstdurchmesser DN 1000) mit Sickeröffnungen oberhalb der Filterschicht hergestellt werden, wobei das Niederschlagswasser seitlich in das Sand-Feinkies-Gemisch und über die Filterschicht nach unten versickern kann. Zur Rückhaltung der absetzbaren Stoffe muss ein Filtersack in den Schacht eingehängt werden.

Typ B

Bei dieser Ausführungsart befinden sich die Sickeröffnungen in den Betonschachtringen nur unterhalb der Filterschicht des Sohlbereiches. Hier kann das Niederschlagswasser nur durch die Filterschicht versickern. Das Speichervolumen ist gegenüber der ersten Ausführungsart geringer. Die absetzbaren Stoffe, die sich auf der Filterschicht ablagern, müssen bei Bedarf entfernt werden.

Bei beiden Varianten ist darauf zu achten, dass der Abstand zwischen der Oberkante der Filterschicht und dem mittleren höchsten Grundwasserstand 1,5 m nicht unterschreitet. Der Abstand zwischen der Oberkante des Sand-Feinkies-Gemisches und dem mittleren höchsten Grundwasserstand sollte mindestens 0,5 m betragen (vgl. DWA 2005).

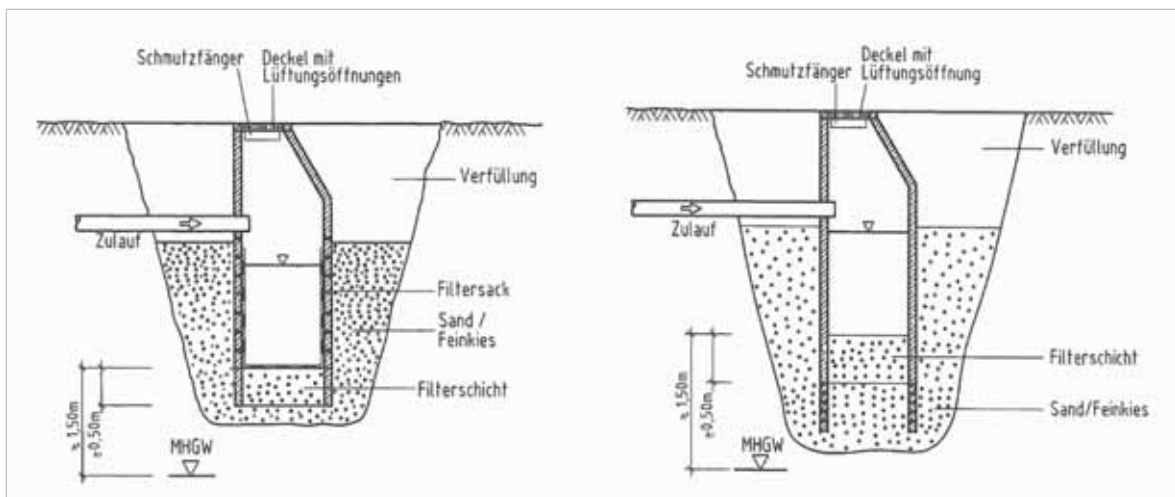


Abb. 41: Versickerungsschacht Typ A,

Versickerungsschacht Typ B (DWA 2005).

Regenwasserteiche

Auch wenn die Bodenverhältnisse auf einigen Flächen eine Versickerung nicht zulassen, muss auf einen umweltfreundlichen Umgang mit Niederschlagswasser nicht verzichtet werden.

Die gern verwendeten Regentonnen im Garten und auch Zisternen eignen sich auf Grund der geringen Speicherkapazität zwar nur für kleinere Entwässerungsflächen, sind für eine Zurückhaltung des Niederschlagswassers und die nachfolgende Nutzung zur Gartenbewässerung aber durchaus geeignet und ermöglichen einen sparsameren Umgang mit dem Trinkwasser.

Steht auf Privatgrundstücken oder Wohnsiedlungen, in Parks oder industriellen Anlagen eine ausreichend große Fläche zur Verfügung, bietet sich die Anlage eines Regenwasserteiches (Abb. 42) an. Die Zuführung des Niederschlagswassers von den verschiedenen Flächen und Grundstücken kann über flache offene Gräben (Abb. 43) oder von Bereichen mit Geschosswohnungsbau über Regenwasserkanäle erfolgen. Ein Regenwasserteich kann gestalterisch harmonisch in das Garten- und Landschaftsbild eingefügt werden, verbessert durch die Verdunstung das Kleinklima, bietet wertvollen Lebensraum für Tiere und Pflanzen und trägt zum Erholungswert für die Menschen bei.



Abb. 42: Beispiel für einen naturnah gestalteten Regenwasserteich.

Foto: Nix, LBEG.



Abb. 43: Beispiel für die Zuführung des Niederschlagswassers von verschiedenen Flächen in einen offenen Graben.
Foto: Nix, LBEG.

Dachbegrünung

Die Begrünung von Dachflächen bietet eine weitere Möglichkeit, das Abfließen von Niederschlagswasser zu reduzieren. Hierzu werden Flachdächer und gering geneigte Dachflächen mit einem Substrat beschichtet und bepflanzt. Das Niederschlagswasser wird in der hohen Speicherkapazität des Substrates und dem Wurzelgeflecht zurückgehalten. Ein Abfluss erfolgt verzögert in sehr geringen Mengen, da ein Teil des Wassers schon über die Pflanzen verdunstet. Je nach Schichtdicke und Bepflanzung wird zwischen Extensiv- und Intensivbegrünung unterschieden.

Eine extensive Dachbegrünung (Abb. 44) bietet sich für Flachdächer und Dächer bis zu 25° Neigung an. Die Begrünung besteht aus einer dünnen (maximal 15 cm mächtigen) Substratschicht und einer extrem anspruchslosen Vegetation (Moose, Gräser, Sedum-Arten). Der Pflegeaufwand ist minimal, und auf Grund der geringen Dachlast kann sie auch nachträglich aufgebracht werden (z. B. Carport).

Die intensive Dachbegrünung eignet sich nur für Flachdächer. Zur Begrünung können Gräser, Stauden, Gehölze und sogar kleine Bäume in die aufgebrachte starke (mindestens 50 cm mächtige) Substratschicht gepflanzt werden. Diese Begrünung bedarf aber einer intensiven Pflege. Solche Gründächer (z. B. Nutzung als Dachgärten oder Dachterrassen) werden fast ausschließlich bei Neubauten angelegt, da hier die Konstruktion und die sehr hohe Dachlast bei der statischen Berechnung berücksichtigt werden können.



Abb. 44: Beispiel für eine extensive Dachbegrünung.
Foto: Bolze, LBEG.

5.3.3. Teilversiegelung

Durch den zunehmenden Flächenverbrauch auf Grund der wachsenden Bevölkerung wird immer mehr Boden versiegelt. Um die natürlichen Bodenfunktionen weitgehend zu erhalten, ist es erforderlich, sich schon bei der Planung von Bauwerken und Gestaltung der zugehörigen Flächen zu überlegen, wie und wie intensiv der Boden genutzt werden soll. Dadurch lassen sich viele unnötige Bodenversiegelungen vermeiden.

Nicht immer benötigen z. B. Verkehrs- und Stellflächen eine hoch belastbare und deshalb voll versiegelte, wasserundurchlässige Oberfläche. Weniger benutzte Bereiche sowie Plätze oder Grundstückszufahrten können durchaus mit natürlichen und wasserdurchlässigen Oberflächen hergestellt werden.

Die rechtlichen Vorgaben (vgl. Kap. 5.1) geben in den Gemeinden bei der Aufstellung der Bauleitplanung auch eine Begrenzung der Bodenversiegelung vor. Das bedeutet u. a., dass vor einer Neuausweisung von Baugebieten vorrangig die vorhandenen innerörtlichen/-städtischen

Baulücken genutzt werden und ehemalige Gewerbe- und Industriestandorte reaktiviert werden sollen.

Sicher gibt es im öffentlichen und privaten Bereich viele Flächen (z. B. Wirtschaftswege, Parkplätze, Gleisanlagen der Stadtbahn oder Hofbereiche, Carports, Stellplätze), bei denen geprüft werden kann, inwieweit ein Rückbau der Versiegelung oder ein Belagwechsel ohne Einschränkung der Funktion der Fläche möglich ist. Neben der Begrenzung der Neuversiegelung in Baugebieten gibt es eine Reihe von Möglichkeiten, eine Entsiegelung von Böden zu fördern und zu begleiten. Trotzdem bleiben aktive Maßnahmen dazu auch heute noch eine Ausnahme und stellen längst nicht den Regelfall dar.

5.3.3.1. Prüfung von Entsiegelungsmöglichkeiten

Die Vermeidung von Bodenversiegelungen trägt dazu bei, dass zum Schutz des Bodens der fortschreitende Flächenverbrauch eingeschränkt werden kann.

Eine Minimierung der Neuversiegelung setzt vor allem eine stärkere Beachtung der Grundsätze des flächensparenden Bauens auf den Planungsebenen voraus.

Die Durchführung von Maßnahmen zur Entseiegelung von Böden sollte konsequent zur Wiederherstellung der Bodenfunktionen umgesetzt werden. Allerdings sind Flächen, von denen die Gefahr eines Schadstoffeintrags in den Boden ausgeht und Flächen über Altlasten von den Entseiegelungsmaßnahmen auszunehmen.

Privater Bereich

Für den privaten Grundstücksbesitzer gibt es nur wenig rechtliche Vorgaben (z. B. im Baurecht oder Bodenschutzrecht) zum Rückbau vorhandener Flächenversiegelungen. Eine Sensibilisierung für dieses Thema könnte die Eigentümer anregen, zu prüfen, ob eine „überdimensionierte“ Befestigung im Hof- oder Eingangsbereich, der Terrasse oder im Garten zurückgebaut werden kann. Sicher lassen sich einige Flächen begrünen oder mit versickerungsfähigen Belägen versehen und damit auch gestalterische Elemente dem Garten oder sonstigen Flächen hinzufügen.

Ein Anreiz zur Umsetzung verschiedener Maßnahmen könnten auch die Förderprogramme zur Bodenentsiegelung, Begrünungsmaßnahmen und/oder Regenwasserversickerung bieten, die einige Kommunen und Städte aufgelegt haben und finanziell fördern. Voraussetzung zur Erhaltung von Zuschüssen ist jedoch, dass vor Beginn der Maßnahme ein Förderantrag gestellt wird.

Eine ordnungsgemäße Entsorgung der alten Beläge und des Unterbaus muss auf jeden Fall erfolgen. Auskünfte über günstige Entsorgungsmöglichkeiten erteilen Fachberater der zuständigen Ämter von Städten oder Kommunen.

Vorgarten oder Garten

- Ein bepflanzter Vorgarten bildet eine Pufferzone zwischen Haus und Straße (Abb. 45) und trägt auch zur Lärmminde- rung bei. Der Hauszugang sollte auf eine notwendige Breite begrenzt und mit versickerungsfähigem Belag versehen werden.



Abb. 45: Beispiel für die versickerungsfreundliche Gestaltung eines Vorgartens.
Foto: Nix, LBEG.

- Auf eine aufwändige Wegebefestigung im Garten könnte ganz verzichtet werden, oftmals reichen einige Trittsteine für eine Wegführung völlig aus.
- Sind dennoch Wege erforderlich, reicht allgemein eine Wegbreite von 60 cm aus. Die Gestaltung der Oberfläche kann mit verschiedenen natürlichen Materialien erfolgen.
- Wird eine Pflasterung der Wege für unverzichtbar gehalten, sollte die Verlegung mit einem hohen Fugenanteil erfolgen, damit eine Versickerung und gegebenenfalls Vegetation möglich ist (Abb. 46).
- Zur naturnahen Gestaltung des Gartens bietet sich auch die Anlage eines Gartenteiches an.



Abb. 46: Beispiel für die versickerungsfreundliche Gestaltung eines Gartenweges und einer Sitzcke.
Foto: Steininger, LBEG.

Hofflächen

- Viele Höfe sind vollflächig gepflastert, obwohl dies meistens nicht erforderlich ist. Eine Reduzierung auf die unbedingt erforderliche Verkehrsfläche ist sinnvoll, in Randbereichen können durchaus Grünstreifen oder Pflanzbeete angelegt werden.
- Wenn eine Bepflasterung notwendig erscheint, sollten Pflaster mit großporigem Kornaufbau oder breiten Fugen zur Versickerung des Niederschlagswassers bevorzugt werden.
- Es ist zu prüfen, ob die bei der Erstellung der Hoffläche vorgesehene Nutzung noch erforderlich ist. Oftmals werden Stell- oder Lagerflächen nicht mehr benötigt und könnten z. B. mit einer mit Sträuchern umgebenen Sitzcke oder mit einer Rasenfläche und Pflanzbeeten neu gestaltet werden.
- Die Innenhöfe bei Blockbebauungen sind größtenteils voll versiegelt. Hier bietet sich die Gelegenheit, für die Bewohner eine grüne Oase mit Gehölzen, Pflanzbeeten, Rasen und Teich sowie Sitzcken und Spielflächen zu schaffen. In so einer angenehmen Umgebung können die Anwohner nachbarschaftliche Kontakte herstellen und pflegen.

Terrasse und Sitzplätze

- Aus natürlichem Material und optisch ansprechend sind Holzpflaster und Holzroste, die sich zur Befestigung von Terrassen und Sitzplätzen eignen.
- Zur individuellen Gestaltung von Sitzplätzen bietet sich neben Klinker und Betonsteinen auch Natursteinpflaster an.

Eingangs- und Einfahrtsbereich

- Oft sind diese Flächen überdimensioniert und versiegelt. Hier kann ein Rückbau auf die erforderliche Fläche erfolgen und die Oberfläche neben Klinker und Betonsteinen z. B. mit Natursteinpflaster versehen werden (Abb. 47).
- Für den Einfahrtsbereich können auch Rasengittersteine mit Begrünung verwendet werden.
- Ein geringer Flächenbedarf besteht bei der Verwendung von Pflastersteinen für Fahrspuren im Einfahrtsbereich.



Abb. 47: Beispiel für eine versickerungsfreundliche Gestaltung des Eingangs- und Einfahrtsbereiches.
Foto: Gunreben, LBEG.

Autostellplatz

- Die Abstellfläche für das Auto sollte möglichst in der Nähe der Einfahrt vorgesehen werden und versickerungsfreundlich ausgestattet sein. Dafür bietet sich eine Befestigung mit Schotterrasen, einer Kies- bzw. Splittdecke oder mit Rasenfugenpflaster an.

Allgemeine Stellplätze

- Die Stellflächen für Fahrräder oder Müllcontainer müssen nicht voll versiegelt sein. Zur durchlässigen Befestigung eignen sich Schotterrassen oder Rasenfugenpflaster.
- Der Zugang und die Befestigung von Abstellflächen, z. B. für Mülltonnen, können versickerungsfreundlich mit Kies erfolgen (Abb. 48).



Abb. 48: Beispiel für die versickerungsfreundliche Gestaltung eines Abstell-/Müllplatzes mit Zugang.
Foto: Steininger, LBEG.

Öffentlicher Bereich

Ein Rückbau oder Belagwechsel ist immer mit entsprechenden Kosten verbunden. Einige Gemeinden und Städte haben sich zum Ziel gesetzt, unnötig versiegelte Flächen zurückzubauen, soweit die entsprechenden Gelder zur Verfügung stehen. Auf Grund der derzeitigen finanziellen Lage der Kommunen werden Maßnahmen zur Reduktion der Befestigung meistens nur bei Umbau- oder Reparaturarbeiten umgesetzt.

In den Gemeinden und Städten gibt es noch vielfältige Möglichkeiten, zur Verbesserung des Kleinklimas und damit der Lebensbedingungen versiegelte Flächen für die Anlage von Grünzügen, Pflanzbeeten oder Gehölzpflanzungen zurückzubauen. Auch die Oberfläche einiger Verkehrswege kann ohne Einschränkung der Funktion der Fläche durch wasserdurchlässige Beläge ersetzt werden.

Nachstehend einige Beispiele:

Schulhöfe und Kinderspielplätze

- Vielerorts sind die Schulhöfe asphaltiert. Hier bietet sich eine Belagänderung mit wasserdurchlässigen oder versickerungsfreundlichen Belägen an.
- Die Gestaltung der Schulhöfe mit einer umschließenden Grünzone (z. B. bestehend aus Bäumen und Sträuchern und einem Rasenstreifen) sowie die Anlage von Pflanzbeeten (mit Boden deckenden Grünpflanzen und Blühpflanzen) auf den Höfen bieten eine gute Möglichkeit zur Erholung und könnte auch zu Lehrzwecken dienen.
- Bei Kinderspielplätzen sollte ganz auf eine Versiegelung verzichtet werden: Eine naturnahe Gestaltung der Spielbereiche mit einer Sandschicht bietet Kindern gute Spielmöglichkeiten (Abb. 49). Die Befestigung der Sitzcken kann z. B. mit Holzpflaster erfolgen.



Abb. 49: Beispiel für die versickerungsfreundliche Gestaltung von Spielplätzen.
Foto: Bolze, LBEG.

Parkplatzflächen

- Für Parkplätze mit durchschnittlicher Nutzungsintensität können auf den Stellflächen und in der Fahrgasse wasserdurchlässige Beläge eingesetzt werden (Abb. 50).
- Bei wenig genutzten Parkflächen kann die Stellfläche reduziert und ebenso wie die Fahrgasse mit versickerungsfreundlichen Belägen versehen werden. Die entstehenden freien Flächen zu begrünen und/oder mit Sträuchern und einzelnen Bäumen zu bepflanzen, trägt dazu bei, dass der Boden wieder seine natürliche Funktion übernehmen kann.
- Parkplätze mit überdimensionierten Stellflächen sollten zurückgebaut werden. Hierzu können die Mindestflächenangaben der „Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs“ (EAR 91, FGSV 1995c) und die „Empfehlungen für die Anlage von Erschließungsstraßen“ (EAE 85/95, FGSV 1995b) herangezogen werden. Die freigewordenen Flächen eignen sich gut für Begrünungsmaßnahmen.
- Von einer Entsiegelungsmaßnahme auf stark frequentierten Parkplätzen (z. B. vor gut besuchten Einkaufszentren) und auch LKW-Parkplätzen ist aus Boden- und Grundwasserschutzgründen abzusehen.



Abb. 50: Beispiel für die versickerungsfreundliche Gestaltung von Parkplätzen.

Foto: Bolze, LBEG.

Verkehrsflächen – Straßen

- Überdimensionierte Straßen können unter Beachtung des Mindestquerschnitts zugunsten von Pflanzstreifen oder breiterer Fuß- und Radwege in ihrem Querschnitt reduziert werden.
- Auch großzügig ausgebaute Kreuzungsbereiche und Verkehrsinseln können auf ein notwendiges Maß reduziert werden.
- Sind Fahrbahnverengungen zur Verkehrsberuhigung vorgesehen, bieten sich die freien Flächen sehr gut für die Herstellung von Pflanzbeeten oder Baumreihen an.
- Wenig genutzte Zufahrten, wie z. B. Feuerwehrezufahrten, können bei geradliniger Ausbildung auf Fahrspuren begrenzt werden, die mit Rasengittersteinen befestigt sind.
- Auch die seitliche Erweiterung eines Fußweges mit Rasenpflaster ermöglicht die Befahrbarkeit mit Rettungsfahrzeugen.

- Nicht zu befahrende versiegelte Flächen in Kreuzungsbereichen und Kreisverkehrsflächen können voll zurückgebaut und begrünt werden.
- Nicht befahrene Mittel- und Seitenstreifen bieten sich ebenfalls für eine Begrünung mit Rasen oder einer flächendeckenden Bepflanzung an.
- Eine Änderung der Oberflächenbefestigung kann auch nach Unterhaltungs- oder Umbauarbeiten erfolgen.

Verkehrsflächen – Geh- und Radwege

- Vielerorts bestehen überdimensionierte Gehwege, die unter Berücksichtigung der Mindestbreite zugunsten eines Grünstreifens zurückgebaut werden können.
- Für einige Geh- und Radwege bietet sich eine Belagänderung mit versickerungsfreundlichen Materialien an (Anforderungen an den behindertengerechten Ausbau sind zu berücksichtigen).

Gleisanlagen – Stadtbahn

- In einigen Städten werden Teilbereiche der Gleisanlagen von Stadtbahnen mit sogenannten Rasengleisen (Abb. 51) gebaut. Damit werden eine deutliche Lärm-minderung und zusätzlich eine positive optische Wirkung erreicht.



Abb. 51: Beispiel für die versickerungsfreundliche Gestaltung von Gleisanlagen.
Foto: Bolze, LBEG.

Gewerbe- und Industrieflächen

- Meistens sind diese Flächen voll versiegelt, obwohl die Kunden- und Mitarbeiterparkplätze durchaus mit wasserdurchlässigen Belägen verschiedener Art versehen werden können.
- Grünstreifen und Pflanzbeete zwischen Lager- und Verkehrsflächen und an den Geländegrenzen schaffen einen positiven Eindruck bei Mitarbeitern und Gästen.
- Durch eine Begrünung und Bepflanzung wenig genutzter Flächen und Seitenstreifen verbessern sich die klimatischen Verhältnisse.
- Auch eine Begrünung der Dächer der vielfach eingeschossigen Gebäude oder eine Fassadenbegrünung tragen optisch und

klimatisch zu einem besseren Arbeitsumfeld bei.

- Bei vielen Firmen sind die Lagerflächen oder zugehörige Verkehrsflächen voll versiegelt, obwohl auch diese Flächen, sofern keine Schadstoffeinträge in den Boden durch die zu lagernden Stoffe erfolgen, mit versickerungsfähigen Belägen hergestellt werden können.

Brachflächen

- Geben Gewerbe- und Industriebetriebe ihre Nutzung auf, liegen diese Flächen brach. Hier bietet sich die Möglichkeit, bei einer Nachnutzung oder anderen Verwendung eine Entsiegelung bis auf ein erforderliches Minimum durchzuführen.

6. Literatur

- AD-HOC-AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5). – 5. Aufl., 438 S., 41 Abb., 103 Tab., 31 Listen; Hannover.
- ARL – AKADEMIE FÜR RAUMFORSCHUNG UND LANDESPLANUNG (2004): Flächenhaushaltspolitik. Ein Beitrag zur nachhaltigen Raumentwicklung. – Positionspapier der ARL **58**; Hannover.
- BAUGB (2004): Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. September 2004. – BGBl. I: 2414, zuletzt geändert durch Artikel 4 des Gesetzes vom 24. Dezember 2008, BGBl. I: 3018.
- BAUNVO (1990): Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (BauNVO) in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. Januar 1990. – BGBl. I: 132, zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 22.04.1993, BGBl. I: 466, 479.
- BBODSCHV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BGBl. I: 1554), die durch Artikel 2 der Verordnung vom 23. Dezember 2004 (BGBl. I: 3758) geändert worden ist.
- BFN – BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2008): Stärkung des Instrumentariums zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme. – Bonn.
- BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (1998): Entwurf eines umweltpolitischen Schwerpunktprogrammes. – Bonn, <http://www.bmu.bund.de/pressearchiv/13_legislaturperiode/pm/675.php>.
- BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (2008): Entwurf eines umweltpolitischen Schwerpunktprogramms. – Bonn.
- BORGWARDT, S., GERLACH, A. & KÖHLER, M. (2001): Kommentierung zum FGSV-Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen. – Fachvereinigung Betonprodukte für Straßen-, Landschafts- und Gartenbau e. V. (SLG) (Hrsg.); Bonn.
- BORGWARDT, S. & ULONSKA, D. (2008): Die fachgerechte Anwendung versickerungsfähiger Pflastersysteme aus Beton. – Betonverband Straße, Landschaft, Garten e. V. (SLG) (Hrsg.); Bonn.
- BUNDESREGIERUNG (2002): Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. – Nationale Nachhaltigkeitsstrategie; Berlin.
- CDU/CSU/SPD (2005): Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD für die 16. Wahlperiode des Deutschen Bundestages. – 18. November 2005; Bonn.
- CDU/FDP (2008): Koalitionsvereinbarung 2008–2013 zwischen CDU und FDP für die 16. Wahlperiode des Niedersächsischen Landtages. – Hannover.
- CDU, CSU/FDP (2009): Wachstum. Bildung. Zusammenhalt. Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und FDP für die 17. Legislaturperiode des deutschen Bundestages. – <https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Ministerium/koalitionsvertrag.pdf?__blob=publication-File>.
- CORDES, A., GEHRKE, B., VON HAAREN-GIEBEL, F., REINHOLD, M. & SCHASSE, U. (2014): Stärken-Schwächen-Analyse (SWOT) für das Land Niedersachsen und seine Regionen. Gutachten im Auftrag der Niedersächsischen Staatskanzlei. – <<http://www.niw.de/index.php/publikationen-detailseite/items/961.html>>.
- DAHLMANN, I., HERNANDEZ DIAZ, T. & SCHNEIDER, J. (2007): Vom Brachflächenkataster zum Flächenmanagement. – GeoBerichte **1**: 33 S., 21 Abb., 4 Tab.; Hannover (LBEG).
- DIN 4020 (2003): Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke. – Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.), 2003-09; Berlin (Beuth).
- DIN 18130-1 (1998): Baugrund, Untersuchung von Bodenproben, Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes, Laborversuche. – Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.), 1998-05; Berlin (Beuth).
- DIN 18315 (2006): Verkehrswegebauarbeiten, Oberbauschichten ohne Bindemittel. – Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.), 2006-10; Berlin (Beuth).
- DIN 18316 (2006) Verkehrswegebauarbeiten, Oberbauschichten mit hydraulischen Bindemitteln. – Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.), 2006-10; Berlin (Beuth).
- DIN EN 1997-2 (2007): Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds. – Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.); Berlin (Beuth).
- DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E. V. (2005): Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. – Arbeitsblatt DWA-A **138**; Hennef.

- FGSV – FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESSEN (1995a): Merkblatt für die Herstellung von Trag- und Deckschichten ohne Bindemittel. – Köln
- FGSV – FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESSEN (1995b): Empfehlungen für die Anlage von Erschließungsstraßen. – EAE 85/95; Köln.
- FGSV – FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESSEN (1995c): Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs. – EAR 91, berichtigter Nachdruck 1995; Köln.
- FGSV – FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESSEN (1998): Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen. – Köln.
- FGSV – FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESSEN (2001): Richtlinie für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen (RStO). – Köln.
- FGSV – FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESSEN (2002): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau (ZTVT-StB). – Ausgabe 1995/Fassung 2002; Köln.
- FGSV – FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESSEN (2005): Richtlinien für die Anlage von Straßen - Teil: Entwässerung (RAS-Ew). – Köln.
- FGSV – FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESSEN (2007a): Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau (TL Gestein-StB). – Ausgabe 2004/Fassung 2007; Köln.
- FGSV – FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESSEN (2007b): Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau (TL SoB-StB). – Ausgabe 2004/Fassung 2007; Köln.
- GANTNER, K. (2002): Nachhaltigkeit urbaner Regenwasserbewirtschaftungsmethoden. – Dissertation an der Technischen Universität Berlin.
- GREITEN, U. (2000): Dach- und Fassadenbegrünung. – Stadt Osnabrück (Hrsg.).
- GREITEN, U. (2003): Entsiegeln und Versickern. – Stadt Osnabrück (Hrsg.).
- GUNREBEN, M., BARTELT, R., BRUNOTTE, J., DAHLMANN, I., MOSIMANN, T., SCHÄFER, W., SEVERIN, K., THARSEN, J., THIERMANN, A. (2003): Bodenqualitätszielkonzept Niedersachsen. Teil 1: Bodenerosion und Bodenversiegelung. – Nachhaltiges Niedersachsen 23, 49 S.; Hildesheim (NLÖ).
- GUNREBEN, M. & BOESS, J. (2008): Schutzwürdige Böden in Niedersachsen. Arbeitshilfe zur Berücksichtigung des Schutzgutes Boden in Planungs- und Genehmigungsverfahren. – GeoBerichte 8: 48 S., 16 Abb., 8 Tab., 6 Anh.; Hannover (LBEG).
- GUNREBEN, M. & SCHNEIDER, J. (2001): Entsiegelung von Böden: Wann und Wie? – Arb.-H. Boden 2001/3: 55–93, 7 Abb., 9 Tab.; Hannover (NLfB).
- HÖPER, H., RAISSI, F. & REUTTER, E. (2007): Bodenkundliche und hydrogeologische Empfehlungen für die Abwasserbeseitigung in Kleinkläranlagen. – Überarbeitete Fassung. Geofakten 7: 7 S., 4 Abb.; Hannover (LBEG).
- INTEWA (2009): Planung Grundlagen Regenwasserversickerung 0706. – <http://www.intewa.de/download/INTEWA_Planung_Grundlagen%20Regenwasserversickerung_0706.pdf>, Stand: 08.04.2009.
- LABO – BUND-LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (2007): Indikator Versiegelung. – Abschlussbericht der Fachgespräche „Indikator Versiegelung“ der LABO; Hannover.
- LANDESHAUPTSTADT HANNOVER (2000): Naturnaher Umgang mit Regenwasser. – Schriftenreihe kommunaler Umweltschutz 30; Hannover.
- LAWA – LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (1994): Empfehlungen für die Erkundung, Bewertung und Behandlung von Grundwasserschäden. – Stuttgart.
- LSN – LANDESAMT FÜR STATISTIK NIEDERSACHSEN (fortlaufende Jahre): Flächenerhebung (tatsächliche Nutzung).
- LG-STIFTUNG, NATUR UND UMWELT (1996): Entsiegeln - Natur braucht Platz! – Naturschutz im Kleinen 15; Stuttgart.
- LROP – LANDESRAUMORDNUNGSPROGRAMM NIEDERSACHSEN (2008). Verordnung zur Änderung der Verordnung über das Landes-Raumordnungsprogramm Niedersachsen. Teil II vom 21. Januar 2008. – Nds. GVBl.: 26; Hannover.
- MOHS, B. & MEINERS, H.-G. (1994): Kriterien des Bodenschutzes bei der Ver- und Entsiegelung von Böden. – Untersuchungsprogramm Bodenversiegelung/-entsiegelung, Umweltforschungsplan des BMU, Forschungsbericht 10703007/16, UBA-Texte 50/94.

- MU – NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT UND KLIMASCHUTZ (2008): Arbeitsprogramme der 6. Regierungskommission. – Interneteintrag vom 22.12.2008, <http://www.umwelt.niedersachsen.de/master/C49676760_N7426991_L20_DO_I598.html>.
- MU – NIEDERSÄCHSISCHES UMWELTMINISTERIUM (2015): Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen zur Sanierung von verschmutzten Flächen (Förderrichtlinie Brachflächenrecycling). – RdErl. d. MU v. 27.05.2015, VORIS 28300.
- MÜLLER, U. & WALDECK, A. (2011): Auswertungsmethoden im Bodenschutz. Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS®). – 8. erw. u. erg. Aufl., Geoberichte 19.; Hannover (LBEG).
- MUNLV – MINISTERIUM FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (2008): Fläche schützen statt verbrauchen. Nachhaltige Flächenpolitik in Nordrhein-Westfalen. – Düsseldorf.
- N-BANK (2014): Wohnbaulandumfrage 2014. – Hannover
- ROG (1997): Raumordnungsgesetz vom 18. August 1997 (BGBl. I: 2081, 2102), das zuletzt durch Artikel 9 Nr. 2 Satz 2 der Verordnung vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I: 2986) geändert worden ist.
- SCHNEIDER, J. (1999): Schwermetalle in Böden Niedersachsens. Hintergrundwerte für Schwermetalle in Böden Niedersachsens. Schwermetallbelastung in den Böden der Talauen des Harzes und des Harzvorlandes. Schwermetalle in einem städtischen Belastungsraum. – Arb.-H. Boden 1999/2: 24 S., 3 Abb., 4 Tab., 3 Karten; Hannover (NLfB).
- SCHNEIDER, J. (2001): Wo ist Regenwasserversickerung sinnvoll? - Beurteilung des Bodenpotenzials für die Regenwasserversickerung. – Flyer des NLfB; Hannover [Unveröff.].
- SPD/GRÜNE (2013): Koalitionsvereinbarung 2008–2013 zwischen SPD und Bündnis 90/Die Grünen für die 17. Wahlperiode des Niedersächsischen Landtages. – Hannover.
- STADT BRAUNSCHWEIG (1993): Bodenentsiegelungskonzept. – Schriftenreihe Kommunaler Umweltschutz 2; Braunschweig.
- STADT LEVERKUSEN (1992): Bodenentsiegelung. Die Chance, ein Stück Natur zurückzugewinnen! – Leverkusen.
- STADT SIEGEN (2006): Versickern statt Versiegeln! Informationen zur Bodenentsiegelung und regenwasserversickerung. – Stadt Siegen, Abt. Umwelt; Siegen.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2016): Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung. – Fachserie 3 Reihe 5.1. (2015), <<https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Land-Forstwirtschaft/Flaechennutzung/Bodenflaechennutzung.html>>.
- STULLE, K & WULFERT, K (2001): Entwicklung eines kommunalen Entsiegelungskonzeptes. – Nachhaltiges Niedersachsen 16; Hildesheim (NLÖ).
- THARSEN, J. & GUNREBEN, M. (2001): Bodenversiegelung in Niedersachsen. – Arb.-H. Boden 2001/3: 39–54, 7 Abb., 2 Tab.; Hannover (NLfB).
- UBA – UMWELTBUNDESAMT (1998): Revitalisierung von Altstandorten versus Inanspruchnahme von Naturflächen. – Texte 15/98.
- UBA – UMWELTBUNDESAMT (2004): Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Siedlungen und Verkehr. – Berlin.
- UBA – UMWELTBUNDESAMT (2012): PROJEKT FORUM: Handel mit Flächenzertifikaten - Fachliche Vorbereitung eines überregionalen Modellversuchs. – Texte 60/2012; Dessau.
- UBA – UMWELTBUNDESAMT (2015): Handel mit Flächenzertifikaten. – <<http://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/flaechensparen-boeden-landschaften-erhalten/handelflaechenzertifikaten>> (Aufruf am 31.08.2015).
- UGRD L – ARBEITSKREIS UMWELTÖKONOMISCHE GESAMTRECHNUNGEN DER LÄNDER IM AUFTRAG DER STATISTISCHEN ÄMTER DER LÄNDER (2012): Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder – Methodenhandbuch. – 117 S.; <http://www.ugrdl.de/pdf/MethodenhandbuchUGRDl_endg_2012_05_07.pdf>.

7. Anhang

7.1. Anhang 1: Ermittelte Versiegelungsgrade nach den Nutzungsarten des ALB

Hinweis: Das ALB ist in Niedersachsen 2011 in das Amtliche Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) überführt worden. Dabei fanden auch Umwidmungen und Neuzuordnungen einzelner Nutzungsarten statt, so dass möglicherweise einige der hier genannten Nutzungsnummern und -arten heute nicht mehr oder in anderer Zusammensetzung vorliegen.

Tab. 10: Ermittelte Versiegelungsgrade nach den Nutzungsarten des ALB (Katasterdaten, Stand 2009).

Nutzungsnummer	Nutzung nach Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder (AdV)	Stichproben	Versiegelungsgrad [%]
400	Erholungsfläche	.	0
700	Waldfläche	.	0
800	Wasserfläche	.	0
900	Flächen anderer Nutzung (Feldvergleich erforderlich)	.	10
110	Gebäude- und Freifläche, öffentliche Zwecke	516	42
130	Gebäude- und Freifläche, Wohnen	17457	35
140	Gebäude- und Freifläche, Handel und Dienstleistung	875	76
170	Gebäude- und Freifläche, Gewerbe und Industrie	1282	80
210	Gebäude- und Freifläche, Mischnutzung mit Wohnen	333	62
230	Gebäude- und Freifläche zu Verkehrsanlagen	1033	64
250	Gebäude- und Freifläche zu Versorgungsanlagen	254	70
260	Gebäude- und Freifläche zu Entsorgungsanlagen	64	31
270	Gebäude- und Freifläche, Land- und Forstwirtschaft	200	45
280	Gebäude- und Freifläche, Erholung	45	52
290	Gebäude- und Freifläche, ungenutzt	252	4
310	Betriebsfläche Abbauland	0	0
320	Betriebsfläche Halde	0	0
330	Betriebsfläche Lagerplatz	28	14
340	Betriebsfläche Versorgungsanlage	1	0
350	Betriebsfläche Entsorgungsanlage	0	14
360	Betriebsfläche ungenutzt	7	0
410	Sportfläche	105	8
420	Grünanlage	967	4
430	Campingplatz	1	3
510	Straße	875	63
51A	Straße mit angrenzender Verkehrsbeleitfläche	1621	55
520	Weg	1372	15
530	Platz	111	58

Tab. 10 (Fortsetzung).

Nutzungsnummer	Nutzung nach Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder (AdV)	Stichproben	Versiegelungsgrad [%]
540	Bahngelände	6	15
54A	Bahngelände mit angrenzender Verkehrsbeleitfläche	111	9
550	Flugplatz	5	1
55A	Flugplatz mit angrenzender Verkehrsbeleitfläche	5	1
560	Schiffsverkehr (unbebaute Landfläche)	.	0
580	Verkehrsfläche, ungenutzt	.	0
58A	Verkehrsfläche, ungenutzt mit angrenzender Verkehrsbeleitfläche	.	0
590	Verkehrsbeleitfläche	25	1
610	Ackerland	143	0
620	Grünland	81	0
630	Gartenland	138	8
63A	Gartenland mit Obstanbauflächen	282	8
640	Weingarten	.	0
650	Moor	.	0
660	Heide	.	0
670	Obstanbaufläche	1	0
67A	Obstanbaufläche	0	0
680	landwirtschaftliche Betriebsfläche	4	11
690	Brachland	0	0
710	Laubwald	32	0
720	Nadelwald	7	0
730	Mischwald	17	0
740	Gehölz	11	0
760	forstwirtschaftliche Betriebsfläche	.	11
810	Fluss	4	0
81A	Fluss mit angrenzender Begleitfläche eigener Nutzung	11	0
820	Kanal	1	0
82A	Kanal mit angrenzender Begleitfläche eigener Nutzung	.	0
830	Hafen	.	0
83A	Hafen mit angrenzender Begleitfläche eigener Nutzung	.	0
840	Bach	7	0
850	Graben	22	0
860	See	1	0
870	Küstengewässer	.	0
87A	Altwasser	0	0
880	Teich, Weiher	12	0
890	Sumpf	.	0

Tab. 10 (Fortsetzung).

Nutzungsnummer	Nutzung nach Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder (AdV)	Stichproben	Versiegelungsgrad [%]
910	Übungsgelände	65	2
920	Schutzfläche (Deiche etc.)	8	4
930	historische Anlage (Stadtmauern etc., keine Gebäude)	.	0
940	Friedhof	16	4
950	Unland	0	0

7.2. Anhang 2: Ermittelte Versiegelungsgrade nach den Objektarten von ATKIS®

Tab. 11: Ermittelte Versiegelungsgrade nach den Objektarten von ATKIS® (Katasterdaten, Stand 2009).

Objektnummer	Objektart	zugeordnete Objektnummer	Versiegelungsgrad [%]
1000	Festpunkte		0
1001	Lagefestpunkt		0
1002	Höhenfestpunkt		0
1003	Schwerfestpunkt		0
2000	Siedlung		0
2100	baulich geprägte Flächen		0
2101	Ortslage		0
2111	Wohnbaufläche		47
2112	Industrie- und Gewerbefläche		62
2113	Fläche gemischter Nutzung		52
2114	Fläche besonderer funktionaler Prägung		45
2121	Bergbaubetrieb	2132	36
2122	Abfalldeponie		63
2123	Raffinerie	2112	62
2124	Werft	2114	45
2125	Lager, Depot	2112	62
2126	Kraftwerk	2127	34
2127	Umspannstation		34
2128	Förderanlage	2112	62
2129	Kläranlage, Klärwerk		11
2130	Fabrikanlage, Werksanlage	2112	62
2131	Ausstellungsgelände, Messegelände	2112	62
2132	Gärtnerei		36
2133	Heizwerk	2134	11
2134	Wasserwerk		11
2135	Abfallbehandlungsanlage	2112	62

Tab. 11 (Fortsetzung).

Objektnummer	Objektart	zugeordnete Objektnummer	Versiegelungs- grad [%]
2200	Siedlungsfreiflächen		0
2201	Sportanlage		16
2202	Freizeitanlage		9
2211	Freilichttheater	2102	0
2212	Freilichtmuseum	2102	0
2213	Friedhof		13
2221	Stadion	2201	16
2222	Sportplatz		6
2223	Schießstand		41
2224	Schwimmbad, Freibad		17
2225	Zoo	2227	12
2226	Freizeitpark, Safaripark, Wildgehege	2227	12
2227	Grünanlage		12
2228	Campingplatz		3
2229	Autokino, Freilichtkino	2227	12
2230	Golfplatz	2228	3
2300	Bauwerke und sonstige Einrichtungen	2111	47
2301	Tagebau, Grube, Steinbruch		0
2302	Halde, Aufschüttung		0
2303	Freifläche		0
2304	Rieselfeld		0
2310	Betriebseinrichtung (allgemein)	2111	47
2311	Gradierwerk	212	0
2312	katalytische Krackanlage	2112	62
2313	Vorratsbehälter, Speicherbauwerk	2112	62
2314	Absetzbecken, Schlammteich, Erdfaulbecken, Rieselfeld		0
2315	Gebäude	2111	47
2316	Turm	2111	47
2317	Schornstein, Schlot, Esse	2112	62
2318	Durchfahrt	2113	52
2319	Brunnen		0
2320	Stollenmundloch, Keller-, Höhleneingang, Schachtoffnung		0
2321	Hochfackel		0
2322	Hochofen		0
2323	Dock		0
2324	Kran		0

Tab. 11 (Fortsetzung).

Objektnummer	Objektart	zugeordnete Objektnummer	Versiegelungs- grad [%]
2325	Pumpe, Pumpstelle		0
2326	Wasserrad		0
2327	Windrad		0
2328	Solarzellen		0
2331	archäologische Fundstätte		0
2333	Bildstock, Wegekreuz, Gipfelkreuz		0
2334	Meilenstein		0
2341	Bauwerk in Freizeitanlage	2111	47
2342	Spielfeld, Spielfläche		0
2343	Zuschauertribüne	2111	47
2344	Rennbahn, Laufbahn, Geläuf	2222	6
2345	Schwimmbecken		8
2346	Sprungschanze (Anlauf)		0
2351	Mauer		100
2352	Zaun		0
3000	Verkehr		0
3100	Straßenverkehr		0
3101	Straße	3103	70
3102	Weg	3103	70
3103	Platz		70
3104	Straße (komplex)	3103	70
3105	Straßenkörper		100
3106	Fahrbahn		100
3200	Schienenverkehr		0
3201	Schienenbahn		0
3202	Seilbahn, Schwebebahn		0
3203	Schienenbahn (komplex)		0
3204	Bahnkörper		0
3205	Bahnstrecke		0
3300	Flugverkehr		0
3301	Flughafen	2113	52
3302	Flugplatz, Landeplatz		3
3303	Rollbahn		100
3304	Vorfeld	2113	52
3400	Schiffsverkehr		0
3401	Hafen		1
3402	Hafenbecken		1

Tab. 11 (Fortsetzung).

Objektnummer	Objektart	zugeordnete Objektnummer	Versiegelungs- grad [%]
3403	Schiffahrtslinie		0
3500	Anlagen und Bauwerke für Verkehr, Transport und Kommunikation	2112	62
3501	Bahnhofsanlage		30
3502	Raststätte	2112	62
3503	Verkehrsknoten	3103	70
3511	Grenzübergang, Zollanlage	2112	62
3512	Anlegestelle, Anleger		0
3513	Tunnel		0
3514	Brücke, Überführung, Unterführung		71
3515	Furt		0
3516	Bahnübergang	3103	70
3521	Brückenpfeiler	3103	70
3522	Kilometrierungspunkt, Stationierungspunkt		0
3523	Schifffahrtszeichen		0
3524	Kilometrierungsachse, Stationierungsachse		0
3531	Freileitung		0
3532	Rohrleitung, Pipeline		0
3533	Förderband, Bandstraße		0
3541	Mast		0
3542	Radioteleskop		0
3543	Antenne		0
4000	Vegetation		0
4100	Vegetationsflächen		0
4101	Ackerland		2
4102	Grünland	4101	2
4103	Gartenland		6
4104	Heide		0
4105	Moor, Moos		0
4106	Sumpf, Ried		0
4107	Wald, Forst		1
4108	Gehölz		11
4109	Sonderkultur		3
4110	Brachland		0
4111	nasser Boden		4
4120	vegetationslose Fläche		0
4199	Fläche, z. Z. unbestimmbar		24
4200	Bäume und Büsche		0

Tab. 11 (Fortsetzung).

Objektnummer	Objektart	zugeordnete Objektnummer	Versiegelungsgrad [%]
4201	Baum		0
4202	Baumreihe		0
4203	Hecke, Knick (Wallhecke)		0
5000	Gewässer		0
5100	Wasserflächen		0
5101	Strom, Fluss, Bach		1
5102	Kanal (Schifffahrt)		4
5103	Graben, Kanal (Wasserwirtschaft)		0
5104	Priel		0
5105	Quelle		0
5111	Meer		0
5112	Binnensee, Stausee, Teich		0
5121	Watt		0
5200	besondere Objekte in Gewässern		0
5201	Sandbank		0
5202	Stromschnelle		0
5203	Wasserfall		0
5300	Einrichtungen und Bauwerke an Gewässern		0
5301	Durchlass	5102	4
5302	Talsperre, Wehr	5102	4
5303	Schleuse	5102	4
5304	Schleusenkammer	5102	4
5311	Pegel		0
5321	Uferbefestigung	5102	4
6000	Relief		0
6100	Digitales Geländemodell (DGM)		0
6101	DGM-Gitter		0
6102	DGM-Höhenlinie		0
6103	Geländelinie		0
6104	besonderer Geländepunkt		0
6199	Aussparungsfläche		0
6200	besondere Geländeoberflächenformen		0
6201	Damm, Wall, Deich		0
6202	Damm, Wall, Deich (komplex)		0
6203	Damm-, Wall-, Deichkrone		0
6204	Böschung, Kliff		0
6205	Böschung, Kliff (komplex)		0

Tab. 11 (Fortsetzung).

Objektnummer	Objektart	zugeordnete Objektnummer	Versiegelungs- grad [%]
6206	Böschungfußpunkt		0
6207	Stützmauer		0
6211	Felsen, Felsblock, Felsnadel		0
6212	Hochgebirgsmoräne		0
6213	Gletscher		0
6214	Gletscherspalte		0
6215	Düne		0
7000	Gebiete		0
7100	Verwaltungsgebiete		0
7101	Verwaltungseinheit		0
7102	Sitz der Verwaltung		0
7103	Verwaltungseinheit (komplex)		0
7200	geographische Gebietseinheiten		0
7201	Landschaft		0
7202	Kleinräumiger Landschaftsteil		0
7203	Gewanne		0
7211	Insel		0
7299	Grenze		0
7300	Schutzgebiete		0
7301	Nationalpark		0
7302	Naturschutzgebiet		0
7303	geschützter Landschaftsbestandteil		0
7304	Landschaftsschutzgebiet		0
7305	Naturpark		0
7311	Wasserschutzgebiet, Heilquellenschutzgebiet		7
7312	Lärmschutzbereich		0
7400	Gefahrengebiete, sonstige Sperrgebiete		0
7401	Bodenbewegungsgebiet		0
7402	Bruchfeld		0
7403	Truppenübungsplatz, Standortübungsplatz		0
7404	Überschwemmungsgebiet		0
7405	Testgelände		0

7.3. Anhang 3: Bevölkerungsbezogene Indikatoren

Tab. 12: Bevölkerungsbezogene Indikatoren (Produkt PR1: Satellitenbilddauswertung).

PR1-Nachfolgeprodukte		
Produkt	Indikator	Beschreibung
Bevölkerung	Pop00	Bevölkerung 2000 pro 1 x 1-km-Gitterzelle
	Pop05	Bevölkerung 2005 pro 1 x 1-km-Gitterzelle
	Pop05_int	Bevölkerung 2005 pro 1 x 1-km-Gitterzelle, ganze Zahlen
	Pop05_int	Bevölkerung 2005 pro 1 x 1-km-Gitterzelle, ganze Zahlen
Bevölkerung in Hochwassergefährdungsgebieten	Area_cat1	Gebiete in Hochwassergefährdungsstufe 1 pro 1 x 1-km-Gitterzelle [m ²]
	Area_cat2	Gebiete in Hochwassergefährdungsstufe 2 pro 1 x 1-km-Gitterzelle [m ²]
	Pop00_cat1	Bevölkerung in Hochwassergefährdungsstufe 1 pro 1 x 1-km-Gitterzelle im Jahr 2000
	Pop00_cat2	Bevölkerung in Hochwassergefährdungsstufe 2 pro 1 x 1-km-Gitterzelle im Jahr 2000
	Pop05_cat1	Bevölkerung in Hochwassergefährdungsstufe 1 pro 1 x 1-km-Gitterzelle im Jahr 2005
	Pop05_cat2	Bevölkerung in Hochwassergefährdungsstufe 2 pro 1 x 1-km-Gitterzelle im Jahr 2005
	M24_11	Wohngebiete 2000 [m ²]
	M26_11	Wohngebiete 2005 [m ²]
	M24_11_c1	Wohngebiete in Hochwassergefährdungsstufe 1 im Jahr 2000 [m ²]
	M24_11_c2	Wohngebiete in Hochwassergefährdungsstufe 2 im Jahr 2000 [m ²]
	PC_M24_c1	Anteil der Wohngebiete in Hochwassergefährdungsstufe 1 im Jahr 2000 [%]
	PC_M24_c2	Anteil der Wohngebiete in Hochwassergefährdungsstufe 2 im Jahr 2000 [%]
	PC_M24_non	Anteil der Wohngebiete in Nicht-Hochwassergefährdungsstufen im Jahr 2000 [%]
	M26_11_c1	Wohngebiete in Hochwassergefährdungsstufe 1 im Jahr 2005 [m ²]
M26_11_c2	Wohngebiete in Hochwassergefährdungsstufe 2 im Jahr 2005 [m ²]	
PC_M26_c1	Anteil der Wohngebiete in Hochwassergefährdungsstufe 1 im Jahr 2005 [%]	
PC_M26_c2	Anteil der Wohngebiete in Hochwassergefährdungsstufe 2 im Jahr 2005 [%]	
PC_M26_non	Anteil der Wohngebiete in Nicht-Hochwassergefährdungsstufen im Jahr 2005 [%]	
Bevölkerung in Wassererosionsgebieten	Area_wasse	wassererosionsgefährdete Gebiete pro 1 x 1-km-Gitterzelle [m ²]
	Pop00_wass	Bevölkerung in wassererosionsgefährdeten Gebieten pro 1 x 1-km-Gitterzelle [m ²] im Jahr 2000 [%]
	Pop05_wass	Bevölkerung in wassererosionsgefährdeten Gebieten pro 1 x 1-km-Gitterzelle im Jahr 2005 [%]

7.4. Anhang 4: Flächen- und schutzgebietsbezogene Indikatoren

Tab. 13: Flächen- und schutzgebietsbezogene Indikatoren (Produkt PR2: Satellitenbilddauswertung).

PR2-Nachfolgeprodukte		
Produkt	Indikator	Beschreibung
Ind01 – Bodenversiegelungsintensität	I01_01	mittlerer Versiegelungsgrad in Wohngebieten 2000 [%]
	I01_02	mittlerer Versiegelungsgrad in Wohngebieten 2005 [%]
	I01_03	mittlerer Versiegelungsgrad in Wohngebieten und Industriegebieten 2000 [%]
		mittlerer Versiegelungsgrad in Wohngebieten und Industriegebieten 2005 [%]
	I01_05	mittlerer Versiegelungsgrad in Siedlungsgebieten 2000 [%]
		mittlerer Versiegelungsgrad in Siedlungsgebieten 2005 [%]
	I01_07	mittlerer Versiegelungsgrad in den Gemeindegebieten 2000 [%]
		mittlerer Versiegelungsgrad in den Gemeindegebieten 2005 [%]
Ind02 – Übergangsindikator: Bodenbedeckung ersetzt durch bebaute Gebiete	I02_01	gesamte Fläche ersetzt durch bebaute Gebiete 2000–2005 [m ²]
	I02_02	landwirtschaftliche Nutzfläche ersetzt durch bebaute Gebiete 2000–2005 [m ²]
	I02_03	Waldfläche ersetzt durch bebaute Gebiete 2000–2005 [m ²]
	I02_04	Feuchtgebiete ersetzt durch bebaute Gebiete 2000–2005 [m ²]
	I02_05	Gewässer ersetzt durch bebaute Gebiete 2000–2005 [m ²]
Ind03 – Übergangsindikator: Verlust der natürlichen und naturnahen Bodenbedeckung	I03_01	unveränderte natürliche und naturnahe Gebiete 2000–2005 [m ²]
		Zunahme der natürlichen und naturnahen Gebiete 2000–2005 [m ²]
		Rückgang der natürlichen und naturnahen Gebiete 2000–2005 [m ²]
Ind04 – Übergangsindikator: Landnahme	I04_01	Wohngebiete 2000 [m ²]
	I04_02	Wohngebiete 2005 [m ²]
	I04_03	Zunahme der Wohngebiete 2000–2005 [m ²]
	I04_04	Industrie- und Gewerbegebiete 2000 [m ²]
	I04_05	Industrie- und Gewerbegebiete 2005 [m ²]
	I04_06	Zunahme der Industrie- und Gewerbegebiete 2000–2005 [m ²]
	I04_07	Siedlungsgebiete 2000 [m ²]
	I04_08	Siedlungsgebiete 2005 [m ²]
	I04_09	Zunahme der Siedlungsgebiete 2000–2005 [m ²]
Ind05 – Landverbrauch pro Kopf	I05_01	Bevölkerung 2000
	I05_02	Bevölkerung 2005
	I05_03	Flächenverbrauch für Wohngebiete pro Kopf 2000 [m ²]
	I05_04	Flächenverbrauch für Wohngebiete pro Kopf 2005 [m ²]
	I05_05	gesamtes Siedlungsgebiet 2000 [m ²]
	I05_06	gesamtes Siedlungsgebiet 2005 [m ²]
	I05_07	gesamter Flächenverbrauch für Siedlungsgebiete pro Kopf 2000 [m ²]
	I05_08	gesamter Flächenverbrauch für Siedlungsgebiete pro Kopf 2005 [m ²]
Ind06 – Verbleibende offene Flächen innerhalb bebauten Landes		Dieses Produkt wurde aufgrund der Nichtverfügbarkeit von Daten der Landnutzung für Niedersachsen nicht vorgesehen.
Ind07 – Mögliche Konflikte zwischen Naturräumen und Siedlungsentwicklungen	I07_01	mögliche Konfliktgebiete 2005 [m ²]

Tab. 13 (Fortsetzung).

PR2-Nachfolgeprodukte		
Produkt	Indikator	Beschreibung
Ind08 – Aufteilung (gem. ETH/ETC Produktion)	I08_01	tatsächliche Maschenweite der Nicht-Siedlungsgebiete 2000 [km ²]
	I08_02	tatsächliche Maschenweite der Nicht-Siedlungsgebiete 2005 [km ²]
Ind09 – Küstenerosion im Verhältnis zu vorherrschenden Landschaftstypen, Natura 2000-Gebieten und möglichen Konflikten		Alle Datensätze verfügbar. Keine Küstenerosionszonen gemeldet durch Vektordatensatz „Geomorphology, Geology, Erosion trends and Coastal defence works“, herunterzuladen über die Webseite der Europäischen Umweltagentur: < http://dataservice.eea.europa.eu/dataservice/metadetails.asp?id=730 >
Ind10 – Bevölkerungsdichte in bebauten Gebieten	I10_01	Bevölkerungsdichte in Wohngebieten 2000 [Einw./ha]
	I10_02	Bevölkerungsdichte in Wohngebieten 2005 [Einw./ha]
	I10_03	Bevölkerungsdichte im gesamten Siedlungsgebiet 2000 [Einw./ha]
	I10_04	Bevölkerungsdichte im gesamten Siedlungsgebiet 2005 [Einw./ha]
Ind11 – Anteil bebauter schutzwürdiger Böden	I11_01	Böden mit hoher natürlicher Bodenfruchtbarkeit [m ²]
	I11_02	bebaute Böden mit hoher natürlicher Bodenfruchtbarkeit 2000 [m ²]
	I11_03	bebaute Böden mit hoher natürlicher Bodenfruchtbarkeit 2005 [m ²]
	I11_04	Anteil bebauter Gebiete auf Böden mit hoher natürlicher Bodenfruchtbarkeit an gesamtem bebauten Gebiet 2000 [%]
	I11_05	Anteil bebauter Gebiete auf Böden mit hoher natürlicher Bodenfruchtbarkeit an gesamtem bebauten Gebiet 2005 [%]
	I11_06	Anteil bebauter Böden mit hoher natürlicher Bodenfruchtbarkeit an gesamten Böden mit hoher natürlicher Bodenfruchtbarkeit 2000 [%]
	I11_07	Anteil bebauter Böden mit hoher natürlicher Bodenfruchtbarkeit an gesamten Böden mit hoher natürlicher Bodenfruchtbarkeit 2000 [%]
	I11_08	Zunahme der Siedlungsgebiete auf Böden mit hoher natürlicher Bodenfruchtbarkeit von 2000–2005 [m ²]
	I11_09	Anteil der Zunahme von Siedlungsgebieten auf Böden mit hoher natürlicher Bodenfruchtbarkeit an der Zunahme der gesamten Siedlungsgebiete [%]
	I11_10	Plaggenesche [m ²]
	I11_11	bebaute Plaggenesche 2000 [m ²]
	I11_12	bebaute Plaggenesche 2005 [m ²]
	I11_13	Anteil bebauter Gebiete auf Plaggeneschböden an gesamten bebauten Gebieten 2000 [%]
	I11_14	Anteil bebauter Gebiete auf Plaggeneschböden an gesamten bebauten Gebieten 2005 [%]
	I11_15	Anteil bebauter Plaggenesche an gesamten Plaggeneschböden 2000 [%]
	I11_16	Anteil bebauter Plaggenesche an gesamten Plaggeneschböden 2005 [%]
	I11_17	Zunahme der Siedlungsgebiete auf Plaggeneschböden von 2000–2005 [m ²]
	I11_18	Anteil der Zunahme von Siedlungsgebieten auf Plaggeneschböden an Zunahme der gesamten Siedlungsgebiete [%]
	I11_19	Seltene Böden [m ²]
	I11_20	bebaute Seltene Böden 2000 [m ²]
	I11_21	bebaute Seltene Böden 2005 [m ²]
	I11_22	Anteil bebauter Gebiete auf Seltene Böden an gesamten bebauten Gebieten 2000 [%]
	I11_23	Anteil bebauter Gebiete auf Seltene Böden an gesamten bebauten Gebieten 2005 [%]
	I11_24	Anteil bebauter seltener Böden an gesamten Seltene Böden 2000 [%]

Tab. 13 (Fortsetzung).

PR2-Nachfolgeprodukte		
Produkt	Indikator	Beschreibung
	I11_25	Anteil bebauter seltener Böden an gesamten Seltenen Böden 2005 [%]
	I11_26	Zunahme der Siedlungsgebiete auf Seltenen Böden von 2000–2005 [m ²]
	I11_27	Anteil der Zunahme von Siedlungsgebieten auf Seltenen Böden an der Zunahme der gesamten Siedlungsgebiete [%]
	I11_28	Böden mit hohem Wasserspeichervermögen [m ²]
	I11_29	bebaute Böden mit hohem Wasserspeichervermögen 2000 [m ²]
	I11_30	bebaute Böden mit hohem Wasserspeichervermögen 2005 [m ²]
	I11_31	Anteil bebauter Gebiete auf Böden mit hohem Wasserspeichervermögen an gesamten bebauten Gebieten 2000 [%]
	I11_32	Anteil bebauter Gebiete auf Böden mit hohem Wasserspeichervermögen an gesamten bebauten Gebieten 2005 [%]
	I11_33	Anteil bebauter Böden mit hohem Wasserspeichervermögen an gesamten Böden mit hohem Wasserspeichervermögen 2000 [%]
	I11_34	Anteil bebauter Böden mit hohem Wasserspeichervermögen an gesamten Böden mit hohem Wasserspeichervermögen 2005 [%]
	I11_35	Zunahme der Siedlungsgebiete auf Böden mit hohem Wasserspeichervermögen von 2000–2005 [m ²]
	I11_36	Anteil der Zunahme von Siedlungsgebieten auf Böden mit hohem Wasserspeichervermögen an der Zunahme der gesamten Siedlungsgebiete [%]
	I11_37	Böden mit hohem Filter- und Puffervermögen [m ²]
	I11_38	bebaute Böden mit hohem Filter- und Puffervermögen 2000 [m ²]
	I11_39	bebaute Böden mit hohem Filter- und Puffervermögen 2005 [m ²]
	I11_40	Anteil bebauter Gebiete auf Böden mit hohem Filter- und Puffervermögen an gesamten bebauten Gebieten 2000 [%]
	I11_41	Anteil bebauter Gebiete auf Böden mit hohem Filter- und Puffervermögen an gesamten bebauten Gebieten 2005 [%]
	I11_42	Anteil bebauter Böden mit hohem Filter- und Puffervermögen an gesamten Böden mit hohem Filter- und Pufferanteil 2000 [%]
	I11_43	Anteil bebauter Böden mit hohem Filter- und Puffervermögen an gesamten Böden mit hohem Filter- und Pufferanteil 2005 [%]
	I11_44	Zunahme der Siedlungsgebiete auf Böden mit hohem Filter- und Puffervermögen von 2000–2005 [m ²]
	I11_45	Anteil der Zunahme von Siedlungsgebieten auf Böden mit hohem Filter- und Puffervermögen an der Zunahme der gesamten Siedlungsgebiete [%]
	I11_46	von Wassererosion gefährdete Böden [m ²]
	I11_47	bebaute wassererosionsgefährdete Böden 2000 [m ²]
	I11_48	bebaute wassererosionsgefährdete Böden 2005 [m ²]
	I11_49	Anteil der bebauten Gebiete auf wassererosionsgefährdeten Böden an gesamten bebauten Gebieten 2000 [%]
	I11_50	Anteil der bebauten Gebiete auf wassererosionsgefährdeten Böden an gesamten bebauten Gebieten 2005 [%]
	I11_51	Anteil der bebauten wassererosionsgefährdeten Böden an gesamten wassererosionsgefährdeten Böden 2000 [%]
	I11_52	Anteil der bebauten wassererosionsgefährdeten Böden an gesamten wassererosionsgefährdeten Böden 2005 [%]
	I11_53	Zunahme der Siedlungsgebiete auf wassererosionsgefährdeten Böden von 2000–2005 [m ²]
	I11_54	Anteil der Zunahme von Siedlungsgebieten auf wassererosionsgefährdeten Böden an der Zunahme der gesamten Siedlungsgebiete [%]

Tab. 13 (Fortsetzung).

PR2-Nachfolgeprodukte		
Produkt	Indikator	Beschreibung
Ind12 – Druck auf geschützte Gebiete: Küsten- und Binnenlandgebiete geschützt durch Natura 2000	I12_01	Zunahme der Siedlungsgebiete 2000–2005 außerhalb geschützter Gebiete, Entfernung zur Küste < 10 km [m ²]
	I12_02	Zunahme der Siedlungsgebiete 2000–2005 außerhalb geschützter Gebiete, Entfernung zur Küste 10–20 km [m ²]
	I12_03	Zunahme der Siedlungsgebiete 2000–2005 außerhalb geschützter Gebiete, Entfernung zur Küste 20–30 km [m ²]
	I12_04	Zunahme der Siedlungsgebiete 2000–2005 außerhalb geschützter Gebiete, Entfernung zur Küste ≥ 30 km [m ²]
	I12_05	Zunahme der Siedlungsgebiete 2000–2005 innerhalb geschützter Gebiete, Entfernung zur Küste < 10 km [m ²]
	I12_06	Zunahme der Siedlungsgebiete 2000–2005 innerhalb geschützter Gebiete, Entfernung zur Küste 10–20 km [m ²]
	I12_07	Zunahme der Siedlungsgebiete 2000–2005 innerhalb geschützter Gebiete, Entfernung zur Küste 20–30 km [m ²]
	I12_08	Zunahme der Siedlungsgebiete 2000–2005 innerhalb geschützter Gebiete, Entfernung zur Küste ≥ 30 km [m ²]
Ind13 – Druck auf geschützte Gebiete: Veränderung der Landnutzung in der Umgebung geschützter Gebiete	I13_01	Zunahme bebauter Gebiete 2000–2005 in der Umgebung geschützter Gebiete [m ²]
	I13_02	Rückgang bebauter Gebiete 2000–2005 in der Umgebung geschützter Gebiete [m ²]
	I13_03	Veränderung innerhalb der bebauten Gebiete 2000–2005 in der Umgebung geschützter Gebiete [m ²]
	I13_04	Veränderung innerhalb der nicht bebauten Gebiete 2000–2005 in der Umgebung geschützter Gebiete [m ²]
	I13_05	Zunahme bebauter Gebiete 2000–2005 in der Gesamtgemeinde [m ²]
	I13_06	Rückgang bebauter Gebiete 2000–2005 in der Gesamtgemeinde [m ²]
	I13_07	Veränderung innerhalb der bebauten Gebiete 2000–2005 in der Gesamtgemeinde [m ²]
	I13_08	Veränderung innerhalb der nicht bebauten Gebiete 2000–2005 in der Gesamtgemeinde [m ²]
	I13_09	Anteil der Zunahme von bebauten Gebieten 2000–2005 in der Umgebung geschützter Gebiete im Verhältnis zur gesamten Gemeinde [%]
	I13_10	Anteil des Rückgangs von bebauten Gebieten 2000–2005 in der Umgebung geschützter Gebiete im Verhältnis zur gesamten Gemeinde [%]
	I13_11	Anteil der Veränderung innerhalb der bebauten Gebiete 2000–2005 in der Umgebung geschützter Gebiete im Verhältnis zur gesamten Gemeinde [%]
	I13_12	Anteil der Veränderung innerhalb der nicht bebauten Gebiete 2000–2005 in der Umgebung geschützter Gebiete im Verhältnis zur gesamten Gemeinde [%]

Autoren

Kapitel 1–3, 4.2.3, 5.1, 5.2

- Dr. Marion Gunreben
Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie,
Referat L 3.3 „Landwirtschaft und
Bodenschutz, Landesplanung“,
Stilleweg 2,
30655 Hannover.

Kapitel 4.1

- Hans-Werner Basedow
Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie,
Referat L 3.2 „Wasser- und
Abfallwirtschaft, Altlasten“,
Stilleweg 2,
30655 Hannover.
- Dr. Marion Gunreben
Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie,
Referat L 3.3 „Landwirtschaft und
Bodenschutz, Landesplanung“,
Stilleweg 2,
30655 Hannover.

Kapitel 4.2.1

- Jürgen Weichselbaum
GeoVille Information Systems GmbH,
Museumstr. 9–11,
A-6020 Innsbruck.
- Thomas Schrage
Infoterra GmbH,
Claude-Dornier-Str.
88090 Immenstaad.
- Philipp Jacob
Infoterra GmbH,
Claude-Dornier-Str.
88090 Immenstaad.

Kapitel 4.2.2

- Dr. Jan Sbresny
Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie,
Referat L 2.5 „Datenmanagement“,
Stilleweg 2,
30655 Hannover.
- Anja Steininger
Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie,
Referat L 2.5 „Datenmanagement“,
Stilleweg 2,
30655 Hannover.

Kapitel 5.3

- Irmgard Bolze
Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie,
Referat L 2.3 „Bauwirtschaft,
Baugrund und Georisiken“,
Stilleweg 2,
30655 Hannover.

ISSN 1864 – 7529