

## 01.02 Versiegelung (Ausgabe 2007)

### Problemstellung

Versiegelungsdaten werden in den für Umweltschutz, Stadt- und Landschaftsplanung zuständigen Stellen der Berliner Verwaltung regelmäßig genutzt. Dabei ist die Nutzung und Verarbeitung in verschiedenen Modellen (Stadtklima, Wasserhaushalt) oder Bewertungsverfahren - wie z.B. im Bodenschutz – ein Anwendungsschwerpunkt. Aber auch der Dokumentation des Zustandes der Beeinträchtigung von Natur und Landschaft durch Versiegelung kommt eine wichtige Bedeutung zu. Nicht zuletzt wird im politischen Raum zunehmend nach zeitlich hoch aufgelösten Versiegelungsdaten verlangt, um im Rahmen eines Monitorings den Erfolg umweltpolitischer oder stadtplanerischer Strategien messen zu können.

### Definition

Unter Versiegelung wird die Bedeckung des Bodens mit festen Materialien verstanden. Dabei lassen sich versiegelte Flächen in **bebaut versiegelte Flächen**, also Gebäude aller Art und **unbebaut versiegelte Flächen** also Fahrbahnen, Parkplätze, befestigte Wege usw. trennen.

Neben baulichen Anlagen und mit Asphalt oder Beton vollständig versiegelten Oberflächen werden **auch durchlässigere Beläge** als versiegelt betrachtet, obwohl diese zum Teil sehr unterschiedliche ökologische Eigenschaften aufweisen. Rasengittersteine oder breitfugiges Pflaster z.B. erlauben noch ein reduziertes Pflanzenwachstum, sind teilweise wasserdurchlässig oder weisen ein wesentlich günstigeres Mikroklima auf.

Die vorkommenden Arten von Oberflächenbelägen wurden zu **vier Belagsklassen** mit unterschiedlichen Auswirkungen auf den Naturhaushalt zusammengefasst (vgl. Tab. 1).

Tab. 1: Übersicht über die Belagsklassen		
Belags- klasse	Einschätzung der Auswir- kung auf den Naturhaushalt	Belagarten
1	extrem	Asphalt, Beton, Pflaster mit Fugenverguß oder Betonunterbau, Kunststoffbeläge
2	hoch	Kunststein- u. Plattenbeläge (Kantenlänge > 8 cm), Betonverbundpflaster, Klinker, Mittel- und Großpflaster
3	mittel	Klein- und Mosaikpflaster (Kantenlänge < 8 cm)
4	gering	Rasengittersteine, wassergebundene Decke (z. B. Schlacke, Kies-, Tennenfläche), Schotterrasen

**Tab. 1: Übersicht über die Belagsklassen**

### Auswirkung der Versiegelung auf den Naturhaushalt

Die Auswirkungen der Versiegelung sind vor allem in Großstädten und Ballungsräumen zu spüren, wo ein hoher Anteil der gesamten Fläche versiegelt ist. Das hohe Wärmespeichervermögen von Gebäuden und asphaltierten Straßen verursacht eine Aufheizung der Luft und führt zur Ausprägung eines speziellen **Stadtklimas**. Vor allem im Sommer wird dadurch die nächtliche Abkühlung deutlich verringert (vgl. Abb.1).

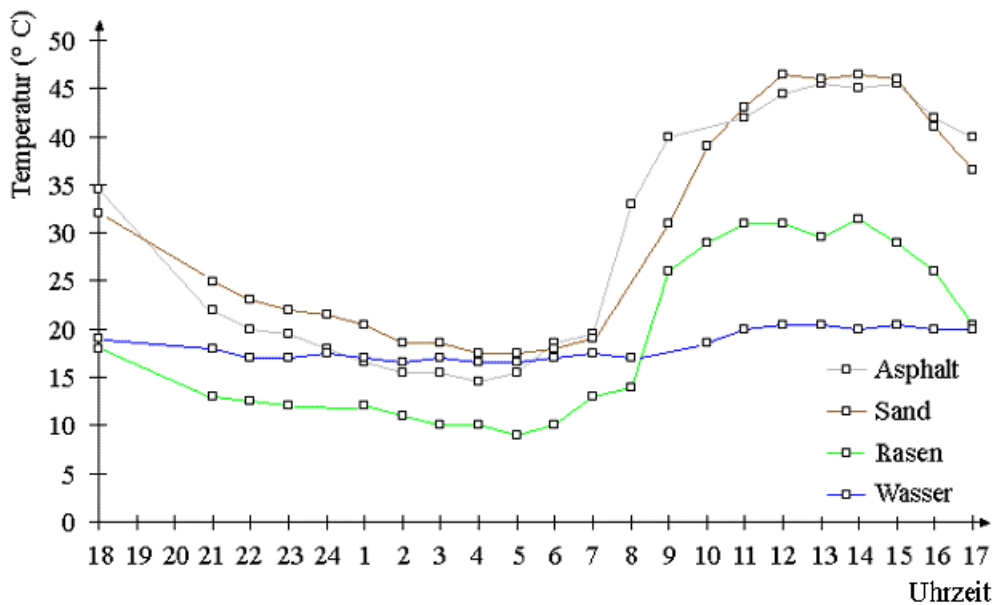


Abb. 1: Temperaturverlauf über unterschiedliche Oberflächen (Kessler 1971 in: Mählenhoff 1989)

Gleichzeitig wird auch die relative **Luftfeuchtigkeit vermindert**, da Vegetationsflächen und die davon ausgehende Verdunstung fehlen. Dies kann zum Auftreten von **Extremwerten** führen, die das menschliche Wohlbefinden erheblich beeinträchtigen können. In diesem Zusammenhang spielen nicht versiegelte Flächen wie z. B. Parkanlagen eine große Rolle; schon ab 1 ha Größe sind positive klimatische Auswirkungen auf das menschliche Wohlbefinden nachweisbar. Auch auf die Staub- und Schadstoffgehalte der Luft haben vegetationsbestandene Flächen Einfluss, da sie durch ihre großen Blattoberflächen in der Lage sind, Stäube und andere **Luftschadstoffe zu binden**.

Die Auswirkungen der Versiegelung auf das Berliner Stadtklima sind ausführlich in verschiedenen Karten des Bereiches Klima beschrieben.

Mit der Versiegelung des Bodens gehen durch den Verlust von Verdunstungs- und Versickerungsflächen für Niederschläge auch tiefgreifende Veränderungen im **Wasserhaushalt** einher. Das u. a. mit Reifenabrieb, Staub und Hundekot stark verunreinigte Regenwasser von versiegelten Flächen wird über die Kanalisation entweder direkt in die Vorfluter oder über die Klärwerke abgeleitet (vgl. Karte 02.09 Entsorgung von Regen und Abwasser).

Durch Versiegelung und Verdichtung werden außerdem die **Funktionen des Bodens** stark beeinträchtigt. Mit der Unterbindung der Wasser- und Sauerstoffversorgung werden die meisten Bodenorganismen zerstört. Da kein Wasser mehr versickern kann, werden die über Luft und Niederschläge eingetragenen Schadstoffe nicht mehr im Boden gehalten und in die Oberflächengewässer gespült.

Die vollständige Versiegelung des Bodens bewirkt den gänzlichen Verlust von **Flora und Fauna**. Aber auch die Versiegelung von Teilbereichen verursacht immer einen Lebensraumverlust. Biotope werden zerschnitten oder isoliert; empfindliche Arten werden zugunsten einiger anpassungsfähiger Arten verdrängt.

Neben den oben beschriebenen Folgen auf den Naturhaushalt hat der Grad der Versiegelung eines Stadtgebietes auch eine unmittelbare Auswirkung auf den **Lebensraum des Menschen**. So ist eine hohe Versiegelung meist gepaart mit einem Missverhältnis zwischen Einwohnerzahl und Freiflächenangebot. Die Aneinanderreihung von Gebäuden, häufig nur durch Asphalt- oder Betonflächen unterbrochen, kann auf die Bewohner eine bedrückende, monotone Wirkung haben. Natur, wie z. B. der Wechsel der Jahreszeiten, kann in der direkten Wohnumgebung nicht mehr erlebt werden. Naherholung am Stadtrand erzeugt wiederum Verkehr mit ebenfalls negativen Umweltauswirkungen.

## Versiegelung und Flächeninanspruchnahme in Deutschland

Versiegelte Flächen nehmen in Deutschland einen Flächenanteil von ca. 6 % (Gunreben et al. 2007, ohne Sachsen-Anhalt 6,4 % UBA 2007) ein. Das entspricht bei einer Gesamtfläche von 35,7 Mio. ha (Baratta 2003) einer versiegelten Fläche von 2,14 Mio. ha.

In der politischen Debatte wird allerdings vorwiegend der **Umweltindikator „Flächeninanspruchnahme“** erörtert, der auch in die nationale Nachhaltigkeitsstrategie Eingang gefunden hat.

Seit 2002 ist dort das Ziel formuliert bis 2020 den Flächenverbrauch auf 30 ha pro Tag zu reduzieren. Die tägliche Flächeninanspruchnahme in Deutschland beträgt 115 ha (2004) (Umweltbundesamt 2008). Diese Zahl hat sich in den letzten Jahren durch die wirtschaftliche Lage, den Rückgang von Straßenneubauten und die Versiegelungsvorschriften bei Neubauten verringert (2000: 129 ha/Tag), stagniert aber seit den letzten fünf Jahren.

Die Flächeninanspruchnahme errechnet sich aus der täglichen Zunahme der **Siedlungs- und Verkehrsfläche** (SuV). Diese ist nicht mit der versiegelten Fläche gleichzusetzen. In der SuV sind auch Flächen enthalten, die nur wenig versiegelt sind (Hausgärten, Kleingärten, Parkanlagen, Verkehrsgrün etc.) (Gunreben et al. 2007).

Die mit der Nachhaltigkeitsstrategie angestrebte **Reduzierung des Flächenverbrauches** soll durch flächensparendes Bauen, Verdichtung der Städte, Bündelung von Infrastruktur, Bereitstellung von Ausgleichsflächen und Wiedernutzbarmachung von nicht mehr genutzten Flächen (Flächenrecycling) erreicht werden. Mit der Steigerung der Qualität des Wohnumfeldes in den Siedlungen soll das verdichtete Wohnen in der Stadt wieder als Alternative zum Haus im Grünen etabliert werden. (Die Bundesregierung 2007). Länder und Kommunen sollen diese Ziele im Rahmen ihrer Raumordnungs- und Bauleitpläne umsetzen.

Auch mit **gesetzlichen Verpflichtungen** wird versucht Versiegelung zu reduzieren.

Mit der Entsiegelungspflicht nach §5 des Bundesbodenschutzgesetzes (BBodSchG) von 1998 soll ein Ausgleich zum Flächenverbrauch geschaffen werden, indem nicht mehr genutzte Flächen entsiegelt und so für die natürlichen Bodenfunktionen nach § 2 Abs. 2 BBodSchG zurück gewonnen werden (Oerder 1999, 90ff). Da hierbei Kosten und Zumutbarkeit berücksichtigt werden, hat sich diese Regelung aber in der Praxis nicht bewährt.

**Finanzielle Anreize** auf privater Ebene können ebenfalls zur Reduzierung bestehender Versiegelungen führen.. So gibt es z.B. seit dem 1. Januar 2000 in Berlin, eine getrennte Abrechnung des Niederschlagswasserentgeltes. Die Einführung dieses sogenannten **Entgeltsplittings** geht auf Urteile des Bundesverwaltungsgericht (Urt. v. 12.06.1972) und das Obergerverwaltungsgericht Lüneburg (Urt. v. 14.06.1968 und 10.04.1980) zurück. Danach müssen Kommunen, in denen der Anteil der Kosten für die Ableitung des Niederschlagswassers mehr als 15 % der Gesamtkosten der Abwasserentsorgung beträgt, die Entgelte getrennt abrechnen. So ist das Niederschlagswasserentgelt nicht mehr proportional an das Abwasserentgelt gekoppelt. Es wird gemäß dem Anteil der versiegelten Fläche des Grundstücks berechnet, von dem aus in die Kanalisation eingeleitet wird (BWB 1998). Seit 2000 sind Eigentümer deshalb darauf bedacht die versiegelte Fläche ihres Grundstücks möglichst gering zu halten und damit Abwasserkosten zu sparen. Seit Inkrafttreten der neuen **Niederschlagswasserfreistellungsverordnung** von August 2001 (Verordnung über die Erlaubnisfreiheit für das schadloze Versickern von Niederschlagswasser – NWFreiV vom 24. August 2001) ist es möglich, erlaubnisfrei durch Maßnahmen zur Entlastung der Regenwasserkanalisation durch die Regenwasserversickerung auf dem eigenen Grundstück, eine anteilige oder vollständige Befreiung des Niederschlagswasserentgeltes zu erreichen (SenStadt 2001).

## Datengrundlage

Versiegelungsdaten liegen für Berlin seit Anfang der 80er Jahre im Umweltatlas vor. Zunächst nur für den Westen der Stadt wurde nach der politischen Wende ein flächendeckender Datenbestand aufgebaut und im Zuge verschiedener Schwerpunktaktualisierungen fortgeschrieben. Dieser Datenbestand war nicht mehr aktuell und beruhte zudem auf uneinheitlichen Erhebungsmethoden.

In Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Berlin, der Humboldt-Universität und der Firma Digitale Dienste Berlin wurde nun ein neuer Datenbestand aufgebaut. Dabei kam ein **neues Verfahren** der Kartierung zum Einsatz das im Rahmen einer Vorstudie im Jahre 2005 entwickelt und im Jahre 2006 flächendeckend umgesetzt wurde.

Es wurden folgende Fachinformationen bzw. Geo-Daten sowie Satellitenbilddaten genutzt:

## Informationssystem Stadt und Umwelt: Blockkarte 1: 5000 (ISU 5) und Flächennutzungsdaten

Der Raumbezug des ISU orientiert sich an der Struktur der statistischen **Blöcke** des „Regionalen Bezugssystems“ (RBS) des Amtes für Statistik Berlin-Brandenburg. Der Baublock wird jedoch zum Teil noch weiter in nutzungshomogene **Teilblöcke** untergliedert. Zu jedem der ca. 23.000 Flächen der ISU 5-Struktur gibt es einen 16stelligen Schlüssel an den eine Datenbank angegliedert ist. In dieser Datenbank sind neben der Flächengröße auch Informationen zur Nutzung gespeichert.

Es werden 63 Flächentypen mit homogener Nutzungs- und Raumstruktur unterschieden.

Für die Versiegelungskartierung wurde die ISU 5 mit dem Stand 31.12.2005 verwendet. Die ISU-Daten wurden im Auswertungsprozess folgendermaßen genutzt:

- Die Geometriedaten dienen der Abgrenzung von Blockflächen und der Separierung von Straßen und Gewässern. Flächen außerhalb der statistischen Blöcke wurden nicht analysiert.
- Die Versiegelungsgrade wurden auf der Ebene der Teil- und Blockflächen des ISU berechnet.
- Die Nutzungsdaten des ISU dienen der Stratifizierung des Stadtgebietes und fließen in die regelbasierte Klassifizierung ein.

## Automatisierte Liegenschaftskarte - ALK

In Berlin werden die grundstücksbezogenen Sach- und Geometriedaten des Liegenschaftskatasters als Automatisiertes Liegenschaftsbuch (ALB) und Automatisierte Liegenschaftskarte (ALK) geführt. Der Datenbestand der ALK-Berlin umfasst die gesamte Fläche des Landes Berlin und besteht aus ca. 1,5 Mio. Objekten, in erster Linie Flurstücke und Gebäude.

Verwendet wurden die Vektordaten der ALK mit dem Bearbeitungsstand von August 2006 für die **Abgrenzung der Gebäude** innerhalb der ISU-Blockfläche und die Festlegung der Restfläche als unbebaute Blockfläche und als Analysefläche der Satellitenbilddauswertung.

Im Hinblick auf die Einbindung der ALK-Daten in den Auswertungsprozess war zu beachten, dass häufig Anlagen auf Bahngelände und S-Bahnhöfe, Gebäude auf Industrie- und Gewerbeflächen sowie Gartenhäuser in Kleingartengebieten fehlten.

## Karte von Berlin 1 : 5.000 - K5

Die Karte von Berlin 1 : 5.000 (K5) des Landeskartenwerkes wird von den Berliner Bezirken auf Grundlage der ALK-Berlin erstellt. Für die Versiegelungskartierung wurden die in der K5 abgebildeten oberirdischen Bahnlinien, soweit von den Bezirken bereitgestellt, mit dem Bearbeitungsstand von Januar 2006 genutzt.

Die flächenscharfe Erfassung der **Gleiskörper** wurde vor allem für die Kartierung der beschatteten Waldstrecken, wie z.B. nördlich des Müggelsees, verwendet.

## Orthophotos

Die verwendeten flächendeckenden digitalen Orthophotos, wurden mit Echtfarb-Luftbildmaterial im August 2004 aufgenommen. Sie liegen im Blattschnitt der K5 mit einer Auflösung von 0,25 m vor und wurden für folgende Arbeitsschritte verwendet:

- Geokodierung von Satellitenaufnahmen,
- Ermittlung und Abgrenzung von Referenzflächen,
- Ermittlung und Abgrenzung von Korrekturflächen (z.B. nicht erfasste Gewässer).

## Versiegelungsdaten der Berliner Wasserbetriebe

Zur Ermittlung von Korrekturfaktoren im Hinblick auf eine Optimierung des Auswertungsverfahrens wurden Versiegelungsinformationen der Berliner Wasserbetriebe (BWB) herangezogen. Diese wurden ab Januar 2000 im Zusammenhang mit der oben erwähnten veränderten Berechnung des **Niederschlagswasserentgeltes** erhoben. Zur ersten Erfassung der versiegelten Flächen der Grundstücke dienen den BWB **Luftbilder** und die **ALK**. Des Weiteren wurden die überprüften Informationen der **Grundstückseigentümer** eingearbeitet (WTE 2004). Die grundstücksgenauen Daten wurden auf Blockteilflächenebene des ISU aggregiert und standen mit dem Stand 2001 für die Auswertung zur Verfügung. Verwendet wurden nur die Angaben zur unbebaut versiegelten Fläche.

Durch die flurstücksgenaue Betrachtung und **Erhebung vor Ort** wurde ein sehr **hoher Genauigkeitsgrad der Versiegelungsangaben** erreicht.

Folgende Einschränkungen waren bei der Einbindung der BWB-Daten in das Auswertungskonzept zu beachten:

- Die BWB-Daten lagen nur für kanalisierte Grundstücke, insbesondere Wohngebiete, und nicht für Gesamtberlin vor.
- Im Bereich von Verkehrsflächen, Parkplätzen, Stadtplätzen und Promenaden, Grünflächen, Friedhöfen, Kleingartenanlagen, gering bebauten Flächen mit Gewerbe- oder Industrienutzung sowie Ver- und Entsorgungsflächen war die un bebaut versiegelte Fläche oft nicht oder nur unvollständig erfasst worden.
- Die Definition der Versiegelung der BWB unterscheidet sich bei manchen Oberflächen zu der des Umweltatlases. Während Rasengittersteine, wassergebundene Decken, wie Tenneflächen, sowie Schotterrassen im Umweltatlas als 100 % versiegelt gelten, werden sie bei den BWB als unversiegelt betrachtet.

## Multispektrale SPOT5-Szene

Für die Verfahrensentwicklung und die Erstellung der Versiegelungskarte wurde eine multispektrale SPOT5-Szene (058/243) vom 5. September 2005 ausgewählt und als systemkorrigierter Datensatz bezogen. Es handelte sich um eine **wolkenfreie Aufnahme**. Die Analyse der Spektralkanäle ließ eine nur sehr geringe atmosphärische Beeinträchtigung erkennen. Der Schwenkwinkel betrug ca. 1,9°. Verkippungen von Gebäuden waren vernachlässigbar gering, sodass im Rahmen dieses Projektes eine „Ideal“-Szene genutzt werden konnte. Aufgrund der jahreszeitlichen Beleuchtungssituation waren die Schattenbereiche vergleichsweise groß, wurden in der Verfahrensentwicklung aber ohnehin gesondert berücksichtigt.

## Methode

Mit dem Ziel, eine stadtweit homogene, aktuelle und hinreichend genaue Datengrundlage für die Erfassung des Zustandes und der Veränderung der Versiegelung zu erarbeiten, wurde die **TU Berlin**, Institut für Landschaftsarchitektur und Umweltplanung in Kooperation mit der **HU Berlin**, Geographisches Institut und **Digitale Dienste Berlin** mit der Konzeption und Umsetzung eines **hybriden Kartierverfahrens** beauftragt. Nach Auswertung eines Testgebietes wurde das Verfahren weiterentwickelt und auf die gesamte Stadtfläche von Berlin angewendet. Das Auswertungsverfahren beruht auf der Verwendung von **ALK-Daten** für die bebaut versiegelten Flächen und auf der Analyse von hoch auflösenden multispektralen **Satellitenbilddaten** für die un bebaut versiegelten Flächen.

Die Verfahrensentwicklung wurde mit einer SPOT5-Szene vorgenommen. Im Klassifizierungsprozess werden **Fachinformationen des Umweltatlases**, des Informationssystems Stadt und Umwelt (ISU) sowie **Daten der Berliner Wasserbetriebe** (BWB-Daten) eingebunden. Als Bezugsflächen dienen die statistischen Blöcke des ISU.

Das Kartierungsverfahren gliedert sich in drei Auswertungsstufen:

- Kartierung der bebaut versiegelten Fläche,
- Kartierung der un bebaut versiegelten Fläche,
- Ableitung des Versiegelungsgrads.

Die Versiegelungskartierung konzentriert sich auf die Flächen der statistischen Blöcke, Verkehrswege und Gewässerflächen bleiben unberücksichtigt. Die folgende Abbildung verdeutlicht den Einsatz der verschiedenen Fach-, Geo- und Satellitenbilddaten bei der Versiegelungskartierung von Berlin.

Der vollständige **Abschlussbericht der Studie** zur Versiegelungskartierung kann als pdf-Datei aus dem Kapitel Literatur heruntergeladen werden.

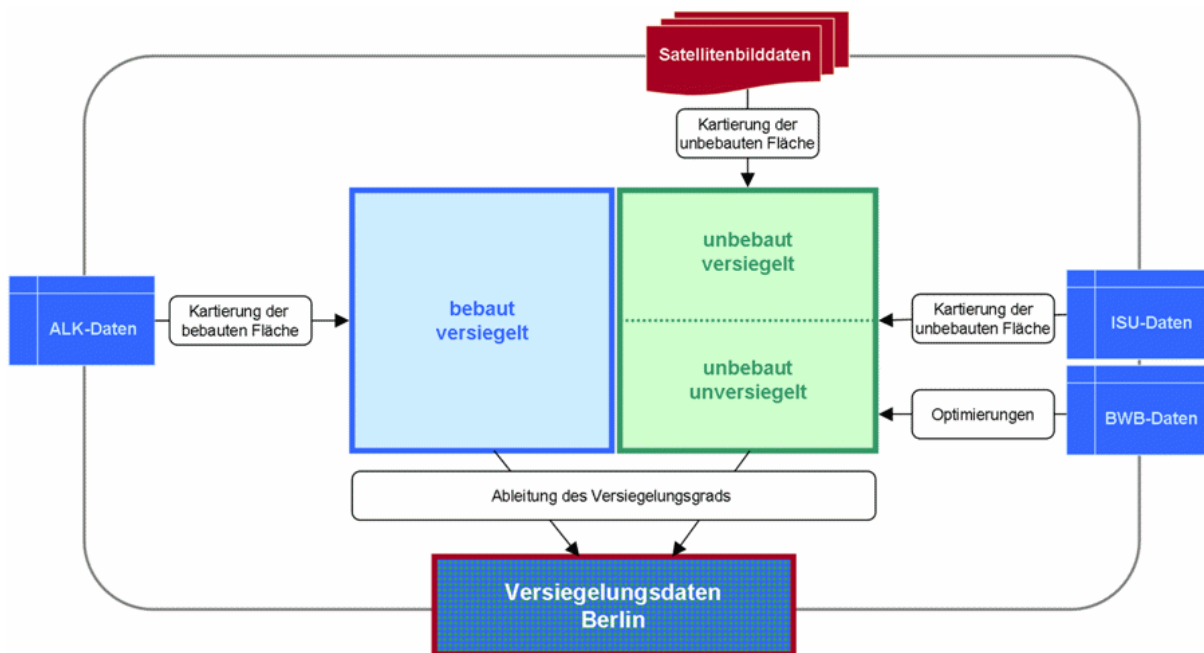


Abbildung 2: Schema des hybriden Kartierverfahrens

## Kartierung der bebaut versiegelten Fläche

Die Abgrenzung der bebaut versiegelten Flächen erfolgte ausschließlich auf Basis von ALK-Daten. Deren Einbindung in den Kartierungsprozess bildete den ersten Baustein des hybriden Verfahrensansatzes. Für diese Flächen erfolgte keine Auswertung über Satellitenbilddaten.

Im Hinblick auf die Kartierungsgenauigkeit der bebaut versiegelten Flächen sind die bekannten Probleme hinsichtlich der Aktualität von ALK-Daten zu beachten. Insbesondere Gebäude auf Industrie- und Gewerbeflächen sowie Gartenhäuser in Kleingartengebieten fehlen häufig bzw. sind nicht vollständig erfasst. Für die Zukunft ist mit einer Vervollständigung des Bestandes zu rechnen.

## Kartierung der unbebaut versiegelten Fläche

Für die Kartierung der unbebaut versiegelten Fläche diente ein Klassifizierungsansatz, in dem Satellitenbilddaten (SPOT5) und Geo-Daten (ALK, ISU) einfließen und miteinander kombiniert wurden. Das Verfahren berücksichtigte dabei folgende Kriterien:

- Kartierung der gesamten Stadtfläche,
- geringer Zeit- und Arbeitsaufwand für die Vorprozessierung der Satellitenbilddaten:
  - Verwendung geokodierter, systemkorrigierter Daten,
  - Abdeckung des Stadtgebiets mit möglichst wenigen Szenen,
- geringer Zeitaufwand für die Analyse der Satellitenbild- und Geo-Daten,
- Beschränkung von terrestrischen Aufnahmen bzw. Kontrollen auf ein erforderliches Mindestmaß,
- flexible Sensor- und Szenenauswahl,
- Realisierung eines hohen Automatisierungsgrades,
- Integration der Kartierungsergebnisse ins ISU.

Die Satellitenbilddatenauswertung gliedert sich in die folgenden fünf Auswertungsschwerpunkte.

### Fernerkundungsrelevante Kategorisierung der Flächentypen

Zur Verbesserung der Kartierungsergebnisse erfolgte eine Kategorisierung der **ISU-Flächentypen** nach den fernerkundungsrelevanten Kriterien Bebauungshöhe, Vegetationshöhe, Reflexionseigenschaften, Heterogenität und Relief sowie der durchschnittlichen Versiegelungsgrade des Altdatenbestandes (2001). Dies gewährleistet räumlich getrennte Teilklassifizierungen und einer jeweils optimierten Methodenauswahl. Es wurden **18 Kategorien** ausgewiesen (Tabelle 2).

Flächentyp-Kategorien (KAT)		mittlerer VG [%] <sup>1)</sup>			Einflussfaktoren			
		gesamt	bebaut	un- bebaut	Bebau- ungshöhe	Vege- tations- höhe	spektrale Reflexion	Hetero- genität
dicht bebaute Kern-, Gewerbe- und Mischgebiete; Blockbebauung	1	>80 (>66)	>66	>10 (>33)	● / ●●	⊙	⊙	⊙ / ●●
Blockrandbebauungen der Gründerzeit	2	>66 (>80)	>66 (>33)	>10	●	●	⊙	●
Blockrandbebauungen der 20er / 30er Jahre, Zeilenbebauungen (ohne Plattenbausiedlung)	3	>66	>10	>10	●	●	⊙	●
hohe Bebauung	4	>66	>10	>10	●●	⊙	○	○
niedrige und dörfliche Bebauung mit Gärten, Baumschule / Gartenbau, Wassersport	5	>10	>10	>10	○	●●	⊙	⊙
Verkehrsflächen, Stadtplatz / Promenade, Sportanlage	6	>66 (>80)	>10	>66	⊙	○○ / ●●	○ / ●●	⊙
Gemeinbedarf / Sondernutzung (ohne Verkehrsflächen)	7	>33	>10	>10	⊙ / ●	⊙ / ●	⊙ / ●	⊙ / ●
Wald	8	>1	< 1	>1	○○	⊙	○○	○○
Landwirtschaft	9	>1	< 1	>1	○○	○○	○	○
Grünanlage, Friedhof, Campingplatz	10	>10	>1	>10	○○	●	⊙	⊙
Kleingartenanlagen	11	>10	>10 (>1)	>10 (>1)	○○	●●	⊙ / ●	●●
Brachfläche	12	>1	>1	>1	⊙	⊙	●	●
gering bebaute Flächen vorwiegend mit Gewerbe- / Industrienutzung	13	>66	>10	>33	●	⊙	⊙ / ●	⊙
Schulen	14	>33	>10	>33	⊙ / ●	⊙ / ●	⊙ / ●	⊙
Sportanlagen	15	>33	>1	>33	○	○	⊙ / ●	○
Bahnanlagen ohne Gleiskörper, Gleiskörper	16	>80	>7	>66	○○	○ / ●	●	○
Ver-/ Entsorgung	17	>66	>10	>33	⊙ / ●	○○	⊙ / ●	○
Flughafen	18	>80	<10	>80	○	○○	●	○

<sup>1)</sup> nach Umweltatlasdaten, Stand 2001; VG: Versiegelungsgrad

Beeinträchtigung der Kartierungsgenauigkeit	
○○	sehr gering
○	gering
⊙	mittel
●	hoch
●●	sehr hoch

**Tabelle 2: Fernerkundungsrelevante Flächentyp-Kategorien**

### Spektrale Klassifizierung der unbebauten Fläche

Mit Hilfe einer maschinellen, automatischen Klassifikation wurden die vom Sensor des Satelliten erfassten Daten weiterverarbeitet.

Zunächst wurde der **Vegetationsgrad** der unbebauten Blockanteile mittels des **Normalisierten Vegetationsindex (NDVI)** ermittelt

**NDVI** steht für "**N**ormalized **D**ifferenced **V**egetation **I**ndex" zu deutsch: „normalisierter differenzierter Vegetationsindex“.

Der Index beruht auf der Tatsache, dass Vegetation im sichtbaren Spektralbereich (Wellenlänge von etwa 400 bis 700 nm) relativ wenig und im darauf folgenden nahen Infrarot-Bereich (Wellenlänge von

etwa 700 bis 1300 nm) relativ viel Strahlung reflektiert. Dabei ist die Reflexion im nahen Infrarot stark mit der Vitalität einer Pflanze korreliert - je vitaler die Pflanze, desto größer ist der Anstieg des Reflexionsgrades in diesem Spektralbereich. Andere Oberflächenmaterialien, wie Boden, Fels oder auch tote Vegetation, zeigen keinen solchen kennzeichnenden Unterschied des Reflexionsgrades beider Bereiche. Dieser Umstand kann folglich dazu dienen, zum einen mit Vegetation bedeckte von unbedeckten Flächen zu unterscheiden und zudem auf die photosynthetische Aktivität, Vitalität sowie Dichte der Vegetationsdecke zu schließen. Durch die Normierung ergibt sich ein Wertebereich zwischen -1 und +1, wobei positive Werte nahe 1 so etwas wie „viele, gesunde, photosynthetisch aktive Pflanzen pro Fläche“ bedeuten (Wikipedia 2007).

Speziell untersucht werden mussten weiterhin besonders relevante Oberflächenmaterialien, wie **Sand, Asche und Tenne, Gleisschotter, Kunstbelägen sowie beschatteten Flächen**, die häufig fehlerhaft ausgewertet werden.

Abbildung 3 zeigt die spektrale Klassifizierung, die sich in sechs Teilauswertungen gliedert.

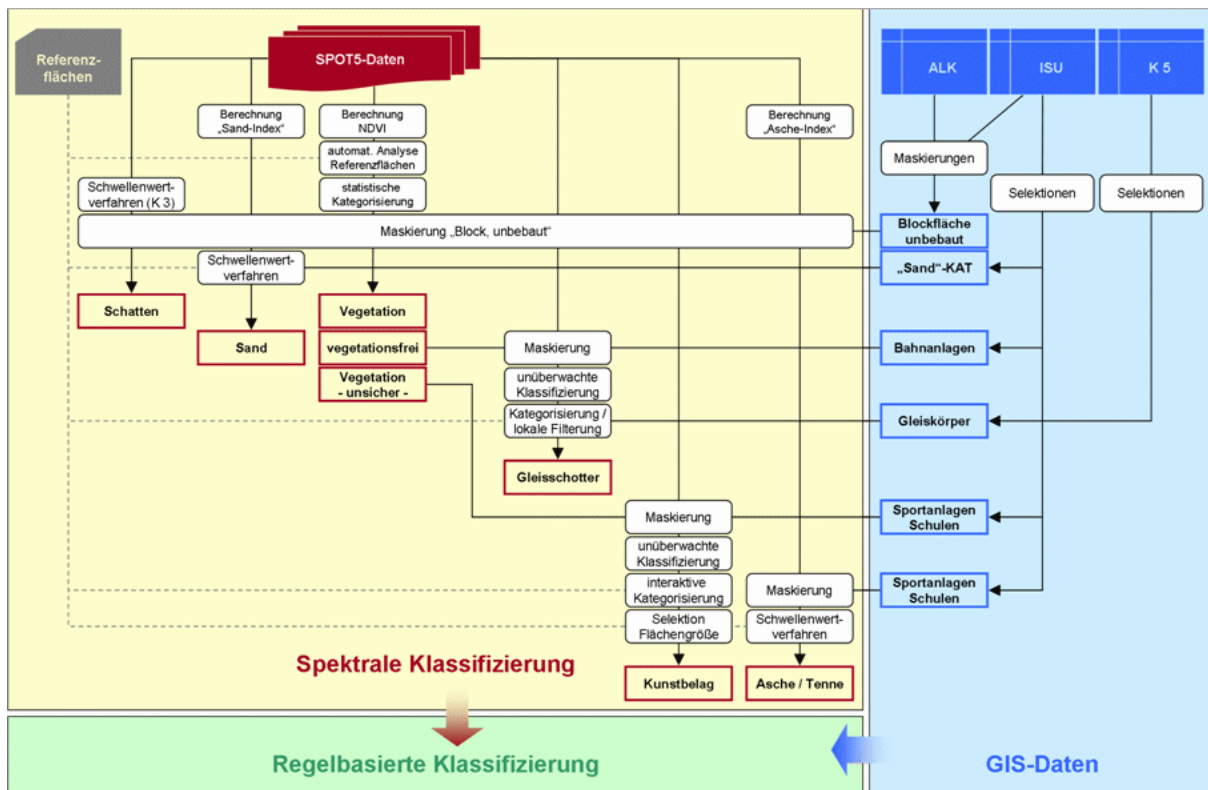


Abbildung 3: Schema der spektralen Klassifizierung der unbebauten Flächen

Aus den zu ermittelnden **Vegetationsgraden** pro Pixel werden schrittweise die **Versiegelungsgrade** abgeleitet. Das Verfahren basiert auf folgenden Annahmen:

- Es besteht ein linearer Zusammenhang zwischen NDVI und Vegetationsgrad: je höher der NDVI-Wert, desto mehr (vitale) Vegetation ist vorhanden.
- Es besteht eine hohe negative Korrelation zwischen Vegetationsgrad und Versiegelungsgrad.

Vegetationsfreie Oberflächen (**Vegetationsgrad 0 %**) werden in niedrigen bis sehr niedrigen Index-Werten wiedergegeben. Weitergehende Unterscheidungen von versiegelten und unversiegelten Bereichen sind mittels NDVI nicht sicher möglich.

Vollständig von grüner Vegetation bedeckte Oberflächen (**Vegetationsgrad 100 %**) wie Wälder oder Grünland werden überwiegend in hohen bis sehr hohen Index-Werten wiedergegeben. Diese Bereiche wurden als unversiegelt eingestuft.

Das Problem der lokalen **Verdeckung von versiegelten Flächen durch Baumkronen** ist über die Auswertung von Satellitenbilddaten nicht lösbar. Um diesen „Fehler“ zu verringern wurden mit Hilfe der ISU-Daten **kontextbezogene Korrekturfaktoren** ermittelt und angewendet. Methodisch anspruchsvoll war das Erfassen und Unterscheiden von Abstufungen des Vegetationsgrades (Vegetationsgrad > 0 % und < 100 %). Mittlere Index-Werte dominierten. Es war zu berücksichtigen, dass gleiche Index-Werte aus unterschiedlichen Mischsignaturen hervorgehen können.



Die vorliegende Verfahrensentwicklung griff diese Unterschiede auf: NDVI-Werte, die auf teilweise vegetationsbedeckte Flächen hinweisen (Vegetationsgrad > 0 %), wurden differenziert betrachtet und in der **regelbasierten Klassifizierung je nach Flächentyp-Kategorie oder Flächentyp** unterschiedlichen Versiegelungsgraden zugeordnet.

Aufbauend auf diesen Ansatz wurden 12 NDVI-Kategorien festgelegt (vgl. Tabelle 3).

**Gleisschotter** soll zukünftig im Rahmen der Nutzung der Versiegelungsdaten unterschiedlich bewertet werden können. Für einige Fragestellungen werden diese Areale als versiegelt betrachtet, für andere wird ihnen eher der Charakter unversiegelter Flächen zugesprochen, daher wurden entsprechende Flächen innerhalb von Gleisanlagen separat erfasst. Es wurde eine Klasse „Gleisschotter“ ausgewiesen, die optional beiden Versiegelungskategorien zugewiesen werden kann.

Durch die räumliche Verzahnung der Materialien Eisen, Schotter, teilweise auch Holzschwellen ergab sich eine tendenziell charakteristische Reflexion von Gleisschotter. Die Erfassung wurde durch eine klassentypisch spektrale Heterogenität erschwert. Insbesondere die Abgrenzung zu versiegelten Oberflächen wie Straßen war nicht sicher möglich. Um Fehlkartierungen zu vermeiden, erfolgte die Kartierung von Schotter ausschließlich innerhalb der Flächentyp-Kategorie „Bahnanlagen ohne Gleiskörper“ und „Gleiskörper“. Zusätzlich wurde das Streckennetz der K5 genutzt, wodurch auch die mit Baumkronen überdeckten Gleise ermittelt werden konnten.

Die korrigierten **Teilklassifizierungen** wurden zu einem Datensatz zusammengeführt, der auf Pixelbasis die Grundlage für die nachfolgende regelbasierte Klassifizierung bildete. Kartierte Sandflächen, Kunstbeläge sowie Gleisschotter wurden mit den bebaut versiegelten Gebäudeflächen aus der ALK zur **klassifizierten Gesamtblockfläche** aggregiert.

Die Klasse „Schatten“ blieb von anderen Klassen weiterhin separiert.

### Regelbasierte Klassifizierung

In der regelbasierten Klassifizierung wurden die Ergebnisse der spektralen Klassifizierung mit ISU-Daten (Flächentypen) verknüpft und **Versiegelungsgrade auf Pixelebene** abgeleitet. Einen schematischen Überblick gibt Abbildung 4.

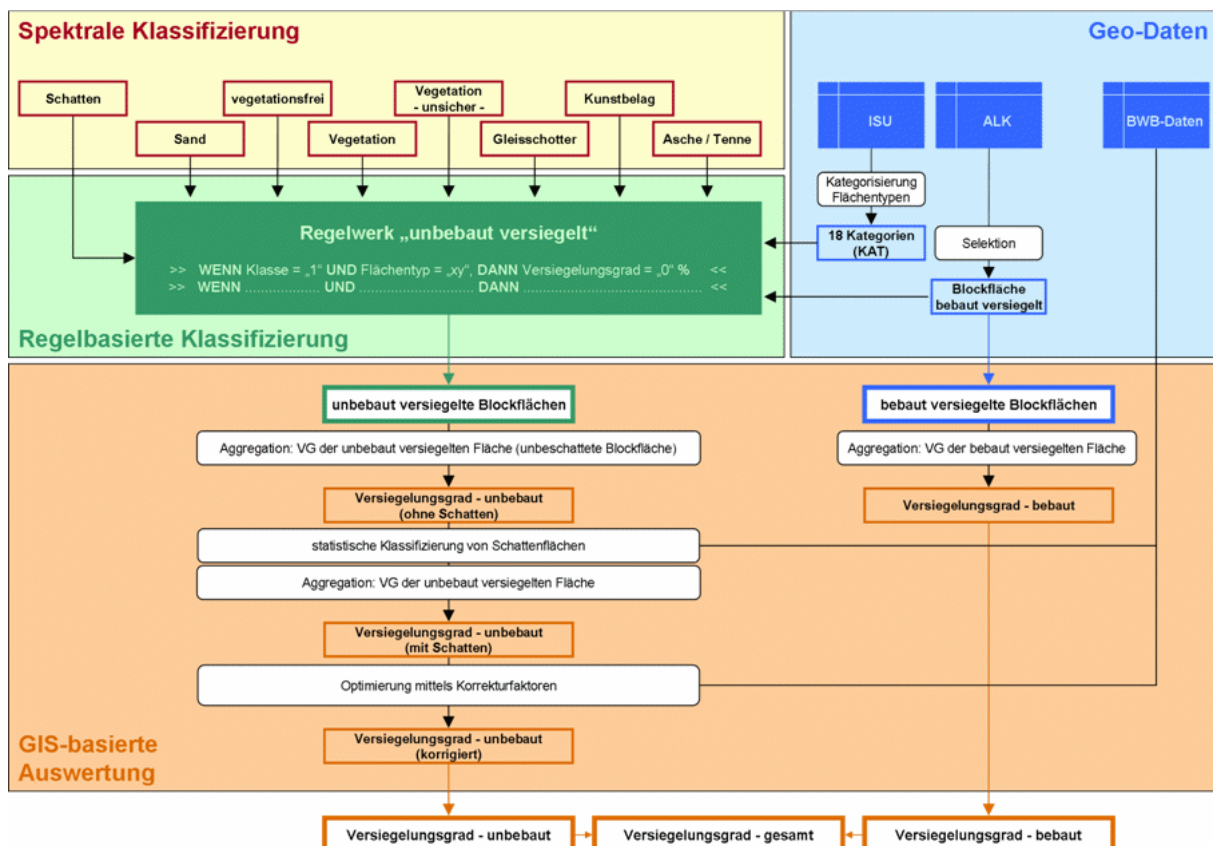


Abbildung 4: Schema der regelbasierten Klassifizierung

Es erfolgte die Zuweisung der Klassen und der NDVI-Kategorien zu Versiegelungsgraden. Eine zuverlässige Abgrenzung von vollständig vegetationsfreien und vollständig vegetationsbedeckten

Flächen wurde in den NDVI-Kategorien 1 und 12 (niedrigste bzw. höchste NDVI-Werte) erzielt. Entsprechende **Schwellenwerte** wurden automatisiert mittels **Referenzflächen** abgeleitet.

- NDVI-Kategorie 12 „Vegetation - sicher“.  
Im Regelwerk wurden entsprechende Flächen als 0 % versiegelt eingestuft. Dies galt für alle Flächentyp-Kategorien.
- NDVI-Kategorie 1 „vegetationsfrei - sicher“.  
Vegetationsfreie Flächen wurden erst dann als 100 % versiegelt betrachtet, wenn diese weder als „Sand“ noch als „Gleisschotter“ erfasst wurden.

Der Wertebereich zwischen den genannten NDVI-Grenzen ist mittels Intervallskalierung in weitere 10 NDVI-Kategorien „Vegetation - unsicher“ aufgesplittet. Diese mussten in Abhängigkeit von Flächentyp-Kategorien bzw. Flächentypen unterschiedlich interpretiert werden, um eine zuverlässige Zuordnung von Vegetations- und Versiegelungsgrad zu erreichen. Es wurden daher insgesamt **3 Zuweisungsvarianten** festgelegt (vgl. Tabelle 3). Für jede NDVI- und Versiegelungs-Kategorie wurde der mittlere Prozentwert als Umrechnungsfaktor festgelegt (5 %, 15 %, ..., 95 %).

Es flossen Empfehlungen aus der Konzeptstudie, Auswertungsergebnisse von Haag (2006) sowie Erkenntnisse aus Luftbildinterpretationen und Geländebegehungen ein. Auch Ergebnisse aus der Verfahrensvalidierung wurden zur iterativen Verfahrensoptimierung berücksichtigt.

		NDVI (Kategorien und Vegetationsgrad)														
		KAT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
		%	0	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	100		
Versiegelungs- grad	%	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Zuweisungs- variante	A
	%	100	95	85	75	65	55	45	35	25	15	5	0	B		
	%	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0		C

Umrechnungsfaktoren für Berechnung der Pixelwerte: Versiegelungsgrad 100 % = 1,00; 95 % = 0,95 usw.

**Tabelle 3: Zuweisungsvarianten: Vegetationsgrad - Versiegelungsgrad**

Die Zuweisungsvarianten wurden auf bestimmte Flächentypen abgestimmt, die von der räumlichen Verzahnung und den Nachbarschaften verschiedener Oberflächenmaterialien und Objektarten geprägt sind.

- **Zuweisungsvariante A: Vegetation und unversiegelte vegetationsfreie Flächen.**  
Zwischenstufen des Vegetationsgrads (5 % - 95 %) wurden als Mischsignaturen von Vegetation und anderen unversiegelten Oberflächenbedeckungsarten interpretiert. Entsprechende Flächen wurden somit als unversiegelt eingestuft.  
Beispiele: Brachfläche, Wald, Landwirtschaft.
- **Zuweisungsvariante B: Vegetation und versiegelte vegetationsfreie Flächen.**  
Die charakteristischen Oberflächenmaterialien ließen einen geringeren Anteil vegetationsfreier unversiegelter Bereiche erwarten. Zwischenstufen des Vegetationsgrades wurden daher als Mischsignaturen von Vegetation und versiegelten Oberflächen interpretiert. Der stufenweise Anstieg des Vegetationsgrads je Kategorie entsprach somit einem adäquaten Abfall des Versiegelungsgrads.  
Beispiele: Kleingartenanlage, Verkehrsflächen, Blockrandbebauung.
- **Zuweisungsvariante C: Vegetation und versiegelte vegetationsfreie Flächen - Flächentyp „Flughafen“.**  
Eine Vielfalt versiegelter Oberflächen charakterisierte diesen Flächentyp. Einige Materialien wie z.B. Beton zeigten starke spektrale Überschneidungen mit Sand und offenem Boden. Entsprechende Blöcke geben zumeist Rollbahnen, Abstellflächen usw. innerhalb eines Flughafengeländes, Grünflächen waren zumeist als separate Blöcke abgegrenzt. Um eine sichere Separierung zu erreichen, hatte sich bewährt, Flächen mit geringem Vegetationsgrad (NDVI-Kategorien 2 bis 6) als vollständig versiegelt einzustufen.

Das **Ergebnis der regelbasierten Klassifizierung** der unbebauten Blockflächen entsprach zugleich dem Endergebnis der Satellitenbildklassifizierung. Die unbebaut versiegelte Fläche wurde in der

Klassifizierung mit den **12 Versiegelungsgrad-Kategorien**, einer **Schatten-Klasse** sowie einer **Gleisschotter-Klasse** beschrieben.

In Abbildung 5 ist das Ergebnis der Satellitenbilddauswertung und die Kartierungsergebnisse der bebaut versiegelten Flächen dargestellt. Beide Datensätze wurden zusammengeführt und abschließend die Versiegelungsgrade berechnet.

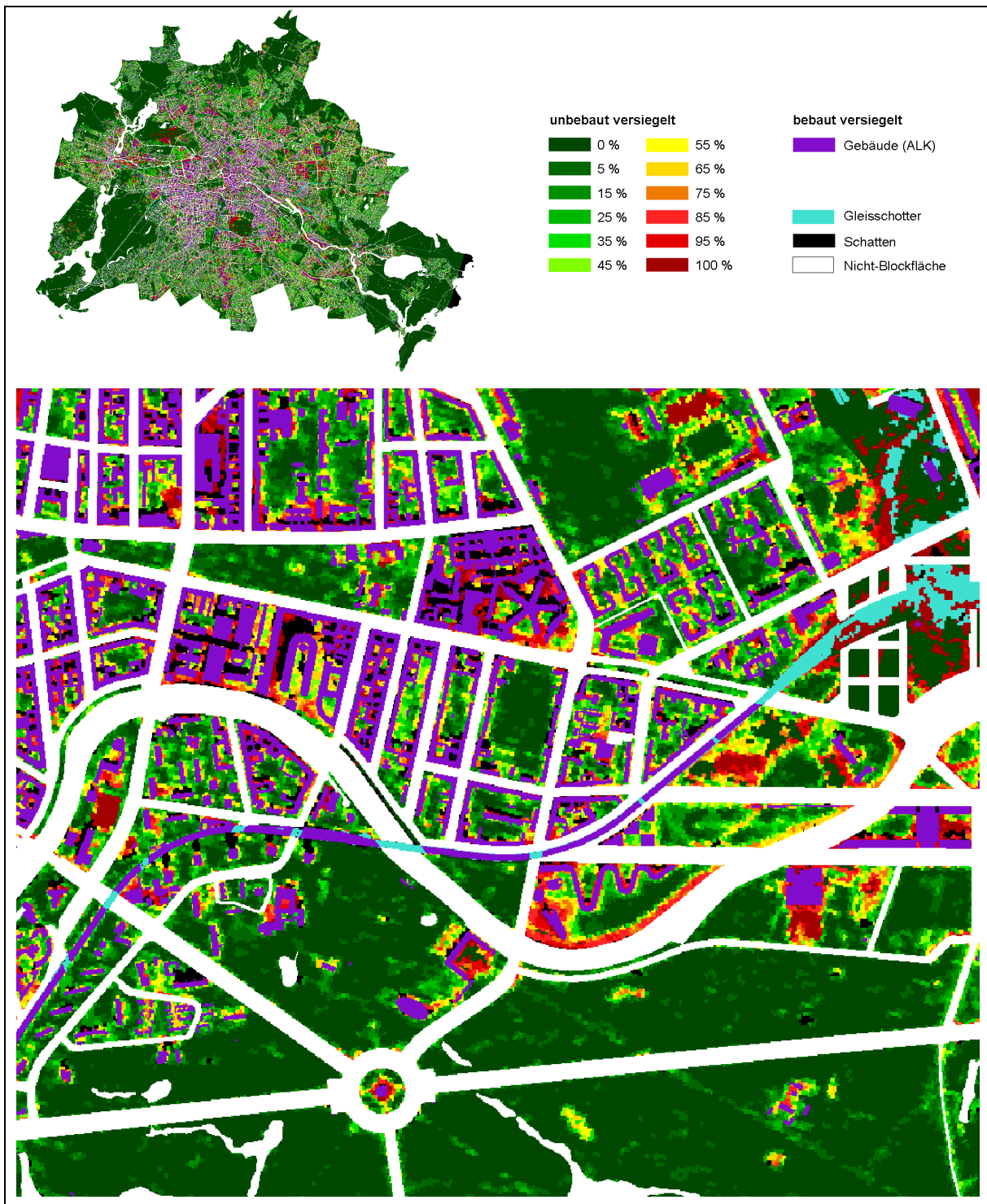


Abbildung 5: Ergebnis der regelbasierten Klassifizierung

### Berechnung der Versiegelungsgrade

Ziel der Versiegelungskartierung war die Ableitung des **Versiegelungsgrades auf Blockebene**. Es wurden absolute und relative Flächenangaben berechnet. Unterschieden wurden drei Versiegelungsgrade (VG):

- VG - bebaut versiegelte Fläche (Berechnung aus ALK-Daten),
- VG - unbebaut versiegelte Fläche (Satellitenbilddatenauswertung),
- VG - gesamt (Summe aus oberen).

Für die Berechnungen wurden die Ergebnisse der **pixelbasierten Satellitenbildklassifizierung** mit den Flächen der **Blockkarte ISU 5** verschnitten.

Hierzu wurde zunächst eine **Summierung je Versiegelungsklasse und Blockfläche** durchgeführt. Für weiterführende Analysen konnte somit auf die Rasterdaten der Klassifizierung verzichtet werden.

Nun lagen für jeden Block und Teilblock insgesamt 15 Flächenangaben vor (m<sup>2</sup>):

- bebaute Fläche (aus der ALK),
- 12 Versiegelungsgrad-Kategorien der unbebauten Fläche (entsprechend den NDVI-Kategorien),
- Flächen mit Gleisschotter (optional 0 oder 100 % versiegelt) und
- Schattenfläche (unklassifiziert).

Zur weiteren **Verbesserung der Kartierungsergebnisse** wurden die folgenden Zusatzberechnungen vorgenommen.

#### Optionale Zuweisung des Versiegelungswerts für Gleisschotter

Die Klasse „Gleisschotter“ wurde als eigenes Datenfeld mitgeführt und konnte wahlweise als unbebaut versiegelte (100 %) oder unbebaut unversiegelte Fläche (0 %) in die Berechnungen einfließen. Dies gewährleistet die unterschiedliche Bewertung von Schotter in Abhängigkeit von der jeweiligen thematischen Fragestellung.

In der dargestellten Ergebniskarte geht Gleisschotter zu 100 % versiegelt ein.

#### Klassifizierung der Schattenflächen

Den Schattenflächen wurden in einer nachträglichen Klassifizierung anhand der ISU-Daten bzw. der BWB-Daten auf Blockebene Versiegelungswerte zugewiesen.

Dabei wurden die Schattenflächen in Abhängigkeit des **Flächentyps** bewertet. Für Flächentypen mit überwiegender Wohnnutzung und ausreichenden BWB-Daten wurden letztere für die Klassifizierung der Schattenfläche genutzt. Für alle übrigen Flächentypen wurde die Schattenfläche anhand ihrer blockspezifischen Umgebung klassifiziert.

#### Abschätzung der bebaut und unbebaut versiegelten Fläche in der Kategorie „Kleingartenanlagen“

Die Versiegelungsdaten wiesen für die Kategorie „Kleingartenanlagen“ meist nur den Gesamtversiegelungsgrad auf. Da in der ALK kaum Gartenhäuser/-lauben kartiert waren, konnte nur selten die unbebaut versiegelte von der bebaut versiegelten Fläche differenziert werden. So wurde in der Satellitenbilddatenauswertung praktisch der Gesamtversiegelungsgrad ermittelt.

Für die vorliegende Versiegelungskartierung erfolgte die Differenzierung in bebaut und unbebaut versiegelte Fläche mit Hilfe von **Durchschnittswerten** der SenStadt, Referat I C - Kleingartenwesen. Dabei wurde für den Westteil der Stadt ein Versiegelungsgrad der bebauten Fläche von 9,6 % und für den Ostteil von 8,6 % angenommen.

#### Einführung von Korrekturfaktoren

Zur weiteren Verbesserung der Kartierungsergebnisse wurden sog. Korrekturfaktoren eingeführt. Hierzu wurden die **Versiegelungsdaten der BWB** herangezogen.

Das Prinzip der auf den Flächentyp bezogenen Korrekturen basierte auf folgenden begründeten Annahmen:

- die BWB-Daten sind zur Zeit der Bearbeitung noch weitgehend aktuell,
- die BWB-Daten sind aufgrund der Erfassungsmethode (terrestrische Begehung, Luftbildinterpretation, Eigentümerangaben) hinreichend genau,

- die einmalig berechneten Korrekturwerte sind auf zukünftige Auswertungen übertragbar, da sie systematische Tendenzen im gesamtstädtischen Vergleich beschreiben.

Aufgrund der Aktualität, der Überschneidungsproblematik, unterschiedlicher Versiegelungsdefinitionen und der fehlenden Versiegelungsermittlung einiger Nutzungstypen durch die BWB konnten nur für **sechs Flächentypen** Korrekturfaktoren berechnet werden (vgl. Tabelle 4).

Die Berechnung der Korrekturfaktoren erfolgte für die un bebaut versiegelte Fläche. Zunächst wurde für jeden ausgewählten Flächentyp jeweils die Summe der un bebaut versiegelten Fläche der BWB-Daten und des Klassifizierungsergebnisses berechnet. Handelte es sich um eine **gleichgerichtete Über- oder Unterschätzung** des Versiegelungsgrades, wurde das **Verhältnis** als Korrekturfaktor in das Regelwerk eingebunden.

	Flächentyp (TYP)	BWB-Daten un bebaut versiegelte Fläche [m <sup>2</sup> ]	Klassif.-Ergebnis un bebaut versiegelte Fläche [m <sup>2</sup> ]	Korrekturfaktor
21	Dorftyp	447.806	598.469	0,75
22	Reihengartentyp	830.718	1.315.616	0,63
23	Garten	4.129.760	6.349.315	0,65
24	Parkartiger Garten	1.353.980	1.411.935	0,96
25	Gärten und halbprivate Umgrünung	1.133.823	1.367.805	0,83
26	Offene Siedlungsbebauung	1.024.595	2.186.389	0,47

**Tabelle 4: Korrekturfaktor pro Flächentyp**

## Validierung der Satellitendatenauswertung

Innerhalb des Projektes wurde eine Verfahrensvalidierung durchgeführt, deren Ergebnisse bereits im Rahmen der Verfahrensentwicklung berücksichtigt wurden. Sie quantifizierte die allgemeine Sensitivität und Reproduzierbarkeit des Verfahrens bei Übertragung auf andere Datensätze und Aufnahmezeitpunkte.

Für die Validierung wurden zwei SPOT5-Szenen verwendet. Die grundlegende Verfahrensentwicklung einschließlich der Ergebnisberechnung wurde mit den Daten einer **Szene aus dem Jahr 2005** vorgenommen. Dieses Verfahren wurde auf eine **Szene aus dem Jahr 2006** angewendet, Anpassungen der Methode vorgenommen sowie Sensitivität und Reproduzierbarkeit szenenübergreifend untersucht und bewertet.

### Ergebnisse und deren Auswirkungen auf das hybride Verfahren

Die Eckdaten zur Auswahl der Validierungsszene wurden bewusst sehr konträr zu denen der Arbeitsszene gewählt, um einen hohen Gradienten in den **externen Einflüssen** vorzuhalten. Trotzdem wurde eine gute Übereinstimmung der Versiegelungsgrade zwischen beiden Zeitpunkten für die Referenzblockflächen ermittelt. **Für Fortschreibungen der Versiegelungskartierungen ist die entwickelte Methodik also gut geeignet.**

Die geringen absoluten Ungenauigkeiten sind verfahrensspezifischer Natur und werden bei Anwendung auf alternative Zeitpunkte „übertragen“. Die relative Übereinstimmung ist entsprechend sehr gut.

Eine Gegenüberstellung der NDVI-Werte für Referenzflächen beider SPOT5-Szenen zeigte deutlich den Einfluss der **Phänologie**. Verglichen mit dem Aufnahmezeitpunkt Juni 2006, führte die generell höhere photosynthetische Aktivität im August 2005 zu höheren NDVI-Werten.

Nach **Kalibrierung der NDVI-Werte** und Überführung in NDVI-Kategorien konnte eine deutliche Verbesserung der Übereinstimmung für beide Jahre erzielt werden. Der Einfluss der Phänologie wurde also zum Großteil durch den Einsatz der Flächentyp-Kategorien kompensiert.

Die gewonnenen Erkenntnisse zur Reproduzierbarkeit der Analyse, zur räumlichen und zeitlichen Stabilität können für die **Aktualisierung der Versiegelungskartierung** (Monitoring) genutzt werden. Von herausragender Bedeutung für den Aufnahmezeitpunkt sind der Einfluss des Sonnenstandes auf die von Schlagschatten betroffene Gesamtfläche sowie der Einfluss des Vegetationszustands.

Im Ergebnis ist ein Zeitraum von Anfang Juni bis Ende Juli zu bevorzugen, um einerseits den Schattenanteil in den Bilddaten zu minimieren und gleichzeitig das Vitalitätsmaximum der Vegetation abbilden zu können.

## Genauigkeitsbetrachtung der Ergebnisse

Nach Abschluss der Kartierung erfolgte eine umfangreiche Genauigkeitsbetrachtung der ermittelten Versiegelungsgrade. Die Kartierung der unbebaut versiegelten Fläche wurde in einem Stichprobenverfahren mittels **Luftbildinterpretation** verifiziert. Die Kartierung der bebaut versiegelten Flächen wurde hinsichtlich der **Aktualität** sowie der Flächentyp spezifischen **Vollständigkeit** der genutzten ALK-Daten bewertet. Die Ergebnisse der Teilkartierungen mündeten in eine Analyse der **Gesamtkartierung** auf der Ebene von Flächentypen.

### Kartierung der unbebaut versiegelten Flächen

Die Verifizierung konzentrierte sich auf die Genauigkeitsbetrachtung der mittels Satellitenfernerkundung kartierten unbebauten Blockflächen. Es wurden **statistische Aussagen** sowohl auf der Ebene der Flächentyp-Kategorien, als auch auf der Ebene der Flächentypen ermittelt. Als Grundlage für die Ableitung von unabhängigen Verifizierungsdaten wurden digitale Luftbilder (2004) herangezogen.

Für die gesamte Stadtfläche wurden Verifizierungsflächen zufällig ermittelt und über ein **systematisches Stichprobenraster** Luftbild gestützt ausgewertet. Zum Vergleich von Kartierungs- und Verifizierungsdaten wurden verschiedene Analyse- und Bewertungsverfahren angewendet.

Die **Erfassungsgenauigkeit** der unbebaut versiegelten Fläche ist stark **Flächentyp abhängig**. Etwa die Hälfte der Flächentypen weist eine hohe bis sehr hohe absolute Genauigkeit (> 90 %) auf (vgl. Tab. 6). Die Abweichungen und Genauigkeiten für die verschiedenen **Wohnbautypen** sind sehr heterogen (sehr geringe bis sehr hohe Genauigkeiten) und hängen stark vom Einsatz der BWB-Daten ab (Schattenbewertung, Korrekturfaktoren). Flächentypen, bei denen **keine blockspezifische Schattenbewertung** mittels BWB-Daten vorgenommen werden konnte, fallen mit sehr hohen absoluten Abweichungen und damit **geringen Genauigkeiten** auf. Als eine wesentliche Ursache für die Fehlkartierungen kann die häufig sehr kleinparzellige Verzahnung von Wohngebäuden und Garagen mit umliegenden unbebauten Flächen genannt werden.

Die vertiefende Betrachtung der Flächentypen zeigt, dass gerade die Flächentypen mit einem geringen mittleren Versiegelungsgrad der unbebauten Fläche zwar einerseits eine sehr geringe Abweichung der Prozentwerte (sehr hohe Genauigkeit) aufweisen, dass aber die absoluten Abweichungen (kartierte versiegelte Fläche) sehr hoch sind. Dies betrifft vor allem die Flächentypen „Wald“ (55), „Landwirtschaft“ (56), „Brachfläche“ (57) sowie „Bahnanlage ohne Gleiskörper“ (92) und „Gleiskörper (ausschließlich)“ (99). Dennoch wird die Versiegelungstendenz in diesen **meist großflächigen** Blockflächen durch die Kartierung sehr genau getroffen.

Flächentypen, bei denen **Parkplatzflächen** dominieren, weisen hohe bis sehr hohe Abweichungen der Prozentwerte auf. Parkplätze sind vor allem auch in den Flächentypen „Campingplatz“ (58) und „Wassersport“ (15) sowie in den Typen von öffentlichen Einrichtungen enthalten. Meist wird hier der Untergrund von Bäumen überschirmt, sodass der **Versiegelungsgrad unterschätzt** wird.

### Kartierung der bebaut versiegelten Flächen

Für die Erfassung der **bebaut versiegelten Flächen** wurden ausschließlich Gebäudedaten der **ALK** verwendet. Im Hinblick auf deren hohe Aktualität wurde die Erfassungsgenauigkeit der bebaut versiegelten Fläche für Flächentypen, die vollständig mit ALK-Daten abgedeckt werden, mit einem Pauschalwert von **99 %** angenommen.

Für die Flächentypen „Bahnanlage ohne Gleiskörper“ (92) und „Gleiskörper (ausschließlich)“ (99) lagen keine oder nur lückenhafte ALK-Informationen vor, sodass eine Genauigkeitsbewertung der Kartierungsergebnisse für diese Bereiche ebenso entfällt wie für „Kleingartenanlagen“ (Flächentypen 34, 35, 37), für deren Bebauung ein pauschaler prozentualer Flächenwert angenommen wurde.

### Flächengewichtung und Gesamtgenauigkeit

Da die Erfassungsgenauigkeit der bebaut versiegelten Flächen für die meisten Flächentypen mit 99 % sehr hoch ist, die der unbebaut versiegelten aber Flächentyp abhängig ist und zwischen 75 % und 98 % variiert, liegt die Genauigkeit der Gesamtversiegelung zwischen diesen Werten und zwar abhängig vom **Verhältnis von bebauter und unbebaut versiegelter Fläche** (vgl. Tab. 6). Eine Übersicht der Gesamtgenauigkeiten wird in den letzten drei Spalten der Tabelle 6 dargestellt.

Für die **Bewertung der erzielten Genauigkeiten** wurde ein vierstufiges **Bewertungsschema** verwendet. Die Unterscheidung in „sehr geringe Abweichung“ (sehr hohe Genauigkeit), „geringe Abweichung“ (hohe bis mittlere Genauigkeit), „hohe Abweichung“ (geringe Genauigkeit) sowie „sehr hohe Abweichung“ (sehr geringe Genauigkeit) berücksichtigte die räumlich-geometrischen Möglichkeiten und Grenzen des verwendeten Satellitensensors (Auflösung: 10 m x 10 m).

Die Bewertung der Genauigkeit erfolgte mittels des sogenannten **absoluten Root Mean Squared Error (RMSE)** der Versiegelungsgrade (in % der jeweiligen Flächen). Die Abweichung des Kartierungsergebnisses vom Verifizierungswert wurde dabei nicht ersichtlich. Diese konnte mit dem **relativen RMSE** der versiegelten Fläche (in m<sup>2</sup>) beschrieben werden, bei dem das Kartierungsergebnis ins Verhältnis zum Verifizierungsergebnis (100 %) gesetzt wurde, unabhängig von der Größe der Bezugsfläche.

Beispiel: Bei einer kartierten Versiegelungsfläche von 1 ha und einem Verifizierungswert von 1,5 ha ergibt sich bei der Differenz von 0,5 ha ein relativer RMSE von ca. 33 %. Die gleiche Differenz wird beim absoluten RMSE auf die Blockfläche bezogen: bei einer kleineren Blockfläche von 10 ha ergibt sich ein absoluter RMSE von 5 %, bei einer größeren Blockfläche von 20 ha liegt dieser bei 2,5 %.

Im Rahmen der Genauigkeitsbetrachtung sind daher folgende Aspekte zu beachten:

- Wird ausschließlich der absolute RMSE betrachtet, kann es bei der Kartierung kleiner Versiegelungsflächen in sehr großen Blockflächen zu einer zu positiven Bewertung kommen.
- Bei der alleinigen Beachtung des relativen RMSE bleibt die absolute Flächengröße undifferenziert, sodass bereits geringe Flächenunterschiede extrem hohe Fehler beschreiben, obwohl in den meisten Fällen die Charakteristik der Versiegelung korrekt erkannt wird.

### Ergebnis der Genauigkeitsbetrachtung

Mit dem angewendeten Kartierverfahren wurde im Gesamtergebnis der Genauigkeitsbetrachtung der **Versiegelungsgrad von Berlin mit einer mittleren Genauigkeit von ca. 95 % erfasst**.

Die Übersicht der Genauigkeiten verdeutlicht, dass sehr dicht bebaute Flächentypen aufgrund der ALK-Einbindung zwangsläufig mit **hohen und sehr hohen Genauigkeiten** kartiert werden (> 90 %). Insgesamt werden für 49 der 62 Flächentypen Genauigkeiten von über 90 % erreicht.

Erwartungsgemäß werden **geringere Genauigkeiten** vor allem für solche Flächentypen erzielt, deren Gesamtversiegelungsgrad vorwiegend aus unbebauten Flächen hervorgeht. Für zehn Flächentypen liegen die mittleren Genauigkeiten zwischen 85 % und 90 %.

**Sehr geringe Genauigkeiten** wurden für drei Flächentypen ermittelt (unter 85 %). Hierbei handelt es sich um „Campingplatz“ (58), „Parkplatz“ (91) sowie „sonstige Verkehrsfläche“ (94) und ist mit der unzureichenden Erfassung der unbebaut versiegelten Flächen begründet. Da die Blöcke dieser Flächentypen stadtweit lediglich eine Gesamtfläche von ca. 374 ha einnehmen, sind diese Fehler tolerierbar.

Die übergreifende Genauigkeitsbetrachtung führt zu dem Ergebnis, dass im neuen **hybriden Verfahrensansatz**, mit der kombinierten Nutzung von Geo-Daten und Satellitendaten, die jeweiligen **Vorzüge der einzelnen Informationsquellen vereint** werden.

Einerseits werden die bebauten Flächen mittels ALK in der Regel sehr genau kartiert. Andererseits wird mit der regelbasierten Verknüpfung von hoch aufgelösten Satellitenbilddaten und Geo-Daten die unbebaut versiegelte Fläche für die meisten Flächentypen mit hoher Genauigkeit erfasst.

Die **tendenzielle Unterschätzung der unbebaut versiegelten Flächen** schlägt sich auch in der Berechnung des Gesamtversiegelungsgrads nieder und ist methodisch bedingt. Bei einem wiederholten Anwenden des Verfahrens im Rahmen eines Monitoring wird sich dieser Effekt egalalisieren, sodass Aussagen zu Veränderungen auf Block-Ebene möglich werden.

### Übernahme der Belagsarten von 2001

Die Belagsarten der unbebaut versiegelten Blockteile (Wege, Hofflächen etc.) wurden in vier Belagsartenklassen (von Beton bis Rasengittersteine) bestimmt. Die jeweilige Verteilung wurde für ausgewählte Testflächen ermittelt und die Ergebnisse auf alle Flächen des gleichen Flächentyps übertragen.

Die typspezifische Belagsartenverteilung wurde für die vorliegende Karte nicht aktualisiert sondern beruht auf Erhebungen aus dem Jahre 1988 (AGU Arbeitsgemeinschaft Umweltplanung 1988). Die

Belagsarten sind in der Karte nicht abgebildet, können aber über die Sachdatenanzeige pro Blockfläche angezeigt werden.

Tab. 5: Belagsklassen an der unbebaut versiegelten Fläche				
Flächentyp	Anteil der jeweiligen Belagsklassen an der unbebaut versiegelten Fläche			
	1	2	3	4
	%			
<b>Wohngebiete</b>				
Hinterhof	56	22	3	19
Schmuck- und Gartenhof	62	27	10	1
Behutsame Sanierung	62	17	8	13
Schuppenhof	46	29	13	12
Nachkriegsblockrand	41	27	4	28
Ungeordneter Wiederaufbau	45	28	13	14
Hochhaus, Großsiedlung	15	67	7	11
Siedlung 90er Jahre kompakt (Geschosswohnungsbau >= vier Geschosse)	20	60	10	10
Siedlung 90er Jahre aufgelockert (Reihen-, Einzel-, Doppelhäuser < vier Geschosse)	20	35	35	10
Großhof und Zeilenbebauung der 20er und 30er Jahre (im Ostteil nur Großhof)	20	37	32	11
Zeilenbebauung der 50er Jahre	49	46	3	2
Reihengarten	25	65	3	7
Garten	18	74	2	6
Parkartiger Garten	15	60	12	13
Gärten und halbprivate Umgrünung	20	64	4	12
offene Siedlungsbebauung	18	74	2	6
Dorf	21	39	22	18
<b>Kerngebiet</b>	50	34	9	7
<b>Industrie-/Gewerbegebiete</b>				
Mischgebiet II mit geringer Bebauung	48	38	1	13
Mischgebiet II mit dichter Bebauung	74	20	1	5
<b>Flächen der Ver- und Entsorgung</b>	31	56	1	12
<b>Gemeinbedarf</b>				
Sicherheit und Ordnung	54	25	3	18
Post	54	25	3	18
Verwaltung	41	42	15	2
Kultur	41	42	15	2
Hochschule und Forschung	15	70	12	3
Krankenhaus	42	38	8	12
Schule	45	40	2	13
Sportanlage	18	28	1	53
Wassersport	46	29	13	12
Kirche	65	7	16	12
Kindertagesstätte	7	42	5	46
Seniorenheim	4	62	18	16
Jugendfreizeitheim	4	62	18	16
<b>Grün- und Freiflächen</b>				
Kleingartenanlage allgemein	5	31	4	60
Friedhof	14	27	5	54
Baumschule/Gartenbau	35	45	9	11
Park, Grünfläche	30	20	5	45
Stadtplatz/Promenade	50	20	10	20
Wald	5	5	0	90
Landwirtschaft	10	10	0	80
Brachfläche	20	10	0	70
Campingplatz	20	20	0	60
Wochenendhausgebiet	11	43	2	44
<b>Verkehrsflächen</b>				
Parkplatz	31	53	7	9
Bahnanlage	5	5	0	90
Flughafen	85	10	0	5
sonstige Verkehrsfläche	42	32	19	7



**Tab. 5: Belagsklassen an der unbebaut versiegelten Fläche**

## Kartenbeschreibung

In der Karte wird der **Grad der Versiegelung**, d. h. die Bedeckung der Erdoberfläche mit undurchlässigen Materialien **in % der Bezugsfläche** (statistischer Block bzw. Teilblock) dargestellt. Insgesamt betrachtet nimmt der Grad der Versiegelung von der Innenstadt in Richtung Stadtrand ab, da die Bebauung zum Stadtrand hin lockerer wird und der Stadtrand entweder völlig unbebaut (Wald, Landwirtschaftsflächen) oder von Einzelhausgebieten geprägt ist. Ausnahmen hiervon sind die gewachsenen Zentren der bis 1920 selbständigen Städte wie Spandau und Köpenick. Sie sind zu etwa 60 %, in den Kernbereichen bis über 90 % versiegelt. Die großen Neubaugebiete am Stadtrand wie Marzahn, Hellersdorf und Hohenschönhausen oder die Gropiusstadt in Neukölln sowie die Thermometersiedlung in Lichterfelde sind zwischen 50 % und über 80 % versiegelt.

Die folgende Tabelle zeigt die durchschnittlichen Versiegelungsgrade und die mittleren Genauigkeiten pro Flächentyp.

Die **höchsten Gesamtversiegelungsgrade** weisen die Flächentypen „Geschlossener Hinterhof“ mit 83 % und „Flughafen“ mit 86 % auf. Die **niedrigsten Versiegelungsgrade** von jeweils 0 % haben die Flächentypen „Wald“ und „Landwirtschaft“ zu verzeichnen.

Tab. 6: Mittlere Versiegelungsgrade und mittlere Genauigkeit der Erfassung pro Flächentyp

Flächentyp	Anzahl der Blöcke	Blockfläche [ha]	versiegelte Fläche [ha]	Versiegelungsgrad [%]	bebaut versiegelte Fläche [ha]	bebaut versiegelte Fläche [%]	unbebaut versiegelte Fläche [ha]	unbebaut versiegelte Fläche [%]	mittlere Genauigkeit der Erfassung		
									gesamt versiegelt	bebaut versiegelt	unbebaut versiegelt
1 Geschlossener Hinterhof	172	244	202	83	148	61	54	22	96,2	99,0	88,7
2 Hinterhof	993	1.672	1.274	76	848	51	426	25	94,9	99,0	86,8
3 Schmuck- und Gartenhof	524	849	530	62	331	39	199	23	92,4	99,0	81,4
4 Sanierung Entkernung	84	168	102	61	63	37	40	24	93,6	99,0	85,1
5 Behutsame Sanierung	110	225	164	73	108	48	56	25	96,1	99,0	90,5
6 Schuppenhof	126	252	148	59	81	32	67	27	95,0	99,0	90,1
7 Nachkriegsblockrand	343	604	382	63	239	40	142	24	94,2	99,0	86,1
8 Ungeordneter Wiederaufbau	44	108	71	65	41	38	29	27	93,3	99,0	85,2
9 Hochhaus, Großsiedlung	523	1.921	858	45	387	20	471	25	93,0	99,0	88,0
10 Großhof und Zeilenbebauung der 20er und 30er Jahre (im Ostteil nur Großhof)	836	1.436	711	50	448	31	263	18	93,4	99,0	84,0
11 Zeilenbebauung seit den 50er Jahren	882	2.699	1.082	40	561	21	522	19	94,8	99,0	90,3
71 Plattenbausiedlung der 80er und 90er Jahre	90	252	130	51	54	21	76	30	95,4	99,0	92,9
72 Zeilenbebauung der 20er und 30er Jahre (nur Ost-Berlin)	129	210	101	48	57	27	44	21	93,9	99,0	87,3
73 Siedlung der 90er Jahre kompakt >= 4 Geschosse (Geschosswohnungsbau)	250	398	226	57	110	28	116	29	97,0	99,0	95,1
74 Siedlung der 90er Jahre aufgelockert < 4 Geschosse (Reihen- Einzel- Doppelhäuser)	116	223	105	47	40	18	65	29	88,4	99,0	81,6
29 Kerngebiet	281	479	371	77	232	48	139	29	92,0	99,0	80,3
54 Stadtplatz/Promenade	182	88	35	39	3	4	31	36	86,7	99,0	85,3
21 Dorf	132	450	151	34	80	18	71	16	94,0	99,0	88,5
22 Reihengarten	643	1.200	345	29	211	18	134	11	97,8	99,0	95,8
23 Garten	2.949	6.209	1.767	28	1.092	18	675	11	95,9	99,0	90,8
24 Parkartiger Garten	664	1.492	458	31	279	19	179	12	97,3	99,0	94,6
25 Gärten und halbprivate Umgrünung	356	946	324	34	195	21	128	14	94,8	99,0	88,3
26 offene Siedlungsbebauung	1.564	3.196	734	23	451	14	283	9	97,7	99,0	95,7
12 Altbau-Schule (Baujahr vor 1945)	144	247	134	54	67	27	67	27	87,9	99,0	76,7
13 Neubau-Schule (Baujahr nach 1945)	422	1.010	483	48	198	20	285	28	85,5	99,0	76,1
14 Schule	12	18	8	42	3	16	5	25	94,1	99,0	90,9
15 Wassersport	58	128	43	33	20	16	23	18	88,1	99,0	78,4
28 Sportanlage	410	1.552	555	36	100	6	455	29	88,8	99,0	86,6
41 Sicherheit und Ordnung	88	597	232	39	89	15	143	24	87,9	99,0	80,8
42 Post	20	67	42	63	16	24	26	39	88,7	99,0	82,2
43 Verwaltung	182	542	295	54	154	28	141	26	94,6	99,0	89,9
44 Hochschule und Forschung	91	376	183	49	98	26	85	23	95,2	99,0	90,8
45 Kultur	68	180	90	50	44	24	47	26	91,1	99,0	83,4
46 Krankenhaus	116	852	306	36	161	19	145	17	96,2	99,0	93,0
47 Kindertagesstätte	254	373	134	36	56	15	78	21	94,3	99,0	90,9
49 Kirche	88	93	33	36	16	18	17	18	94,4	99,0	89,9
50 Seniorenheim	18	38	17	45	9	23	9	22	96,1	99,0	92,9
51 Jugendfreizeitheim	39	87	19	21	9	10	10	11	92,2	99,0	86,0
60 Gemeinbedarf allgemein	40	93	36	38	11	11	25	27	94,0	99,0	91,8
59 Wochenendhäuser	77	214	47	22	20	9	27	13	95,9	99,0	93,6
58 Campingplatz	24	90	8	9	1	1	7	8	81,2	99,0	78,5
30 Gewerbegebiet mit geringer Bebauung	960	4.361	2.773	64	1.127	26	1.646	38	93,4	99,0	89,4
31 Gewerbegebiet mit dichter Bebauung	153	854	685	80	333	39	352	41	90,4	99,0	82,3
39 Mischgebiet I (z.B. Gaststätten)	14	24	9	36	4	17	5	19	94,4	99,0	90,2
38 Mischgebiet II mit dichter Bebauung	29	53	42	79	29	54	13	25	94,6	99,0	85,1
33 Mischgebiet II mit geringer Bebauung	119	296	178	60	86	29	91	31	90,8	99,0	83,0
27 Friedhof	190	1.154	89	8	14	1	75	7	96,1	99,0	95,6
36 Baumschule/Gartenbau	176	654	191	29	70	11	121	19	93,3	99,0	90,0
37 Kleingartenanlage allgemein	543	1.954	541	28	194	10	346	18	88,0	-	88,0
34 Kleingartenanlage mit neorgem Freischieferflächenanteil	255	818	176	22	35	4	141	17	88,1	-	88,1
35 Kleingartenanlage mit höherem Freischieferflächenanteil	186	1.247	235	19	46	4	189	15	90,3	-	90,3
53 Park, Grünfläche	1.504	3.924	371	9	52	1	318	8	93,6	99,0	92,7
55 Wald	2.629	15.827	14	0	13	0	1	0	99,3	99,0	99,5
56 Landwirtschaft	419	3.736	13	0	12	0	2	0	99,0	99,0	98,7
57 Brachfläche	1.294	4.308	98	2	53	1	45	1	98,0	99,0	96,6
91 Parkplatz	161	164	83	50	9	6	74	45	78,0	99,0	75,5
32 Flächen der Ver- und Entsorgung	158	931	472	51	151	16	321	34	94,5	99,0	92,4
92 Bahnanlagen	226	331	194	59	33	10	161	48	95,6	-	95,6
99 Gleiskörper	470	1.248	546	44	9	1	537	43	99,7	-	99,7
93 Flughafen	14	294	252	85	19	7	232	79	86,0	99,0	84,9
94 sonstige Verkehrsfläche	335	134	48	36	2	1	47	35	77,8	99,0	77,1
98 Baustelle	14	21	6	27	1	2	5	24	-	-	-
<b>Summe ohne Gewässer und ohne Straßen</b>	<b>23.993</b>	<b>74.212</b>	<b>19.949</b>	<b>27</b>	<b>9.423</b>	<b>13</b>	<b>10.526</b>	<b>14</b>	<b>95,2</b>	<b>99,0</b>	<b>92,4</b>
100 Gewässer	676	5.388	0	0	0	0	0	0			
<b>Summe mit Gewässer aber ohne Straßen</b>	<b>24.669</b>	<b>79.600</b>	<b>19.949</b>	<b>25</b>	<b>9.423</b>	<b>12</b>	<b>10.526</b>	<b>13</b>			
Straßen		9.496	8.465	89	0	0	8.465	89			
<b>Summe ohne Gewässer aber mit Straßen</b>		<b>83.708</b>	<b>28.413</b>	<b>34</b>	<b>9.423</b>	<b>11</b>	<b>18.990</b>	<b>23</b>			
<b>Summe Berlin mit Gewässer und mit Straßen</b>		<b>89.096</b>	<b>28.413</b>	<b>32</b>	<b>9.423</b>	<b>11</b>	<b>18.990</b>	<b>21</b>			

Die Fläche der Straßen wurde als Differenz der Fläche Gesamtberlins (nach Angaben des ISU) und der Fläche der Summe der Blöcke und der Gewässer bestimmt.  
 Der Versiegelungsgrad der Straßen beruht auf der Auswertung einer Straßenstatistik von SenStadt VI C, die aber nur 8.790 ha umfasst. Der aus dieser Statistik ermittelte Versiegelungsgrad wurde als gültig auch für die restliche Straßenfläche angenommen.  
 Gleisschotter geht in der Berechnung wie in der Karte zu 100% versiegelt ein, wurde aber in der Genauigkeitsbetrachtung als unversiegelt angesehen.  
 Die Genauigkeit der ALK ist in fünf Flächentypen (34, 35, 37, 92, 99) nicht gegeben, deshalb wird für die Gesamtgenauigkeit die der unbebaut versiegelten Fläche übernommen.  
 Die Gesamtgenauigkeit ist über den Flächenanteil jedes Flächentyps berechnet worden. Für die Gesamtgenauigkeit der bebaut versiegelten Fläche wurden die fünf Flächentypen 34, 35, 37, 92, 99 nicht mit einbezogen.  
 Der Flächentyp Baustelle wurde in der Genauigkeitsbetrachtung nicht bearbeitet.  
 Es können Rundungsdifferenzen auftreten  
 Stand: 31.12.2005

**Tabelle 6: Mittlere Versiegelungsgrade und mittlere Genauigkeiten nach Flächentyp**

Zur besseren Übersicht werden die Versiegelungsgrade auch für die jeweiligen Flächennutzungen (ISU-Kategorien) zusammengefasst. Wohngebiete haben einen durchschnittlichen Versiegelungsgrad von 38 %. Den höchsten mittleren Versiegelungsgrad weisen mit 77 % die Kerngebiete auf, die niedrigsten bei „Wald“ und „Ackerland“.

Tab 7: Mittlere Versiegelungsgrade nach Flächennutzung									
	Nutzung	Anzahl der Blöcke	Blockfläche [ha]	versiegelte Fläche [ha]	Versiegelungsgrad [%]	bebaut versiegelte Fläche [ha]	bebaut versiegelte Fläche [%]	unbebaut versiegelte Fläche [ha]	unbebaut versiegelte Fläche [%]
10	Wohngebiet	10.586	22.518	8.549	38	5.040	22	3.509	16
	Mischgebiet	1.102	2.511	1.500	60	888	35	612	24
30	Kerngebiet	283	487	376	77	235	48	142	29
40	Gewerbe- und Industriegebiet	1.072	5.087	3.395	67	1.450	29	1.945	38
50	Gemeinbedarfs- und Sondernutzungen	1.605	4.760	2.108	44	956	20	1.152	24
60	Ver- und Entsorgungseinrichtungen	154	874	468	54	149	17	319	36
70	Wochenendhausgebiet	76	213	47	22	20	9	27	13
80	Verkehrsfläche	929	1.365	851	62	63	5	788	58
90	Baustelle	13	19	4	22	1	3	4	19
100 bis 102	Wald	2.634	15.913	24	0	17	0	7	0
121	Grünland (Wiesen u. Weiden)	56	349	4	1	3	1	0	0
122	Ackerland	366	3.396	10	0	9	0	1	0
130	Park, Grünfläche	1.523	3.958	378	10	53	1	325	8
140	Stadtplatz/Promenade	185	88	38	43	4	5	34	38
150	Friedhof	190	1.154	89	8	14	1	75	7
160 bis 162	Kleingarten	999	4.049	962	24	276	7	686	17
171 bis 174	Brachfläche	1.588	5.216	420	8	71	1	349	7
180	Campingplatz	24	90	8	9	1	1	7	8
190	Sportplatz/Freibad (inkl. Wassersport, Tennis, Reiten etc.)	432	1.509	526	35	104	7	423	28
200	Baumschule/Gartenbau	176	654	191	29	70	11	121	19
	<b>Summe ohne Gewässer und ohne Straßen</b>	<b>23.993</b>	<b>74.212</b>	<b>19.949</b>	<b>27</b>	<b>9.423</b>	<b>13</b>	<b>10.526</b>	<b>14</b>
110	Gewässer	676	5.388	0	0	0	0	0	0
	<b>Summe mit Gewässern und ohne Straßen</b>	<b>24.669</b>	<b>79.600</b>	<b>19.949</b>	<b>25</b>	<b>9.423</b>	<b>12</b>	<b>10.526</b>	<b>13</b>
	Straßen		9.496	8.465	89	0	0	8.465	89
	<b>Summe ohne Gewässer und mit Straßen</b>		<b>83.708</b>	<b>28.413</b>	<b>34</b>	<b>9.423</b>	<b>11</b>	<b>18.990</b>	<b>23</b>
	<b>Summe Berlin mit Gewässern und Straßen</b>		<b>89.096</b>	<b>28.413</b>	<b>32</b>	<b>9.423</b>	<b>11</b>	<b>18.990</b>	<b>21</b>

Die Fläche der Straßen wurde als Differenz der Fläche Gesamtberlins (nach ISU) und der Fläche der Summe der Blöcke und der Gewässer bestimmt.  
 Der Versiegelungsgrad der Straßen beruht auf der Auswertung einer Straßenstatistik von SenStadt VI C, die aber nur 8.790 ha umfasst.  
 Der aus dieser Statistik ermittelte Versiegelungsgrad wurde als gültig auch für die restliche Straßenfläche angenommen.  
 Es können Rundungsdifferenzen auftreten.  
 Stand: 31.12.2005

**Tabelle 7: Mittlere Versiegelungsgrade nach Flächennutzung**

Die statistischen Blöcke und Teilblöcke Berlins (ohne Strassen und Gewässer) sind durchschnittlich zu 27 % versiegelt. Davon entfallen 13 % auf die bebaut versiegelten Flächen und 14 % auf die unbebaut versiegelten Flächen. **Inklusive Gewässer und Straßenland ist Berlin somit zu 32 % versiegelt.** Davon entfallen 11 % auf die bebaut versiegelten Flächen und 21 % auf die unbebaut versiegelten Flächen. Berlin ist also zu einem Drittel versiegelt. Die Versiegelung besteht wiederum zu je einem Drittel aus Gebäuden, aus Straßen und aus unbebaut versiegelten Flächen.

## Versiegelung der Bezirke

Für die **bezirksbezogene Auswertung** wurde der durchschnittliche Versiegelungsgrad des Straßenlandes errechnet. Hierfür wurde eine Statistik zu Befestigung und Fahrbahnbelägen Berliner Straßen, Rad- und Gehwege (SenStadt 2006) ausgewertet.

## Versiegelungsverteilung ohne Gewässerflächen pro Bezirk [%]

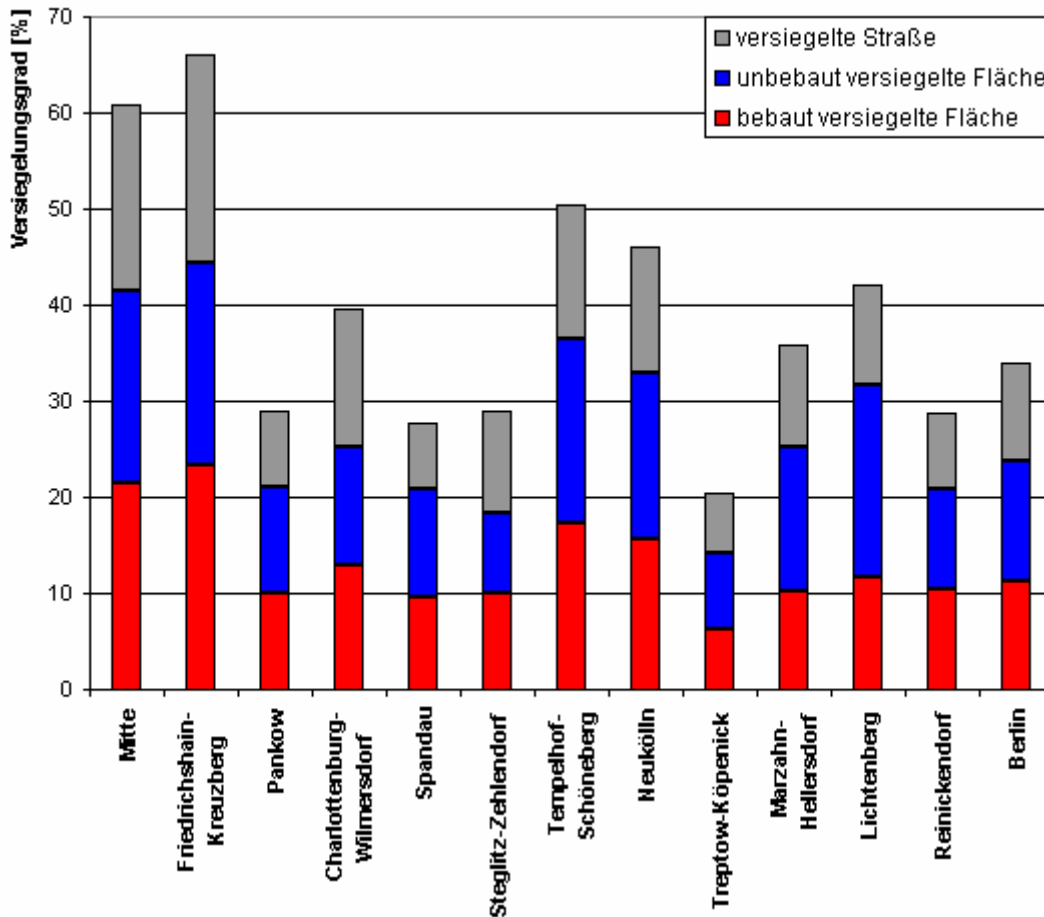


Abbildung 6: Versiegelungsgrad nach Bezirken (in % der Gesamtfläche ohne Gewässer)

Treptow-Köpenick ist mit 21 % der am geringsten versiegelte Bezirk, während Kreuzberg-Friedrichshain und Mitte mit 66 bzw. 60 % die höchsten Versiegelungsgrade aufweisen. Auch der Anteil der bebauten Fläche an der Bezirksfläche ist in diesen Bezirken am höchsten.

## Versiegelungsdaten 2005 im Vergleich zu 1990 und 2001

Ein direkter Vergleich zwischen den Versiegelungswerten von 1990 bzw. 2001 und 2005 kann aufgrund der **verschiedenen Erhebungsmethoden** nur bedingt durchgeführt werden. **Aus den Werten kann keine Veränderung der versiegelten Fläche über die Zeit abgeleitet werden.**

**2001** betrug der Versiegelungsgrad Berlins **34,7 %** (einschl. Straßen und Gewässern). Diese Daten gehen zum Teil auf Auswertungen von Satellitenbildern und weiteren Quellen aus den 80er Jahren zurück (nur West-Berlin). Diese Kartierungen wurden für 1990 mittels Luftbildern und topographischen Karten auf das Gebiet von Ost-Berlin erweitert und für 2001 teilweise aktualisiert. Bei diesen Arbeiten wurden auch z.T. nutzungsspezifische Pauschalwerte angenommen. Die Erfassungsmethode war insgesamt uneinheitlich.

Mit der vorliegenden Kartierung liegt nunmehr ein nach einem flächendeckend einheitlichen, vollständig automatisierten und wesentlich verbesserten Verfahren gewonnener Datensatz vor. Im Ergebnis beträgt der Versiegelungsgrad im Jahre **2005 31,8 %** und liegt damit um ca. 3 % unter den Werten von 2001. **Daraus kann jedoch keineswegs auf einen Rückgang der versiegelten Fläche geschlossen werden.**

	1990	2001	2005
Gesamtversiegelung	31,0	34,7	31,8
Bebaut versiegelt	10,1	10,8	10,6
Unbebaut versiegelt	10,8	14,6	11,7
Versiegelte Straßenfläche	10,1	9,3	9,6

**Tab 8.: Ergebnisse von Versiegelungskartierungen in Berlin 1990 bis 2005 (alle Angaben bezogen auf die Gesamtfläche Berlins einschl. Straßen und Gewässer) aus den Werten kann keine Veränderung der versiegelten Fläche über die Zeit abgeleitet werden**

Betrachtet man die ermittelten Werte für die bebaut versiegelte Fläche über die Jahre fällt auf, dass sie **nahezu identisch** sind. Daraus kann abgeleitet werden, dass die alte Erhebungsmethode im Mittel durchaus gute Werte lieferte, denn die Erhebung mittels der ALK für 2005 kann als sehr genau angesehen werden.

Für die **unbebaut versiegelte Fläche** ergibt sich ein etwas anderes Bild. Hier haben die ermittelten Werte gegenüber 2001 um 3 Prozentpunkte **abgenommen**. Dies kann einerseits daran liegen, dass in den alten Kartierungen einige Grün- und Freiflächen – Kategorien (z.B. Wälder und Landwirtschaft) mit Pauschalwerten der unbebaut versiegelten Fläche belegt wurden, die nach heutigen Erkenntnissen zu hoch sind. Da diese Flächen einen großen Anteil am Stadtgebiet haben, wurde der Versiegelungsgrad der **unbebaut versiegelten Fläche insgesamt überschätzt**. Andererseits wurde wegen der bereits genannten Probleme bei der Interpretation der Satellitendaten die unbebaut versiegelte Fläche im **neuen Verfahren eher unterschätzt**. Diese Annahmen sind eher plausibel, als dass tatsächlich ein Rückgang der versiegelten Fläche im Stadtgebiet stattgefunden hat.

Hinsichtlich der Erfassung der versiegelten **Straßenfläche** konnten die im Jahre 1990 vorliegenden groben Schätzwerte erst im Jahre 1997 durch Werte der Straßenbauverwaltung ersetzt werden. Diese wurden für die Auswertungen von 2001 verwendet und 2005 aktualisiert. Eine leichte Erhöhung des durch Straßen verursachten Versiegelungsgrades durch Tiefbaumaßnahmen vor allem im Ostteil der Stadt erscheint durchaus plausibel.

Bei einer zukünftigen **Wiederholung des Verfahrens** z.B. im Rahmen eines **Monitorings** wird es durch das neue Verfahren jetzt möglich sein, zunächst auf Blockebene relevante Veränderungen zu erfassen und diese dann über das Stadtgebiet zu bilanzieren.

## Literatur

- [1] **AGU Arbeitsgemeinschaft Umweltplanung 1988:**  
Fortschreibung und Übernahme der Versiegelungskarte des Umweltatlases in das räumliche Bezugssystem des ökologischen Planungsinstruments Berlin (öPB), im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin, unveröffentlicht.
- [2] **Baratta, M. (Hrsg.) 2003:**  
Der Fischer Weltatlas 2004. Zahlen Daten Fakten. Fischer Taschenbuch Verlag. Frankfurt am Main.
- [3] **BBodSchG, 1998:**  
Bundes-Bodenschutzgesetz. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten.
- [4] **Berliner Wasserbetriebe (BWB) 1998:**  
Getrenntes Entgelt für Schmutz- und Niederschlagswasser ab dem Jahr 2000. Anschreiben an die Eigentümer im September 1998. Berlin
- [5] **Coenradie, B.; Haag, L., Damm, A.; Kleinschmit, B.; Hostert, P. 2007:**  
Hauptstudie „Entwicklung und Umsetzung eines hybriden Verfahrensansatzes zur Versiegelungskartierung in Berlin“. Abschlussbericht. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (Hrgb.).  
Internet:  
[Download PDF](#)
- [6] **Die Bundesregierung 2007:**  
Nachhaltige Entwicklung.  
Auf: <http://www.bundesregierung.de> (Zugriff am 30.07.2007).
- [7] **Geiger, W.F. 1992:**  
Regenwasserbehandlungskonzept für Neuplanungen im nördlichen Einzugsgebiet von Panke, Nordgraben, Gutachten im Auftrag der Berliner Wasser-Betriebe, unveröffentlicht.
- [8] **Gunreben, M.; Dahlmann, I.; Frie, B.; Hensel, R.; Penn-Bressel, G.; Dosch, F. 2007:**  
Die Erhebung eines bundesweiten Indikators „Bodenversiegelung“. In Bodenschutz, 2/07, S. 34-38.

- [9] **Haag, L. 2006:**  
Wie hoch sind die Versiegelungsgrade in Berlin wirklich? - Ein Methodenvergleich. Diplomarbeit TU-Berlin, Berlin.  
Internet:  
[Download PDF](#)
- [10] **Haag, L.; Coenradie, B.; Kleinschmit, B.; Damm, A.; Hostert, P.; Goedecke, M.; Schneider, T. 2008:**  
Hybrides Kartierungsverfahren der Bodenversiegelung im urbanen Raum – das Ergebnis für Berlin. Bodenschutz. Ausgabe 3/2008. S. 82-87.  
Internet:  
<http://www.bodenschutzdigital.de/ce/hybrides-kartierungsverfahren-der-bodenversiegelung-im-urbanen-raum-das-ergebnis-fuer-berlin/detail.html>
- [11] **Mählenhoff, S. 1989:**  
Ökologische Folgen der Bodenversiegelung, in: Mitteilungen der Niedersächsischen Naturschutzakademie 4/91, S. 6-16.
- [12] **Niederschlagswasserfreistellungsverordnung 2001:**  
Verordnung über die Erlaubnisfreiheit für das schadhlose Versickern von Niederschlagswasser - NWFreiV vom 24. August 2001.  
Internet:  
<http://www.berlin.de/sen/umwelt/service/gesetzestexte/de/umwelt/wasser.shtml>  
(Zugriff am 14.11.2007).
- [13] **Oerder, M. 1999:**  
Bundes-Bodenschutzgesetz. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten. Kommentar von Oerder, M.; Numberger, U.; Schönfeld, T.. Boorberg. Stuttgart.
- [14] **Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (SenStadt) 2001:**  
Neuer Umgang mit Niederschlagswasser in Berlin. Broschüre. Berlin.
- [15] **Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (SenStadt) 2006:**  
Statistik zu Befestigung und Fahrbahnbelägen Berliner Straßen, Rad- und Gehwege VI C 12 (Stand 01.01.2006)
- [16] **Umweltbundesamt (UBA) 2007:**  
Umweltdaten Deutschland Online. Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche. März 2007.
- [17] **Umweltbundesamt (UBA) 2008:**  
Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen vom Jahr 1993 bis zum Jahr 2008
- [18] **Wikipedia 2007:**  
Internet:  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Normalized\\_Differenced\\_Vegetation\\_Index](http://de.wikipedia.org/wiki/Normalized_Differenced_Vegetation_Index)  
(Zugriff am 08.11.2007).
- [19] **WTE 2004:**  
WTE betriebsgesellschaft mbh.  
Internet:  
<http://www.wteb.de>  
(Zugriff am 01.08.2004).