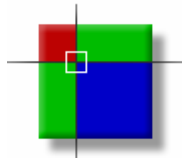


# „Versiegelungskartierung Berlin -

## Anwendung und Weiterentwicklung des hybriden Auswertungsverfahrens für das Jahr 2011 sowie Kartierung von Veränderungen“

- Abschlussbericht -

Auftragnehmer:



Digitale Dienste Berlin  
Dr. Bodo Coenradie

Bearbeitung:  
Dr. Bodo Coenradie  
Leilah Haag

Auftraggeber:



Berlin, Mai 2012

## **Anschriften**

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt  
III F - Informationssystem Stadt und Umwelt  
Manfred Goedecke, Thomas Schneider

Fehrbelliner Platz 1  
10707 Berlin

Tel. +49 (0)30-9012 2255

Fax. +49 (0)30-9012 2251

mail [manfred.goedecke@SenStadtUm.Berlin.de](mailto:manfred.goedecke@SenStadtUm.Berlin.de)  
[thomas.schneider@SenStadtUm.Berlin.de](mailto:thomas.schneider@SenStadtUm.Berlin.de)

web [www.stadtentwicklung.berlin.de](http://www.stadtentwicklung.berlin.de)

Digitale Dienste Berlin  
Dr.-Ing. Bodo Coenradie

Kloedenstraße 1  
10965 Berlin

Tel.: +49 (0)30 56734078

Fax: +49 (0)30 56734079

mail [coenradie@dd-berlin.de](mailto:coenradie@dd-berlin.de)

web [www.dd-berlin.de](http://www.dd-berlin.de)

## Inhalt

<b>1</b>	<b>AUSGANGSLAGE</b> .....	<b>7</b>
1.1	Hintergrund .....	7
1.2	Zielstellung .....	7
<b>2</b>	<b>AUSWAHL UND AUFBEREITUNG VON FACHPLANUNGSDATEN UND GEO-DATEN</b> .....	<b>8</b>
2.1	Informationssystem Stadt und Umwelt - ISU .....	8
2.2	Automatisierte Liegenschaftskarte - ALK.....	9
2.3	Karte von Berlin 1 : 5.000 - K5 .....	10
2.4	Orthophotos .....	11
2.5	Versiegelungsdaten der Berliner Wasserbetriebe .....	11
<b>3</b>	<b>AUSWAHL UND AUFBEREITUNG DER SATELLITENBILDDATEN</b> .....	<b>12</b>
3.1	Verwendete Satellitenbildszene .....	12
3.2	Datenvorverarbeitung.....	13
3.2.1	Geometrische Korrektur .....	14
3.2.2	Radiometrische Korrektur .....	14
3.3	Ableitung von Zusatzkanälen .....	15
<b>4</b>	<b>ANWENDUNG UND ANPASSUNG DES HYBRIDEN VERFAHRENS ZUR VERSIEGELUNGSKARTIERUNG IN BERLIN</b> .....	<b>16</b>
4.1	Kartierung der bebaut versiegelten Fläche .....	16
4.2	Kartierung der un bebaut versiegelten Fläche.....	17
4.2.1	Fernerkundungsrelevante Kategorisierung der Flächentypen (ISU).....	18
4.2.1.1	Die Grundidee .....	19
4.2.1.2	Kategorienbildung .....	19
4.2.1.3	Veränderte Zuordnung von Flächentypen in Flächentyp- Kategorien in der Versiegelungskartierung 2011 .....	23
4.2.2	Räumliche Abgrenzung der Analysefläche .....	27
4.2.3	Festlegung eines Referenzflächennetzes.....	27
4.2.4	Spektrale Klassifizierung.....	28
4.2.4.1	Abgrenzung „Schatten“ .....	29
4.2.4.2	Kartierung „Vegetationsgrad“ .....	31
4.2.4.3	Kartierung „Sand“ .....	35
4.2.4.4	Kartierung „Asche / Tenne“ .....	36
4.2.4.5	Kartierung „Gleisschotter“ .....	37
4.2.4.6	Kartierung „Kunstbeläge“ .....	39
4.2.4.7	Eliminierung von Fehlkartierungen.....	40
4.2.4.8	Ergebnis der spektralen Klassifizierung .....	40
4.2.5	Regelbasierte Klassifizierung - Vorkartierung.....	41
4.2.5.1	Regelwerke .....	42
4.2.5.2	Zwischenergebnis der regelbasierten Klassifizierung .....	47
4.2.6	Modifizierung der regelbasierten Klassifizierung 2011 .....	48
4.2.6.1	Multitemporale Veränderungskartierung .....	49

4.2.6.2	Plausibilitätsprüfung der Vorkartierung .....	54
4.2.6.3	Ergebnis der regelbasierten Klassifizierung 2011 .....	54
<b>4.3</b>	<b>Berechnung der Versiegelungsgrade .....</b>	<b>56</b>
4.3.1	Ablauf .....	56
4.3.2	Optionale Zuweisung des Versiegelungswerts für Gleisschotter .....	57
4.3.3	Berechnung von Versiegelungswerten für Blöcke ohne Berücksichtigung von Schattenflächen .....	57
4.3.4	Klassifizierung der Schattenflächen .....	58
4.3.4.1	Umgebungsbezogene blockspezifische Klassifizierung .....	58
4.3.4.2	Blockspezifische Klassifizierung anhand von BWB-Daten .....	59
4.3.5	Abschätzung der bebaut und unbebaut versiegelten Fläche in der Kategorie „Kleingartenanlagen“ .....	59
4.3.6	Anwendung von Korrekturfaktoren .....	61
4.3.7	Neuberechnung der Versiegelungsgrade .....	61
4.3.8	Ergebnis der Versiegelungskartierung .....	63
<b>5</b>	<b>VERÄNDERUNGSKARTIERUNG 2005 - 2011 .....</b>	<b>66</b>
5.1	Kartierung der Versiegelung 2005 auf Geometrie der ISU 2010 .....	66
5.2	Auswirkungen der Aktualisierung der ISU 2010 auf die Veränderungskartierung .....	68
5.3	Änderungen der Flächentypen .....	70
5.4	Veränderungsnachweis pro Flächentyp .....	72
5.5	Ergebnis der Veränderungskartierung der Versiegelung .....	79
<b>6</b>	<b>DISKUSSION UND BEWERTUNG .....</b>	<b>81</b>
6.1	Übertragbarkeit des Verfahrens für die Kartierung 2011 .....	81
6.2	Veränderungskartierung .....	82
<b>7</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>84</b>
<b>8</b>	<b>LITERATUR .....</b>	<b>85</b>
<b>9</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>87</b>
9.1	Abbildungen von Einzelblöcken .....	87
9.2	Spatial Modeler Modelle .....	89
9.3	Daten .....	112

## Tabellen

Tabelle 1: Korrekturfaktor pro Flächentyp .....	12
Tabelle 2: Eigenschaften der verwendeten SPOT5-Szenen .....	13
Tabelle 3: Einflussfaktoren auf die Kartierungsgenauigkeit der Bodenversiegelung mit Hilfe von Satellitenbilddaten .....	19

Tabelle 4: Fernerkundungsrelevante Flächentyp-Kategorien .....	22
Tabelle 5: Zuordnung von Flächentypen in Flächentyp-Kategorien .....	24
Tabelle 6: Anzahl der modifiziert zu bearbeitenden Blöcke .....	25
Tabelle 7: NDVI-Kategorien .....	32
Tabelle 8: Spektrale Teilklassifizierungen - häufigste Fehlkartierungen .....	40
Tabelle 9: Zuweisungsvarianten: Vegetationsgrad - Versiegelungsgrad .....	44
Tabelle 10: Gewichtungsfaktoren für das Regelwerk: Flächentyp-Kategorien (prozentualer Versiegelungsgrad) .....	45
Tabelle 11: Regelbasierte Klassifizierung - Flächentypen für Nachklassifizierung .....	47
Tabelle 12: Berechnung der Versiegelungsfläche je Block .....	58
Tabelle 13: Mittlerer Versiegelungsgrad der unbebauten, unbeschatteten Blockflächen je Flächentyp aus den BWB-Daten .....	59
Tabelle 14: Durchschnittswerte von Kleingartenanlagen in Berlin .....	60
Tabelle 15: Beispiel für Berechnung von Versiegelungswerten (Block 1901650311000000) .....	62
Tabelle 16: Mittlere Versiegelungsgrade pro Flächentyp – Gesamt 2011 .....	63
Tabelle 17: Anteile der Flächentypen der ISU 2005 und ISU 2010 auf Grundlage der ISU-Geometrie 2010 .....	70
Tabelle 18: Versiegelung 2005 und 2011 der Flächentypen der ISU 2010 unter Berücksichtigung der nicht vergleichbaren Blöcke .....	73
Tabelle 19: Versiegelung 2005 und 2011 der Flächentypen der ISU 2010 – Gesamtbilanz über ganz Berlin .....	76
Tabelle 20: Gesamtbilanz der Versiegelung in Berlin 2005 und 2011 .....	81
Tabelle 21: Verwendete und erstellte Datensätze: Basisdaten, Zwischen- und Endergebnisse .....	112

## Abbildungen

Abbildung 1: Verwendete multispektrale SPOT5-Szene .....	13
Abbildung 2: Radiometrisch korrigierte SPOT5-Daten von 2005 und 2011 - Ausschnitt .....	15
Abbildung 3: Schema des hybriden Verfahrens .....	16
Abbildung 4: Ausprägung der Flächentyp-Kategorien .....	21
Abbildung 5: Veränderungen der ISU 5 und deren Auswirkungen auf die Methode .....	26
Abbildung 6: Anlage eines Referenzflächennetzes für Berlin - das Grundprinzip .....	28
Abbildung 7: Schema der spektralen Klassifizierung .....	29
Abbildung 8: Spektrale Abgrenzung von Schattenbereichen .....	30

Abbildung 9: NDVI - Berechnung und Kategorien .....	33
Abbildung 10: NDVI-Kategorien .....	34
Abbildung 11: Abgrenzung von Asche und Tenne – Ausschnittvergrößerung .....	37
Abbildung 12: Abgrenzung von Gleisschotter – Ausschnittvergrößerung .....	38
Abbildung 13: Abgrenzung von Kunstbelag – Ausschnittvergrößerung (2005).....	39
Abbildung 14: Ergebnis der spektralen Klassifizierung 2011 .....	41
Abbildung 15: Schema der regelbasierten Klassifizierung .....	42
Abbildung 16: Zwischenergebnis der regelbasierten Klassifizierung 2011 .....	48
Abbildung 17: Schema der regelbasierten Klassifizierung 2011 .....	49
Abbildung 18: Erste und zweite Hauptkomponente der NDVI-Kanäle von 2005 und 2011.....	51
Abbildung 19: Kategorisierung der 2. Hauptkomponente - das Prinzip (COENRADIE 2003) .....	52
Abbildung 20: Verdachtsflächen „Veränderung der Versiegelung“ - Ausschnitt .....	53
Abbildung 21: Ergebnis der regelbasierten Klassifizierung 2011 .....	55
Abbildung 22: Ergebnis der Versiegelungskartierung – Gesamtversiegelung .....	65
Abbildung 23: Geometrisch veränderte Blöcke und deren Bearbeitung in der Veränderungskartierung .....	67
Abbildung 24: Verteilung der geometrisch veränderten Blöcke mit einem Nichtblockflächenanteil 2005 > 10 %.....	67
Abbildung 25: Geometrisch veränderte Blöcke und die Auswirkung auf den Versiegelungsgrad von 2005.....	68
Abbildung 26: Auswirkung eines korrigierten Flächentyps auf die Versiegelungskartierung.....	69
Abbildung 27: Verteilung der Blöcke mit einer Korrektur des Flächentyps .....	69
Abbildung 28: Veränderungskartierung 2005 bis 2011 – Grad der bebaut versiegelten Fläche, Veränderungen größer 3 % .....	79
Abbildung 29: Veränderungskartierung 2005 bis 2011 – Gesamtversiegelungsgrad, Veränderungen größer 10 %.....	80
Abbildung 30: Bundesnachrichtendienst (0100986171000400), fehlendes Gebäude in ALK, dadurch unbebaut versiegelte Fläche (rot) und Schatten (schwarz) .....	87
Abbildung 31: Schloss Charlottenburg (0700207151000500).....	87
Abbildung 32: Traglufthalle auf Schulblock (0900416121000200).....	87
Abbildung 33: Kohleschuttfläche, fehlendes Gewässer in ISU 5 (0800360531001200) .....	88
Abbildung 34: Sportanlage westlich der Avus (0700257371000100).....	88
Abbildung 35: Neue Wache (0101020291000000) .....	88

## 1 Ausgangslage

### 1.1 Hintergrund

Versiegelungsdaten werden bei der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (nachfolgend SenStadtUm) von verschiedenen Stellen regelmäßig genutzt. Die Nutzung und Verarbeitung in verschiedenen Modellen (Stadtklima, Wasserhaushalt) oder Bewertungsverfahren (Bodenschutz) ist ein Anwendungsschwerpunkt. Im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit kommt auch der Dokumentation des Zustandes und der Beeinträchtigung von Natur und Landschaft durch Versiegelung eine wichtige Bedeutung zu. Nicht zuletzt wird im politischen Raum nach zeitlich hoch aufgelösten Versiegelungsdaten verlangt, um im Rahmen eines Monitoring den Erfolg umweltpolitischer oder stadtplanerischer Strategien messen zu können.

Im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung wurde im Jahr 2005 von der TU Berlin, Institut für Landschafts- und Umweltplanung, und der HU Berlin, Geografisches Institut (Abteilung Geomatik), sowie umfangreicher Mitarbeit von Digitale Dienste Berlin, Büro für Angewandte Fernerkundung, eine Konzeptstudie zur Entwicklung eines hybriden Verfahrensansatzes zur Versiegelungskartierung in Berlin erstellt. Ein Ziel des Verfahrens war unter anderem die Entwicklung eines homogenen flächendeckenden Datenbestandes Versiegelung für die gesamte Stadtfläche Berlins. Satellitendaten und geeignete Fachinformationen sollten zur Ableitung genauer Aussagen zur Versiegelungssituation im neuen Verfahren sinnvoll miteinander kombiniert werden. Das Verfahren sollte gut auf andere Satellitenaufnahmen übertragbar sein, um mittelfristig ein Monitoring der Versiegelung zu unterstützen.

Aufgrund der vielversprechenden Ergebnisse der Konzeptstudie wurden im Jahr 2006 die Kooperationspartner mit der Umsetzung und Weiterentwicklung des Verfahrens beauftragt. Als Ergebnis resultierte ein neuer Datenbestand „Versiegelung“, der im Umweltatlas integriert wurde (Ausgabe 2007). In umfangreichen Analysen wurden detaillierte Aussagen zur Genauigkeit der Erfassung und zur Übertragbarkeit der Methoden abgeleitet.

Das Verfahren wurde umfassend dokumentiert im Abschlussbericht zur Hauptstudie „Entwicklung und Umsetzung eines hybriden Verfahrensansatzes zur Versiegelungskartierung in Berlin“ (Mai, 2007) und auf der Website des Umweltatlas Berlin veröffentlicht.

### 1.2 Zielstellung

Im Rahmen eines Werkvertrags mit Digitale Dienste Berlin wird die Versiegelungskartierung Berlin für das Jahr 2011 durchgeführt. Dabei wird die bestehende Methode angewendet und weiterentwickelt. Dabei werden die folgenden Arbeitsschritte ausgeführt:

- Anwendung des hybriden Kartierungsverfahrens auf eine aktuelle SPOT5-Szene (Jahr 2011) zur Ableitung eines Datenbestandes „Versiegelung 2011“ für das gesamte Land Berlin,
- Anpassung des Verfahrens insbesondere bezüglich der aktualisierten Flächentypen 2010,
- Aggregation der vorhandenen Ergebnisse der regelbasierten Klassifikation von 2005 auf aktuelle Blöcke der ISU5 2010,
- Verfahrensentwicklung zur automatisierten Erfassung von Veränderungen der Versiegelung in Berlin und Umsetzung am Beispiel der Versiegelungskartierungen von 2005 und 2011 (Zunahme, Abnahme des Versiegelungsgrads auf Blockebene),
- Aktualisierung und Integration in den Umweltatlas.

## 2 Auswahl und Aufbereitung von Fachplanungsdaten und Geo-Daten

Für die Aufbereitung und Auswertung der Satellitenbilddaten werden ausschließlich solche Fachinformationen bzw. Geo-Daten genutzt, welche der SenStadtUm landesweit und flächendeckend zur Verfügung stehen. Für einzelne Flächentypen werden die in der Hauptstudie aus Versiegelungsdaten der Berliner Wasserbetriebe abgeleiteten Korrekturfaktoren herangezogen (vgl. Hauptstudie Kap. 4.3.6).

### 2.1 Informationssystem Stadt und Umwelt - ISU

Die Struktur des „Regionalen Bezugssystems“ (RBS) des Amtes für Statistik Berlin-Brandenburg definiert statistische Blöcke und deren Codierung (Schlüssel). Sie wird im Digitalen Umweltatlas Berlin der SenStadtUm als Bezugsgröße eingesetzt. Der Umweltatlas basiert auf zwei Kartengrundlagen des Informationssystems Stadt und Umwelt (ISU):

- ISU 50

Die ISU 50 ist aufgrund ihres Abbildungsmaßstabes 1 : 50.000 generalisiert, nicht lage-treu und in Teilen verzerrt. Hierbei handelt es sich nicht um eine amtliche topographische Karte (TK), sondern um ein Instrument, mit dem statistische Daten digital abgebildet werden können. Die ISU 50 ist seit 1990 verfügbar.

- ISU 5

Die ISU 5 ist lagetreu. Sie wurde im Jahr 2000 aus der Digitalen Grundkarte 1 : 5.000 (DIGK 5) entwickelt. Die DIGK 5 ist eine Kartengrundlage, die die statistischen Einheiten Baublock, Verkehrszelle, Statistisches Gebiet, Mittelbereich und Bezirk darstellt. Sie wurde im stetigen Abgleich zur Blocknummernvergabe des Amtes für Statistik Berlin-Brandenburg fortgeführt und steht für ganz Berlin und die einzelnen Bezirke zur Verfügung. Diese statistischen Einheiten sind auch in der ISU 5 dargestellt. Der Baublock wird von der SenStadtUm zum Teil noch weiter in nutzungshomogene Teilblöcke untergliedert.

Flächenkulisse und Codierung von ISU 5 und ISU 50 ist weitgehend harmonisiert, sodass Sachdaten auf beiden Geometrien ausgeprägt werden können.

Für die Versiegelungskartierung wird die ISU 5 (nachfolgend ISU) mit dem Stand 31.12.2010 verwendet. Die Ergebnisse werden über die Schlüssel-ID auf die ISU 50 übertragen. Die ISU-Daten werden im Auswertungsprozess für Folgendes genutzt:

- Abgrenzung der Analysefläche:  
Die Geometriedaten dienen der Abgrenzung von Blockflächen und der Separierung von Gewässern (Kap. 4.2.1.3). Flächen außerhalb der statistischen Blöcke werden nicht analysiert.
- Bezugsfläche:  
Sie bilden die von der SenStadtUm gewünschte Auswertungsgröße. Auf der Ebene der Teil- und Blockflächen des ISU werden Versiegelungsgrade angegeben (Kap. 4.3).
- Sachdaten:  
Die Sachdaten des ISU dienen der Stratifizierung des Stadtgebietes und fließen in die regelbasierte Klassifizierung ein (Kap. 4.2.5).

Die in der Auswertung 2005 vorhandenen Aktualitätsdefizite bezüglich geometrischer Teilblockabgrenzungen, doppelter Schlüssel, fehlerhafte Abgrenzung aktueller Nutzungen sind in der ISU vom 31.12.2010 weitgehend behoben.

Im Zuge der Aktualisierung des ISU-Datenbestandes 2010 wurden neben der Fortschreibung der Blockgeometrien auch die Kategorien und Informationen zu Flächennutzung und Stadtstruktur überarbeitet. Dabei wurden Veränderungen in der Kartiermethodik, z. B. bei der De-



Definition von Flächentypen vorgenommen, die Auswirkungen auf die für den Datenbestand 2005 entwickelte Methode der Versiegelungskartierung haben. Für die Versiegelungserhebung 2011 mussten dadurch einige Verfahrensanpassungen vorgenommen werden (Kap. 4.2.1.3).

Für den weiteren Auswertungsprozess muss die Datenbank folgende relevante Informationen pro Blockfläche enthalten:

- Feld SCHLÜSSEL:  
Codierung der statistischen Blöcke des Digitalen Umweltatlas Berlin auf Basis der des Amtes für Statistik Berlin-Brandenburg, mit Zusatzinformation zum Bezirk (23 Bezirke).
- Feld FLALLE:  
Flächeninhalt.
- Feld TYP:  
Flächentyp.
- Feld GRZ:  
Grünnutzung.
- Feld KAT:  
Flächentyp-Kategorie, muss neu zugewiesen werden (Kap. 4.2.1.2).

Arbeitsschritte im YADE-GIS zur ISU-Datennutzung:

1. *Ausspielen der Blöcke und Teilblöcke der ISU 5-Geometrie aus dem YADE-GIS als shape-Datei,*
2. *Export der für das Testgebiet relevanten Informationen pro Blockfläche aus der Datenbank als dbf-Datei,*
3. *Aufbereitung der Datenbank, Auswahl der relevanten Größen, Neuzuweisung der Flächentyp-Kategorien.*

## 2.2 Automatisierte Liegenschaftskarte - ALK

In Berlin werden die grundstücksbezogenen Sach- und Geometriedaten des Liegenschaftskatasters als Automatisiertes Liegenschaftsbuch (ALB) und Automatisierte Liegenschaftskarte (ALK) in Datenbanken flächendeckend und stets aktuell gespeichert. Der Datenbestand der ALK-Berlin umfasst die gesamte Fläche des Landes Berlin und besteht aus ca. 1,5 Mio. Objekten. Davon sind ca. 550.000 Gebäude, die nach Haupt- und Nebengebäuden sowie nach ihrer Nutzung unterschieden werden. Die ALK beinhaltet in erster Linie Flurstücke und Gebäude, die solche im Rechtssinn des Baugesetzbuches sind. Erst in einem zweiten noch nicht abgeschlossenen Erfassungsschritt werden auch andere Gebäude nachgetragen. Die Erfassungsuntergrenze hängt nicht von der Flächengröße ab. Alle Flurstücke werden erfasst. Die Erfassungsvorlagen sind in der Regel die Amtlichen Kartenwerke im Maßstab 1 : 1.000 (SENSTADTUM 2005 a).

Die ALK liegt flächendeckend für Berlin in Form von Vektordaten vor. Verwendet wird die ALK mit dem Bearbeitungsstand vom 31.12.2010 für:

- flächenscharfe Erfassung der bebaut versiegelten Fläche:  
Gemäß der Vorgabe von der SenStadtUm werden mit der ALK Gebäude innerhalb der ISU-Blockfläche abgegrenzt. Die bebaut versiegelte Fläche wird somit hinreichend genau und schnell herausgearbeitet.
- Abgrenzung der Analysefläche:  
Zugleich trägt die Separierung der Gebäude zur Festlegung der unbebauten Blockfläche bei, die die Analysefläche der Satellitenbildauswertung darstellt (Kap. 4.2.1.3).

Im Hinblick auf die Einbindung der ALK-Daten in den Auswertungsprozess sind folgende bekannte Probleme zu beachten:

- **Aktualität:**  
An der ALK wird in den letzten Jahren verstärkt gearbeitet, das Ziel der ständigen Aktualität ist jedoch noch nicht erreicht (z. B. BND-Gebäude).
- **Fehlende Gebäude:**  
Vor allem Wohngebäude sind flächendeckend erfasst. Anlagen auf Bahngelände und S-Bahnhöfe, Gebäude auf Industrie- und Gewerbeflächen fehlen häufig. Mittelfristig ist jedoch davon auszugehen, dass diese nachgezogen werden und eine vollständigere Darstellung der Gebäude vorausgesetzt werden kann.  
Die in der Version von 2005 beinhalteten Gartenlauben in Kleingärten, sind in der ALK von 2010 nicht mehr vorhanden, da diese laut Definition nicht mehr zu den Gebäuden zählen.  
Um das Verhältnis von bebaut zu unbebaut versiegelter Fläche zu berechnen werden einerseits die Gebäudeabgrenzungen von 2005 übernommen und andererseits werden weiterhin die durchschnittlichen Angaben pro Bezirk genutzt.

Arbeitsschritte im YADE-GIS zur ALK-Nutzung:

1. *Ausspielen der ALK-Gebäude ohne Tiefgaragen (Objektschlüssel 0112363) als shape-Datei*

### 2.3 Karte von Berlin 1 : 5.000 - K5

Die Karte von Berlin 1 : 5.000 (K5) ist ein Landeskartenwerk im Maßstab 1 : 5.000, das von den Berliner Bezirken auf der Grundlage der ALK-Berlin erstellt und im Rasterformat vertrieben wird. Auszüge werden der SenStadtUm auch im Vektorformat bereitgestellt.

Für die Versiegelungskartierung werden die oberirdischen Bahnlinien mit dem Bearbeitungsstand von Januar 2006 genutzt. Diese Linien werden im ArcGIS mit 2,5 m gebuffert, wodurch der angenommene Durchmesser eines Gleiskörpers 5 m beträgt.

Die Nutzung der K5-Daten birgt folgenden Vorteil:

- **flächenscharfe Erfassung der Gleiskörper:**  
Die flächenscharfe Erfassung der Gleiskörper nützt vor allem der Kartierung der beschatteten Waldstrecken, wie z.B. nördlich des Müggelsees.

Im Hinblick auf die Einbindung der K5-Daten in den Auswertungsprozess sind jedoch folgende Probleme zu beachten:

- **Datenweitergabe durch die Bezirke:**  
Die Weitergabe der Daten durch die Bezirke ist unvollständig, so fehlen die Bahnlinien in Pankow bis auf den S-Bahn-Ring komplett.
- **Datenerhebung durch die Bezirke:**  
Die Datenerhebung ist sehr heterogen. Manche Bezirke stellen zweigleisige Strecken mit zwei Linien dar, andere nur mit einer. Teilstrecken mit dieser fehlerhaften Darstellung treten in Reinickendorf, Spandau, im Norden von Marzahn sowie im Süden von Tempelhof auf und wurden für die Versiegelungskartierung gelöscht.
- **Blattschnittkanten / Bezirksgrenzen:**  
Die angestrebte Übereinstimmung der Linien an den Blattschnittkanten sowie an den Bezirksgrenzen ist noch nicht vollständig durchgesetzt, wodurch es zu Überschneidungen bzw. Lücken in der Darstellung der Gleiskörper kommt.

Trotz der genannten Probleme werden die Gleiskörper aus der K 5 weiterhin in die regelba-

sierte Klassifikation eingebunden. Dadurch erfolgt eine schärfere Abgrenzung der Gleiskörper in den Gebieten, wo die K 5-Daten vorliegen. Für die Versiegelungskartierung 2011 wurden die bereits nachbearbeiteten Gleiskörper der Hauptstudie mit dem Stand 2006 am Bildschirm auf ihre Aktualität überprüft und verwendet.

Arbeitsschritte für die Nutzung der Bahnlinien der K5 im Auswertungsprozess:

1. *Ausspielen der Bahnlinien aus dem YADE-GIS als shape-Datei,*
2. *Import in ArcGIS,*
3. *Extraktion der relevanten Bahnlinien durch Sichtung im ArcGIS,*
4. *Bufferung der Linien (2,5 m) zu Gleiskörpern im ArcGIS,*
5. *Rasterung der Gleiskörper (feature-to-raster: Pixelgröße: 2,5 m, TIFF-Format),*
6. *Import in ERDAS IMAGINE (img-Format).*

### 2.4 Orthophotos

Die SenStadtUm verfügt über digitale Orthophotos welche die gesamte Landesfläche abbilden. Die Aufnahmen mit Echtfarb-Luftbildmaterial erfolgten im Juli und August 2010. Als geodätisches Bezugssystem für die Orthorektifizierung der digitalisierten Daten dient das Koordinatensystem Soldner (neu). Die digitalen Orthophotos liegen im Blattschnitt der K5 mit einer Auflösung von 0,25 m vor. Im YADE-GIS sind die Daten im ECW-Format eingebunden.

Im Rahmen der Satellitenbilddatenauswertung werden Orthophotos für folgende Arbeitsschritte verwendet:

- Geokodierung von Satellitenaufnahmen (Passpunktbestimmung),
- Ermittlung und Abgrenzung von Referenzflächen (NDVI-Kategorisierung, Klassifizierung, Kap. 4.2.3),
- Ermittlung und Abgrenzung von Korrekturflächen (nicht erfasste Gewässer, bekannte Problemflächen: u. a. Kohlehalden, Beton-Parkplätze).

Arbeitsschritte für die Nutzung der Luftbilder im Auswertungsprozess:

1. *Ausspielung der Orthophotos (ECW-Format, Geo-Tiff-Daten mit TFW-Dateien),*
2. *Import in ERDAS IMAGINE (reduzierte Auflösung: 1,0 m),*
3. *Import in ArcGIS (ECW),*
4. *Option: Mosaikking der Einzelbilder zu einen Gesamtbild (ERDAS IMAGINE).*

### 2.5 Versiegelungsdaten der Berliner Wasserbetriebe

Im Hinblick auf eine Optimierung des Auswertungsverfahrens wird die Methodik der Hauptstudie übernommen, für besonders problematische Flächentypen bzw. Flächentyp-Kategorien (TYP 21 bis 25), Korrekturfaktoren anzuwenden.

Die statistisch abgeleiteten Korrekturfaktoren der Hauptstudie, die aus damals vergleichbar aktuellen Versiegelungsinformationen der Berliner Wasserbetriebe (BWB) berechnet wurden, haben auch in dieser Versiegelungskartierung ihre Gültigkeit.

Die blockweise Überschätzung der unbebauten Versiegelung in den oben genannten Flächentypen wird mittels der Korrekturfaktoren entgegengewirkt (vgl. Tabelle 1).

*Tabelle 1: Korrekturfaktor pro Flächentyp*

	<b>Flächentyp (TYP)</b>	<b>Korrektur- faktor</b>
21	Dörfliche Mischbebauung	0,75
22	Reihen- und Doppelhäuser mit Garten	0,63
23	Freistehende Einfamilienhäuser mit Garten	0,65
24	Villen und Stadtvillen mit parkartigem Garten	0,96
25	Verdichtung in Einzelhausgebieten, Mischbebauung mit Gärten und halbprivate Umgrünung	0,83

Für die oben genannten Flächentypen wird eine Verbesserung erreicht. Eine Über- oder Unterschätzung ist nicht eindeutig in eine Richtung zu erkennen. Der jeweilige Korrekturfaktor kann daher in Einzelfällen die Versiegelungswerte auch verschlechtern.

Je näher der Korrekturfaktor bei 1 liegt, desto weniger stark werden die originalen Versiegelungswerte modifiziert.

Die Versiegelungsdaten der Berliner Wasserbetriebe, im Folgenden kurz BWB-Daten, werden nicht aktualisiert bzw. standen der SenStadtUm einmalig zur Verfügung. Die daraus einmalig abgeleiteten Korrekturfaktoren für einzelne Flächentypen werden auch in dieser Versiegelungskartierung verwendet. Die originalen BWB-Daten werden nicht weiter bearbeitet.

### **3 Auswahl und Aufbereitung der Satellitenbilddaten**

Das Auswertungskonzept sieht die Verwendung von hoch aufgelösten spektralen Satellitenbilddaten vor. Aufnahmesysteme wie beispielsweise SPOT5, RapidEye oder ALOS sind mit einer räumlichen Auflösung von 4 m bis 10 m prinzipiell nutzbar.

#### **3.1 Verwendete Satellitenbildszene**

Auf Grundlage der Auswahlkriterien der Hauptstudie wird auch für die Versiegelungskartierung 2011 eine multispektrale SPOT5-Szene gewählt. Nach dem vergeblichen Warten auf eine kostengünstigere Archivszene im Jahr 2010, wurde im Jahr 2011 von SenStadtUm die Aufnahme einer Szene von Berlin in Auftrag gegeben.

Am 8. Mai 2011 wurde eine multispektrale SPOT5-Szene aufgenommen und als systemkorrigierter Datensatz bezogen. Der Schwenkwinkel beträgt ca. 11 Grad.

Es handelt sich um eine wolkenfreie Szene. Die Belaubung ist weitgehend abgeschlossen. Im Unterschied zur 2005er Szene ist die Wiesen- und Parkvegetation überwiegend sehr vital. Vereinzelt sind in stadtrandnahen Wiesenbereichen Vernässungen erkennbar.

Im Vergleich zur 2005er Szene aus dem Monat September ist der Schattenanteil in der aktuellen Mai-Aufnahme aufgrund des höheren Sonnenstands zum Aufnahmezeitpunkt deutlich geringer.

Die Überprüfung der Datenqualität lässt keine auffälligen Bildfehler erkennen. Lediglich die radiometrische Qualität von Kanal 2 (Rot-Kanal) ist geringfügig eingeschränkt. Nach Angaben von Spotimage liegt der Anteil von Pixeln im Sättigungsbereich bei 0,4 % (Grauwert = 255). Im Regelfall liegt dieser bei 0 %. Dies ist auf den Aufnahme- bzw. Prozessie-

rungsprozess zurückzuführen. Da einige Spitzenreflexionen quasi gekappt sind, ist die radiometrische Korrektur des Kanals für sehr hohe Grauwerte eingeschränkt. Sättigungspixel konzentrieren sich insbesondere auf sehr stark reflektierende Betonflächen.

Tabelle 2: Eigenschaften der verwendeten SPOT5-Szenen

System	Aufnahme	Kanäle / Modus, räumliche Auflösung [m]					Schwenkwinkel [°]	Fläche [km <sup>2</sup> ]	
		B	G	R	NIR	MIR			
SPOT5 HRG	06.09.2005	5 / 2.5	-	10	10	10	20	+ 1.9	3600
SPOT5 HRG	08.05.2011	5 / 2.5	-	10	10	10	20	+ 11.0	3600

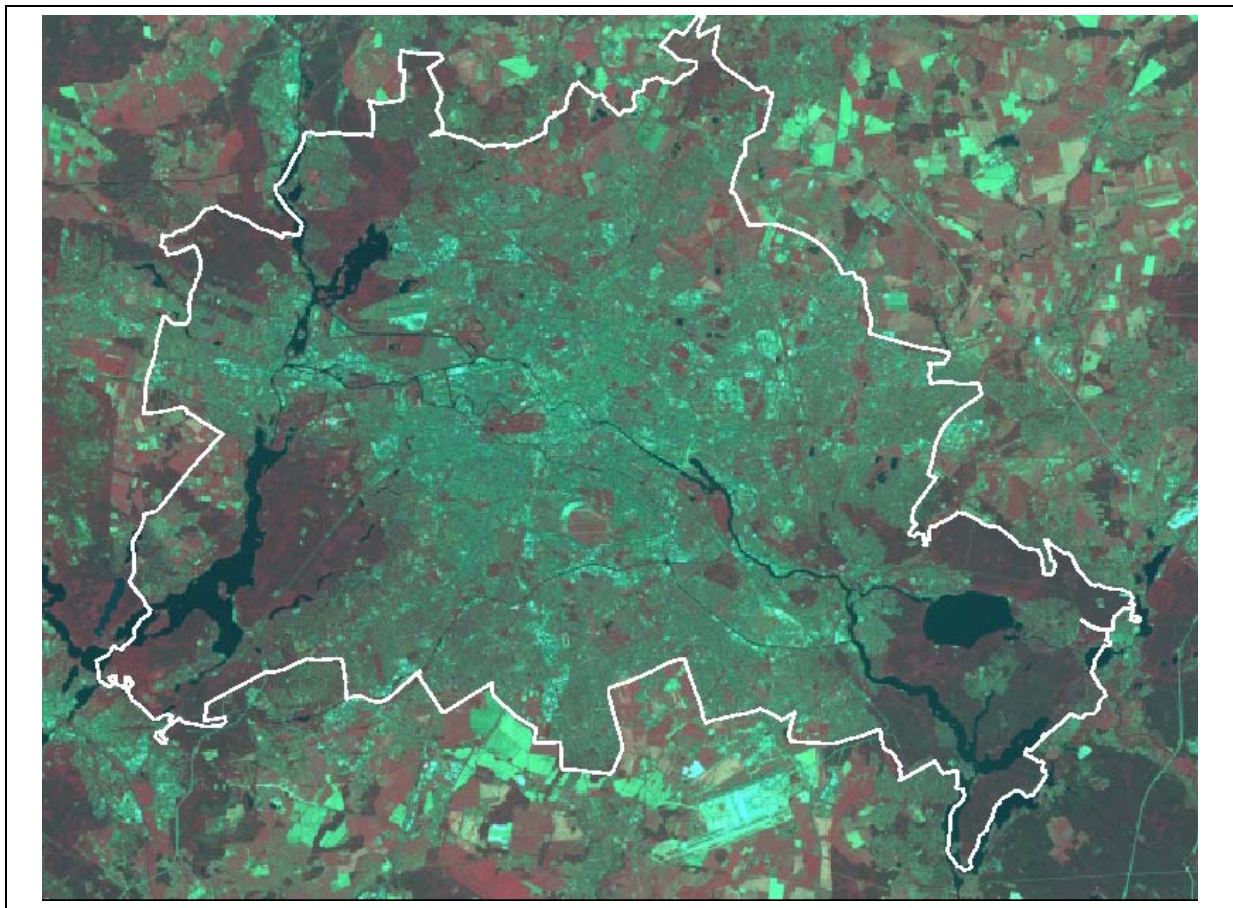


Abbildung 1: Verwendete multispektrale SPOT5-Szene

geometrisch korrigierte SPOT5-Szene vom 08.05.2011 (RGB = 3,2,1)

### 3.2 Datenvorverarbeitung

In der Hauptstudie wurde eine SPOT5-Szene vom 6. 9. 2005 ausgewählt. Die Aufnahme wurde geometrisch und radiometrisch hochgenau korrigiert. Diese sollte als sogenannte „Master“-Szene für Folgekartierungen dienen. Dies bedeutet, dass im Rahmen der vorliegenden Kartierung die neue auszuwertende 2011er Satellitenbilddaufnahme, als sogenannte „Slave“-Szene, auf die vorhandene Referenz-Szene sowohl geometrisch als auch radiomet-

risch angepasst wird, um eine möglichst gute Vergleichbarkeit der jeweiligen Kartierungsergebnisse zu erreichen.

Die absolute Korrektur der 2005er Szene wurde im Abschlussbericht der Hauptstudie ausführlich beschrieben.

### 3.2.1 Geometrische Korrektur

Für die geometrische Korrektur der 2011er Aufnahme dient die Master-Szene von 2005 als kartographische Referenz, da diese bereits im amtlichen Soldner-Koordinatensystem vorliegt.

Die Entzerrung der Satellitenbilddaten erfolgte mit dem in ERDAS IMAGINE implementierten Verfahren „Progressive Transform“. Für die Transformation der Ausgangsdaten in das kartographische Bezugssystem wurden Sensor- und Szenenparameter berücksichtigt (u. a. Schwenkwinkel des Sensors), die aus den Meta-Daten der Szene entnommen wurden. Zusätzlich wurden Passpunkte bzw. Bildpunkte in der 2005er Master-Szene bestimmt.

Die Nutzung der Master-Szene erlaubte eine sehr zuverlässige und schnelle Ermittlung von geeigneten Objekten bzw. Bildpunkten, die in beiden Bilddatensätzen identifizierbar waren (Bild-auf-Bild-Entzerrung). Die Orthofotos aus dem Jahr 2010 wurden hinzugezogen, um die Verlässlichkeit von vorselektierten Punkten visuell am Bildschirm zu prüfen. Auf die optionale Einbindung eines digitalen Geländemodells konnte aufgrund der überwiegend sehr geringen Geländeunterschiede in Berlin verzichtet werden.

Für die Transformation der Ausgangsdaten in die neue Szenengeometrie wurde das Resampling-Verfahren „Nearest Neighbour“ (NN) gewählt. Dies gewährleistete im Unterschied zu anderen Verfahren, dass die Grauwerte des Ausgangsbildes beibehalten werden konnten und keine „neuen“ interpolierten Werte im geokodierten Datensatz erzeugt wurden. Insbesondere bei Klassifizierungen von Satellitenbilddaten, in denen bereits geringfügige spektrale Reflexionsunterschiede bedeutsam sein können, bildet die Verwendung von NN eine Grundvoraussetzung für hochgenaue Kartierungen.

Für die Entzerrung der 2011er Aufnahme konnte eine mittlere Lagegenauigkeit von ca. 0,34 Pixel (RMS) bzw. 3,4 m erzielt werden. Unabhängige Messungen von abgebildeten Objekten in Luftbildern sowie Überlagerungen mit den ALK-Daten bestätigten die gute Lagegenauigkeit der geokodierten Daten.

Um die methodisch bedingten Treppen-Effekte des NN-Ansatzes im Ausgabebild zu minimieren, wurde die Pixelgröße auf 5 m x 5 m festgelegt.

Arbeitsschritte in ERDAS IMAGINE:

→DataPrep →ImageGeometricCorrection

### 3.2.2 Radiometrische Korrektur

Die radiometrische Korrektur der 2005er Master-Szene wurde mit dem an der Universität Trier entwickelten Programm AtcPro 3.2 durchgeführt (HILL 2003). Als Referenzspektren wurden geländespektroskopische Messungen für Beton, Asphalt, Wiese, Wasser, Kunstrasen herangezogen. Eine ausführliche Beschreibung ist dem Abschlussbericht der Hauptstudie zu entnehmen.

In der vorliegenden Untersuchung erfolgte eine relative Angleichung der 2011er Aufnahme auf die Master-Szene. Unter Hinzunahme von aktuellen Orthofotos wurden insgesamt 31 unveränderte Oberflächen als Referenzflächen in beiden Satellitenbildern ermittelt und mit

Polygonen markiert (Wasser, Asphalt, Beton, Kunstrasen). Für diese Flächen wurden die Grauwerteverteilungen statistisch analysiert. Mittels Regressionsanalyse wurden für jeden Spektralkanal entsprechende Kalibrierungsparameter abgeleitet. Diese wurden für die kanalweise Neuberechnung der Grauwerte verwendet. Das beste Ergebnis konnte mit einer polynominalen Ausgleichsfunktion 2. Grades erzielt werden (s. Abbildung 2)

Für die Neuberechnung der radiometrisch korrigierten Kanäle wurde ein SML-Modell erstellt (s. Anhang).

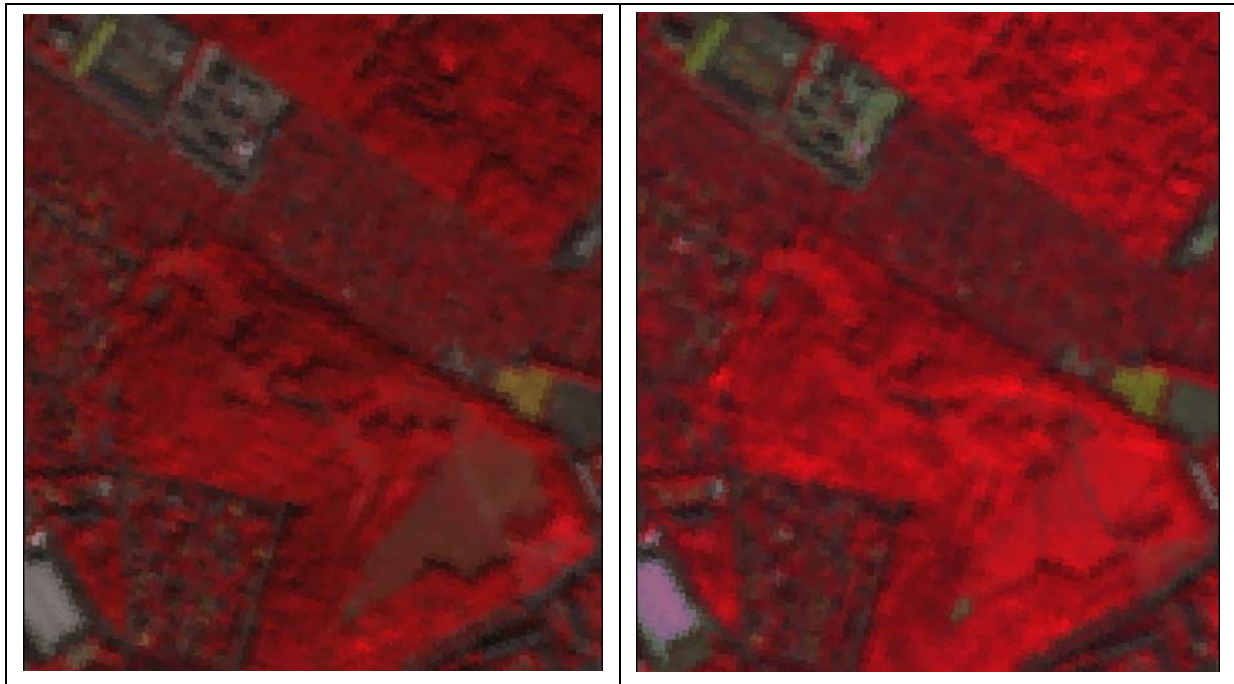


Abbildung 2: Radiometrisch korrigierte SPOT5-Daten von 2005 und 2011 - Ausschnitt

Links: SPOT5-Daten von 2005 („Master“-Szene)  
Rechts: SPOT5-Daten von 2011 („Slave“-Szene)

### 3.3 Ableitung von Zusatzkanälen

Wie auch schon in der Hauptstudie werden in für die Versiegelungskartierung 2011 neben den originalen Spektralkanälen weitere Zusatzkanäle, auch synthetische Kanäle genannt, generiert und in den Klassifizierungsprozess eingebunden. In Zusatzkanälen werden Informationen aus den Spektralkanälen gezielt miteinander kombiniert mit dem Ziel, spezielle Merkmale oder Objekte bzw. Oberflächenbedeckungsarten zu betonen. Die neuen Kanäle dienen vielfach der vereinfachten selektiven Kartierung mittels Schwellenwertverfahren oder unterstützen eine verbesserte Differenzierungen von Merkmalen, wie dies bei Vegetationsindizes der Fall ist. Für die Versiegelungskartierung werden drei neue Kanäle verwendet, die im Abschlussbericht der Hauptstudie (vgl. dort Kap. 3.4) näher erläutert werden:

- „Sand-Index“ (Abgrenzung von Sand und offenem vegetationsfreiem Boden),
- „Asche-Index“ (Separierung von Asche / Tenne / Tartan),
- Vegetationsindex NDVI (Kartierung des Vegetationsgrads).

Die Berechnungen werden ausschließlich mit radiometrisch korrigierten SPOT-Daten vorgenommen. Dies gewährleistet eine gute Vergleichbarkeit von Auswertungsergebnissen im Rahmen eines Monitoring bzw. eine zuverlässige Verfahrensübertragung auf andere Szenen.

#### 4 Anwendung und Anpassung des hybriden Verfahrens zur Versiegelungskartierung in Berlin

In der Hauptstudie zur Versiegelungskartierung Berlin wurde ein operationelles kostengünstiges Auswertungskonzept angestrebt, das einen hohen Automatisierungsgrad aufweist und Transparenz innerhalb der gesamten Prozessierungskette gewährleistet als Voraussetzung für die Wiederholbarkeit und Übertragbarkeit der Versiegelungskartierung. Ein wesentliches Kriterium ist dabei die effiziente Nutzung von vorhandenen Fachinformationen bzw. Geo-Daten und deren Verknüpfung mit den Satellitenbilddaten im gesamten Auswertungsprozess.

Das Verfahren gliedert sich in drei Auswertungsstufen (vgl. Abbildung 3):

- Kartierung der bebaut versiegelten Fläche (Kap. 4.1),
- Kartierung der unbebaut versiegelten Fläche (Kap. 4.2),
- Ableitung des Versiegelungsgrads (Kap. 4.3).

Die Versiegelungskartierung konzentriert sich auf die Flächen der statistischen Blöcke von Berlin. Das übrige Stadtgebiet (u. a. Verkehrswege, Gewässer) bleibt somit unberücksichtigt.

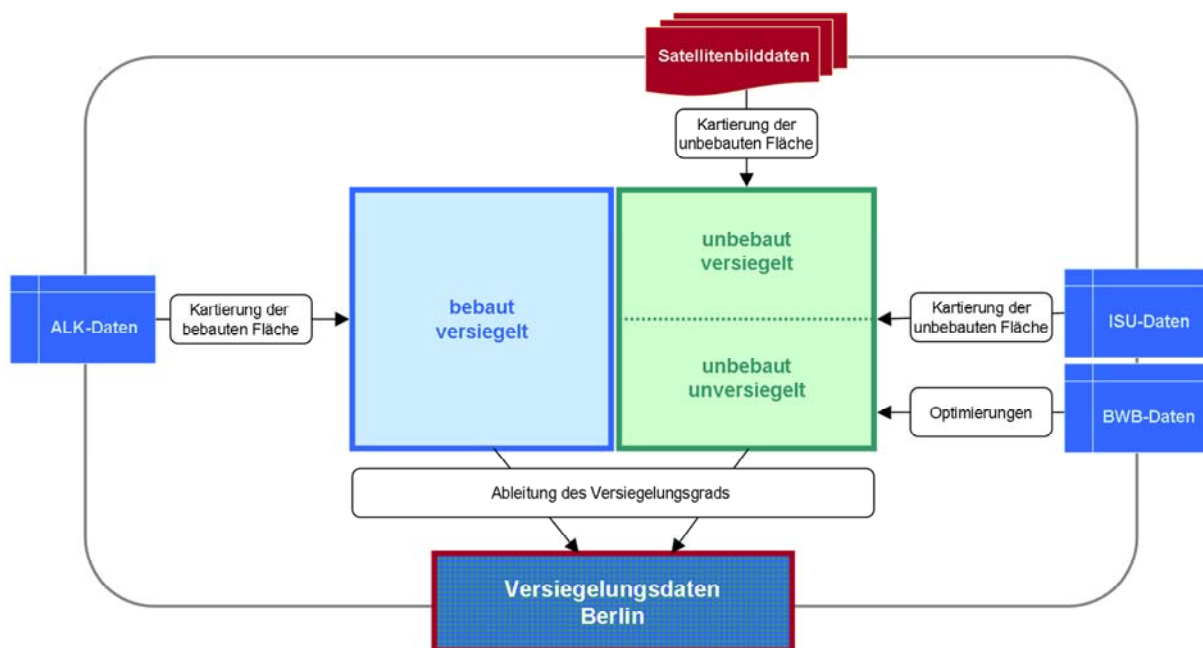


Abbildung 3: Schema des hybriden Verfahrens

Nachfolgend werden die einzelnen Verfahrensschritte der Versiegelungskartierung und die v. a. im Zuge der aktualisierten Flächentypen der ISU 5 notwendigen Anpassungen beschrieben. Die Verfahrensauswertungsstufen werden dabei nicht verändert und in der entsprechenden Reihenfolge durchgeführt.

##### 4.1 Kartierung der bebaut versiegelten Fläche

Die gute Verfügbarkeit von Geodaten in Berlin eröffnet die Möglichkeit, hoch aufgelöste Daten in den Auswertungsprozess zu integrieren. Insbesondere der Entwicklung der ALK ist in



diesem Zusammenhang hervorzuheben.

So erfolgt die Abgrenzung der bebaut versiegelten Flächen ausschließlich auf der Basis von ALK-Daten. Deren Einbindung in den Kartierungsprozess bildet den ersten Baustein des hybriden Verfahrensansatzes. Für diese Flächen erfolgt somit keine unmittelbare Auswertung mit Satellitenbilddaten.

Im Hinblick auf die Kartierungsgenauigkeit der bebaut versiegelten Flächen müssen die bekannten Probleme hinsichtlich der Aktualität von ALK-Daten beachtet werden. Insbesondere Gebäude auf Industrie- und Gewerbeflächen fehlen häufig bzw. sind nicht vollständig erfasst (vgl. Kap. 2.2). Gartenhäuser in Kleingartengebieten fehlen komplett, da sie nach der aktuellen Definition nicht als Gebäude zählen.

Für die Versiegelungskartierung von Gesamtberlin wird die ALK mit dem Bearbeitungsstand von Dezember 2010 genutzt.

Für die flächenscharfe Abgrenzung der bebaut versiegelten Flächen innerhalb der Blockflächen erfolgt die

- Ausspielung der ALK-Gebäude ohne Tiefgaragen als shape-Datei (Objektschlüssel 0112363) sowie deren
- Verschneidung mit den ISU 5 Blöcken.

Für die weiteren Verknüpfungen mit den Satellitenbilddaten werden zusätzlich Rasterdaten generiert (ArcGIS: feature-to-raster, Rastergröße: 2,5 m), in denen Gebäude, Nicht-Blockflächen sowie unbebaute Blockflächen differenziert werden.

#### **4.2 Kartierung der unbebaut versiegelten Fläche**

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

- Kartierung der gesamten Stadtfläche (Voraussetzung: einheitliche Geo-Daten- bzw. Fachplanungsdatenbasis, Eignung der Auswertungs-Software),
- 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 umfasst folgende Auswertungsschwerpunkte. Da im Zuge der Fortschreibung der ISU-Blockgeometrien auch die Kategorien und Informationen zu Flächennutzung und Stadtstruktur verändert wurden müssen die Schwerpunkte 1 und 5 angepasst werden. Hinzu kommt der zusätzliche Auswertungspunkt 6:

##### *1. Fernerkundungsrelevante Kategorisierung der Flächentypen (Kap. 4.2.1):*

Die Auswertung der Satellitenbilddaten sieht die Integration von ISU-Daten vor. Die Flächentypen erweisen sich als besonders hilfreich zur Verbesserung der Kartierungsergebnisse. Für die Einbindung in den Klassifizierungsprozess wird zunächst

deren fernerkundungsbezogene Kategorisierung voran gestellt. Für die Versiegelungskartierung 2011 mussten die aktualisierten Flächentypen neu bzw. angepasst zugeordnet sowie die Grünnutzung (GRZ) mit einbezogen werden.

2. *Festlegung der Analysefläche (Kap. 4.2.1.3):*  
Die Auswertung beschränkt sich auf die unbebauten Flächenanteile der Blöcke. ISU-Daten sowie ALK-Daten werden für Abgrenzungen hinzugezogen.
3. *Ermittlung von Referenzflächen (Kap. 4.2.3):*  
Der Auswertungsprozess erfordert Referenzflächen für automatisierte Kartierungen und Vergleichszwecke. Es werden die Referenzflächennetze für spezielle Oberflächenbedeckungsarten aus der Hauptstudie genutzt. Diese müssen zunächst am Bildschirm überprüft werden.
4. *Spektrale Klassifizierung (Kap. 4.2.4):*  
Ziel der spektralen Klassifizierung der SPOT5-Daten ist zum einen die Unterscheidung von Vegetationsgraden. Zum anderen werden solche Oberflächenmaterialien separiert, die bekanntermaßen zu Fehlkartierungen führen können und daher im Auswertungsprozess speziell untersucht werden. Es resultieren Aussagen auf Pixelbasis.
5. *Regelbasierte Klassifizierung - Vorkartierung (Kap. 4.2.5):*  
Anhand der Ergebnisse der spektralen Klassifizierung werden Versiegelungsgrade abgeleitet. Hierzu wird ein einfaches Regelwerk aufgestellt, mit dem Vegetationsgrade und Materialien-Klassen kontextbezogen unterschiedlichen Versiegelungskategorien zugeordnet werden. Die Charakteristika der unterschiedlichen Flächentyp-Kategorien bzw. Flächentypen erfahren dabei eine besondere Beachtung (Anpassung für 2010 erforderlich). Es resultieren auch hier Aussagen auf Pixelbasis.
6. *Modifizierung der regelbasierten Klassifizierung (Kap. 4.2.6)*  
Es erfolgt ein multitemporaler Vergleich der Satellitenbilder von 2005 und 2011 zur Lokalisierung von so genannten Verdachtsflächen „Veränderung des Versiegelungsgrades“ und zur Separierung von Flächen mit Pseudo-Veränderungen. In einem Regelwerk werden für unveränderte Blöcke Versiegelungsgrade übernommen bzw. für veränderte Blöcke neue Versiegelungsgrade berechnet. Es bestehen weiterhin Aussagen auf Pixelbasis.
7. *Berechnung des Versiegelungsgrads (Kap. 4.3):*  
Die Versiegelungswerte der regelbasierten Klassifizierung werden auf Blockebene aggregiert. Zur Verbesserung der Klassifizierungsergebnisse werden für einzelne Flächentypen die festgelegten Korrekturfaktoren genutzt.  
Das Ergebnis der Versiegelungskartierung liegt damit vor und kann kartographisch dargestellt werden (YADE-GIS).

Da im Auswertungsprozess ein hoher Automatisierungsgrad angestrebt wird, werden die Möglichkeiten von ERDAS IMAGINE zum Erstellen, Aufzeichnen und Verketteten sowie zum Dokumentieren von Prozessierungsschritten genutzt und dokumentiert (Spatial Modeler Language - SML, s. Anhang 9.2).

#### **4.2.1 Fernerkundungsrelevante Kategorisierung der Flächentypen (ISU)**

Satellitenbildgestützte Versiegelungskartierungen im städtischen Raum erfordern eine auf unterschiedliche Oberflächenbedeckungsarten angepasste Vorgehensweise. Ziel ist es daher, im gesamten Klassifizierungsprozess zusätzliche Geo-Daten bzw. flächenbezogene Informationen aus dem ISU zu integrieren.

Hierzu erfolgt eine Kategorisierung der ISU-Flächentypen nach fernerkundungsrelevanten Kriterien. Ermöglicht wird damit unter anderem eine entsprechende Stratifizierung der Stadtfläche. Dies gewährleistet räumlich getrennte Teilklassifizierungen und eine optimierte Methodenauswahl.

#### 4.2.1.1 Die Grundidee

Eine wesentliche Voraussetzung für das Erreichen einer möglichst hohen Kartierungsgenauigkeit des Versiegelungsgrades im Satellitenbild ist die Kenntnis über wesentliche Einflussgrößen und deren räumliche Verteilungen, die das Ergebnis modifizieren können. Hierzu zählen insbesondere die aus vergleichbaren Untersuchungen bekannten Probleme.

Die in der Hauptstudie ausgewählten Einflussfaktoren werden auch in dieser Versiegelungskartierung verwendet (Tabelle 3). Für eine genaue Beschreibung siehe Hauptstudie Kap. 4.2.1.

*Tabelle 3: Einflussfaktoren auf die Kartierungsgenauigkeit der Bodenversiegelung mit Hilfe von Satellitenbilddaten*

<b>Einflussgröße</b>	<b>Einfluss auf</b>	<b>Einschränkung der Kartierungsgenauigkeit</b>	<b>Flächentypen (Auswahl)</b>
Bebauungshöhe	... Bodensicht (Schattenwurf, Gebäudeverkippung)	- Gebäudehöhen > 4 Geschosse	Großsiedlung und Punkthochhäuser, Hinterhof, Blockrandbebauung mit Großhöfen
Vegetationshöhe	... Bodensicht (Verdeckung durch Baumkronen, Belaubung)	- unbebaut versiegelte Oberflächen mit (dichtem) Baumbestand, - niedrige Bebauung mit (älterem) Baumbestand	Verkehrsfläche, Kleingärten, Reihen- und Doppelhäuser mit Garten)
Reflexionseigenschaften	... Unterscheidung von Oberflächenbedeckungsarten	- unversiegelte vegetationsarme / -lose Oberflächen, - Belagsarten „Pflaster“, „Verbunddecken“	Gleiskörper, Brachfläche, Landwirtschaft (Acker), Sportanlagen
Heterogenität	... Mischpixel-Anteil	- kleinräumiger Wechsel von versiegelten und unversiegelten Flächen  - geringe Flächengröße	Hinterhof, Kerngebiet, Kleingärten, Gemeinbedarf/Sondernutzung Sportanlagen  (gilt für alle Flächentypen)

#### 4.2.1.2 Kategorienbildung

Unter Berücksichtigung der genannten Einflussgrößen auf die Versiegelungskartierung wird eine fernerkundungsrelevante Gruppierung der ISU-Flächentypen vorgenommen. Für die Bewertungen und Kategorisierungen der Flächentypen dienen die Kriterien:

- mittlerer Versiegelungsgrad des Flächentyps nach ISU (gesamt, bebaut, unbebaut),
- Bebauungshöhe,
- Vegetationshöhe,
- spektrale Reflexion und
- Heterogenität.

In einer ersten Stufe werden 18 Kategorien ausgewiesen (Tabelle 4).

Die jeweiligen Kategorien unterscheiden sich hinsichtlich ihrer für die Satellitenbilddauswertung relevanten Eigenschaften, die die Genauigkeit der Klassifizierung bekanntermaßen beeinflussen. Von Interesse ist daher auch der Vergleich mit Ergebnissen aus älteren Satellitenbilddauswertungen für Berlin, insbesondere die Überschätzung oder Unterschätzung der Versiegelungsgrade.

Zusammenfassend eröffnet die Einführung von Flächentyp-Kategorien für den nachfolgen-

den Klassifizierungsprozess folgende Möglichkeiten:

- Stratifizierung des Stadtgebiets,
- Kombination von Auswertungsverfahren,
- Variable Verknüpfung mit Geo-Daten,
- flexible Verfahrensoptimierung.

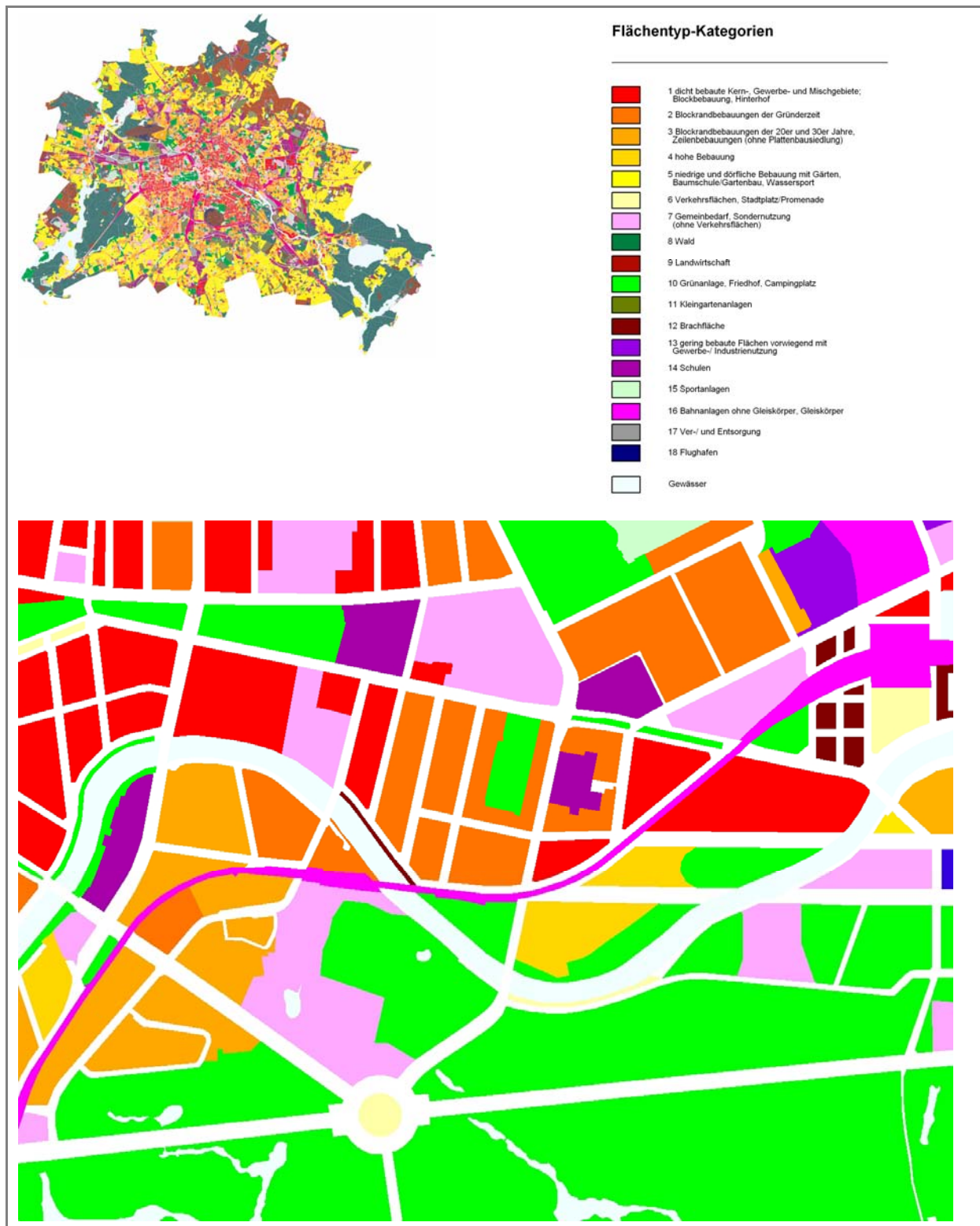


Abbildung 4: Ausprägung der Flächentyp-Kategorien

Ausschnitt

# Anwendung und Anpassung des hybriden Verfahrens zur Versiegelungskartierung in Berlin

Tabelle 4: Fernerkundungsrelevante Flächentyp-Kategorien

Flächentyp-Kategorien (KAT)		mittlerer VG [%] <sup>1)</sup>			Einflussfaktoren			
		gesamt	bebaut	unbebaut	Bebauungshöhe	Vegetationshöhe	spektrale Reflexion	Heterogenität
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	○	○○	●	○

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

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

#### **4.2.1.3 Veränderte Zuordnung von Flächentypen in Flächentyp-Kategorien in der Versiegelungskartierung 2011**

Die Zuordnung der Flächentypen in fernerkundungsspezifische Flächentyp-Kategorien erfolgt wie oben beschrieben. Dadurch, dass im Zuge der Aktualisierung des ISU 2010 neben einigen Blockgeometrien die Flächennutzung und Stadtstruktur überarbeitet wurden (SENSTADTUM 2010), müssen bei der Zuordnung zu Flächentyp-Kategorien einige Änderungen erfolgen.

Die Flächentypen, bei denen Änderungen vorgenommen werden sind in Tabelle 5 fett markiert. Hauptsächlich wurden Flächentypen von 2005 aufgelöst und deren Blöcke mit anderen Flächentypen beschrieben. Meist ändert sich die Zuordnung zu Flächentyp-Kategorien dadurch nicht. Z. B. wird der Flächentyp „Behutsame Sanierung (5)“ in der ISU von 2010 dem Flächentyp „Hinterhof (2)“ zugeordnet. Beide Flächentypen gehören der Flächentyp-Kategorie 1 an. Im Auswertungsverfahren der Versiegelung ändert sich durch diese Flächen-typänderung also nichts.

Anders verhält es sich mit den folgenden Flächentypen. Hier müssen z. T. Verfahrensanpassungen vorgenommen werden:

- Wassersport (ehemals TYP 15, Kategorie 5)  
2010 in „Sportanlage, ungedeckt (16)“.  
neue Flächentyp-Kategorie 15.
- Siedlung (Reihen-, Einzel-, Doppelhäuser) der 90er Jahre aufgelockert, < 4 Geschosse (ehemals TYP 74, Kategorie 5)  
2010 aufgeteilt auf „Reihengarten (22)“, „Garten (23)“, „Parkartiger Garten (24)“ und „Siedlung der 90er Jahre kompakt, >= 4 Geschosse (73)“.  
neue Flächentyp-Kategorien 4, 5.
- Post (ehemals TYP 42, Kategorie 7)  
2010 aufgeteilt auf „Gewerbegebiet mit geringer Bebauung (30)“ und „Gewerbegebiet mit dichter Bebauung (31)“.  
Diese Einteilung verbessert die Zuordnung zu Flächentyp-Kategorien, da die Unterscheidung nach geringer und dichter Bebauung auch für die Versiegelungsauswertung von Bedeutung ist. Diese Unterscheidung war 2005 noch nicht möglich. Der Flächentyp „Post“ beinhaltete beides.  
neue Flächentyp-Kategorien 1, 13.
- Seniorenheim (ehemals TYP 50, Kategorie 7)  
Aufteilung der ehemals 16 Blockflächen auf Flächentypen der Wohnnutzungen, Flächentypen 9, 11, 30, 32, 47, 60, 73.  
neue Flächentyp-Kategorien 4, 3, 7, 13, 17.
- Sportanlage (ehemals TYP 28, Kategorie 15)  
2010 unterteilt in „Sportanlage, ungedeckt (16)“ und „Sportanlage, gedeckt (17)“.  
neue Flächentyp-Kategorie 15.
- Baustelle (TYP 98, Kategorie 99)  
2010 wurde dieser Flächentyp nicht vergeben.  
Die Flächentyp-Kategorie 99 entfällt.

Abbildung 5 zeigt einerseits die Veränderungen der ISU 5 und den Anteil derer, die Auswirkungen auf die Methode haben. Tabelle 6 zeigt die jeweilige Blockanzahl der Veränderungen. Ein besonderes Augenmerk muss auf die Veränderungen der Flächentypen gelegt werden, die keine reale Veränderung darstellen, sondern die durch eine Veränderung im Kartierungsschlüssel bedingt sind. Hierbei handelt es sich z. B. um die Blöcke des Tiergartens. Blöcke, die noch 2005 mit dem Flächentyp „Grünanlage/Park (53)“ beschrieben wurden, sind

in der ISU 2010 mit dem Flächentyp „Wald (55)“ beschrieben. Dies hat erhebliche Auswirkungen auf die regelbasierte Klassifikation. Ebenso verhält es sich mit den Blöcken der Flächentypen „Bahnhof und Bahnanlage ohne Gleiskörper (92)“, „Flughafen (93)“, „sonstige Verkehrsfläche (94)“ sowie „Gleiskörper (99)“, die ehemals als „Brachfläche (57)“ beschrieben wurden.

Diese ehemaligen Informationen sind jedoch in der Grünnutzung (GRZ) weiterhin enthalten. Für die folgende Auswertung wurden diese Fälle deshalb entsprechend der GRZ den Flächentyp-Kategorien zugeordnet (Tabelle 5).

Abbildung 5 zeigt weiterhin die Verteilung der Blöcke, bei denen eine starke Geometrieänderung vorgenommen wurde und Blöcke, deren Überlappungsbereich zu der Geometrie 2005 < 90 % beträgt (Kap. 5.1). In der Versiegelungskartierung 2011 müssen auch die Blöcke, für die 2005 keine SPOT5-Satellitendaten vorlagen, gesondert betrachtet werden.

Tabelle 5: Zuordnung von Flächentypen in Flächentyp-Kategorien

Flächentyp	2005		2010	
	TYP	Kategorie	TYP	Kategorie
Geschlossener Hinterhof	1	1	1	1
Hinterhof	2	1	2	1
<b>Behutsame Sanierung</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
Kerngebiet	29	1	29	1
Gewerbegebiet mit dichter Bebauung	31	1	31	1
Mischgebiet II mit dichter Bebauung	38	1	38	1
Schmuck- und Gartenhof	3	2	3	2
<b>Sanierung durch Entkernung</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>2</b>
Schuppenhof	6	2	6	2
Nachkriegsblockrand	7	2	7	2
Großhof und Zeile der 20er und 30er Jahre (in Ost-Berlin nur Großhof)	10	3	10	3
Zeile seit den 50er Jahren	11	3	11	3
Zeile der 20er Jahre (nur Ost-Berlin)	72	3	72	3
Ungeordneter Wiederaufbau	8	4	8	4
Hochhaus, Großsiedlung	9	4	9	4
<b>Plattenbausiedlung der 80er und 90er Jahre</b>	<b>71</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>4</b>
Siedlung der 90er Jahre kompakt, >= 4 Geschosse	73	4	73	4
<b>Wassersport</b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>16</b>	<b>15</b>
Dorf	21	5	21	5
Reihengarten	22	5	22	5
Garten	23	5	23	5
Parkartiger Garten	24	5	24	5
Gärten und halbprivate Umgrünung	25	5	25	5
<b>Offene Siedlungsbebauung</b>	<b>26</b>	<b>5</b>	<b>23</b>	<b>5</b>
Baumschule / Gartenbau	36	5	36	5
Wochenendhäuser	59	5	59	5
<b>Siedlung (Reihen-, Einzel-, Doppelhäuser) der 90er Jahre aufgelockert, &lt; 4 Geschosse</b>	<b>74</b>	<b>5</b>	<b>22, 23, 24, 73</b>	<b>5, 4</b>
Stadtplatz / Promenade	54	6	54	6
Parkplatz	91	6	91	6
sonstige Verkehrsfläche (z B. Verkehrsinseln etc.)	94	6	94	6
<b>Mischgebiet I (z.B. Ausflugsstätte)</b>	<b>39</b>	<b>7</b>	<b>60</b>	<b>7</b>
Sicherheit und Ordnung	41	7	41	7
<b>Post</b>	<b>42</b>	<b>7</b>	<b>30, 31</b>	<b>13, 1</b>
Verwaltung	43	7	43	7
Hochschule und Forschung	44	7	44	7
Kultur	45	7	45	7
Krankenhaus	46	7	46	7
Kindertagesstätte	47	7	47	7



Flächentyp	2005		2010	
	TYP	Kategorie	TYP	Kategorie
Kirche	49	7	49	7
<b>Seniorenheim</b>	<b>50</b>	<b>7</b>	<b>9, 11, 30, 32, 47, 60, 73</b>	<b>4, 3, 7, 13, 17</b>
Jugendfreizeitheim	51	7	51	7
Gemeinbedarf allgemein	60	7	60	7
Wald	55	8	55	8
Landwirtschaft	56	9	56	9
Friedhof	27	10	27	10
Grünanlage / Park	53	10	53	10
Campingplatz	58	10	58	10
<b>Kleingartenanlage mit niedrigem Erschließungsflächenanteil</b>	<b>34</b>	<b>11</b>	<b>37</b>	<b>11</b>
<b>Kleingartenanlage mit hohem Erschließungsflächenanteil</b>	<b>35</b>	<b>11</b>	<b>37</b>	<b>11</b>
Kleingartenanlage allgemein	37	11	37	11
Brachfläche	57	12	57	12
Gewerbegebiet mit geringer Bebauung	30	13	30	13
Mischgebiet II mit geringer Bebauung	33	13	33	13
Altbau-Schule (vor 1945)	12	14	12	14
Neubau-Schule (nach 1945)	13	14	13	14
<b>Schule</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>12, 13</b>	<b>14</b>
<b>Sportanlage</b>	<b>28</b>	<b>15</b>	<b>16, 17</b>	<b>15</b>
<b>Sportanlage, ungedeckt</b>	-	-	<b>16</b>	<b>15</b>
<b>Sportanlage, gedeckt</b>	-	-	<b>17</b>	<b>15</b>
Bahnanlage ohne Gleiskörper	92	16	92	16
Gleiskörper (ausschließlich)	99	16	99	16
Flächen der Ver- und Entsorgung	32	17	32	17
Flughafen	93	18	93	18
<b>Baustelle</b>	<b>98</b>	<b>99</b>	-	-
	<b>2005</b>	<b>2010</b>		
	<b>TYP</b>	<b>TYP</b>	<b>GRZ</b>	<b>Kategorie</b>
<b>Wald</b>	<b>53</b>	<b>55</b>	<b>130</b>	<b>10</b>
<b>Bahnanlage ohne Gleiskörper</b>	<b>57</b>	<b>92</b>	<b>171, 172, 173</b>	<b>12</b>
<b>Gleiskörper (ausschließlich)</b>	<b>57</b>	<b>99</b>	<b>171, 172, 173</b>	<b>12</b>
<b>Flughafen</b>	<b>57</b>	<b>93</b>	<b>171, 172, 173</b>	<b>12</b>
<b>sonstige Verkehrsflächen</b>	<b>57</b>	<b>94</b>	<b>171, 172, 173</b>	<b>12</b>

**fett:** Änderungen auf Grund von Änderungen in der Flächennutzung und Stadtstruktur (2010)

Tabelle 6: Anzahl der modifiziert zu bearbeitenden Blöcke

Veränderung	Anzahl
Flächentyp-Änderung zwischen 2005 und 2010	6.233
Flächentyp-Änderung mit Auswirkungen auf KAT und Methode	1.633
Geometrieänderung der Blöcke	1.308
Blöcke von 2010 mit einer Überlappung zu Blöcken von 2005 < 90 % (Kap. 5.1)	244
keine SPOT5-Szene von 2005	37
<b>Anzahl der modifiziert zu bearbeitenden Blöcke</b>	<b>3.222</b>

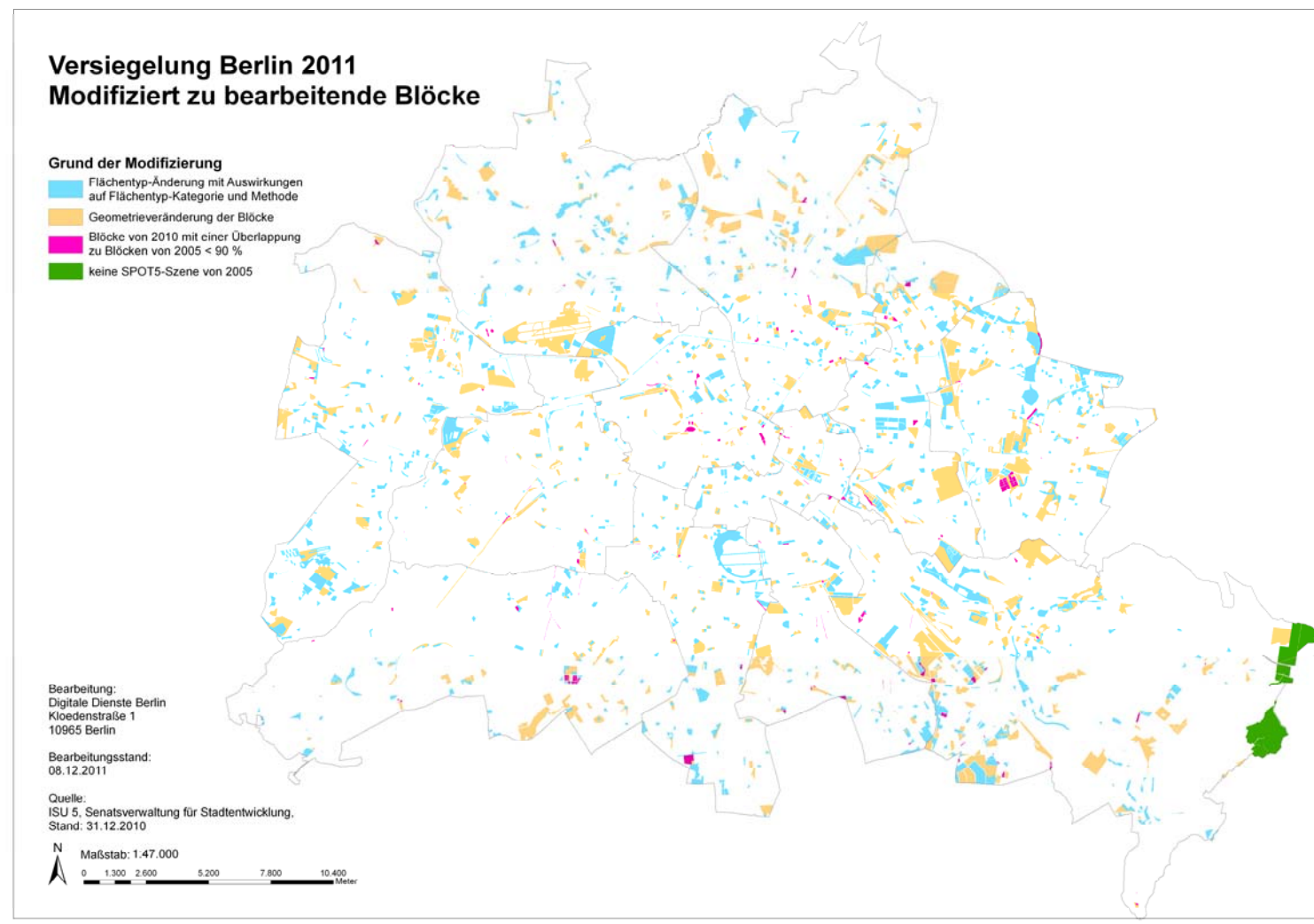


Abbildung 5: Veränderungen der ISU 5 und deren Auswirkungen auf die Methode

#### 4.2.2 Räumliche Abgrenzung der Analysefläche

Die Analysefläche ist auf die statistischen Blöcke von Berlin festgelegt. Insbesondere der Großteil des Verkehrsnetzes sowie Gewässer werden somit ausgenommen. Innerhalb der Teil- und Hauptblöcke werden primär die unbebauten Flächen mittels Satellitenbilddaten untersucht. Oberirdische Gebäude werden bestmöglich mit ALK-Daten erfasst und separiert. Diese entsprechen den bebaut versiegelten Flächen der Blöcke. Eine weitergehende Analyse dieser Flächen mit Satellitenbilddaten ist folglich nicht erforderlich.

In Vorbereitung auf die spätere Satellitenbilddatenauswertung wird eine GIS-basierte Abgrenzung der Analysefläche vorgenommen. Anhand dieser können die SPOT5-Daten maskiert werden, sodass ausschließlich Bildinhalte der unbebauten Blockfläche verbleiben.

Für die Abgrenzung sind folgende Schritte notwendig:

- Selektion der statischen Blöcke des Untersuchungsgebiets (ISU: Teil- und Hauptblöcke),
- Selektion von Gebäuden (ALK: Gebäude, keine Tiefgaragen),
- Erstellung einer Maske „Analysefläche“ (Vektor-File, Raster-File),
- Maskierung der SPOT5-Daten.

Es resultiert eine Unterscheidung in „bebaute Blockfläche“, „unbebaute Blockfläche“ (Analysefläche) und „Nicht-Blockfläche“.

Auf vorhandene Aktualitätsdefizite der ALK- und ISU-Daten wurde bereits hingewiesen (Kap. 2).

Von besonderer Bedeutung ist die gegenwärtig noch lückenhafte, teilweise auch fehlende ALK-Erfassung von Gebäuden in Kleingartenanlagen, Bahnanlagen sowie Industrie- und Gewerbegebieten (vgl. Kap. 2.2). Im Unterschied zur generellen Vorgehensweise wird daher für diese Flächen im Rahmen der Satellitenbilddatenauswertung der Gesamtversiegelungsgrad abgeleitet. Durch die Einbindung von Zusatzinformationen kann die ermittelte Gesamtversiegelung für die Kategorie „Kleingartenanlagen“ nachträglich in unbebaut versiegelte und bebaut versiegelte Anteile aufgesplittet werden (Kap. 4.3.5). Für Bahnanlagen sowie Industrie- und Gewerbegebiete ist dies nicht möglich.

Für die Satellitendatenauswertung wird zudem ein weiterer Rasterdatensatz generiert, um Fehlkartierungen zu verringern (SML-Modell 1). Hierzu werden Flächen markiert, die unmittelbar an Gebäude angrenzen (5 m Saum), sodass Randpixel ggf. gesondert erfasst und klassifiziert werden können.

Arbeitsschritte in ERDAS IMAGINE:

1. *Import: ALK-Gebäude und ISU 5 Blöcke (TIFF-Datei, erzeugt in ArcGIS),*
2. *Start SML-Modell „1\_alk\_block\_buf.gmd“  
(s. Anhang; Ergebnis: Unterscheidung „bebaute Blockfläche“, „unbebaute Blockfläche - gebäudefern“, „unbebaute Blockfläche - gebäudenah“, „Nicht-Blockfläche“).*

#### 4.2.3 Festlegung eines Referenzflächennetzes

Das Verfahren sieht für verschiedene Auswertungs- und Klassifizierungsschritte das Einbinden von Referenzflächen vor. Hierbei handelt es sich um Vegetationsflächen (Wald, Wiese usw.), vegetationsfreie unversiegelte und vegetationsfreie versiegelte Oberflächen (Beton, Asphalt usw.). Zusätzlich werden Referenzflächen für Sand, Asche und Tenne, Kunstbeläge (Sportanlagen) sowie Gleisschotter benötigt.

Die in der Hauptstudie stadtwweit angelegten Referenzflächennetze werden in der Versiege-

lungskartierung 2011 anhand von Luftbildern und Satellitenbilddaten am Bildschirm überprüft, gegebenenfalls angepasst und für die Auswertung genutzt. Für jede Klasse sind mindestens 20 bis 40 Flächen ermittelt worden, möglichst gleichmäßig auf das in vier Quadranten aufgeteilte Stadtgebiet verteilt (Abbildung 6). Die Wiederverwendung der Referenzflächen hat den Klassifizierungsprozess für 2011 beschleunigt. Als Auswahlkriterien gelten:

- Repräsentativität (Charakteristik, Vielfalt),
- Mindestflächengröße ( $> 0,2$  ha; bei Vegetationsflächen  $> 2$  (5) ha),
- Homogenität (keine Verzahnung mit anderen Oberflächenarten),
- Konstanz (Nutzungs- bzw. Oberflächenänderungen langfristig weitgehend auszuschließen).

Die Flächen werden am Bildschirm selektiert und deliniert. Die geokodierten Vektordaten werden für jedes Referenzflächennetz als shape-Dateien abgelegt. Mit Hilfe von Polygonen sind somit relevante Referenzflächen im Satellitenbild bzw. im klassifizierten Datensatz lokalisierbar und entsprechende Bildinformationen auswertbar.

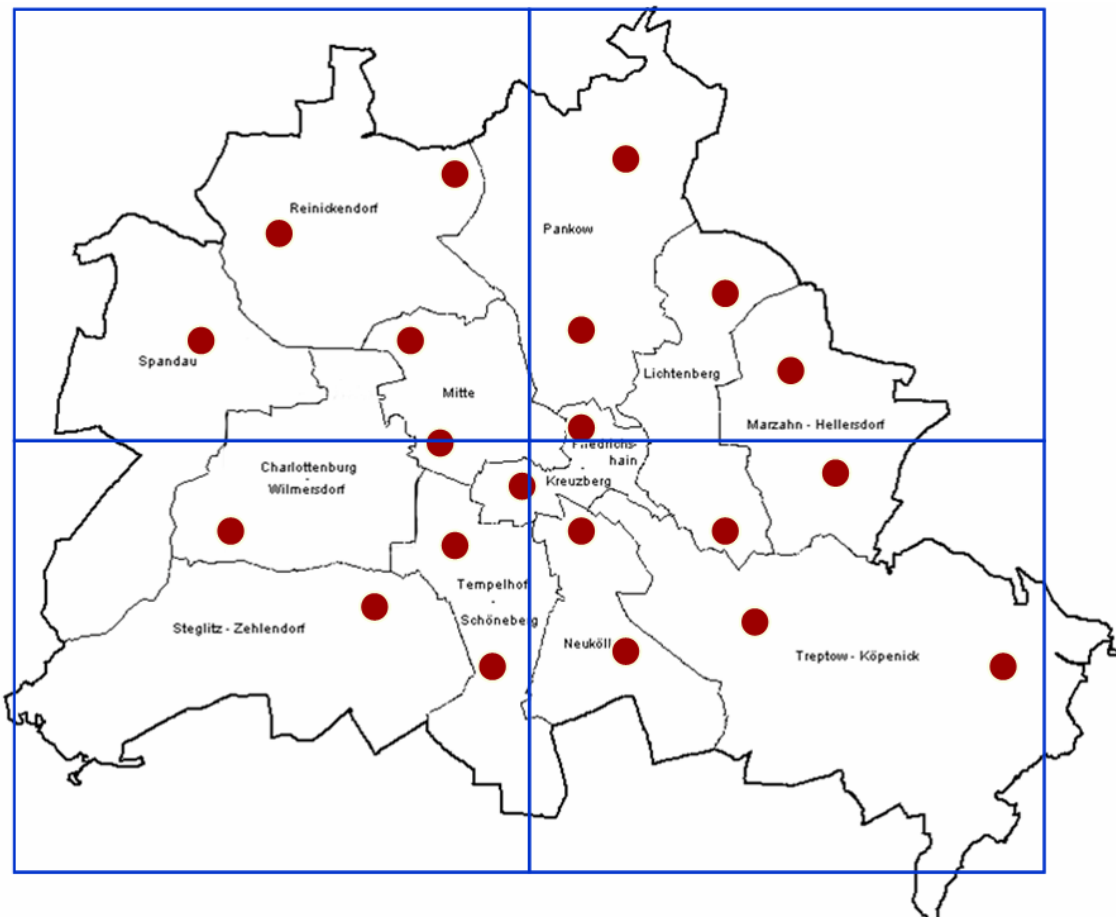


Abbildung 6: Anlage eines Referenzflächennetzes für Berlin - das Grundprinzip

Beispiel für eine Objektklasse - anzustrebende Verteilung auf vier Quadranten

#### 4.2.4 Spektrale Klassifizierung

Ziel der spektralen Klassifizierung der un bebauten Anteile der Blockflächen ist die Ermittlung des Vegetationsgrades sowie die Kartierung von besonders relevanten Oberflächenmateria-

len. Erst in der nachfolgenden regelbasierten Klassifizierung (Kap. 4.2.5) erfolgt die stufenweise Ableitung des Versiegelungsgrades.

Die spektrale Klassifizierung gliedert sich in folgende Teilauswertungen:

- Abgrenzung „Schatten“, (Kap. 4.2.4.1),
- Kartierung „Vegetationsgrad“ (Kap. 4.2.4.2),
- Kartierung „Sand“ (Kap. 4.2.4.3),
- Kartierung „Asche, Tenne“ (Kap. 4.2.4.4),
- Kartierung „Gleisschotter“ (Kap. 4.2.4.5),
- Kartierung „Kunstbeläge“ (Kap. 4.2.4.6).

Einen Überblick über die einzelnen Teilklassifizierungen gibt das Schema in Abbildung 7.

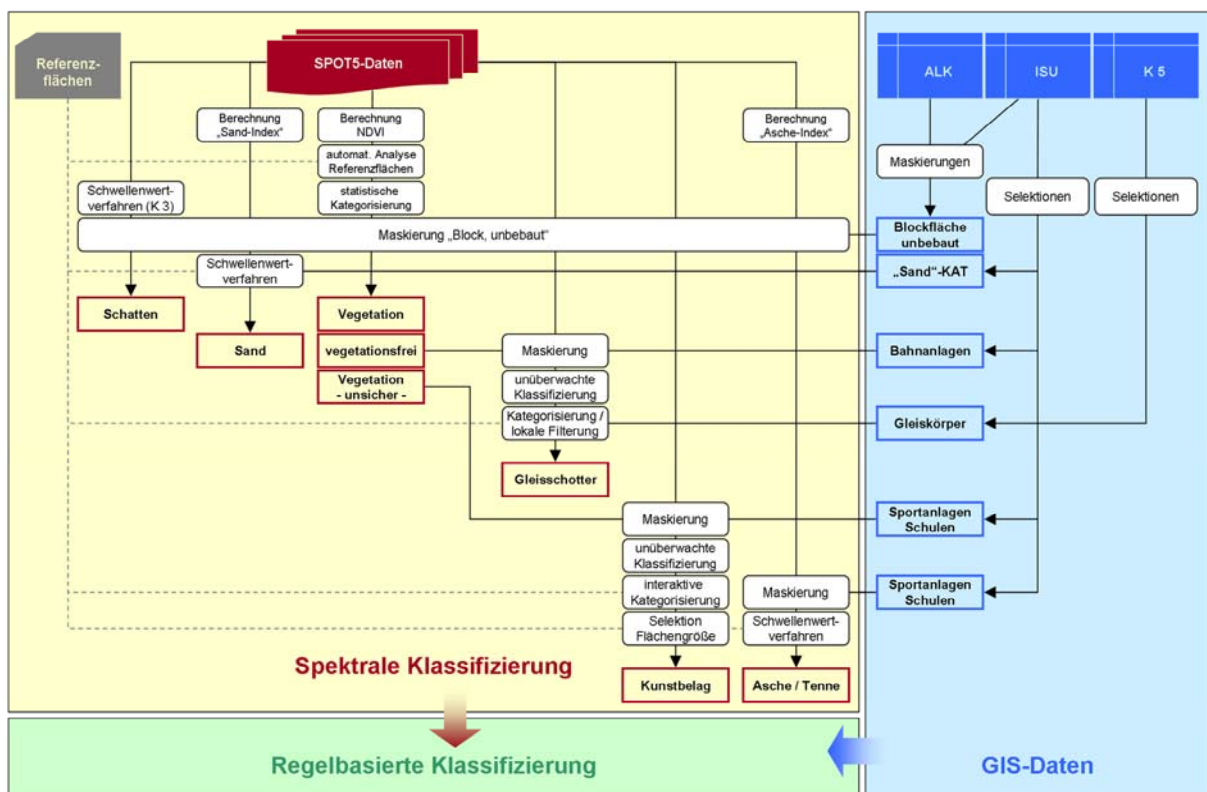


Abbildung 7: Schema der spektralen Klassifizierung

#### 4.2.4.1 Abgrenzung „Schatten“

Klassifizierungen multispektraler Satellitenbilddaten in städtischen Bereichen erfordern eine besondere Berücksichtigung des Schatteneinflusses. Innerhalb von beschatteten Bereichen sind in der Regel keine zuverlässigen Unterscheidungen von Vegetation und Nicht-Vegetation bzw. versiegelten und unversiegelten Flächen möglich. Die Verfahrensentwicklung sieht daher eine möglichst genaue Separierung von entsprechenden Schattenflächen in der SPOT5-Szene vor. Dies vermeidet Fehlklassifizierungen und eröffnet die Möglichkeit, diese Problembereiche gezielt zu bearbeiten. Hierzu wird eine kontextbasierte Nachklassifizierung von Schatten unter Einbindung von ISU-Daten durchgeführt (Kap. 4.2.5).

Hohe Bebauungen finden sich vor allem in den dicht bebauten Kern-, Gewerbe- und Misch-

gebieten, Block- und Hinterhofbebauung, Blockrandbebauungen sowie in Plattenbausiedlungen. Bei niedriger Bebauung ist der Schatteneinfluss weniger bedeutsam, beispielsweise bei dörflicher Bebauung mit Gärten oder Kleingartenanlagen.

Für die Kartierung der sehr dunklen Schattenflächen eignet sich ein Schwellenwertverfahren. Unter Berücksichtigung von Luftbildern wird hierzu im Spektralkanal des nahen Infrarots (Kanal 3) ein geeigneter Grauwert ermittelt, der eine exakte Separierung dunkelster Bildbereiche zulässt (vgl. Abbildung 8).



*Abbildung 8: Spektrale Abgrenzung von Schattenbereichen*

Luftbild mit überlagerter Schattenmaske (blau), abgeleitet aus SPOT5-Daten

Spektrale Überschneidungen mit folgenden Oberflächenbedeckungsarten bestehen und werden akzeptiert:

- **Wasserflächen:**  
Gewässer sollten in der Analysefläche durch die Einbindung von ISU-Daten nahezu vollständig ausgegrenzt sein. Nicht maskierte Teiche innerhalb von Blöcken werden in der Regel als Schatten erkannt. Hinzu kommen offene Wasserflächen im Bereich von Klärwerken oder auch Schwimmbecken (s. Anlage 9.1, Abbildung 33).
- **Kohlehalden:**  
Lagerplätze werden teilweise erfasst. Stadtweit gibt es nur wenige Versorgungsflächen dieser Art (s. Anlage 9.1, Abbildung 33).
- **Flachdächer (Bitumen):**  
Die Erfassung von teils sehr dunkel reflektierenden Flachdächern mit Teerpappe deutet in der Regel auf fehlende Gebäudeinformationen in den ALK-Daten hin. So treten insbesondere S-Bahnhöfe im ehemaligen Westteil der Stadt als Fehlkartierungen auf.

Die genannten „Fehler“ sind problemlos mit geringem Zeitaufwand zu eliminieren. Die entsprechende Korrekturmaske wird auch in der Auswertung 2011 genutzt (Kap. 4.2.4.7).

In der SPOT 5-Szene von 2011 liegen aufgrund des höheren Sonnenstands erheblich weniger Schattenflächen vor als in der SPOT 5-Szene von 2005. Es wird somit eine größere Fläche in der spektralen Kartierung hinsichtlich Vegetationsgrad bzw. Objektarten ausgewertet.

Arbeitsschritte in ERDAS IMAGINE:  
(Vergleiche mit Orthophotos sinnvoll)

1. *Laden von Kanal 3 in Viewer (thematic layer),*
2. *Iterative Ermittlung eines geeigneten Grauwertes,*
3. *Eingabe in Schwellenwert-Datei („schatten.sca“: Input für SML-Modell),*
4. *Start SML-Modell „11\_maskierung\_schatten\_2011“ (s. Anhang; Ergebnis: Maske „Schatten“, unkorrigiert).*
5. *Start SML-Modell „12\_maskierung\_schatten\_2011.gmd“ (s. Anhang; Ergebnis: Maske „Schatten“, korrigiert)*

#### **4.2.4.2 Kartierung „Vegetationsgrad“**

Der Vegetationsindex NDVI dient im Rahmen der Versiegelungskartierung zur Vorklassifizierung von vegetationsfreien sowie teilweise oder vollständig mit Vegetation bedeckten Oberflächen. Es resultieren Werte auf Pixelbasis. Aus den zu ermittelnden Vegetationsgraden werden erst in nachfolgenden Auswertungen schrittweise die Versiegelungsgrade abgeleitet. Hierzu dienen ergänzende Teilklassifizierungen von Oberflächenmaterialien (Kap. 4.2.4.3, Kap. 4.2.4.4, Kap. 4.2.4.5, Kap. 4.2.4.6) und eine regelbasierte Nachklassifizierung (Kap. 4.2.5). Die Verfahrensentwicklung 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 Flächen** (Vegetationsgrad 0 %)

Eine Kartierung ist zumeist problemlos möglich. Vegetationsfreie Oberflächen werden in niedrigen bis sehr niedrigen Index-Werten wiedergegeben. Weitergehende Unterscheidungen von versiegelten und unversiegelten Bereichen sind mittels NDVI nicht sicher möglich.

#### **Vegetationsflächen** (Vegetationsgrad 100 %)

Vollständig von grüner Vegetation bedeckte Oberflächen wie Wälder oder Grünland werden überwiegend in hohen bis sehr hohen Index-Werten wiedergegeben. Entsprechende Bereiche werden in Versiegelungskartierungen als unversiegelt eingestuft. Das Problem der lokalen Verdeckung von versiegelten Flächen durch Baumkronen ist mit Satellitenbilddaten nicht lösbar. Ausschließlich ISU-Daten und die Nutzung von kontextbezogenen Korrekturfaktoren können dazu beitragen, diesen „Fehler“ zu verringern (Kap. 4.3.6).

#### **Teilweise vegetationsbedeckte Flächen** (Vegetationsgrad > 0 % und < 100 %)

Methodisch anspruchsvoll ist das Erfassen und Unterscheiden von Abstufungen des Vegetationsgrades. Mittlere Index-Werte dominieren. Es ist zu berücksichtigen, dass gleiche Index-Werte aus unterschiedlichen Mischsignaturen hervorgehen können.

Die vorliegende Verfahrensentwicklung greift diese Unterschiede auf: NDVI-Werte, die auf teilweise vegetationsbedeckte Flächen hinweisen (Vegetationsgrad > 0 %), werden differenziert betrachtet und in der regelbasierten Klassifizierung je nach Flächentyp-Kategorie oder Flächentyp unterschiedlichen Versiegelungsgraden zugeordnet (Kap. 4.2.5.1).

### Kategorisierung des NDVI

Die methodische Umsetzung des oben erläuterten Ansatzes ergibt folgendes Vorgehen:

- Festlegung von NDVI-Kategorien:  
Aufbauend auf den zuvor beschriebenen Überlegungen werden 12 NDVI-Kategorien festgelegt (Tabelle 7).

Tabelle 7: NDVI-Kategorien

Kategorie	Beschreibung	Vegetationsgrad [%]
1	vegetationsfrei - sicher	0
2	Vegetation - unsicher	bis 10
3	Vegetation - unsicher	bis 20
4	Vegetation - unsicher	bis 30
5	Vegetation - unsicher	bis 40
6	Vegetation - unsicher	bis 50
7	Vegetation - unsicher	bis 60
8	Vegetation - unsicher	bis 70
9	Vegetation - unsicher	bis 80
10	Vegetation - unsicher	bis 90
11	Vegetation - unsicher	bis 100
12	Vegetation - sicher	100

- Referenzflächenermittlung „Vegetationsgrad“:  
Für die Kategorien 1 und 12 (Vegetationsgrad: 0 % und 100 %) werden repräsentative homogene Flächen ermittelt und markiert (vgl. Kap. 4.2.3).
- Berechnung des NDVI:  
Es resultieren Index-Werte zwischen -1 und +1.
- Automatisierte statistische Analyse der Referenzflächen:  
Für jede Referenzfläche werden arithmetisches Mittel und Standardabweichung berechnet.
- Automatisierte Ableitung von statistischen Schwellenwerten:  
Für Vegetation und vegetationsfreie Flächen werden jeweils NDVI-Werte statistisch ermittelt, die zur Abgrenzung der Kategorien 1 und 12 genutzt werden:
  - Schwellenwert „Vegetation - sicher“ ( $S_{max}$ ): Mittelwert - Standardabweichung,
  - Schwellenwert „vegetationsfrei - sicher“ ( $S_{min}$ ): Mittelwert + Standardabweichung.
- Kategorisierung des NDVI:  
Anhand der ermittelten NDVI-Schwellenwerte erfolgt die automatische Zuordnung der NDVI-Werte in 12 Kategorien:
  - Kategorie 1:  $NDVI < S_{min}$
  - Kategorie 12:  $NDVI > S_{max}$
  - Kategorien 2 bis 11: Intervallskalierung des NDVI-Wertebereichs von  $S_{min}$  bis  $S_{max}$

Einen Vergleich der NDVI-Kategorisierung mit Luftbildern und den spektralen Ausgangsda-



ten zeigt Abbildung 9.

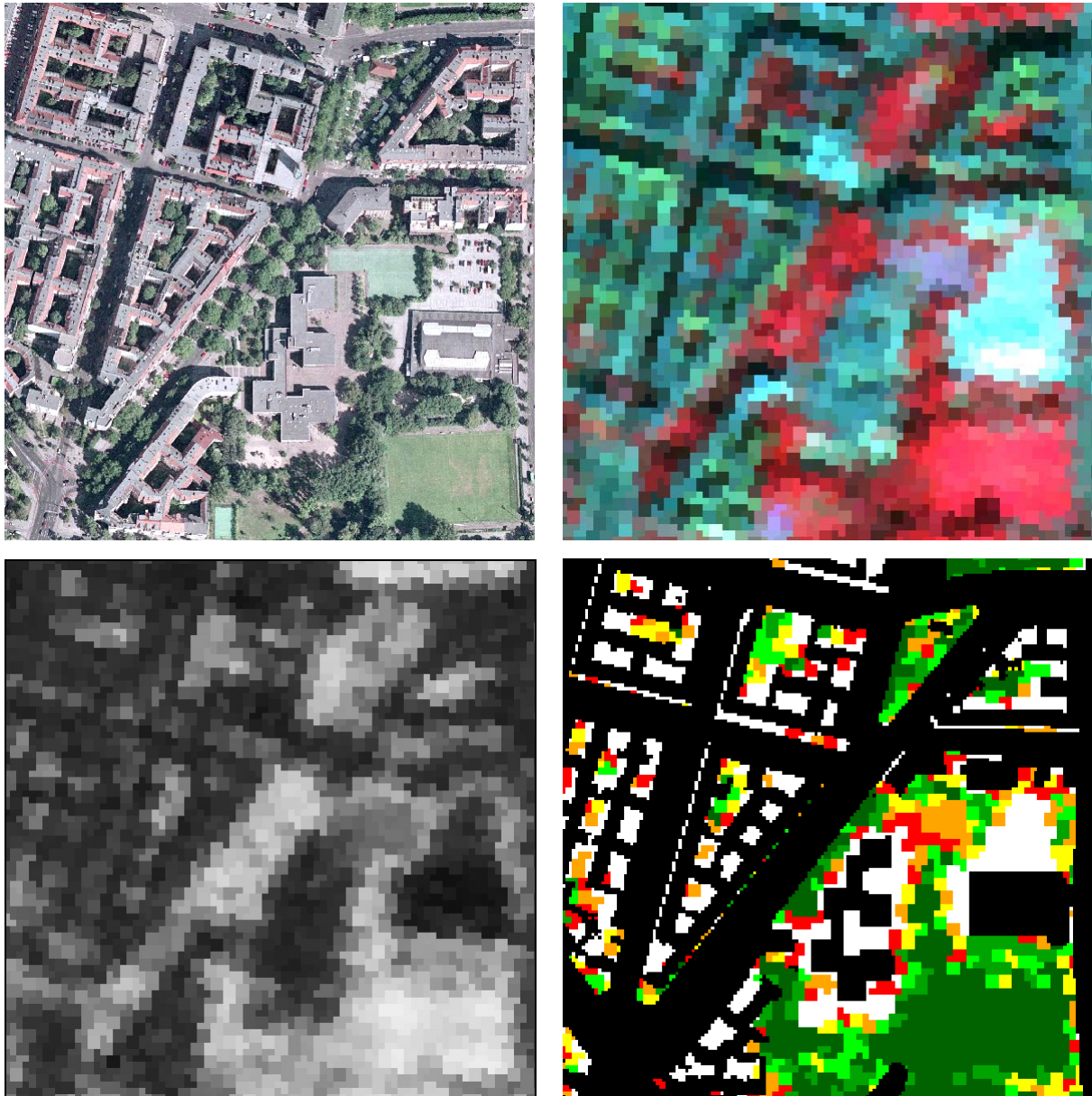


Abbildung 9: NDVI - Berechnung und Kategorien

oben links: Orthophoto  
oben rechts: SPOT5-Ausschnitt (RGB: Spektralkanäle 3-2-1)  
unten links: NDVI - Kanal (Gleitkommawerte, grauwertkodiert)  
unten rechts: NDVI - Kategorien innerhalb der Analysefläche  
weiss: „vegetationslos - sicher“; dunkelgrün: „Vegetation - sicher“; rot bis hellgrün: „Vegetation - unsicher“  
schwarz: Nicht-Blockfläche)

### Multitemporale Angleichung der NDVI-Kategorien

Eine Gegenüberstellung der NDVI-Kategorisierungen von 2005 und 2011 zeigte, dass die sehr unterschiedlichen phänologischen Bedingungen zum Zeitpunkt der Aufnahmen zu geringfügig abweichenden Erfassungen von über den Zeitraum eigentlich unveränderten Oberflächen führen. Die radiometrischen Angleichungen der Satellitenaufnahmen können die phänologischen Einflüsse nicht völlig nivellieren.

Aufgrund der hohen Vitalität der Vegetation bzw. der frischen Belaubung werden in der Mai-aufnahme von 2011 im Vergleich zur Septembereaufnahme von 2005 Vegetationsflächen tendenziell mit höheren NDVI-Werten wiedergegeben. Wiesen, Rasen und Gartenbereiche sowie Brachen, deren Vegetationsvitalität in der 2005er Szene geringer war, werden tendenziell in höheren Vegetationskategorien kartiert (= höherer Vegetationsanteil). Die Vegetation wird folglich in der Mai-Szene etwas verlässlicher erfasst, da spektrale Überschneidungen von offenen Böden bzw. verdorrter Vegetation mit versiegelten Oberflächen weniger stark ausgeprägt sind.

Zur verbesserten Vergleichbarkeit wird eine Angleichung der 2011er NDVI-Kategorisierung vorgenommen. Unter Hinzunahme von Luftbildern wird der automatisch abgeleitete Schwellenwert „Vegetation – sicher“ iterativ geringfügig erhöht, sodass für unveränderte Vegetationsflächen (v. a. Parkwiesen, Rastenflächen) eine ähnliche Wiedergabe durch die intervallskalierten NDVI-Kategorien erreicht wird.

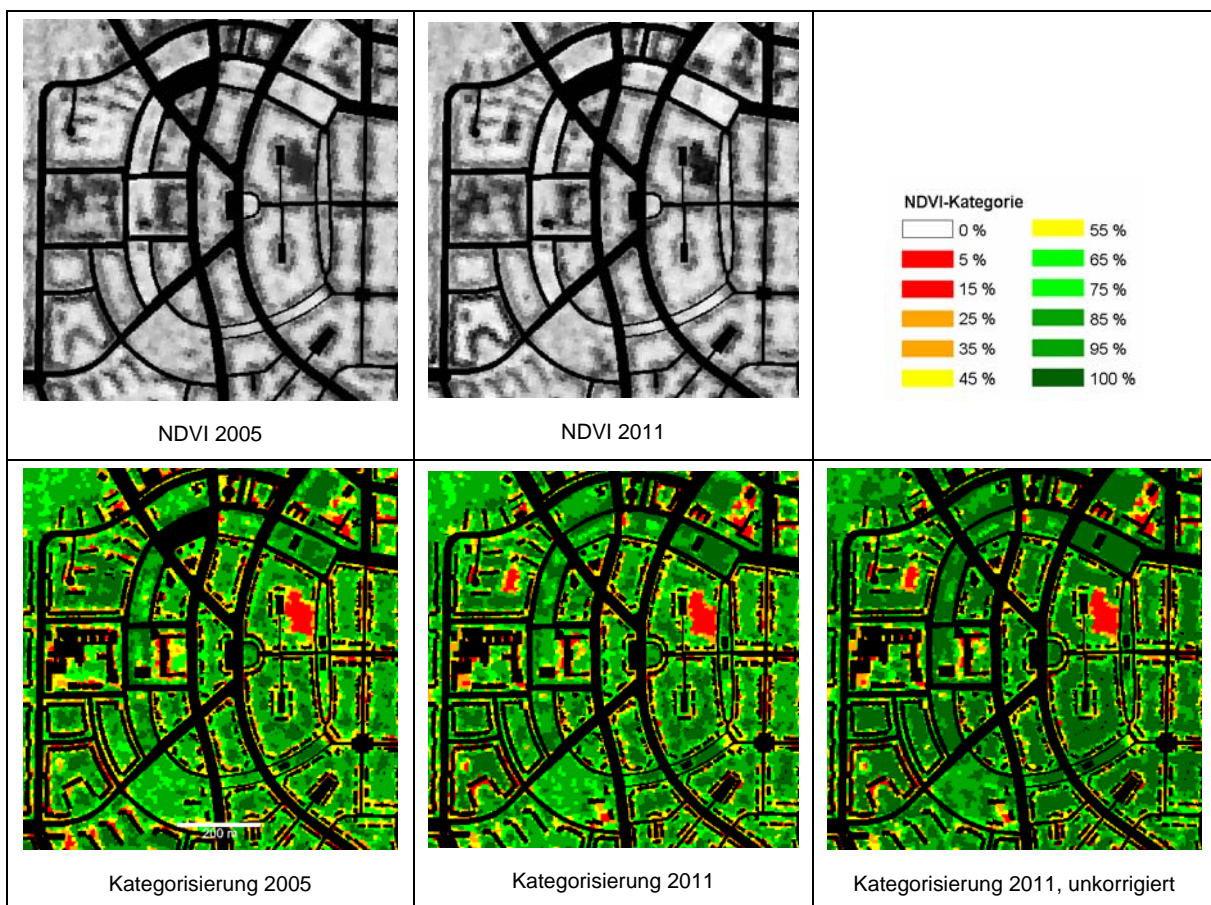


Abbildung 10: NDVI-Kategorien

Oben: NDVI-Kanäle, Ausschnitt  
 Unten: Vergleich der NDVI-Kategorien (Vegetationsgrad)

Arbeitsschritte in ERDAS IMAGINE:  
 (Vergleiche mit Orthophotos sinnvoll)

1. Ermittlung und Markierung von Referenzflächen (shape-Datei): Verwendung vorhandener Referenzflächen bei zukünftigen Kartierungen,
2. Berechnung NDVI,

3. Überlagern von Referenzflächen (*shape-Datei*) und NDVI-Kanal (*Display*), jeweils für „Vegetation - sicher“ und für „vegetationslos - sicher“,
4. Selektion aller Referenzflächen-Polygone und Abspeichern als AOIs,
5. Öffnen des „Signature editor“ und Markierung aller AOI,
6. Extraktion aller AOIs (Grauwerte Verteilung je Referenzfläche),
7. Erweitern der „Column“ mit Mittelwert, Standardabweichung,
8. „Append“ aller Flächen zu einem neuen Datensatz: Ermittlung von Mittelwert, Standardabweichung,
9. Berechnung der Schwellenwerte und Eintrag in Textdatei (ERDAS: „veglos\_sicher.sca“, „veg\_sicher.sca“: Input für SML-Modell),
10. Start SML-Modell „2\_ndvi\_kat10\_2011.gmd“  
(s. Anhang; Ergebnis: NDVI-Kategorisierung, Zwischenergebnis).
11. Vergleich der NDVI-Kategorien 2005 und 2011.
12. iterative Angleichung des Schwellenwertes „Vegetation – sicher“, Eintrag in Textdatei (ERDAS: „veg\_sicher.sca“),
13. Start SML-Modell „2\_ndvi\_kat10\_2011\_mod\_veg.gmd“  
(s. Anhang; Ergebnis: NDVI-Kategorisierung, Endergebnis).

#### 4.2.4.3 Kartierung „Sand“

Im NDVI werden Sandflächen als vegetationsfreie Bereiche erkannt. Zuverlässige Abgrenzungen zu versiegelten Flächen sind im Index nicht möglich. Eine spezielle Kartierung von Sand wird somit erforderlich.

Sandflächen weisen zumeist sehr hohe Reflexionswerte auf. Im Sand-Index werden Sandflächen sowie auch offene unbewachsene Böden besonders hervorgehoben als hellste Flächen wiedergegeben. Für deren Separierung von anderen unbebaut versiegelten Flächen eignet sich ein einfaches Schwellenwertverfahren.

Spektrale Überschneidungen mit versiegelten Flächen konzentrieren sich vorwiegend auf folgende Oberflächenmaterialien sowie Objektarten:

- Traglufthallen:  
Entsprechende Einrichtungen werden in der ALK nicht erfasst.
- Betonflächen:  
In Abhängigkeit von Oberflächenstruktur und -beschaffenheit reflektieren insbesondere helle Parkplätze oder andere Stadtplätze sehr stark.
- Flachdächer:  
Wenn Gebäude in der ALK nicht erfasst sind: Kieslage, Blech, Beton (z. B. S-Bahnhöfe im ehemaligen Ostteil der Stadt).
- Asche / Tenne:  
Sportanlagen mit entsprechenden Oberflächenmaterialien werden als versiegelt betrachtet. Fehlkartierungen als eine Folge der teilweise unscharfen Abgrenzung zu offenen Böden oder zu Sand werden durch Verknüpfung mit Informationen des „Asche-Index“ nahezu vollständig behoben (Kap. 4.2.5.1).

Um mögliche Fehler zu reduzieren, erfolgt die Kartierung von Sandflächen ausschließlich in solchen Stadtgebieten, in denen ein flächiges Vorkommen bzw. eine Häufung dieser unversiegelten Flächen zu erwarten ist. „Sand“ in den Flächentyp-Kategorien

- „dicht bebaute Kern-, Gewerbe- und Mischgebiete, Blockbebauung, Hinterhof“,

- „Blockrandbebauungen der Gründerzeit“, Blockrandbebauung der 20er/30er Jahre, Zeilenbebauung“ sowie
- „hohe Bebauung“,
- „Flughafen“

wird hingegen als Hinweis auf Baustellen gedeutet.

Im Vergleich zur 2005er Auswertung erwies sich die Trennung von Sand zu Asche, Tenne sowie einigen Kunstbelägen in den 2011er Daten als weniger sicher, sodass der automatisierten Vorkartierung „Sand“ ein erhöhter Aufwand für interaktive Korrekturen folgte (Kap. 4.2.4.7). Es ist zu vermuten, dass die Kartierungsunschärfe auf die erschwerte radiometrische Korrektur von hohen Werten des Kanals 2 zurückgeführt werden kann (vgl. Kap. 3.2.2). Dieser Kanal ist Bestandteil der Kanalverknüpfung des Sand-Index.

Arbeitsschritte in ERDAS IMAGINE:

(Vergleiche mit Referenzflächen und Orthophotos)

1. *Laden Sand-Index in Viewer (thematic layer),*
2. *Iterative Ermittlung eines geeigneten Grauwertes,*
3. *Eingabe in Schwellenwert-Datei („sand.sca“: Input für SML-Modell),*
4. *Start SML-Modell „4\_maskierung\_sand\_2011.gmd“ (s. Anhang; Ergebnis: Maske „Sand“, unkorrigiert).*
5. *Start SML-Modell „5\_maskierung\_sand\_2011.gmd“ (s. Anhang; Ergebnis: Maske „Sand“, korrigiert).*

#### **4.2.4.4 Kartierung „Asche / Tenne“**

Sportanlagen mit Asche- bzw. Tennebelägen werden von der SenStadtUm als versiegelt eingestuft. Eine zuverlässige Separierung von anderen vegetationsfreien Oberflächen, z.B. Sand oder offenen Boden, ist daher notwendig. Untersuchungen ergaben die besondere Eignung des Ratio-Kanals „K1 / K2“, da in diesem „Asche-Index“ rötliche vegetationslose Oberflächen als hellste Flächen deutlich hervortreten. Für deren Separierung kann daher ein einfaches Schwellenwertverfahren angewendet werden.

Spektrale Überschneidungen mit versiegelten Flächen konzentrieren sich vorwiegend auf folgende Oberflächenmaterialien sowie Objektarten:

- **Ziegeldächer:**  
Da Gebäude im Auswertungsprozess mit ALK-Daten maskiert werden, sind entsprechende Fehlkartierungen auszuschließen.
- **rötliche Tartanbeläge:**  
Diese Kunstbelagart konzentrieren sich auf Sportstätten. Da aber Kunstbeläge zu den vollständig versiegelten Flächen zählen, stellen Fehlzuweisungen keine Fehler im Rahmen der Versiegelungskartierung dar.
- **rötliche Pflastersteine (Ziegel):**  
Oberflächen mit dieser Belagsart gelten als versiegelt und verteilen sich auf zahlreiche Flächentypen. Fehlzuweisungen sind somit wiederum nicht negativ auf die Genauigkeit der Versiegelungskartierung aus.

Es resultierte eine Binärmaske (Abbildung 11).

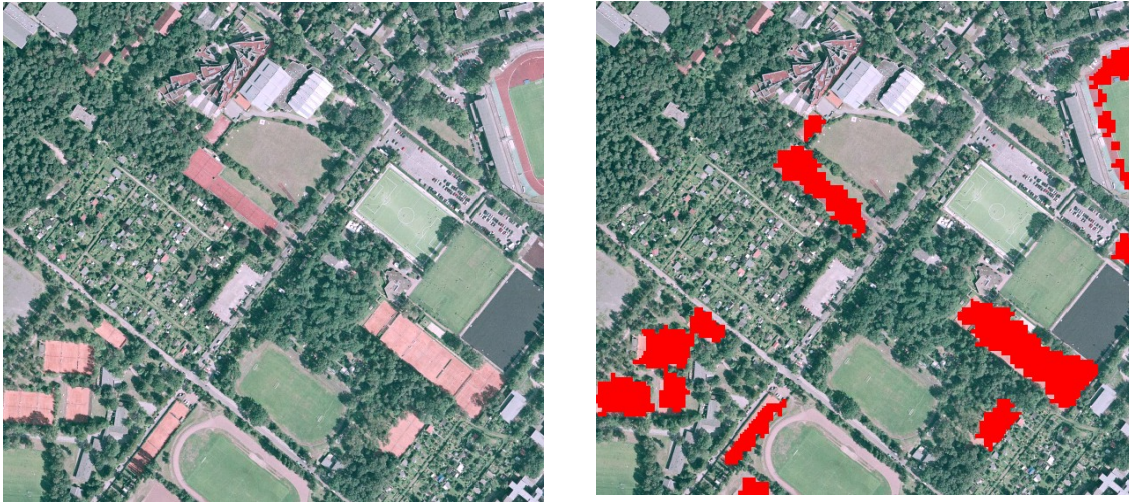


Abbildung 11: Abgrenzung von Asche und Tenne – Ausschnittvergrößerung

links: Luftbild; rechts: überlagerte Maske (Rot)

Arbeitsschritte in ERDAS IMAGINE:  
(Vergleiche mit Referenzflächen und Orthophotos)

1. Laden Ratio-Kanal in Viewer (thematic layer),
2. Iterative Ermittlung eines geeigneten Grauwertes,
3. Eingabe in Schwellenwert-Datei („asche.sca“: Input für SML-Modell),
4. Start SML-Modell „10\_maskierung\_asche\_2011.gmd“  
(s. Anhang; Ergebnis: Maske „Asche, Tenne“).

#### 4.2.4.5 Kartierung „Gleisschotter“

Im Bereich der Flächentypen „Bahnanlagen ohne Gleiskörper“ und „Gleiskörper“ konzentrieren sich unterschiedliche unbebaute Flächen mit Materialien bzw. Objektarten wie Sand, Schotter, Gleise, Beton (Baustellen: neues Gleisbett). Es dominieren vegetationslose und vegetationsarme Flächen. Der Vegetationsbedeckungsgrad kann lokal aber stark variieren (Sand, Schotter, Baumbestand).

Bebaut versiegelte Flächen, insbesondere S-Bahnhöfe, werden auf Bahnflächen nicht vollständig erfasst, da hier die ALK noch erhebliche Lücken aufweist (vgl. Kap. 2.2).

Gleisschotter soll zukünftig sehr unterschiedlich bewertet werden: In einigen Planungsmodellen werden diese Areale als versiegelt betrachtet, für andere Fragestellungen wird ihnen eher der Charakter unversiegelter Flächen zugesprochen. Auf Wunsch von SenStadtUm sollen entsprechende Flächen innerhalb von Gleisanlagen separat erfasst werden. Es wird eine Klasse „Gleisschotter“ ausgewiesen, der optional 0 %ige bzw. 100 %ige Versiegelung zugewiesen werden kann.

Im NDVI werden Gleisschotter überwiegend als vegetationslose Bereiche erkannt. Mit zunehmendem Anteil an Ruderalvegetation und Verkrautungen erhöhen sich die Index-Werte, sodass der Vegetationsgrad zunimmt. Erfolgt keine spezielle Kartierung von Schotter, werden entsprechende Flächen in den nachfolgenden Klassifizierungsschritten als versiegelt kartiert.

Durch die räumliche Verzahnung der Materialien Eisen, Schotter, teilweise auch Holzschwel-

len ergibt sich eine tendenziell charakteristische Reflexion von Gleisschotter. Die Erfassung wird durch eine klassentypische spektrale Heterogenität erschwert. Insbesondere die Abgrenzung zu versiegelten Oberflächen wie Straßen ist nicht sicher möglich.

Um Fehlkartierungen zu vermeiden, erfolgt die Kartierung von Schotter ausschließlich innerhalb der Flächentyp-Kategorie

- „Bahnanlagen ohne Gleiskörper, Gleiskörper“.

Als Klassifizierungsverfahren wird das ISODATA-Clusterverfahren angewendet (unüberwachtes Verfahren). Es werden insgesamt 40 Spektralklassen ausgewiesen. Aus dieser Gesamtheit werden automatisiert solche Spektralklassen selektiert, die Gleisschotter erfassen. Hierzu werden die Referenzflächen für Gleisschotter (shape-Datei) der Klassifizierung überlagert und die Häufigkeitsverteilung der Spektralklassen auf diesen Flächen statistisch analysiert. Es werden solche ermittelt, die die Objektklasse „Gleisschotter“ repräsentieren. Es resultiert eine Binärmaske „Gleisschotter“ (Abbildung 12).

Zur Erhöhung der Erfassungsgenauigkeit werden neben den kartierten Gleisschotterflächen zusätzlich die oberirdischen Gleiskörper (vgl. Kap. 2.3) als Zusatzinformation in den Klassifizierungsprozess einbezogen (Kap. 4.2.5).

Umsetzung in ERDAS IMAGINE:

(Vergleiche mit Referenzflächen und Orthophotos)

1. Selektion der Flächentyp-Kategorie „Bahnanlagen ohne Gleiskörper, Gleiskörper“ (shape-Datei),
2. Start des SML-Modells „6\_spot\_gleise\_2011“ (s. Anhang; Ergebnis: maskierte SPOT5-Daten),
3. ISODATA-Klassifizierung der maskierten SPOT5-Daten (40 Spektralklassen),
4. Überlagerung der Klassifizierung mit Referenzflächen,
5. Automatisierte Selektion der Spektralklassen „Gleisschotter“,
6. Ableitung einer Maske „Gleisschotter“ (RECODE: 1, sonst 0),
7. Start des SML-Modells „7\_maskierung\_gleisschotter\_2011“ (s. Anhang; Ergebnis: verbesserte Binärmaske „Gleisschotter“)



Abbildung 12: Abgrenzung von Gleisschotter – Ausschnittvergrößerung

links: Orthophoto von 2004

rechts: Gleisschotter sowie Gleistrassen der K5 (Rot), Fehlkartierungen aufgrund von unscharfen Abgrenzungen des Flächentyps „Gleiskörper“ (Markierung)

#### 4.2.4.6 Kartierung „Kunstbeläge“

Im NDVI ist eine sichere Erkennung von vegetationsfreien Sportanlagen und Vegetationsflächen (Rasen) möglich. Im Rahmen der nachfolgenden regelbasierten Klassifizierung ist somit eine Zuweisung in versiegelte und unversiegelte Flächen gewährleistet. Die zuverlässige Abgrenzung der unterschiedlichen Kunstbeläge als vollständig versiegelte Oberflächen (Tartan, Kunstrasen usw.) ist jedoch nicht hinreichend genau möglich, da spektrale Überschneidungen mit unversiegelten Flächen wie z.B. Bracheflächen sowie (Gleis-)Schotter bestehen.

Zur Reduzierung von Fehlkartierungen erfolgt die Klassifizierung von Kunstbelägen ausschließlich innerhalb solcher Flächentypen, die ein konzentriertes flächiges Vorkommen dieser Klasse erwarten lassen. Für die Stratifizierung werden die Flächentyp-Kategorien

- „Sportanlagen“ sowie
- „Schulen“

ausgewählt.

Entsprechend maskierte SPOT5-Daten werden mittels ISODATA-Clustering klassifiziert. Die resultierenden Spektralklassen, die Kunstbeläge repräsentieren, werden in gleicher Weise ermittelt, wie dies bereits für Gleisschotter beschrieben ist. Geeignete Referenzflächen sind wiederum in einer Shape-Datei abgelegt und werden in der Versiegelungskartierung 2011 genutzt. Kleinstflächen werden als Fehlkartierungen eingestuft und eliminiert. Es resultiert eine Binärmaske „Kunstbelag“ (Abbildung 13).

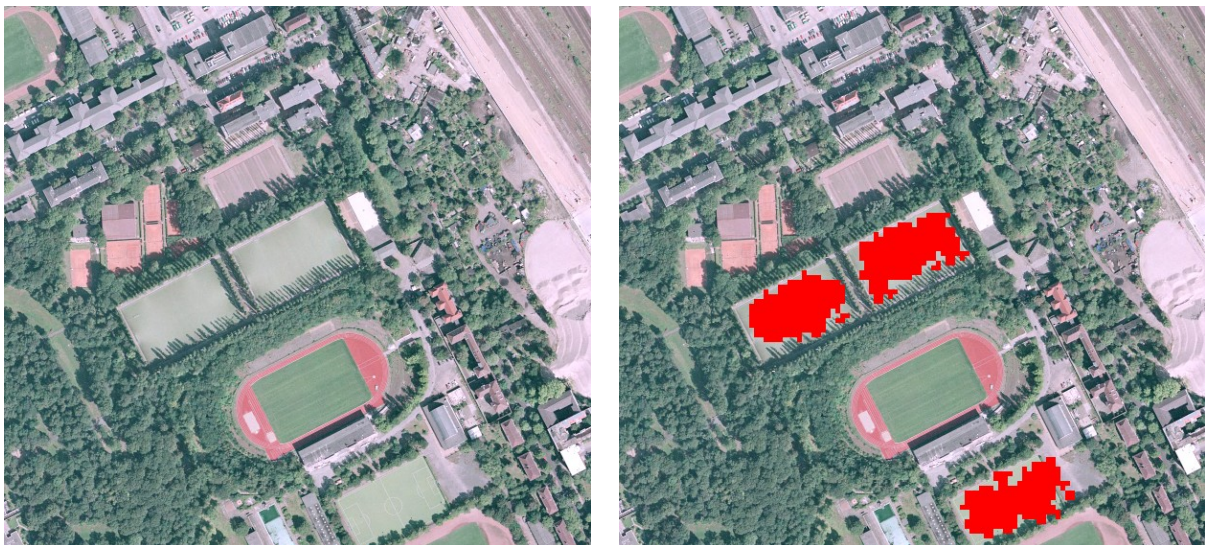


Abbildung 13: Abgrenzung von Kunstbelag – Ausschnittvergrößerung (2005)

Umsetzung in ERDAS IMAGINE:  
(Vergleiche mit Referenzflächen und Orthophotos)

1. Selektion der Flächentyp-Kategorien „Sportanlagen“, „Schulen“ (shape-Datei),
2. Start des SML-Modells „8\_sportschule\_2011var“ (s. Anhang; Ergebnis: maskierte SPOT5-Daten),
3. ISODATA-Klassifizierung der maskierten SPOT5-Daten (100 Spektralklassen),
4. Überlagerung der Klassifizierung mit Referenzflächen,
5. Automatisierte Selektion der Spektralklassen „Kunstbelag“,

6. Ableitung einer Maske „Kunstbelag“ (RECODE: 1, sonst 0),
7. CLUMP der ermittelten Pixel,
8. Automatisierte Eliminierung von Kleinstflächen (SIEVE, < 0,09 ha),
9. Ableitung einer Maske „Kunstbelag“.

#### 4.2.4.7 Eliminierung von Fehlkartierungen

Als Zwischenergebnisse der multispektralen Klassifizierung der Satellitenbilddaten resultieren 5 Teilkartierungen (Schatten, Gleisschotter, Sand, Asche / Tenne, Kunstbeläge) und der kategorisierte NDVI. Vor der weitergehenden regelbasierten Klassifizierung wird eine Plausibilitätsprüfung der Teilkartierungen vorgenommen. Grobe Fehlkartierungen werden dadurch eliminiert. Luftbilder und ISU-Daten werden für visuelle Vergleiche hinzugezogen.

Die Teilklassifizierungen werden getrennt voneinander bearbeitet. Erkannte Fehler werden am Bildschirm markiert und korrigiert. Für jede Klasse ergibt sich eine shape-Datei mit Korrekturpolygonen. Fehlkartierungen werden damit dokumentiert. Die Lokalisierung bekannter Problemflächen (z. B. Kohlehalden, offene Wasserflächen in Blockflächen, Parkplätze) unterstützt die Versiegelungskartierung 2011 und somit konnte der Verfahrensablauf beschleunigt werden.

Die häufigsten Fehlkartierungen sind in Tabelle 8 zusammengestellt.

Tabelle 8: Spektrale Teilklassifizierungen - häufigste Fehlkartierungen

Klasse	korrigierte Fehlkartierungen
Schatten	Gewässer* / Klärbecken / Schwimmbad, Kohlehalden, Flachdächer* (Bitumen), Gleiskörper
Sand / offener Boden	Beton (Parkplätze), Tragflughallen*, Asche, Baustellen*,
Gleisschotter	Asphalt (Straßen, Parkplätze)
Asche / Tenne	nicht erforderlich
Kunstbeläge	Beton (Parkplätze), Schotter

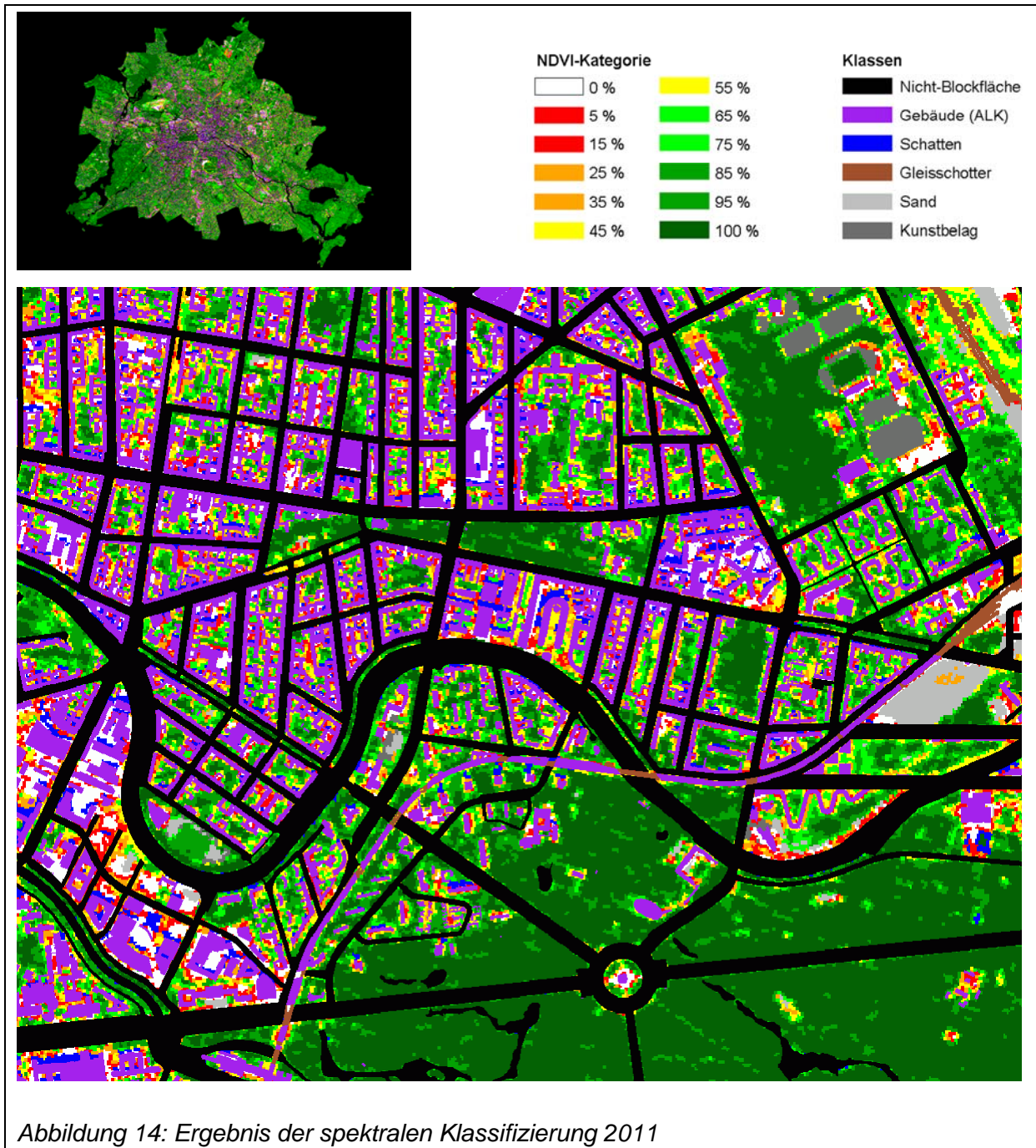
<sup>\*)</sup> Anmerkung: hierbei handelt es sich um Objekte, die anhand der verwendeten ALK- und ISU-Daten maskiert sein müssten. „Fehlkartierungen“ tragen im Einzelfall dazu bei, Aktualitätsdefizite bzw. Datenbankfehler aufzudecken.

#### 4.2.4.8 Ergebnis der spektralen Klassifizierung

Die korrigierten Teilklassifizierungen werden zu einem Datensatz zusammengeführt (SML-Modell), der die Grundlage für die nachfolgende regelbasierte Klassifizierung bildet. Abbildung 1 zeigt das Ergebnis der spektralen Klassifizierung.

Kartierte Sandflächen, Kunstbeläge sowie Gleisschotter überdecken die sonst flächigen Ausweisungen von Vegetationsgraden. Gebäudeinformationen der ALK werden integriert (bebaut versiegelt), sodass die Blockflächen vollständig klassifiziert sind. Die Klasse „Schatten“ bleibt von anderen Klassen weiterhin separiert. (Nach)Klassifizierungen entsprechender Bereiche erfolgen auf Blockebene (Kap. 4.3).





Umsetzung in ERDAS IMAGINE:

1. SML-Modell „30\_class1\_2011.gmd“ (s. Anhang; Ergebnis: Spektrale Gesamtklassifikation „CLASS1“).

#### 4.2.5 Regelbasierte Klassifizierung - Vorkartierung

In der regelbasierten Klassifizierung werden die Ergebnisse der spektralen Klassifizierung mit ISU-Daten (Flächentypen) verknüpft und Versiegelungsgrade auf Pixelebene abgeleitet. Hierzu wurde in der Hauptstudie in einem ersten Schritt ein einfaches Regelwerk festgelegt, dass zur Überführung der ausgewiesenen Objektklassen bzw. Vegetationsgrade notwendig ist. Die Ergebnisse der resultierenden (Vor-)Klassifizierung werden durch die Einbindung der ALK-Daten kontextbezogen nachklassifiziert: In einem zweiten Schritt werden, für ausge-

wählte Flächentypen, zur Reduzierung von Fehlzuweisungen aufgrund von Randeffekten unmittelbar Gebäude angrenzende Areale kontextbezogenen analysiert und die Versiegelungsgrade ggf. korrigiert.

Das Ergebnis dieser Auswertungsstufe resultiert aus der unveränderten Anwendung der 2005er Vorgehensweise auf die neue 2011er Szene. Es handelt sich um eine Vorkartierung. Um die Vergleichbarkeit von zwei monotemporal abgeleiteten regelbasierten Klassifizierungen hinsichtlich eines Monitoring der Versiegelung zu gewährleisten, wurden zusätzlich multitemporale Veränderungsanalysen der Satellitenbilddaten sowie Vergleichbarkeitsstudien der ISU-Blöcke/Flächentypen vorgenommen (Kap 4.2.6).

Einen schematischen Überblick gibt Abbildung 15.

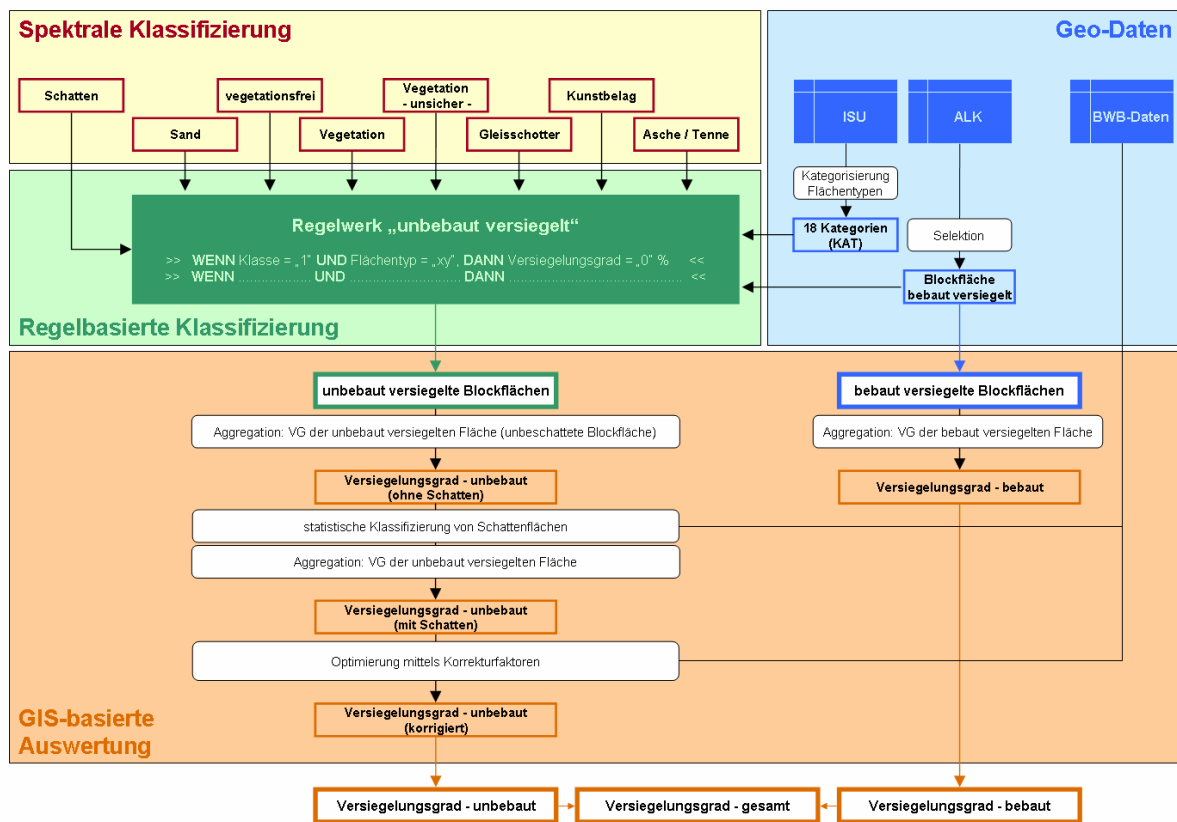


Abbildung 15: Schema der regelbasierten Klassifizierung

#### 4.2.5.1 Regelwerke

In einem ersten Schritt erfolgt die Zuweisung der Klassen und der NDVI-Kategorien zu Versiegelungsgraden (Kap. 4.2.5.1.1). Nachfolgend wird zur Reduzierung von Randeffekten eine Kontextanalyse der unbebauten Flächen vorgenommen, die unmittelbar an Gebäude angrenzen (Kap. 4.2.5.1.2).

##### 4.2.5.1.1 Zuweisung von Klassen zu Versiegelungsgraden

Die Grundlage für das Regelwerk bilden zwei Zuweisungsmatrizen, die eine pixelweise Zuweisung von Objektklassen und von NDVI-Kategorien (Vegetationsgrad) zu Versiegelungsgrad-Klassen festlegen. Hierfür werden Umrechnungsfaktoren eingeführt. Für Flächentypen, deren Charakteristika eine systematische Über- oder Unterschätzung des Versiegelungs-

grads im Satellitenbild bedingen, wird die Zuweisungsmatrix B angewendet. Auf alle übrigen Flächentypen wird die Zuweisungsmatrix A herangezogen. Für die Flächentyp-Kategorie „Flughafen“ wird eine spezielle Zuweisungsmatrix C verwendet (Tabelle 10).

### Objektklassen

Die Zuweisungen der Objektklassen gelten für alle Matrizen.

- Klasse „Schatten“:  
Schattenflächen werden erst nachträglich GIS-gestützt klassifiziert und bleiben hier ohne Zuordnung (Kap. 4.3).
- Klasse „Sand“:  
Sandflächen werden in den Flächentyp-Kategorien 5 - 17 kartiert. Der Versiegelungsgrad wird auf 0 % gesetzt. In anderen innerstädtischen Flächentypen werden flächige Vorkommen von offenem Boden bzw. Sandflächen als temporäre Baustellen eingestuft.
- Klasse „Asche / Tenne“:  
Die Kartierung von Asche- und Tennebelägen konzentriert sich auf die Flächentyp-Kategorien 14 und 15 („Schule“, „Sportstätten“). Der Versiegelungsgrad wird auf 100 % gesetzt.
- Klasse „Kunstbelag“:  
Flächiges Vorkommen wurde in den Flächentyp-Kategorien 14 und 15 kartiert. Der Versiegelungsgrad wird entsprechend der Einstufungen von SenStadtUm auf 100 % gesetzt.
- Klasse „Gleisschotter“:  
Der innerhalb der Flächentyp-Kategorie 16 erfasste Schotteranteil wird als unversiegelt (0 %) festgelegt. Optional können diese Areale aber auch als versiegelt (100 %) in weitergehenden Analysen eingehen.  
Neben den Teilergebnissen der Gleisschotter-Kartierung werden ergänzend die oberirdischen Gleiskörper der K5 als Rasterdaten der Klassifizierung überlagert (vgl. Kap. 2.3). Die Lokalisierung von Gleiskörpern ermöglicht Kontextanalysen, die zur lokalen Verbesserung der Schotterkartierung beitragen (geringer Vegetationsgrad, „Sand“). Die Klasse Gleisschotter wird als eigenständige Klasse beibehalten, sodass entsprechende Oberflächen in GIS-basierten Versiegelungsberechnungen optional als vollständig versiegelt oder vollständig unversiegelt einfließen können.

### NDVI-Kategorien

Eine zuverlässige Abgrenzung von vollständig vegetationsfreien und vollständig vegetationsbedeckten Flächen wird in den NDVI-Kategorien 1 und 12 (niedrigste bzw. höchste NDVI-Werte) erzielt. Entsprechende Schwellenwerte werden automatisiert mittels Referenzflächen abgeleitet.

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

Der Wertebereich zwischen den genannten NDVI-Grenzen ist mittels Intervallskalierung in weitere 10 NDVI-Kategorien „Vegetation - unsicher“ aufgesplittet (vgl. Kap. 4.2.4.2). Aufgrund der bereits erläuterten Mischpixel-Problematik müssen diese in Abhängigkeit von Flächentyp-Kategorien bzw. Flächentypen unterschiedlich interpretiert werden, um eine zuverlässige Zuordnung von Vegetations- und Versiegelungsgrad zu erreichen. Es werden daher insgesamt 3 Zuweisungsvarianten festgelegt (Tabelle 9). Für jede NDVI- und Versiegelungskategorie wird der mittlere Prozentwert als Umrechnungsfaktor festgelegt (5 %, 15 %, ..., 95 %).

Die iterative Verfahrensoptimierung beruft sich auf Empfehlungen aus der Konzept- und Hauptstudie, auf Auswertungsergebnisse von HAAG (2006) sowie auf Erkenntnisse aus Luftbildinterpretationen und Geländebegehungen ein.

Tabelle 9: Zuweisungsvarianten: Vegetationsgrad - Versiegelungsgrad

		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- gradkategorien	%	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>A</b>	Zuweisungs- variante
	%	100	95	85	75	65	55	45	35	25	15	5	0	<b>B</b>		
	%	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	<b>C</b>		

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

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

Einen Überblick der Gewichtungen gibt Tabelle 10.

## Anwendung und Anpassung des hybriden Verfahrens zur Versiegelungskartierung in Berlin

Tabelle 10: Gewichtungsfaktoren für das Regelwerk: Flächentyp-Kategorien (prozentualer Versiegelungsgrad)

Flächentyp-Kategorien *	Klassen	Schatten	Sand	Kunst- belag	Gleis- anlage	NDVI-Kategorien												Variante
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
dicht bebaute Kern-, Gewerbe- und Mischgebiete; Blockbebauung, Hinterhof	1		-	-	-	100	95	85	75	65	55	45	35	25	15	5	0	B
Blockrandbebauungen der Gründerzeit	2		-	-	-	100	95	85	75	65	55	45	35	25	15	5	0	B
Blockrandbebauungen der 20er/30er Jahre, Zeilenbebauung (ohne Plattenbausiedlung)	3		-	-	-	100	95	85	75	65	55	45	35	25	15	5	0	B
hohe Bebauung	4		-	-	-	100	95	85	75	65	55	45	35	25	15	5	0	B
niedrige und dörfliche Bebauung mit Gärten, Baumschule / Gartenbau, Wassersport	5		0	-	-	100	95	85	75	65	55	45	35	25	15	5	0	B
Verkehrsflächen, Stadtplatz / Promenade	6		0	-	-	100	95	85	75	65	55	45	35	25	15	5	0	B
Gemeinbedarf / Sondernutzung / Mischgebiet (ohne Verkehrsflächen)	7		0	-	-	100	95	85	75	65	55	45	35	25	15	5	0	B
Wald	8		0	-	-	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	A
Landwirtschaft	9		0	-	-	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	A
Grünanlage, Friedhof, Campingplatz	10		0	-	-	100	95	85	75	65	55	45	35	25	15	5	0	A
Kleingartenanlagen	11		0	-	-	100	95	85	75	65	55	45	35	25	15	5	0	B
Brachfläche	12		0	-	-	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	A
gering bebaute Flächen vorwiegend mit Gewerbe- / Industrienutzung	13		0	-	-	100	95	85	75	65	55	45	35	25	15	5	0	B
Schulen	14		0	100	-	100	95	85	75	65	55	45	35	25	15	5	0	B
Sportanlagen	15		0	100	-	100	95	85	75	65	55	45	35	25	15	5	0	B
Bahnanlagen ohne Gleiskörper, Gleiskörper	16		0	-	0 (100)**	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	A
Ver- / Entsorgung	17		0	-	-	100	95	85	75	65	55	45	35	25	15	5	0	B
Flughafen	18		-	-	-	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	C

\* Blöcke mit der Kennung „Baustelle“ werden von der Kartierung ausgeschlossen; \*\* optionale Gewichtung gemäß Vorgaben

#### 4.2.5.1.2 Reduzierung von Randeffekten

Die Gebäude der ALK entsprechen der bebaut versiegelten Fläche (Versiegelungsgrad: 100 %) und sind im Satellitenbild maskiert, sodass diese in der Satellitenbild gestützten Analyse der unbebauten Flächen nicht unmittelbar eingehen können. Dennoch können Gebäude indirekt die Klassifizierung der unbebauten Bereiche beeinflussen. Der Reflexionswert/Grauwert eines Pixels beruht auf dem integralen Signal des gesamten Bodenelementes eines Sensors (SPOT5: 10 m x 10 m). Bei Randpixeln werden sowohl Teile eines Gebäudes als auch andere Oberflächen- bzw. Objektarten der angrenzenden unbebauten Fläche in unterschiedlichsten Anteilen erfasst. Die daraus resultierenden Mischsignaturen können dazu führen, dass der Versiegelungsgrad entlang von Gebäuden überschätzt wird. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die Gebäudeumgebung unversiegelt ist und das Gebäude im Auswertungsprozess zudem als vollständig versiegelt in den Versiegelungsgrad der Blockfläche einfließt. Die quantitative Auswirkung dieses Einflusses auf die Kartierung des Versiegelungsgrads der Blöcke verringert sich mit abnehmender Pixelgröße. Es kann davon ausgegangen werden, dass innerhalb eines Saumes von ca. 50 % der Pixelbreite die stärkste Beeinträchtigung vorliegt. Bei der Verwendung von multispektralen SPOT5-Daten beträgt der maximale Abstand von Gebäuden folglich rund 5 m.

Zur Verbesserung der Kartierungsgenauigkeit erfolgt eine kontext-basierte Nachklassifizierung der unbebauten Flächen. Hierzu wird ein weiteres Regelwerk aufgestellt, um an Gebäude angrenzende Versiegelungswerte zu analysieren. Folgende Bearbeitungsschritte haben sich bewährt und sind vollständig automatisiert:

- **Ableitung einer Analysefläche:**  
Innerhalb der unbebauten Blockfläche wird ein Gebäude angrenzender Saum von rund 5 m Breite abgeleitet. Hierzu werden die gerasterten Gebäude der ALK verwendet. Innerhalb dieses Saumes erfolgt nachfolgend die Nachklassifizierung von potenziellen Randpixeln.
- **Filterung der Versiegelungskartierung:**  
Die Zwischenergebnisse der Vorkartierung werden einer Mittelwert-Filterung unterzogen. Unberücksichtigt bleiben Schattenbereiche. Die Filterung bezieht sich ausschließlich auf unbebaute Flächen (Fenstergröße: 15 m x 15 m).
- **Kontextanalyse:**  
Die Versiegelungswerte aus Vorkartierung und gefilterter Variante werden innerhalb der Analysefläche Pixel für Pixel verglichen. Zwei Fälle werden unterschieden:  
Wenn die Vorkartierung geringere oder gleiche Versiegelungswerte aufweist, wird das Ergebnis als zuverlässig eingestuft. In der gebäudefernen Umgebung (> 5 m) werden vergleichbare Versiegelungswerte ermittelt. Die Versiegelungsdaten fließen unverändert in das Endergebnis ein.  
Wenn die Vorkartierung höhere Werte aufweist, deutet dies auf einen Randeffekt hin. Innerhalb der unmittelbaren Umgebung dominieren geringere Versiegelungswerte. Die gefilterten Versiegelungsdaten fließen in das Endergebnis ein.

Die Kontextanalyse wird ausschließlich auf solche „grüne“ Flächentypen angewendet, die zwar locker bebaut bzw. durch einen hohen Durchgrünungsanteil charakterisiert sind, jedoch keine kleinflächig verzahnten Oberflächentypen aufweisen. Die Auswahl basiert auf Projekterfahrungen und den Erläuterungen der Flächentypen von der SENSTADTUM (2010). Insbesondere für dicht bebauten Areale wirken die Korrekturen nicht (z.B. Hinterhof), da keine hinreichend großflächige unbebaute Flächen vorkommen, die für die Mittelwert-Filterung erforderlich sind. Die Ergebnisse der Vorkartierung werden für solchen Typen nicht korrigiert und werden unverändert in das Endergebnis der Regelbasierten Klassifizierung übernommen.

Das Ergebnis dieser zweiten regelbasierten (Nach-)Klassifizierung bildet die Grundlage für die nachfolgenden GIS-gestützten Analysen auf Blockebene.

Tabelle 11: Regelbasierte Klassifizierung - Flächentypen für Nachklassifizierung

Ausgewählte Flächentypen für die Nachklassifizierung	
(9)	Großsiedlungen und Punkthochhäuser
(10)	Blockrandbebauung mit Großhöfen
(11)	Freie Zeilenbebauung mit landschaftlichem Siedlungsgrün
(21)	Dörfliche Mischbebauung
(22)	Reihen- und Doppelhäuser mit Garten
(23)	Freistehende Einfamilienhäuser mit Garten
(24)	Villen und Stadtvillen mit parkartigen Garten
(25)	Verdichtung in Einzelhausgebieten, Mischbebauung mit Gärten und halbprivater Umgrünung
(27)	Friedhof
(58)	Campingplatz
(59)	Wochenendhäuser
(72)	Parallele Zeilenbebauung mit architektonischem Zeilengrün
(73)	Geschosswohnungsbau der 1990er Jahre und jünger

#### 4.2.5.2 Zwischenergebnis der regelbasierten Klassifizierung

Das Zwischenergebnis der regelbasierten Klassifizierung der unbebauten Blockflächen 2011 zeigt Abbildung 16. Die unbebaut versiegelte Fläche wird in der Klassifizierung mit den 12 Versiegelungsgrad-Kategorien, einer Schatten-Klasse sowie einer Gleisschotter-Klasse beschrieben.

Diese Vorkartierung wird nachfolgend mit multitemporal aus den SPOT5-Daten abgeleiteten Verdachtsflächen „Veränderung“, unveränderten und veränderten Blöcken (vgl. Tabelle 6) sowie der regelbasierten Klassifizierung von 2005 zusammengeführt (Kap. 4.2.6).

Arbeitsschritte in ERDAS IMAGINE:

1. SML-Modell „31\_class2\_2011.gmd“ (s. Anhang; Ergebnis: Regelbasierte Klassifizierung, unkorrigiert).
2. SML-Modell „32\_class2mean\_2011.gmd“ (s. Anhang; Ergebnis: Kontext bezogene Mittelwertfilterung von class2 für Gebäude angrenzende Flächen).
3. SML-Modell „33\_class3\_2011.gmd“ (s. Anhang; Ergebnis: Regelbasierte Klassifizierung, Vorkartierung)

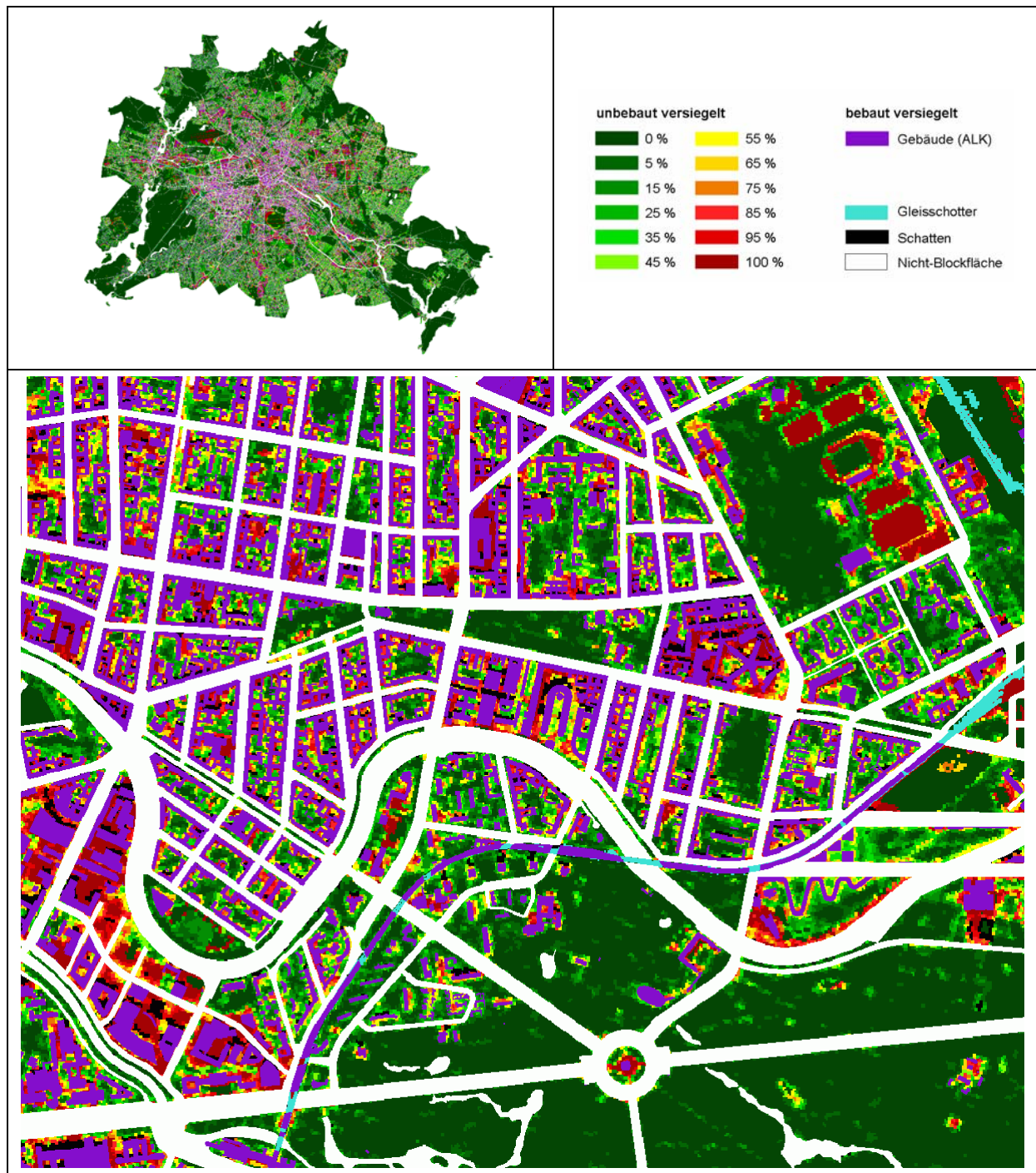


Abbildung 16: Zwischenergebnis der regelbasierten Klassifizierung 2011

#### 4.2.6 Modifizierung der regelbasierten Klassifizierung 2011

Das bestehende Verfahren der Versiegelungskartierung von 2005 wurde in einem ersten Bearbeitungsschritt für die Auswertungen der 2011er SPOT5-Daten angewendet. Als Zwischenergebnis liegen somit zwei getrennt voneinander erstellte spektrale und regelbasierte Klassifizierungen von 2005 und 2011 vor. Mit dem Ziel, verlässliche Angaben zu Veränderungen des Versiegelungsgrads auf Blockebene zu erhalten, sind diese Kartierungen miteinander sowie mit der aktuellen ISU-Blockkarte zu verknüpfen.

Hierbei sind mehrere Aspekte methodisch zu berücksichtigen:



- Erfassung von Veränderungsflächen und Eliminierung von Pseudo-Veränderungen mittels multitemporaler Veränderungskartierung (Kap. 4.2.6.1),
- Vergleichbarkeit der Blöcke hinsichtlich Geometrie und Flächentyp-Kategorie (Kap. 4.2.1.3).

Für die verlässliche Erfassung von Verdachtsflächen werden zum einen die vorhandenen Satellitenbilddaufnahmen von 2005 und 2011 für die unbebauten Flächen ausgewertet. Zum anderen werden die ALK-Daten hinsichtlich möglicher Veränderungen innerhalb der bebaut versiegelten Fläche geprüft.

Einen Überblick über die Ableitung des Ergebnisses der regelbasierten Klassifizierung gibt Abbildung 17.

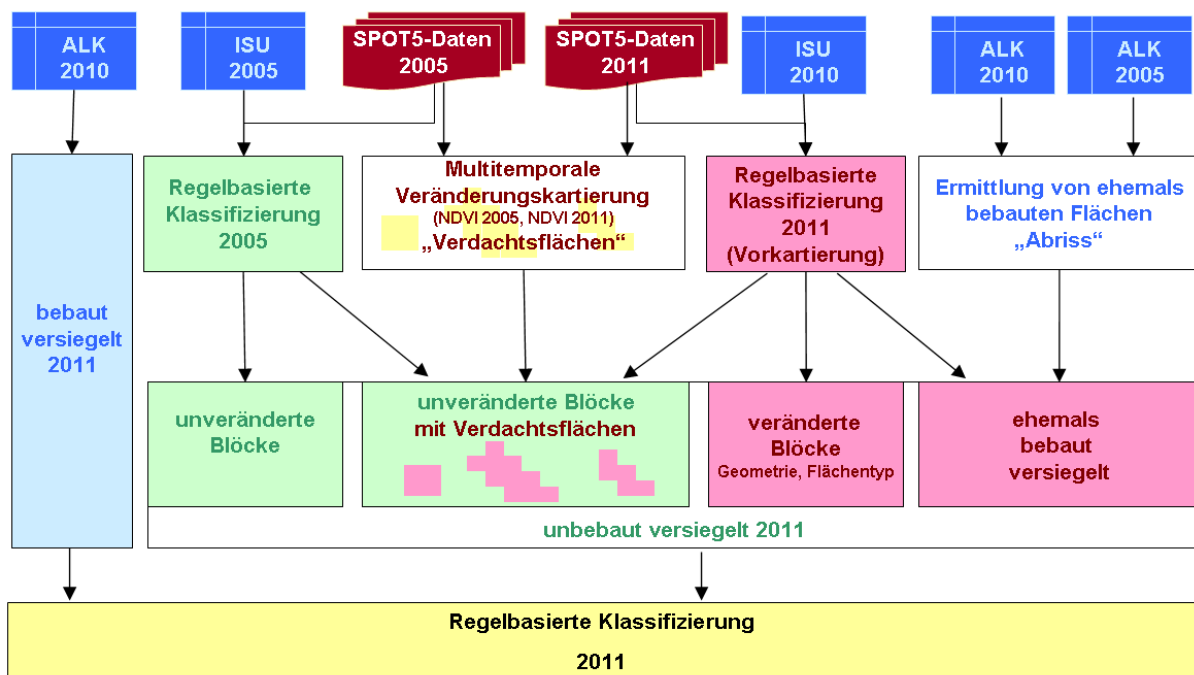


Abbildung 17: Schema der regelbasierten Klassifizierung 2011

#### 4.2.6.1 Multitemporale Veränderungskartierung

Zur Erfassung von Veränderungen erfordert der Vergleich von Satellitenbilddaufnahmen aus unterschiedlichen Jahren bzw. Jahreszeiten die besondere Beachtung von phänologischen Einflüssen. Die spektralen Reflexionen von vegetationsbedeckten Oberflächen können in Abhängigkeit von der Vegetationsentwicklung bzw. -vitalität variieren. Unveränderte Flächen werden folglich im Satellitenbild unterschiedlich abgebildet und können als sogenannte Pseudo-Veränderungen in automatisierten Auswertungen zu Fehlkartierungen führen. Radiometrische Korrekturen bzw. Szenenangleichungen können entsprechende Effekte zwar reduzieren aber nicht eliminieren.

In der vorliegenden Untersuchung trifft dieser Fall zu, da eine Mai- und eine Septemberszene analysiert werden. Ein direkter Vergleich der Kartierung von 2005 mit der (Vor-)Kartierung von 2011 ist daher nur bedingt möglich, da aufgrund der genannten phänologischen Effekte ein Anteil von Pseudo-Veränderungen zu erwarten ist.

Um diese Fehlerquelle zu minimieren, wurde ein neues Verfahren zur automatisierten Erfas-

sung von Verdachtsflächen „Veränderung des Versiegelungsgrades“ in den Auswertungsprozess integriert. Dies sieht einen direkten multitemporalen Vergleich der Satellitenbilder von 2005 und 2011 vor.

#### 4.2.6.1.1 Anwendung der Hauptkomponententransformation

Unter Verwendung des Verfahrens der Hauptkomponententransformation wurden die jeweiligen NDVI-Kanäle von 2005 und 2011 analysiert und Verdachtsflächen statistisch abgeleitet, die aufgrund ihrer NDVI-Werte auf mögliche Veränderungen der Versiegelung hinweisen. Alle übrigen Satellitenbildbereiche gelten nachfolgend als unverändert.

### **Das Verfahren**

Die Hauptkomponententransformation (auch *principal component analysis - PCA*) von Fernerkundungsdaten liefert synthetische Kanäle, deren Eigenschaften und Informationen in zahlreichen Untersuchungen für Veränderungskartierungen genutzt wurden (COENRADIE 2003, KLEINSCHMIT & COENRADIE 2005). Die Hauptkomponententransformation ist primär eine Methode zur Datenkompression von multivariaten Datensätzen mit dem Ziel, die Datenmenge unter Beibehaltung maximaler Informationsdichte zu reduzieren. Eine wichtige Voraussetzung für diesen Algorithmus ist die Unkorreliertheit der Hauptkomponenten (HK), die als neue Variablen aus den alten, mehr oder weniger stark korrelierten Variablen bzw. Datensätzen durch lineare Transformation hervorgehen.

Im Falle der mehrdimensionalen Grauwerte Verteilung von multispektralen Satellitenbilddaten liegt eine solche Korrelation vor (Dimensionalität = Kanalanzahl). Insbesondere zwischen Kanälen des sichtbaren Spektrums sind hohe Korrelationen festzustellen, die aber je nach Oberflächenbedeckungsart bzw. Objektart unterschiedlich stark ausgeprägt sind. Gleiches gilt aber auch für den Vergleich von Szenen unterschiedlicher Aufnahmezeitpunkte des gleichen Gebiets. Hierbei liegen in der Regel hohe Korrelationen zwischen gleichen Spektralkanälen oder Indices (z. B. NDVI) vor.

Zur Eliminierung bzw. Verringerung bestehender Korrelationen werden bei der Transformation die  $n$  Koordinatenachsen (hier:  $n$ -Kanäle und deren Grauwerte Verteilungen), die den Merkmalsraum der (Fernerkundungs-) Daten aufspannen, derart gedreht und orthogonalisiert, dass die gesamte Information in  $n$  neuen Variablen, den so genannten Hauptkomponenten enthalten ist. Im Rahmen der schrittweisen Extraktion der Hauptkomponenten wird zunächst jene Linearkombination ermittelt, deren Ausrichtung der maximalen Streuung bzw. Varianz von Merkmalskombinationen (hier: Grauwertkombinationen) im Merkmalsraum der Ausgangsdaten folgt - diese entspricht HK1. Wiederum in Richtung der größten verbleibenden Varianz wird HK2 ausgerichtet usw.. Da die Hauptkomponententransformation auf maximale Varianz ausgelegt ist, wird der Hauptanteil der Ausgangsinformationen in HK1 erklärt bzw. dargestellt. Der Anteil der Gesamtvarianz nimmt in den Hauptkomponenten höherer Ordnung drastisch ab.

Ausführliche Beschreibungen des statistischen Ansatzes sowie des Transformationsalgorithmus finden sich in den einschlägig bekannten Fernerkundungshandbüchern (u. a. HABERÄCKER 1991: 220ff, RICHARDS & JIA 1999: 133ff).

### **Die Anwendung**

Im vorliegenden Fall werden die NDVI-Kanäle der 2005er und 2011er SPOT-Szenen der Hauptkomponententransformation übergeben.

- Der weitaus größte Teil des Stadtgebiets ist hinsichtlich der Oberflächenbedeckungsart bzw. der Versiegelungseigenschaften unverändert, sodass für solche Areale vergleichbare Reflexionen bzw. Index-Werte zu erwarten sind. Identische Flächen werden im NDVI-Kanal jeweils mit ähnlich hohen oder mit ähnlich geringen Werten wiedergegeben.
- Veränderungen im Vegetationsbedeckungsgrad bzw. eine Veränderung der Oberflächenbeschaffenheit (u. a. Material) werden zumeist mit abweichenden, entgegengesetz-

ten NDVI-Werten lokalisiert. Höhere NDVI-Werte für 2005 und niedrigere NDVI-Werte für 2011 können Hinweise auf einen verringerten Vegetationsgrad sein. Niedrigere NDVI-Werte für 2005 und höhere NDVI-Werte für 2011 deuten auf einen erhöhten Anteil vitaler Vegetation hin.

- Geringfügige Veränderungen (heller, dunkler) können vielfach auf phänologische oder auf atmosphärische Einflüsse zurückgeführt werden.

Mittels Hauptkomponententransformation werden die stark korrelierten Ausgangsinformationen der NDVIs in zwei weitgehend redundanzfreien Kanälen wiedergegeben. Flächen mit Veränderungen der NDVI-Werte werden in HK2 abgebildet. Sehr helle oder sehr dunkle Bereiche lokalisieren Gebiete mit starken Veränderungen. Diese Bereiche sind mittels Schwellenwertverfahren separierbar. Geringfügige gleichgerichtete Unterschiede zwischen den NDVIs werden durch die Hauptkomponententransformation teilweise nivelliert, sodass ein Großteil der genannten Pseudo-Veränderungen nicht abgebildet wird.

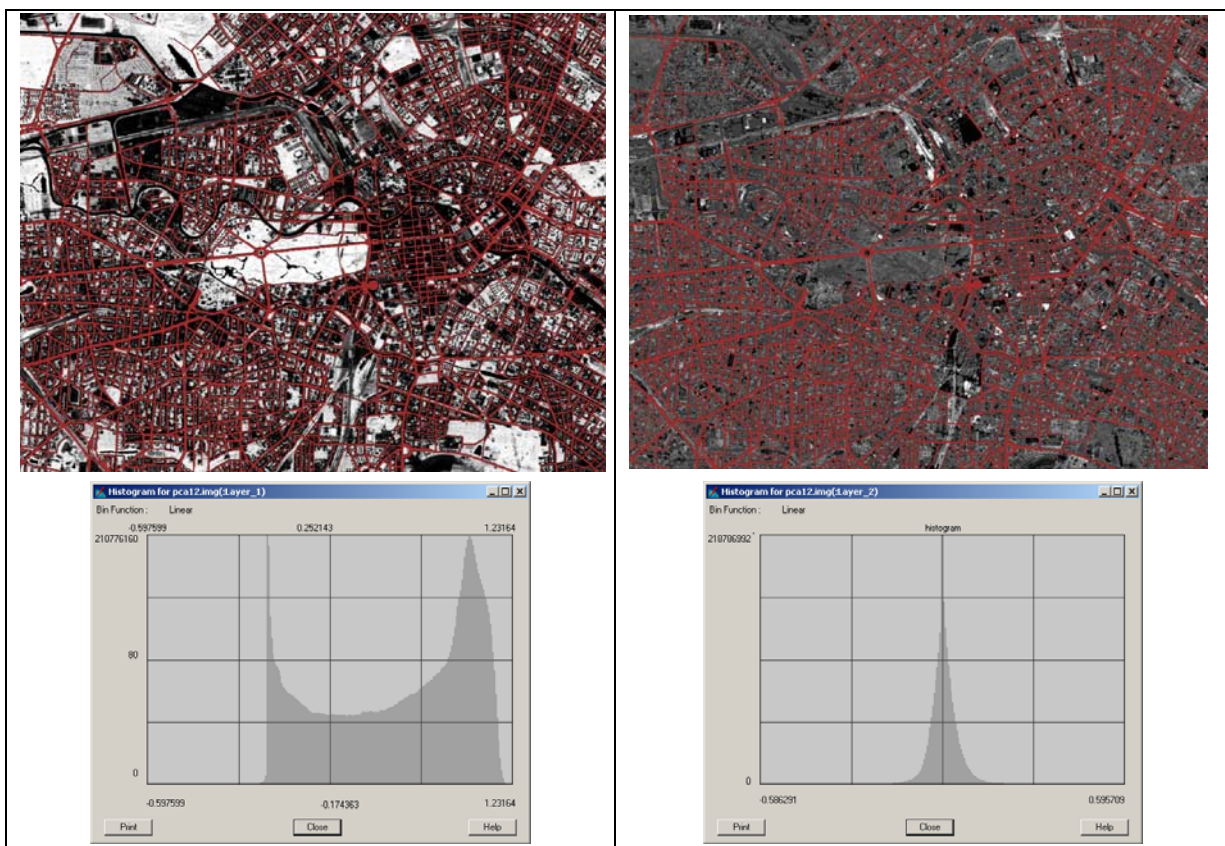


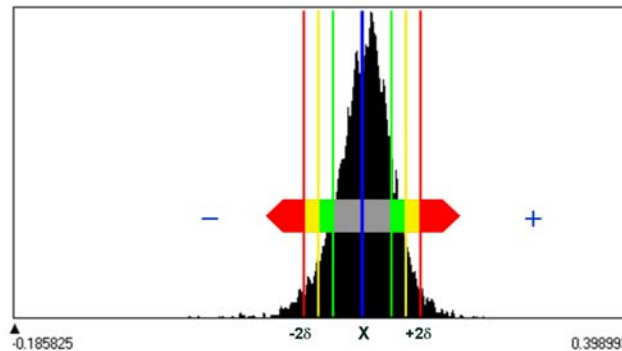
Abbildung 18: Erste und zweite Hauptkomponente der NDVI-Kanäle von 2005 und 2011

oben: HK1 (links), HK2 (rechts); braun: Nicht-Blockfläche  
unten: Histogramm von HK1 (links); Histogramm von HK2 (rechts)

Zur Separierung von potenziellen Veränderungsflächen innerhalb der Blockflächen erfolgt eine Kategorisierung von HK2. Hierzu wird Folgendes angenommen:

- Die Grauwerte der 2. HK sind nahezu normalverteilt: Für die meisten Bildelemente werden nur geringfügige oder keine Unterschiede ermittelt, sodass deren Informationen bzw. Grauwerte nur geringfügig vom arithmetischen Mittelwert abweichen.

Abbildung 19: Kategorisierung der 2. Hauptkomponente - das Prinzip (COENRADIE 2003)



- Veränderungsflächen werden von Bildelementen wiedergegeben, die mehr oder weniger starke Abweichungen vom Mittelwert aufweisen.
- Mit zunehmender Abweichung vom Mittelwert steigt die Wahrscheinlichkeit, dass es sich um Veränderungsflächen handelt.

Verdachtsflächen mit NDVI-Anstieg (2005 nach 2011) werden in helleren Graustufen, solche mit NDVI-Abfall in dunklen Graustufen wiedergegeben.

Auf der Basis der statistischen Standardabweichung wird eine Kategorisierung der HK2 festgelegt, die nach positiven und negativen Abweichungen unterscheidet (vgl. Abbildung 19). Als Schwellenwert für die Extraktion von Verdachtsflächen haben sich eine Standardabweichung von 2,0 (NDVI-Abfall) bzw. 1,5 (NDVI-Anstieg) bewährt.

Die Hauptkomponententransformation sowie die anschließende statistische Kategorisierung sind in einem SML-Modell vollständig automatisiert (s. Anhang, SML-Modell).

#### 4.2.6.1.2 Ergebnis der Verdachtsflächenkartierung

Da pixelgenaue Überlagerungen von zwei Satellitenaufnahmen nicht erreicht werden können, wurden die vorselektierten Flächen nach Mindestflächengrößen gefiltert. Ausgehend von den SPOT5-Ausgangsdaten mit einer Auflösung von 10 m x 10 m wurde diese Schwelle auf 200 m<sup>2</sup> (2 Pixel) festgelegt. Längliche Verdachtsflächen mit geringen Breiten (< 5 m) sind im SPOT5-Satellitenbild nicht erfassbar und werden als Fehlkartierungen mittels Filterungen eliminiert.

Zudem konzentrieren sich großflächige Verdachtsflächen wegen starker NDVI-Unterschiede auf landwirtschaftliche Flächen. Diese landnutzungsbedingten Fehlkartierungen sind nicht vermeidbar und werden automatisiert eliminiert (maximale Flächengröße: bis 1,5 ha). Ähnlich verhält es sich mit großen Bracheflächen, wenn deren Vegetationsvitalität stark variiert. Im Bereich von Sportflächen und Grünanlagen wird eine maximale Flächengröße bis 2 ha zugelassen.

Nach einem abschließenden selektiven Abgleich mit Orthofotos (Landwirtschaft, Wald, Grünanlagen, Brache) liegt das Ergebnis der Verdachtsflächenkartierung vor.



Abbildung 20: Verdachtsflächen „Veränderung der Versiegelung“ - Ausschnitt

Rot: Verdachtsfläche „Zunahme der unbebaut versiegelten Fläche  
Grün: Verdachtsfläche „Zunahme der bebaut versiegelten Fläche  
Hintergrund: HK2, Nicht-Blockfläche (Braun)

Arbeitsschritte in ERDAS IMAGINE:

1. SML-Modell „c1\_ndvi\_multi\_alk2011.gmd“ (s. Anhang; Ergebnis: zusammengeführte, maskierte NDVI-Kanäle).
2. SML-Modell „c2\_pca\_ndvi\_multi.gmd“ (s. Anhang; Ergebnis: Hauptkomponenten, Verdachtsflächen „Veränderung“, Zwischenergebnis).
3. Überprüfung der Verdachtsflächen (Ergebnis: Shape mit markierten Fehlkartierungen)
4. SML-Modell „c3kat\_ndvi\_abfall\_sel1“, „c3kat\_ndvi\_anstieg\_sel1“, „pca\_ndvi\_multi.gmd“ (s. Anhang; Ergebnis: Selektion nach Flächengrößen/KAT).

#### 4.2.6.1.3 Verdachtsflächen der ehemals bebauten Blockflächen

Der Vergleich der ALK-Gebäude von 2005 und 2011 ergibt Unterschiede der bebaut versiegelten Flächen. Es werden drei Kategorien gebildet: „bebaut versiegelt, unverändert“, „ehemals bebaut versiegelt“, „neue bebaut versiegelte Fläche“. Die ehemaligen bebauten Flächen werden als Veränderungsflächen im Auswertungsprozess der 2011er Satellitenbilddaten

ten eingebunden (s. Abbildung 17).

Arbeitsschritte in ERDAS IMAGINE:

1. SML-Modell „c0\_alk\_gebaude.gmd“ (s. Anhang; Ergebnis: Flächen ehemaliger Gebäude).

#### **4.2.6.2 Plausibilitätsprüfung der Vorkartierung**

Abschließend wurden die regelbasierte Klassifizierung von 2005 sowie die regelbasierte Vorkartierung von 2011 miteinander verknüpft. Hierzu wurden die zuvor ermittelten Verdachtsflächen aus multispektraler Satellitenbildanalyse und ALK-Überprüfung sowie die hinsichtlich ihrer Vergleichbarkeit geprüften Blöcke genutzt (s. Anhang, SML-Modell):

- Übernahme der ALK-Gebäude von 2011:  
Die ALK-Gebäude beschreiben die bebaut versiegelte Fläche.
- Übernahme der Kartierungsergebnisse von 2005:  
Blöcke sind geometrisch unverändert und es liegt kein Wechsel der Flächentyp-Kategorien vor. Der multitemporale Vergleich ergibt keine Verdachtsfläche „Veränderung“.
- Übernahme der Vorkartierungsergebnisse von 2011:
  - Blöcke sind geometrisch unverändert und es liegt kein Wechsel der Flächentyp-Kategorien vor. Im multitemporalen Satellitenbildvergleich werden Verdachtsflächen ermittelt (vgl. Kap. 4.2.6.1).  
Innerhalb der Verdachtflächensegmente wird die aktuelle 2011er Kartierung verwendet, für die restliche unveränderte Blockfläche wird die 2005er Kartierung übernommen.
  - Blöcke sind geometrisch erheblich verändert (Blockteilung oder Blockflächenabweichung  $\geq 10\%$ ), sodass ein Vergleich nicht möglich ist (vgl. Tabelle 6 und Kap. 5.1).
  - Für den Block wird ein Wechsel der Flächentyp-Kategorien festgestellt, der eine veränderte regelbasierte Ableitung des Versiegelungsgrads beinhaltet (vgl. Kap. 4.2.1.3).  
Um Pseudo-Veränderungen zu vermeiden, ist ein Vergleich nicht zulässig, wenn einerseits nur eine Korrektur des Flächentyps vorgenommen wurde (vgl. Kap. 5.2) oder andererseits nicht zugleich auch Verdachtsflächen ermittelt werden.
  - Für den Block wird ein Wechsel der Flächentypen mit Einfluss auf den Korrekturfaktor (bei Flächentypen 21 bis 25, vgl. Kap. 2.5) festgestellt, der eine veränderte regelbasierte Ableitung des Versiegelungsgrads beinhaltet.

#### **4.2.6.3 Ergebnis der regelbasierten Klassifizierung 2011**

Das Ergebnis der regelbasierten Klassifizierung der unbebauten Blockflächen 2011 entspricht zugleich dem Endergebnis der Satellitenbildklassifizierung. Die unbebaut versiegelte Fläche wird in der Klassifizierung mit den 12 Versiegelungsgrad-Kategorien, einer Schatten-Klasse sowie einer Gleisschotter-Klasse beschrieben.

In Abbildung 16 ist das Ergebnis der Satellitenbilddauswertung und die Kartierungsergebnisse der bebaut versiegelten Flächen dargestellt.

Die pixelweise Auswertung wird abschließend GIS-basiert analysiert und Aussagen auf Blockebene abgeleitet (Kap. 4.3). Es werden Korrekturfaktoren eingeführt für Flächentypen mit systematischen Ober- oder Unterschätzungen des Versiegelungsgrads (Kap. 4.2.5). Einen schematischen Überblick gibt Abbildung 15.

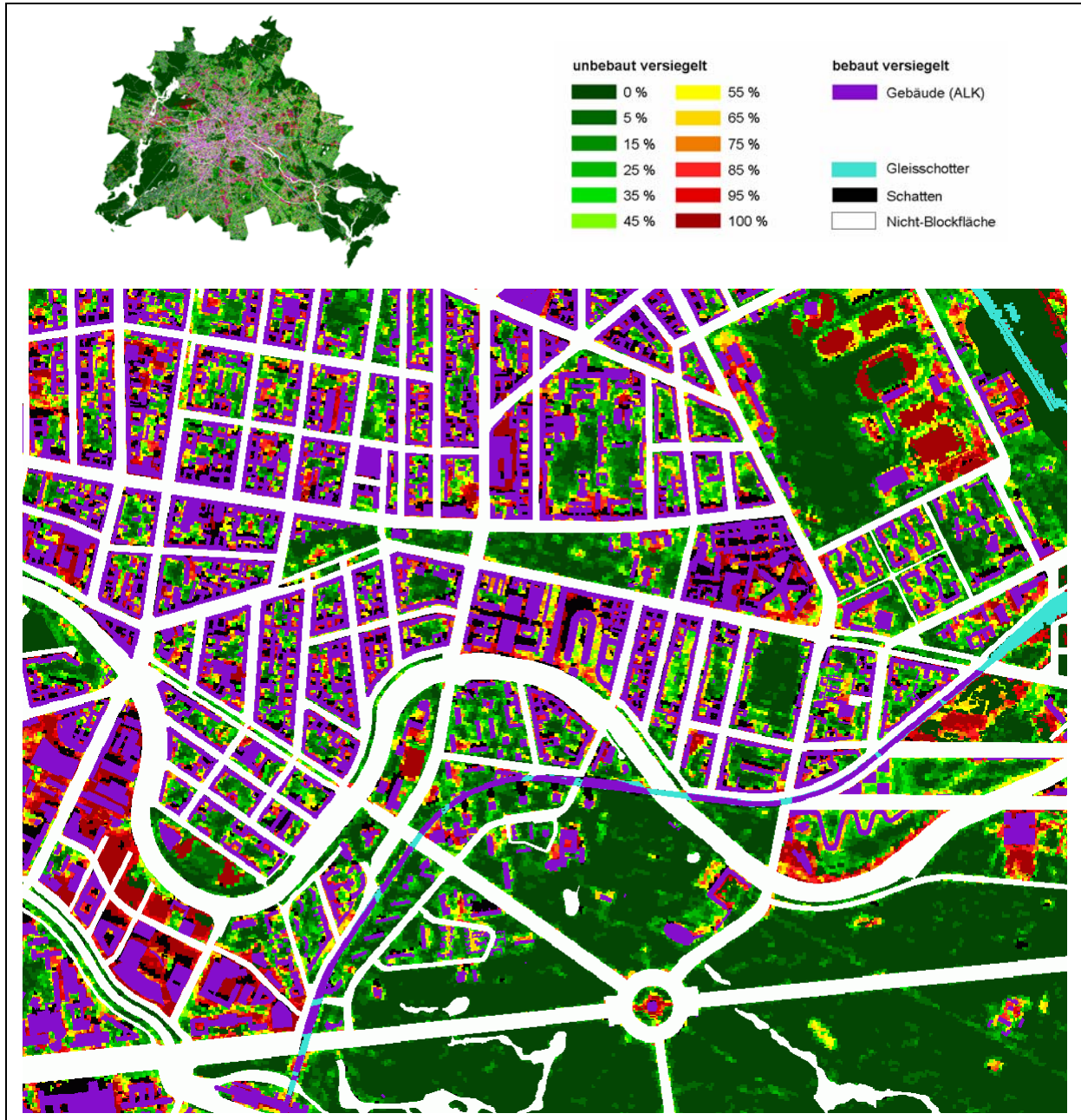


Abbildung 21: Ergebnis der regelbasierten Klassifizierung 2011

### 4.3 Berechnung der Versiegelungsgrade

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

- VG - bebaut versiegelte Fläche (Berechnung aus ALK-Daten, vgl. Kap. 4.1),
- VG - unbebaut versiegelte Fläche (Satellitenbilddatenauswertung, vgl. Kap. 4.2),
- VG - gesamt (Summe aus oberen).

Für die Berechnungen werden die Ergebnisse der pixelbasierten Satellitenbildklassifizierung mit den Teil- und Hauptblöcken des ISU verschnitten.

Hierzu wird zunächst eine Summierung je Versiegelungsklasse und Blockfläche durchgeführt und die Flächenangaben in einer shape-Datei und einer dazugehörigen dbf-Datei abgelegt (ArcGIS, ERDAS IMAGINE - Vektormodul). Für weiterführende Analysen kann somit auf die Rasterdaten der Klassifizierung verzichtet werden.

Für die abschließenden Berechnungen wird die dbf-Datei in Microsoft ACCESS importiert und die Ergebnisse im YADE-GIS ausgeprägt.

#### 4.3.1 Ablauf

Nach der Aggregation der Satellitenbilddatenauswertung auf die Blockstruktur des ISU liegen für jeden Block und Teilblock insgesamt 16 Flächenangaben vor (m<sup>2</sup>):

- bebaute Fläche (aus der ALK),
- 12 Versiegelungsgrad-Kategorien der unbebauten Fläche (VALUE\_0 - VALUE\_100),
- Flächen mit Gleisschotter (optional 0 oder 100 % versiegelt),
- Schattenfläche (unklassifiziert) und
- Nicht-Blockflächen.

Zur weiteren Verbesserung der Kartierungsergebnisse werden mehrere Zusatzberechnungen vorgenommen. Die Versiegelung auf den von der Satellitenbilddatenauswertung schwer erfassbaren Schattenflächen sowie den von Bäumen überdeckten Flächen werden durch den Einsatz einer speziellen umgebungsorientierten Schattenbewertung und sog. Korrekturfaktoren beurteilt. Zusätzlich können die Gleisschotterflächen in Abhängigkeit der Fragestellung zu 0 oder 100 % versiegelt in die Berechnung eingehen.

Die Versiegelungsberechnung gliedert sich in folgende Bearbeitungsschritte:

- Optionale Zuweisung des Versiegelungswerts (0 % oder 100 %) für „Gleisschotter“ in Abhängigkeit der Fragestellung (Kap. 4.3.2),
- Berechnung von Versiegelungswerten für Blöcke ohne Berücksichtigung von Schattenflächen (Kap. 4.3.3),
- Klassifizierung der Schattenflächen (Kap. 4.3.4),
- Abschätzung der bebauten und der unbebaut versiegelten Fläche in der Flächentyp-Kategorie „Kleingartenanlagen“ (Kap. 4.3.5),
- Einführung von Korrekturfaktoren (Kap. 4.3.6),
- Neuberechnung der Versiegelungsgrade unter Einbindung von Korrekturfaktoren (Kap. 4.3.7).

*Anmerkung:*

*Die im ISU ausgewiesenen Baustellen laufen bei der Berechnung bis zum Ende mit, werden aber aus der Gesamtbetrachtung und Verifizierung herausgehalten.*



*Es wird eine zusätzliche Klasse „Nicht-Blockfläche“ ausgewiesen. Hierbei handelt es sich um Pixel, die bei der Aggregation als nicht klassifizierte Bereiche innerhalb der Blöcke erfasst werden. Dies ist zurückzuführen auf die Verschnidung der Rasterdaten und der Vektorgeometrie der ISU5-Blockstruktur. Nicht-Blockflächen bleiben in den statistischen Auswertungen der Versiegelungskartierung unberücksichtigt und werden für die Berechnung der Versiegelungsgrade von der Gesamtfläche des Blocks abgezogen.*

#### **4.3.2 Optionale Zuweisung des Versiegelungswerts für Gleisschotter**

Da die Klasse „Gleisschotter“ in der shape-Datei als eigenes Datenfeld mitgeführt wird, kann diese wahlweise als unbebaut versiegelte oder unbebaut unversiegelte Fläche in die Berechnungen einfließen. Dies gewährleistet die unterschiedliche Bewertung von Schotter in Abhängigkeit von der jeweiligen thematischen Fragestellung.

Im Rahmen dieser Versiegelungskartierung werden zwei Datensätze erstellt, in denen Gleisschotter als unbebaut versiegelte Fläche bzw. als unbebaut unversiegelte Fläche kategorisiert wird und so entsprechend in die Flächenberechnungen eingeht. In den Datenbestand der Verifizierung geht Gleisschotter als unversiegelte Fläche ein. In der Ergebniskarte geht er dagegen als 100 % versiegelt ein.

#### **4.3.3 Berechnung von Versiegelungswerten für Blöcke ohne Berücksichtigung von Schattenflächen**

Die Flächenangaben der bebauten und damit vollständig versiegelten Fläche muss nicht weiter bearbeitet werden (VALUE\_102). Die Flächen der 12 Versiegelungsgrad-Kategorien der unbebauten Fläche müssen entsprechend ihrer mittleren Versiegelungsgrade gewichtet werden. Die Flächen der Klasse VALUE\_00 sind unversiegelt (Gewichtungsfaktor 0.0), die der Klasse VALUE\_100 sind vollständig versiegelt (Gewichtungsfaktor 1.0). Entsprechend werden die Zwischenstufen VALUE\_05 bis VALUE\_95 mit ihrem jeweiligen Prozentsatz als versiegelt gewichtet. Die Berechnung des Versiegelungsgrades erfolgt nach dem Schlüssel in Tabelle 12.

Die absolute Gesamtversiegelung summiert sich aus der bebaut versiegelten und unbebaut versiegelten Flächen. Zur Ableitung des Versiegelungsgrades wird die unversiegelte Fläche hinzugerechnet (VALUE\_00). Die daraus resultierende Bezugsflächengröße weicht von der jeweiligen Gesamtblockfläche ab, da Schattenbereiche (s. o.) in dieser ersten Berechnung ausgespart bleiben.

Ein Berechnungsbeispiel für einen Block zeigt Tabelle 15.

Tabelle 12: Berechnung der Versiegelungsfläche je Block

Klasse	Fläche [m <sup>2</sup> ]	x	Gewichtung [1.00 = 100 %]
bebaut versiegelt	VALUE_102	x	1.00
unbebaut unversiegelt	VALUE_00	x	0.00
unbebaut versiegelt	VALUE_05	x	0.05
	+ VALUE_15	x	0.15
	+ VALUE_25	x	0.25
	+ VALUE_35	x	0.35
	+ VALUE_45	x	0.45
	+ VALUE_55	x	0.55
	+ VALUE_65	x	0.65
	+ VALUE_75	x	0.75
	+ VALUE_85	x	0.85
	+ VALUE_95	x	0.95
	+ VALUE_100	x	1.00
Gleisschotter	VALUE_110	x	0.00/1.00
Schatten	VALUE_101		-
Baustellen	VALUE_104		-
Nicht-Blockfläche	VALUE_103		-

#### 4.3.4 Klassifizierung der Schattenflächen

Innerhalb von Schattenflächen sind mit multispektralen Satellitenbilddaten keine Differenzierungen von Versiegelungen möglich. Jedoch können ohne Berücksichtigung dieser Flächen erhebliche Fehlbewertungen der Versiegelung eintreten. Deshalb werden die Schattenflächen in der spektralen und regelbasierten Klassifizierung abgegrenzt und erst in der abschließenden Berechnung behandelt.

Es wird ein Lösungsansatz vorgenommen, der eine nachträgliche Klassifizierung der Schattenflächen anhand der ISU-Daten bzw. der BWB-Daten auf Blockebene vorsieht.

Dabei werden die Schattenflächen in Abhängigkeit des Flächentyps bewertet. Für Flächentypen mit überwiegender Wohnnutzung und ausreichenden BWB-Daten werden letztere für die Klassifizierung der Schattenfläche genutzt (Kap. 4.3.4.2). Für alle übrigen Flächentypen wird die Schattenfläche anhand ihrer blockspezifischen Umgebung klassifiziert (Kap. 4.3.4.1).

##### 4.3.4.1 Umgebungsbezogene blockspezifische Klassifizierung

Die umgebungsbezogene blockspezifische Klassifizierung der Schattenflächen basieren auf folgender Grundidee und Annahmen:

- Innerhalb der unbebauten Blockfläche entsprechen die Oberflächenbedeckungsarten und -anteile der beschatteten Bereiche tendenziell denen ihrer unbeschatteten Umgebung.
- Innerhalb der unbebauten Blockfläche entspricht der Versiegelungsgrad der beschatteten Bereiche tendenziell dem ihrer unbeschatteten Umgebung.
- Schattenbereiche werden nachbarschaftsbezogen klassifiziert, indem sie mit dem mittleren Versiegelungsgrad der unbeschatteten Blockfläche gewichtet werden.

Dem Schattenanteil einer dicht bebauten und versiegelten Fläche wird beispielsweise ein

höherer Versiegelungsgrad zugewiesen, als dem einer lockeren Bebauung mit Gärten.

Folgende Klassifizierungsvarianten von Schattenflächen werden unterschieden:

- *Klassifizierung anhand von Versiegelungswerten des einzelnen Blocks:*  
Ist die unbebaute unbeschattete Blockfläche größer 1.000 m<sup>2</sup> (Erfahrungswert), ist eine zuverlässige Ermittlung des Versiegelungsgrades möglich. Die Gewichtung der Schattenfläche erfolgt mit dem individuellen Versiegelungswert für den jeweiligen Block.
- *Klassifizierung anhand von durchschnittlichen Versiegelungswerten der Flächentyp-Kategorie:*  
Ist die unbebaute unbeschattete Blockfläche kleiner 1.000 m<sup>2</sup>, wird der durchschnittliche Versiegelungsgrad der unbebauten Fläche der Flächentyp-Kategorie für die Berechnung genutzt. Eine zuverlässige Ableitung auf Ebene des Einzelblocks ist nicht möglich.

#### 4.3.4.2 Blockspezifische Klassifizierung anhand von BWB-Daten

Für Flächentypen mit überwiegend dichter Wohnnutzung und ausreichenden BWB-Daten werden diese für die Klassifizierung der Schattenflächen genutzt. Die dichte Bebauung bedingt einen großen Schattenflächenanteil der unbebauten Fläche pro Block. Beispielsweise hat der Flächentyp „Hinterhof“ (1) im Satellitenbild einen hohen Schattenanteil. Hier greift der Ansatz der umgebungsbezogenen blockspezifischen Klassifizierung nicht. In diesen Bereichen sind die BWB-Daten sehr genau und bieten daher eine genauere Bewertung der Schattenfläche.

Die dritte Klassifizierungsvariante von Schattenflächen wird daher wie folgt definiert:

- *Klassifizierung anhand von Versiegelungswerten der BWB-Daten:*  
Schattenflächen in Blöcken der Flächentypen 1, 2, 6, 8, 9 oder 10 werden mit dem mittleren Versiegelungswert der BWB-Daten des jeweiligen Flächentyps gewichtet.

Es werden die in der Hauptstudie ermittelten durchschnittlichen Versiegelungswerte aus den BWB-Daten übernommen (Tabelle 13).

Tabelle 13: Mittlerer Versiegelungsgrad der unbebauten, unbeschatteten Blockflächen je Flächentyp aus den BWB-Daten

Flächentyp (TYP)		Versiegelung der unbebauten, unbeschatteten Fläche [%]
1	Dichte Blockbebauung, geschlossener Hinterhof	47,4
2	Geschlossene Blockbebauung, Hinterhof	47,3
6	Mischbebauung, halboffener und offener Schuppenhof	32,3
8	Heterogene, innerstädtische Mischbebauung, Lückenschluss nach 1945	43,8
9	Großsiedlungen und Punkthochhäuser	25,5
10	Blockrandbebauung mit Großhöfen	20,8

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

Die Versiegelungsdaten weisen für die Kategorie „Kleingartenanlagen“ (11) meist nur den Gesamtversiegelungsgrad auf. Da in der aktuellen ALK keine Gartenhäuser/-lauben kartiert sind, werden die Gebäude in dieser Kategorie aus der Versiegelungskartierung 2005 schon in der spektralen Klassifizierung übernommen. Da auch in der ALK von 2005 die Gebäude in Kleingärten nur unzureichend vorhanden waren, kann nur selten die unbebaut versiegelte von der bebaut versiegelten Fläche differenziert werden. So wird in der Satellitenbilddauswertung

tung praktisch der Gesamtversiegelungsgrad ermittelt (vgl. Kap. 2.2).

Aufgrund der neuen Kartieranleitung der ALK, die die Erfassung von Gartenhäusern/-lauben ausschließt ist auch zukünftig keine bessere Unterscheidung zwischen der bebaut und unbebaut versiegelten Fläche möglich. Für die vorliegende Versiegelungskartierung wird die Differenzierung der bebaut und unbebaut versiegelten Fläche mittels Durchschnittswerten der SenStadtUm, Abteilung I C - Kleingartenwesen, nachgezogen.

Die SenStadtUm geht getrennt nach dem West- und Ostteil der Stadt von den in Tabelle 14 aufgelisteten Durchschnittswerten aus.

Die Daten in der Tabelle 14 bestehen teilweise aus Vorgaben des Bundeskleingartengesetzes (BKleingG) sowie aus Verwaltungsvorschriften der SenStadtUm. Die übrigen Angaben sind durchschnittliche Werte der realen Versiegelung in den Kleingartenanlagen, bedingt durch die früheren DDR-Regelungen getrennt nach dem West- und Ostteil der Stadt (WIMMER 2006). Dadurch ergibt die Summe der Versiegelungswerte der bebaut und unbebaut versiegelten Flächen nicht die Gesamtversiegelung.

Tabelle 14: Durchschnittswerte von Kleingartenanlagen in Berlin

Durchschnittswerte	Westteil der Stadt	Ostteil der Stadt
Parzellengröße (m <sup>2</sup> )	250**	350
Größe der Gartenlaube (m <sup>2</sup> )	24*	30
Gesamtversiegelung (m <sup>2</sup> )	40	50
Gesamtversiegelung (%)	16,0	14,2
Bebaut versiegelte Fläche (%)	9,6**	8,6**
Unbebaut versiegelte Fläche (%)	6,0**	6,0**

\* Vorgabe laut § 3 BKleingG; \*\* Vorgabe laut Verwaltungsvorschriften der SenStadtUm, Abteilung I C

Für die vorliegende Versiegelungskartierung sind nur die Werte der bebaut versiegelten Fläche von Bedeutung. Die Versiegelungsgrade der Blöcke, die in die Kategorie „Kleingartenanlagen“ fallen, werden getrennt nach West und Ost weiter bearbeitet. Die vermeintlich unbebaut versiegelte Fläche wird mit den Werten 9,6 % bzw. 8,6 % (Westteil, Ostteil) in die bebaut und die unbebaut versiegelte Fläche aufgeteilt. Die bebaut versiegelte Fläche muss anschließend zu der bebauten Blockfläche aus der ALK addiert werden. Abschließend kann dann der Gesamtversiegelungsgrad neu berechnet werden.

Der Gesamtversiegelungsgrad für Kleingartenanlagen berechnet sich wie folgt:

$$\begin{aligned}
 \text{Gesamtversiegelung}_{\text{West}} &= \left( \frac{\text{Vers}_{\text{RSGeo}} \times 9,6}{100} \right) + \text{Vers}_{\text{ALK}} + \left( \frac{\text{Vers}_{\text{RSGeo}} \times (100 - 9,6)}{100} \right) \\
 &\quad \text{bebaut versiegelte Fläche} \quad + \text{unbebaut versiegelte Fläche}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Gesamtversiegelung}_{\text{Ost}} &= \left( \frac{\text{Vers}_{\text{RSGeo}} \times 8,6}{100} \right) + \text{Vers}_{\text{ALK}} + \left( \frac{\text{Vers}_{\text{RSGeo}} \times (100 - 8,6)}{100} \right) \\
 &\quad \text{bebaut versiegelte Fläche} \quad + \text{unbebaut versiegelte Fläche}
 \end{aligned}$$

$Vers_{RSGeo} =$  Versiegelung der unbebauten Fläche, undifferenziert,  
 $Vers_{ALK} =$  Versiegelung der bebauten Fläche aus der ALK.

#### 4.3.6 Anwendung von Korrekturfaktoren

Zur weiteren Verbesserung der Kartierungsergebnisse werden sog. Korrekturfaktoren angewendet. Hierzu wurden in der Hauptstudie aktuelle Versiegelungsdaten der BWB herangezogen (vgl. Kap. 2.5), die in aggregierter Form Flächenangaben über die unbebaut versiegelte Blockfläche liefern. Dies eröffnet die Möglichkeit eines blockweisen Vergleichs mit den Klassifizierungsergebnissen. Für jeden Flächentyp, für den stadtweit ausreichend BWB-Daten vorliegen, wird das Verhältnis zwischen Klassifizierungsergebnis und Referenzwert je Blockfläche ermittelt. Handelt es sich um eine gleichgerichtete systematische Überschätzung oder Unterschätzung des Versiegelungsgrades, wird das Verhältnis als Korrekturfaktor in das Regelwerk eingebunden.

Das Prinzip der Flächentyp bezogenen Korrekturen basiert auf folgenden begründeten Annahmen:

- die BWB-Daten sind gegenwärtig 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 Versiegelungsbewertungen einiger Nutzungstypen von den BWB können nur für wenige Flächentypen Korrekturfaktoren berechnet werden (vgl. Kap. 2.5).

Für die Flächentypen „Dörfliche Mischbebauung (21)“, „Reihen- und Doppelhäuser mit Garten (22)“, „Freistehende Einfamilienhäuser mit Garten (23)“, „Villen und Stadtvillen mit parkartigem Garten (24)“ sowie „Verdichtung in Einzelhausgebieten, Mischbebauung mit Gärten und halbprivate Umgrünung (25)“ werden die in der Hauptstudie ermittelten Korrekturfaktoren (vgl. Tabelle 1) angewendet. Der Korrekturfaktor für den Flächentyp „Offene Siedlungsbauung (26)“ wird nicht mehr benötigt, da dieser Flächentyp im Zuge der ISU-Aktualisierung aufgelöst wurde.

#### 4.3.7 Neuberechnung der Versiegelungsgrade

Es erfolgt eine Neuberechnung der Versiegelungswerte, in der die klassifizierten Schattenbereiche, die Berechnungen der Sonderfalls „Kleingartenanlagen“ sowie die Korrekturfaktoren einfließen. Das Ergebnis bildet zugleich das Endergebnis des hybriden Klassifizierungsansatzes zur Versiegelungskartierung.

Tabelle 15: Beispiel für Berechnung von Versiegelungswerten (Block 1901650311000000)

Klasse	Gewichtungsfaktor	Versiegelungswerte [m <sup>2</sup> ]		
		Gesamtfläche	davon versiegelt	davon unversiegelt
unbebaut				
VALUE_0	0.0	1.493,75	-	1.493,75
VALUE_5	0.05	2.550,00	127,50	2.422,50
VALUE_15	0.15	2.812,50	421,88	2.390,62
VALUE_25	0.25	2.200,00	550,00	1.650,00
VALUE_35	0.35	1.706,25	597,19	1.109,06
VALUE_45	0.45	843,75	379,69	464,06
VALUE_55	0.55	262,50	144,38	118,12
VALUE_65	0.65	137,50	89,38	48,12
VALUE_75	0.75	56,25	42,19	14,06
VALUE_85	0.85	-	-	-
VALUE_95	0.95	-	-	-
VALUE_100	1.00	-	-	-
Bebauung	1.00	2.412,50	2.412,50	-
Gleisschotter	0.00	-	-	-
Schattenfläche	0,1625	293,75	<b>47,73</b>	<b>246,02</b>
„Nicht-Blockfläche“		125,00		
Versiegelungswerte ohne Schatten				
Gesamtfläche [m <sup>2</sup> ]		14.475,00		
unbebaut versiegelt [m <sup>2</sup> ]			2.352,21	
bebaut versiegelt [m <sup>2</sup> ]	1.00		2.412,50	
Gesamtversiegelung [m <sup>2</sup> ]			4.764,71	
unversiegelte Fläche [m <sup>2</sup> ]				9.710,29
unbebaut versiegelt [%]			16,25	
bebaut versiegelt [%]			16,67	
Gesamtversiegelung [%]			32,92	
Versiegelungswerte mit Schatten				
Gesamtfläche [m <sup>2</sup> ]		14.768,75		
unbebaut versiegelt [m <sup>2</sup> ]			<b>2.399,94</b>	
bebaut versiegelt [m <sup>2</sup> ]			2.412,50	
Gesamtversiegelung [m <sup>2</sup> ]			<b>4.812,44</b>	
unversiegelte Fläche [m <sup>2</sup> ]				<b>9.956,31</b>
unbebaut versiegelt [%]			<b>16,25</b>	
bebaut versiegelt [%]			16,34	
Gesamtversiegelung [%]			32,59	
Versiegelungswerte mit Korrekturfaktor				
Korrekturfaktor [%]			<b>0,65</b>	
Gesamtfläche [m <sup>2</sup> ]		14.768,75		
unbebaut versiegelt [m <sup>2</sup> ]			<b>1.559,96</b>	
bebaut versiegelt [m <sup>2</sup> ]			2.412,50	
Gesamtversiegelung [m <sup>2</sup> ]			<b>3.972,46</b>	
unversiegelte Fläche [m <sup>2</sup> ]				<b>9.956,31</b>
unbebaut versiegelt [%]			<b>10,56</b>	
bebaut versiegelt [%]			16,34	
Gesamtversiegelung [%]			<b>26,90</b>	

Beispiel:

Tabelle 15 zeigt die Berechnung der Versiegelungsgrade ohne und mit der Schattenfläche sowie ohne und mit der Anwendung der Korrekturfaktors aus den BWB-Daten für den Block 1901650311000000 von 2005. Da der Block vom Flächentyp "Freistehende Einfamilienhäuser mit Garten" (23) eine unbebaute Fläche größer 1.000 m<sup>2</sup> besitzt, wird die Versiegelung der unbebauten Schattenfläche so bewertet, wie die restliche unbebaute Fläche mit 16,25 %. Des Weiteren wird auf diesen Block wegen seines Flächentyps ein Korrekturfaktor angewendet. Der Korrekturfaktor beträgt für den Flächentyp 23 0,65, der auf die Versiegelung der unbebauten Fläche angewendet wird. Der Beispielblock hat somit am Ende der Berechnung einen Versiegelungsgrad der Gesamtfläche von 26,90 %, der bebauten Fläche von 10,56 % und der unbebauten Fläche von 16,34 %.

### 4.3.8 Ergebnis der Versiegelungskartierung

Für jeden Block liegen nun absolute und prozentuale Flächenangaben über die

- Gesamtversiegelung (Satellitenbilddauswertung + ALK),
- die bebaut versiegelte Fläche (ALK) und
- die unbebaut versiegelte Fläche

vor (Tabelle 16).

Tabelle 16: Mittlere Versiegelungsgrade pro Flächentyp – Gesamt 2011

	Flächentypen	versiegelte Flächen						Block- fläche [ha]	Block- anzahl
		gesamt		bebaut		unbebaut			
		[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]	[%]		
1	Dichte Blockbebauung, geschlossener Hinterhof, 5 - 6-geschossig	213	84,5	156	62,0	57	22,5	252	179
2	Geschlossene Blockbebauung, Hinterhof, 5-geschossig	1.409	77,0	941	51,5	467	25,5	1.830	1.083
3	Geschlossene und halboffene Blockbebauung, Schmuck- und Gartenhof, 4-geschossig	516	64,0	318	39,5	198	24,5	806	510
6	Mischbebauung, halboffener und offener Schuppenhof, 2 - 4-geschossig	129	61,7	72	34,6	57	27,2	209	114
7	Entkernte Blockrandbebauung, Lückenschluss nach 1945	508	65,1	309	39,6	199	25,5	779	431
8	Heterogene, innerstädtische Mischbebauung, Lückenschluss nach 1945	90	65,9	52	38,4	38	27,5	137	56
9	Großsiedlungen und Punkthochhäuser, 4 - 11-geschossig	1.066	45,5	479	20,4	588	25,1	2.342	673
10	Blockrandbebauung mit Großhöfen (1920-1940er), 3 - 5-geschossig	467	54,7	298	34,9	169	19,8	853	595
11	Freie Zeilenbebauung mit landschaftlichem Siedlungsgrün (1950-1970er), 3 - 6-geschossig	1.010	40,6	526	21,2	484	19,5	2.484	850
12	Altbau-Schule (Baujahr vor 1945)	169	53,1	81	25,3	89	27,8	319	186
13	Neubau-Schule (Baujahr nach 1945)	488	49,8	209	21,3	280	28,5	981	404
16	Sportanlagen, ungedeckt	615	34,0	112	6,2	503	27,8	1.812	486
17	Sportanlagen, gedeckt	47	48,4	22	22,4	25	26,0	97	52
21	Dörfliche Mischbebauung	146	33,9	77	17,8	69	16,1	431	121
22	Reihen- und Doppelhäuser mit Garten	459	30,9	269	18,1	190	12,8	1.485	844
23	Freistehende Einfamilienhäuser mit Garten	2.771	28,9	1.633	17,0	1.138	11,9	9.598	4.658
24	Villen und Stadtvillen mit parkartigem Garten	461	31,2	278	18,9	182	12,4	1.476	666
25	Verdichtung in Einzelhausgebieten, Mischbebauung mit Gärten und halbprivater Umgrünung	328	35,0	196	20,9	132	14,1	935	352
27	Friedhof	92	8,0	15	1,3	77	6,8	1.147	187
29	Kerngebiet	387	81,9	239	50,6	148	31,3	473	284
30	Gewerbe- und Industriegebiet, großflächiger Einzelhandel, geringe Bebauung	3.052	65,1	1.161	24,8	1.891	40,3	4.687	1.052
31	Gewerbe- und Industriegebiet, großflächiger Einzelhandel, dichte Bebauung	757	86,0	407	46,2	350	39,8	880	194
32	Flächen der Ver- und Entsorgung	284	45,9	87	14,1	197	31,8	620	120
33	Mischgebiet ohne Wohngebietscharakter, geringe Bebauung	246	61,6	113	28,4	133	33,3	399	147
36	Baumschule / Gartenbau	74	23,2	21	6,6	53	16,6	319	91
37	Kleingartenanlage	763	22,7	207	6,1	557	16,5	3.369	774

	Flächentypen 2010	versiegelte Flächen						Block- fläche	Block- anzahl
		gesamt		bebaut		unbebaut			
		[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]	
38	Mischgebiet ohne Wohngebiets- charakter, dichte Bebauung	43	78,2	25	45,4	18	32,7	55	22
41	Sicherheit und Ordnung	252	39,8	95	15,0	157	24,8	633	93
43	Verwaltung	251	55,8	127	28,4	123	27,4	449	186
44	Hochschule und Forschung	218	46,1	106	22,4	112	23,7	472	105
45	Kultur	120	49,3	51	20,7	70	28,6	244	86
46	Krankenhaus	311	37,6	162	19,5	150	18,1	828	116
47	Kindertagesstätte	127	35,8	51	14,5	76	21,4	355	246
49	Kirche	40	38,6	18	17,1	22	21,5	104	115
51	Sonstige Jugendeinrichtungen	39	16,5	14	6,1	24	10,4	234	68
53	Park / Grünfläche	305	10,7	25	0,9	281	9,8	2.862	1.190
54	Stadtplatz / Promenade	25	37,9	1	2,0	24	35,9	66	106
55	Wald	44	0,3	14	0,1	30	0,2	16.629	2.796
56	Landwirtschaft	6	0,2	4	0,1	2	0,1	3.386	375
57	Brachfläche	29	0,8	12	0,3	17	0,5	3.595	940
58	Campingplatz	8	11,7	1	1,1	7	10,5	68	19
59	Wochenendhäuser und Kleingarten- ähnliche Gebiete	203	26,2	66	8,5	137	17,6	776	243
60	Sonstige und heterogene Gemeinbedarfs- und Sondergebiete	195	35,9	78	14,3	117	21,6	543	143
72	Parallele Zeilenbebauung mit architektonischem Zeilengrün (1920-1930er), 3-5-geschossig	348	44,6	206	26,4	142	18,2	779	370
73	Geschosswohnungsbau der 1990er Jahre und jünger	288	56,0	139	27,1	149	28,9	515	324
91	Parkplatz	115	53,9	10	4,8	105	49,0	214	220
92	Bahnhof und Bahnanlage ohne Gleiskörper*	194	45,4	39	9,1	155	36,3	428	264
93	Flughafen	140	31,7	17	3,8	123	28,0	440	40
94	sonstige Verkehrsflächen	195	51,4	27	7,2	168	44,2	380	561
99	Gleiskörper*	563	43,6	9	0,7	554	42,9	1.291	557
<b>Summe ohne Gewässer und ohne Straßen</b>		<b>20.606</b>	<b>27,8</b>	<b>9.574</b>	<b>12,9</b>	<b>11.032</b>	<b>14,9</b>	<b>74.067</b>	<b>24.294</b>
100	Gewässer							5.397	667
<b>Summe mit Gewässer ohne Straßen</b>		<b>20.606</b>	<b>25,9</b>	<b>9.574</b>	<b>12,0</b>	<b>11.032</b>	<b>13,9</b>	<b>79.464</b>	<b>24.961</b>
<b>Straßen**</b>		<b>8.584</b>				<b>8.584</b>	<b>89,1</b>	<b>9.630</b>	
<b>Summe ohne Gewässer mit Straßen</b>		<b>29.190</b>	<b>34,9</b>	<b>9.574</b>	<b>11,4</b>	<b>19.616</b>	<b>23,4</b>	<b>83.697</b>	<b>24.294</b>
<b>Summe Berlin mit Gewässer und Straßen</b>		<b>29.190</b>	<b>32,8</b>	<b>9.574</b>	<b>10,7</b>	<b>19.616</b>	<b>22,0</b>	<b>89.094</b>	<b>24.961</b>

\*Gleisschotter geht in diese Berechnung als versiegelt ein

\*\* Die Versiegelung der Straßen wurde auf der Grundlage von durchschnittlichen Versiegelungsgraden pro Bezirk (23) berechnet. Es wurden die Zahlen von 2006 (GERSTENBERG & GOECKE 2011) verwendet.

Das Ergebnis der Versiegelungskartierung zeigt Abbildung 22. Dargestellt ist exemplarisch die Gesamtversiegelung der Blöcke.



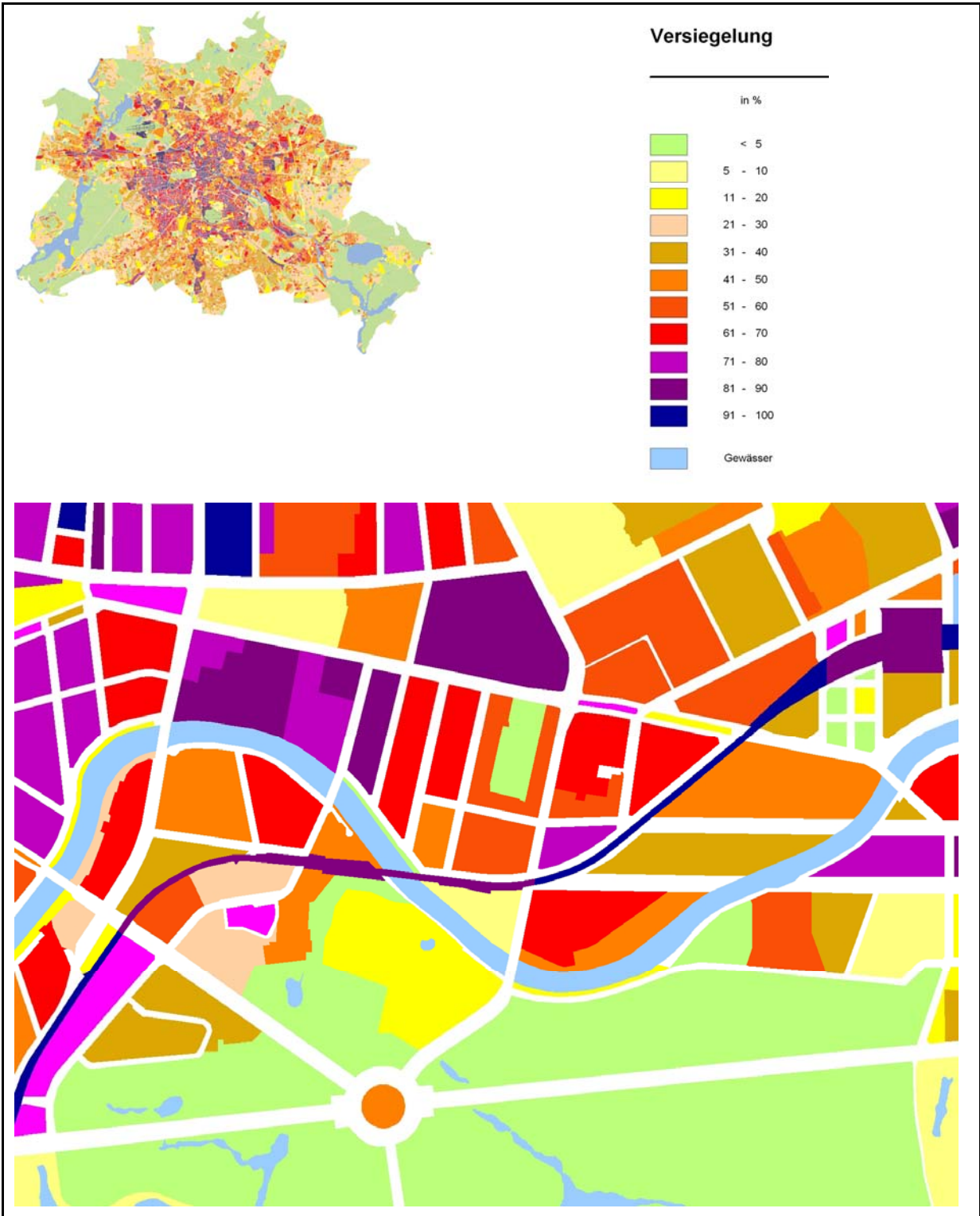


Abbildung 22: Ergebnis der Versiegelungskartierung – Gesamtversiegelung  
Ausschnitt

## 5 Veränderungskartierung 2005 - 2011

Mit Hilfe des angepassten hybriden Verfahrens zur Versiegelungskartierung von Berlin wurde für das Jahr 2011 ein homogener, aktueller Datensatz der Gesamtversiegelung sowie der bebaut bzw. unbebaut versiegelten Fläche erstellt. Auf Grundlage dieser zwei Datensätze – von 2005 und 2011 –, die mit demselben Verfahren erhoben wurden, lassen sich im Folgenden einerseits die Gesamtversiegelungsgrade miteinander vergleichen und andererseits ist eine Veränderungskartierung möglich (Kap. 5.5) möglich.

Zunächst wird die regelbasierte Klassifizierung auf Pixelbasis von 2005 auf die Geometrie der aktuellen ISU 2010 aggregiert.

Im Zuge der Aktualisierung des ISU 2010 wurden neben einigen Blockgeometrien die Flächennutzung und Stadtstruktur überarbeitet (SENSTADTUM 2010). Dabei wurden nicht nur neue Flächennutzungen aktualisiert sondern auch fehlerhafte Flächennutzungen korrigiert. Die unterschiedlichen Flächennutzungen können im Verfahren der regelbasierten Klassifizierung bei der gleichen spektralen Information zu unterschiedlichen Versiegelungsgraden führen. In einem weiteren Schritt musste deshalb bei einer Auswahl von Flächen am Bildschirm überprüft werden, ob eine tatsächliche Nutzungsänderung oder lediglich eine Korrektur vorgenommen wurde.

Abschließend wird eine Veränderungskartierung und –analyse vorgenommen.

### 5.1 Kartierung der Versiegelung 2005 auf Geometrie der ISU 2010

Die Ergebnisse der regelbasierten Klassifizierung von 2005 werden auf die Blöcke der aktuellen ISU (Stand: 31.12.2010) aggregiert und der Versiegelungsgrad pro Block berechnet. Hierbei werden die Regeln zur Schattenbetrachtung und Korrekturfaktoranwendung anhand der Flächentypen von 2005 durchgeführt. Die Berechnung der Versiegelung 2005 erfolgt zweimal: Gleisschotter geht einerseits als unbebaut versiegelte Fläche und andererseits als unbebaut unversiegelte Fläche in die Berechnung ein. Für die anschließende Veränderungskartierung wird der Datensatz verwendet, in den Gleisschotter zu 100 % versiegelt eingegangen ist.

Aufgrund der zwischen dem Stand 31.12.2005 und 31.12.2010 geometrisch veränderten Blöcke ist der berechnete Versiegelungsgrad nicht in allen Blöcken zu verwenden. Abbildung 23 zeigt anhand von zwei Beispielen, wie sich die geometrischen Veränderungen auf die weitere Bearbeitung auswirken. Die so genannte Nichtblockfläche (in den mittleren Abbildungen weiß) wurde 2005 nicht ausgewertet. Bei einer Verschneidung mit den neuen Blöcken werden diese weißen Flächen jedoch mit einberechnet. Der so berechnete Versiegelungsgrad stimmt nicht mit der Realität überein. Blöcke mit einer Nichtblockfläche 2005 > 10 % werden daher markiert und von der Veränderungskartierung ausgeschlossen (244 von insgesamt 24.294 Blöcken, 1 %, Abbildung 24). Diese Blöcke sind in den rechts dargestellten Abbildungen farbig markiert, der Flächenanteil der Nichtblockfläche 2005 ist angegeben. Bei Blöcken mit einer Nichtblockfläche 2005 < 10 % wird davon ausgegangen, dass der berechnete Versiegelungsgrad auch auf die nicht ausgewertete Blockfläche zutrifft (siehe z. B. den Block des Bundeskanzleramts).

Abschließend zeigt die Abbildung 25 ein Beispiel von geometrisch veränderten Blöcken und deren Auswirkung auf den Versiegelungsgrad 2005. Die Blöcke der ISU 2010 mit dem Versiegelungsgrad von 2005 werden für die Veränderungskartierung genutzt.

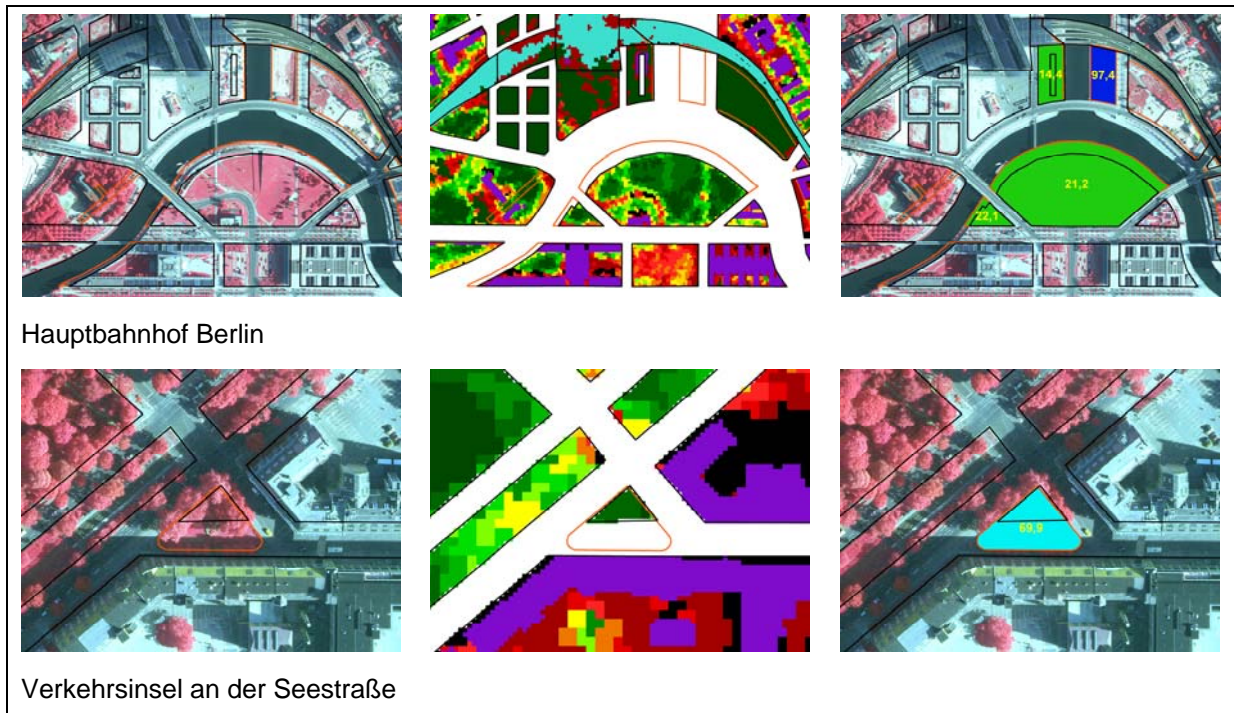


Abbildung 23: Geometrisch veränderte Blöcke und deren Bearbeitung in der Veränderungskartierung

links: Luftbild 2010, CIR; schwarz - Blöcke ISU 2005, orange - Blöcke ISU 2010  
 Mitte: regelbasierte Klassifikation von 2005; schwarz - Blöcke ISU 2005, orange - Blöcke ISU 2010  
 rechts: Luftbild 2010, CIR; farbig markierte Blöcke mit einem 2005 nicht ausgewerteten Anteil > 10 % der Blockfläche



Abbildung 24: Verteilung der geometrisch veränderten Blöcke mit einem Nichtblockflächenanteil 2005 > 10 %

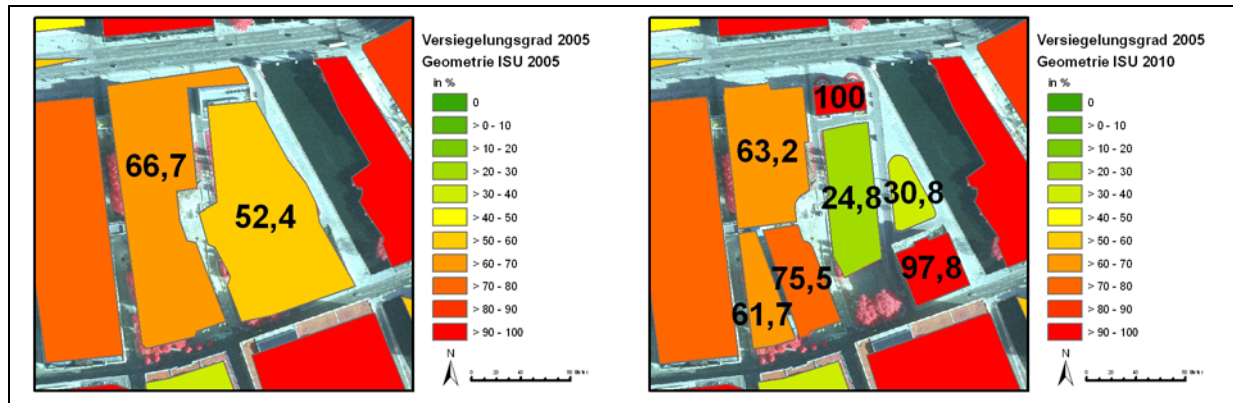


Abbildung 25: Geometrisch veränderte Blöcke und die Auswirkung auf den Versiegelungsgrad von 2005

links: Versiegelungsgrad 2005 (%) auf der ISU 2005, Hintergrund Luftbild 2010, CIR  
rechts: Versiegelungsgrad 2005 (%) auf der ISU 2010, Hintergrund Luftbild 2010, CIR

## 5.2 Auswirkungen der Aktualisierung der ISU 2010 auf die Veränderungskartierung

Im Zuge der Aktualisierung des ISU 2010 wurden neben einigen Blockgeometrien die Flächennutzung und die Stadtstruktur überarbeitet (SENSTADTUM 2010). Dabei wurden nicht nur neue Flächennutzungen aktualisiert sondern auch fehlerhafte Flächennutzungen korrigiert. Diese Unterscheidung wurde leider nicht dokumentiert, sodass für die Versiegelungskartierung 1.116 Blöcke am Bildschirm kontrolliert werden mussten.

Die unterschiedlichen Flächennutzungen können im Verfahren der regelbasierten Klassifizierung bei der gleichen spektralen Information zu unterschiedlichen Versiegelungsgraden führen (vgl. Abbildung 26). Die gelben Polygone stellen Blöcke dar, bei denen eine Korrektur der Flächentypen bei gleicher Nutzung stattgefunden hat. Die unteren Bilder in Abbildung 26 zeigen, wie sich diese Korrektur auf die Versiegelungsmethodik auswirkt. Z.B. hatte der Block rechts im Bild 2005 den Flächentyp „Brachfläche“ und wurde mit der NDVI-Gewichtungsfaktor Variante A bearbeitet, während der korrigierte Flächentyp „Geschosswohnungsbau der 1990er Jahre und jünger“ 2010 mit der NDVI-Gewichtungsfaktor Variante B bearbeitet wird (vgl. Tabelle 10). In einem weiteren Schritt musste deshalb bei einer Auswahl von Flächen am Bildschirm überprüft werden, ob eine tatsächliche Nutzungsänderung oder lediglich eine Korrektur vorgenommen wurde.

Es werden die Blöcke untersucht, bei denen die folgenden Kriterien zutreffen:

- Die Flächentypaktualisierung hat Auswirkungen auf die Methode (vgl. Kap. 4.2.1.3) und
- der Gesamtversiegelungsgrad weist eine Differenz zu 2005 von > 5 % auf.

Auf Grundlage dieser Auswahl wurden 1.116 Blöcke kontrolliert. Bei 718 Blöcken handelt es sich bei der Aktualisierung des Flächentyps lediglich um eine Korrektur. Die Veränderung des Versiegelungsgrades ist in diesen Fällen methodisch bedingt. Diese Blöcke können deshalb bei der Veränderungskartierung nicht berücksichtigt werden.

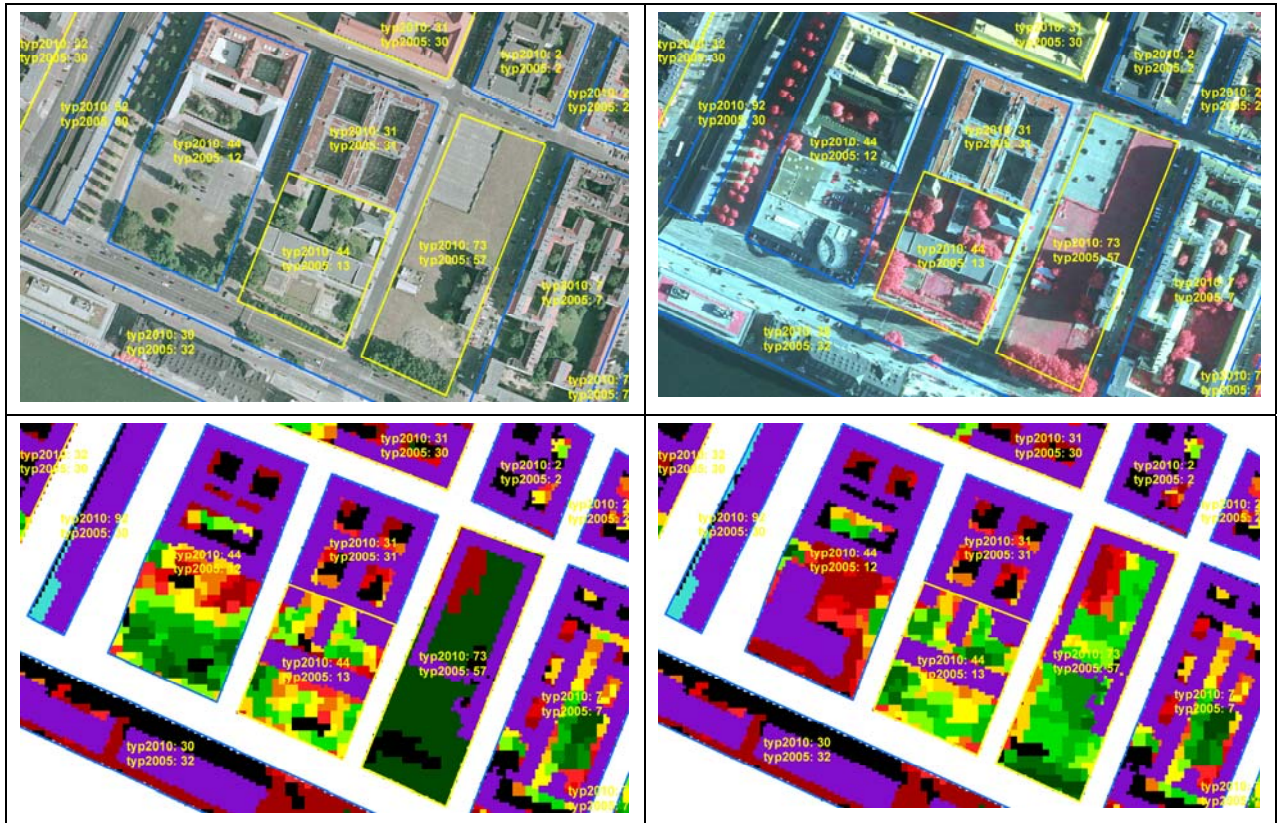


Abbildung 26: Auswirkung eines korrigierten Flächentyps auf die Versiegelungskartierung

links: 2005, oben: Luftbild, unten: Ergebnis der regelbasierten Klassifizierung,  
 rechts: 2011, oben: Luftbild, unten: Ergebnis der regelbasierten Klassifizierung  
 blaue Polygone: Nutzung 2005/2010 gleich bleibend oder tatsächliche Änderung, gelbe Polygone: Nutzung 2005/2010 korrigiert

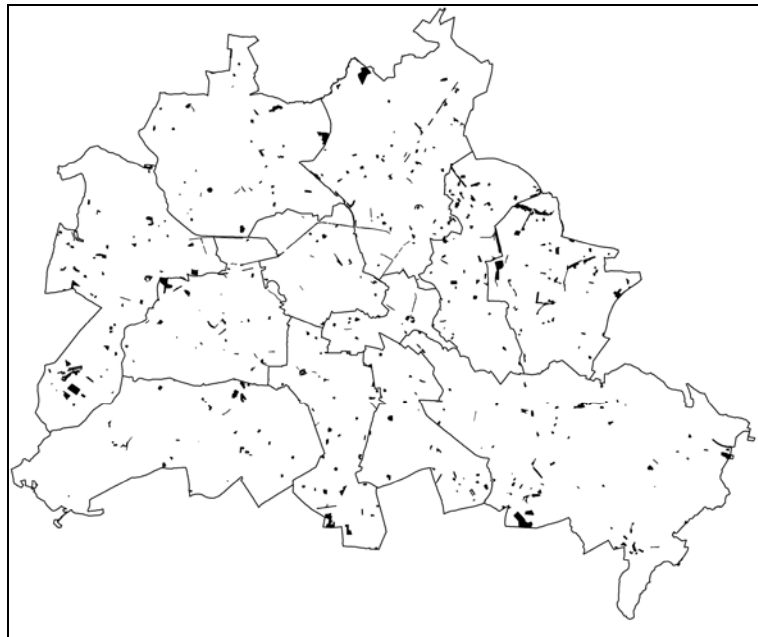


Abbildung 27: Verteilung der Blöcke mit einer Korrektur des Flächentyps

### 5.3 Änderungen der Flächentypen

Im Zuge der Aktualisierung des ISU 2010 wurden neben einigen Blockgeometrien die Flächennutzung und Stadtstruktur überarbeitet (SENSTADTUM 2010). Tabelle 17 zeigt die Veränderung der Flächentypen und deren Flächenanteil an der Gesamtblockfläche (ohne Straßen und Gewässer). Neben den Flächentypen, die aufgelöst wurden (z. B. Sanierung durch Entkernung 4 oder Offene Siedlungsbebauung 26), wurden Flächentypen auch weiter differenziert (z. B. Sportanlage, ungedeckt 16 und Sportanlage, deckt 17) oder zusammengefasst (z. B. Kleingartenanlage allgemein 37).

Für die Veränderungskartierung der Versiegelung werden die Flächen nach der Nutzung von 2010 gruppiert und die gesamte Versiegelung für diese berechnet. Die Nutzungen von 2005 entsprechen jedoch nicht immer der von 2010. Dies hat auch Einfluss auf die Veränderung pro Flächentyp. Tabelle 18 zeigt auch die Anzahl und Blockfläche der Flächentypen, die nicht in den Vergleich einfließen (vgl. Kap. 5.1, 5.2)

Tabelle 17: Anteile der Flächentypen der ISU 2005 und ISU 2010 auf Grundlage der ISU-Geometrie 2010

Flächentyp	2005			2010		
	2005 und 2010	ha	Anteil %	Blockanzahl	ha	Anteil %
(1) Dichte Blockbebauung, geschlossener Hinterhof, 5 - 6-geschossig	244	0,31	173	252	0,32	179
(2) Geschlossene Blockbebauung, Hinterhof, 5-geschossig	1.669	2,10	1.003	1.830	2,30	1.083
(3) Geschlossene und halboffene Blockbebauung, Schmuck- und Gartenhof, 4-geschossig	850	1,07	532	806	1,01	510
(4) Sanierung durch Entkernung	168	0,21	85			
(5) Behutsame Sanierung	225	0,28	114			
(6) Mischbebauung, halboffener und offener Schuppenhof, 2 - 4-geschossig	249	0,31	126	209	0,26	114
(7) Entkernte Blockrandbebauung, Lückenschluss nach 1945	604	0,76	347	779	0,98	431
(8) Heterogene, innerstädtische Mischbebauung, Lückenschluss nach 1945	108	0,14	44	137	0,17	56
(9) Großsiedlungen und Punkthochhäuser, 4 - 11-geschossig	1.917	2,41	535	2.342	2,95	673
(10) Blockrandbebauung mit Großhöfen (1920-1940er), 3 - 5-geschossig	1.437	1,81	838	853	1,07	595
(11) Freie Zeilenbebauung mit landschaftlichem Siedlungsgrün (1950-1970er), 3 - 6-geschossig	2.701	3,40	896	2.484	3,13	850
(12) Altbau-Schule (Baujahr vor 1945)	248	0,31	146	319	0,40	186
(13) Neubau-Schule (Baujahr nach 1945)	1.007	1,27	420	981	1,23	404
(14) Schule	19	0,02	12			
(15) Wassersport	129	0,16	58			
(16) Sportanlagen, ungedeckt				1.812	2,28	486
(17) Sportanlagen, gedeckt				97	0,12	52
(21) Dörfliche Mischbebauung	448	0,56	135	431	0,54	121
(22) Reihen- und Doppelhäuser mit Garten	1.199	1,51	647	1.485	1,87	844
(23) Freistehende Einfamilienhäuser mit Garten	6.243	7,86	2.962	9.598	12,08	4.658
(24) Villen und Stadtvillen mit parkartigem Garten	1.494	1,88	678	1.476	1,86	666
(25) Verdichtung in Einzelhausgebieten, Mischbebauung mit Gärten und halbprivater Umrünung	946	1,19	360	935	1,18	352
(26) Offene Siedlungsbebauung	3.193	4,02	1.568			
(27) Friedhof	1.156	1,46	190	1.147	1,44	187
(28) Sportanlage	1.556	1,96	430			
(29) Kerngebiet	478	0,60	285	473	0,59	284
(30) Gewerbe- und Industriegebiet, großflächiger Einzelhandel, geringe Bebauung	4.363	5,49	975	4.687	5,90	1.052

## Veränderungskartierung 2005 - 2011

Flächentyp	2005			2010			
	2005 und 2010	ha	Anteil %	Blockanzahl	ha	Anteil %	Blockanzahl
(31) Gewerbe- und Industriegebiet, großflächiger Einzelhandel, dichte Bebauung		847	1,07	163	880	1,11	194
(32) Flächen der Ver- und Entsorgung		894	1,13	171	620	0,78	120
(33) Mischgebiet ohne Wohngebietscharakter, geringe Bebauung		297	0,37	121	399	0,50	147
(34) <i>Kleingartenanlage mit niedrigem Erschließungsflächenanteil</i>		811	1,02	257			
(35) <i>Kleingartenanlage mit hohem Erschließungsflächenanteil</i>		1.227	1,54	181			
(36) Baumschule / Gartenbau		673	0,85	183	319	0,40	91
(37) Kleingartenanlage		1.951	2,46	544	3.369	4,24	774
(38) Mischgebiet ohne Wohngebietscharakter, dichte Bebauung		53	0,07	30	55	0,07	22
(39) <i>Mischgebiet I (z.B. Ausflugsgaststätte)</i>		24	0,03	13			
(41) Sicherheit und Ordnung		575	0,72	115	633	0,80	93
(42) Post		68	0,09	22			
(43) Verwaltung		539	0,68	212	449	0,57	186
(44) Hochschule und Forschung		376	0,47	92	472	0,59	105
(45) Kultur		182	0,23	70	244	0,31	86
(46) Krankenhaus		848	1,07	123	828	1,04	116
(47) Kindertagesstätte		378	0,48	255	355	0,45	246
(49) Kirche		93	0,12	88	104	0,13	115
(50) Seniorenheim		38	0,05	19			
(51) Sonstige Jugendeinrichtungen		88	0,11	42	234	0,29	68
(53) Park / Grünfläche		3.985	5,02	1.499	2.862	3,60	1.190
(54) Stadtplatz / Promenade		85	0,11	178	66	0,08	106
(55) Wald		15.811	19,91	2.614	16.629	20,93	2.796
(56) Landwirtschaft		3.700	4,66	424	3.386	4,26	375
(57) Brachfläche		4.197	5,28	1.324	3.595	4,53	940
(58) Campingplatz		88	0,11	25	68	0,09	19
(59) Wochenendhäuser und Kleingarten ähnliche Gebiete		214	0,27	79	776	0,98	243
(60) Sonstige und heterogene Gemeinbedarfs- und Sondergebiete		95	0,12	40	543	0,68	143
(71) <i>Plattenbausiedlung der 80er und 90er Jahre</i>		251	0,32	89			
(72) Parallele Zeilenbebauung mit architektonischem Zeilengrün (1920-1930er), 3-5-geschossig		210	0,26	132	779	0,98	370
(73) Geschosswohnungsbau der 1990er Jahre und jünger		392	0,49	252	515	0,65	324
(74) <i>Siedlung (Reihen-, Einzel-, Doppelhäuser) der 90er Jahre aufgelockert, &lt; 4 Geschosse</i>		222	0,28	126			
(91) Parkplatz		158	0,20	156	214	0,27	220
(92) Bahnhof und Bahnanlage ohne Gleiskörper		331	0,42	228	428	0,54	264
(93) Flughafen		296	0,37	14	440	0,55	40
(94) sonstige Verkehrsflächen		123	0,15	324	380	0,48	561
(98) Baustelle		19	0,02	14			
(99) Gleiskörper		1.254	1,58	478	1.291	1,62	557
(100) Gewässer		5.388	6,78	676	5.388	6,78	676
<b>Summe ohne Straßen</b>		<b>79.432</b>	<b>100,00</b>	<b>24.932</b>	<b>79.455</b>	<b>100,00</b>	<b>24.970</b>

#### 5.4 Veränderungsnachweis pro Flächentyp

Tabelle 18 sowie Tabelle 19 zeigen die Versiegelungsgrade pro Flächentypen für die Jahre 2005 und 2011. In beiden Tabellen entsprechen die Flächentypen 2005 jedoch nicht immer denen von 2010. Dies ist bei der Betrachtung des Veränderungsnachweises pro Flächentyp zu beachten.

Der Unterschied beider Tabellen besteht darin, dass in Tabelle 18 die nicht vergleichbaren Blöcke nicht in die Bilanzierung eingehen. Hierunter zählen die folgenden Blöcke:

- Im Zuge der Aktualisierung der ISU-Flächentypen 2010 wurden Nutzungen nicht nur aktualisiert sondern auch korrigiert. Innerhalb der automatischen Auswertung werden so unveränderten Blockflächen unterschiedliche Versiegelungsgrade zugewiesen (Pseudo-Veränderungen). Dies trifft auf 718 Blöcke zu.
- In der SPOT5-Satellitenbildszene von 2005 lagen viel größere Schattenbereiche als 2011 vor. Die Schattenflächen sind umgebungsspezifisch klassifiziert worden. Im Vergleich können bei gleicher Auswertungsmethode ebenso unterschiedliche Versiegelungswerte auftreten.
- Bei 244 Blockflächen hat sich zwischen 2005 und 2010 die ISU-Blockgeometrie stark geändert, d.h. die Flächengröße hat sich um größer 10 % verändert. Auch hier können Pseudo-Veränderungen in der Versiegelungskartierung auftreten.
- Für 37 Blockflächen lag 2005 keine SPOT5-Satellitenbildszene vor. Diese Flächen gehen im Vergleich für 2005 zu 0 % versiegelt ein. Da es sich hierbei hauptsächlich um Waldflächen östlich des Müggelsees handelt, ist der Fehler hier gering einzuschätzen (vgl. Kap. 5.1 und Kap. 5.2).

Besonders der Flächentyp „Brachfläche“ beinhaltet viele solcher vom Vergleich ausgeschlossener Blöcke. Hierbei handelt es sich einerseits um große Flächen, bei denen in der ISU 2005 andere Geometrien vorherrschten und in der ISU 2010 nur geringe Überschneidungen vorhanden sind (z. B. Neubaugebiet an den Schmetterlingwiesen in Biesdorf). Andererseits handelt es sich auch um viele Korrekturen des Flächentyps über das gesamte Stadtgebiet verteilt. Ebenso verhält es sich mit dem Flächentyp „Park/Grünfläche“. Einige Blöcke, z. B. der Spreebogenpark am Hauptbahnhof, werden auf Grund der Geometrieänderung von dem Vergleich ausgeschlossen, bei den meisten jedoch handelt es sich um Korrekturen des Flächentyps (z. B. Seelgrabenpark in Ahrensfelde). Einen weiteren großen Anteil der vom Vergleich ausgeschlossenen Blöcke bildet der Flächentyp „Gewerbe- und Industriegebiet, großflächiger Einzelhandel, geringe Bebauung“. Hierbei handelt es sich vorwiegend um eine Korrektur der Nutzung vom Flächentyp 31 zu 30, also von „dichter Bebauung“ zu „geringer Bebauung“. Diese Kenngröße spielt für die Auswahl zur Flächentyp-Kategorie eine große Rolle. Der damit einhergehende Wechsel der Flächentyp-Kategorie führt dadurch zu einer Pseudo-Veränderung des Versiegelungsgrads (vgl. Kap. 4.2.5.1).

In Tabelle 19 sind die Flächentypen aller Blöcke von Gesamtberlin bilanziert worden und entsprechen der Gesamtversiegelung in Kapitel 4.3.8. Die Gesamtbilanz dieser Tabelle entspricht jedoch nicht der endgültigen Gesamtbilanz aus Tabelle 20. Bei der Übertragung der Rasterdaten von 2005 auf die Geometrie von 2010 treten andere Flächensummen auf als bei der Kartierung von 2005. Dies ist auf die fehlenden Blöcke in der ISU-Geometrie von 2005 zurückzuführen (vgl. Abbildung 23). Hierfür wurde in der Kartierung von 2005 keine Versiegelung aufgenommen, die dann auch nicht in die Bilanz in Tabelle 19 einfließt. Ebenso geht die veränderte Straßenführung in diese Bilanz nicht ein.

Die abschließende Gesamtbilanz findet sich in Tabelle 20.



Tabelle 18: Versiegelung 2005 und 2011 der Flächentypen der ISU 2010 unter Berücksichtigung der nicht vergleichbaren Blöcke

Flächentyp 2010	2005						2011						Blockfläche ha	Blockanzahl	Diff. VG			kein Vergleich	
	VG		bebaut versiegelt		unbebaut versiegelt		VG		bebaut versiegelt		unbebaut versiegelt				VG	beb	ubeb	Blockfläche	Bl.-anz.
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%			ha	%	%	ha	
(1) Dichte Blockbebauung, geschlossener Hinterhof, 5 - 6-geschossig	213	84,3	156	61,9	56	22,4	213	84,5	156	62,0	57	22,5	252	179	0,1	0,1	0,1	-	-
(2) Geschlossene Blockbebauung, Hinterhof, 5-geschossig	1.395	76,3	933	51,0	462	25,2	1.408	77,0	941	51,5	467	25,5	1.829	1.082	0,7	0,4	0,3	1	1
(3) Geschlossene und halboffene Blockbebauung, Schmuck- und Gartenhof, 4-geschossig	510	63,5	316	39,3	194	24,2	513	63,9	317	39,4	197	24,5	803	507	0,4	0,1	0,4	3	3
(6) Mischbebauung, halboffener und offener Schuppenhof, 2 - 4-geschossig	126	60,2	72	34,4	54	25,8	129	61,7	72	34,6	57	27,2	209	114	1,5	0,1	1,4	-	-
(7) Entkernte Blockrandbebauung, Lückenschluss nach 1945	500	64,4	307	39,5	193	24,9	506	65,1	308	39,7	198	25,5	777	429	0,7	0,1	0,6	2	3
(8) Heterogene, innerstädtische Mischbebauung, Lückenschluss nach 1945	86	65,2	51	38,2	36	27,0	87	65,9	51	38,5	36	27,5	133	54	0,8	0,3	0,4	2	4
(9) Großsiedlungen und Punkthochhäuser, 4 - 11-geschossig	1.057	45,3	476	20,4	581	24,9	1.061	45,5	476	20,4	585	25,1	2.331	665	0,2	0,0	0,1	8	12
(10) Blockrandbebauung mit Großhöfen (1920-1940er), 3 - 5-geschossig	462	54,3	297	34,9	165	19,4	465	54,7	297	34,9	168	19,8	851	592	0,4	0,0	0,4	3	3
(11) Freie Zeilenbebauung mit landschaftlichem Siedlungsgrün (1950-1970er), 3 - 6-geschossig	995	40,2	521	21,0	474	19,2	1.007	40,7	524	21,2	483	19,5	2.474	844	0,5	0,1	0,3	6	10
(12) Altbau-Schule (Baujahr vor 1945)	155	51,4	75	25,0	79	26,4	160	53,0	76	25,3	84	27,7	301	171	1,6	0,3	1,4	15	18
(13) Neubau-Schule (Baujahr nach 1945)	462	49,0	198	20,9	265	28,0	470	49,8	200	21,2	270	28,6	943	380	0,9	0,2	0,6	24	38
(16) Sportanlagen, ungedeckt	563	33,0	104	6,1	458	26,9	583	34,2	107	6,3	475	27,9	1.705	447	1,2	0,2	1,0	39	108
(17) Sportanlagen, gedeckt	38	48,1	17	21,8	21	26,3	39	49,1	18	22,3	21	26,7	79	40	1,0	0,6	0,4	12	18
(21) Dörfliche Mischbebauung	143	33,3	76	17,6	67	15,7	146	33,9	77	17,8	69	16,1	431	121	0,6	0,2	0,4	-	-
(22) Reihen- und Doppelhäuser mit Garten	433	30,1	245	17,0	188	13,1	441	30,7	260	18,0	182	12,6	1.439	803	0,6	1,0	-0,5	41	46
(23) Freistehende Einfamilienhäuser mit Garten	2.548	26,8	1.561	16,4	987	10,4	2.744	28,8	1.619	17,0	1.125	11,8	9.520	4.603	2,1	0,6	1,4	55	78

Veränderungskartierung 2005 - 2011

Flächentyp 2010	2005						2011						Block- fläche ha	Block- anzahl	Diff. VG			kein Ver- gleich	
	VG		bebaut versiegelt		unbebaut versiegelt		VG		bebaut versiegelt		unbebaut versiegelt				VG	beb	ubeb	Block- fläche ha	Bl.- anz.
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%			%	%	%	ha	
(24) Villen und Stadtvillen mit parkartigem Garten	446	30,5	273	18,6	174	11,9	458	31,3	277	19,0	181	12,4	1.463	660	0,8	0,3	0,5	6	13
(25) Verdichtung in Einzelhausgebieten, Mischbebauung mit Gärten und halbprivater Umgrünung	320	34,2	193	20,7	127	13,5	328	35,0	196	20,9	132	14,1	935	352	0,8	0,3	0,6	-	-
(27) Friedhof	91	7,9	14	1,3	76	6,7	92	8,0	15	1,3	77	6,8	1.147	187	0,1	0,0	0,1	-	-
(29) Kerngebiet	374	80,3	229	49,2	145	31,0	381	81,8	235	50,4	146	31,4	466	278	1,5	1,1	0,3	6	7
(30) Gewerbe- und Industriegebiet, großflächiger Einzelhandel, geringe Bebauung	2.892	63,6	1.138	25,0	1.754	38,6	2.994	65,8	1.146	25,2	1.848	40,6	4.548	998	2,2	0,2	2,1	54	139
(31) Gewerbe- und Industriegebiet, großflächiger Einzelhandel, dichte Bebauung	703	83,7	377	44,9	327	38,9	725	86,3	388	46,1	337	40,2	840	178	2,6	1,3	1,3	16	40
(32) Flächen der Ver- und Entsorgung	269	45,5	87	14,8	181	30,7	277	46,9	86	14,5	191	32,3	590	108	1,4	-0,3	1,6	12	30
(33) Mischgebiet ohne Wohngebietscharakter, geringe Bebauung	217	58,7	106	28,8	110	29,9	231	62,5	107	29,0	124	33,5	369	135	3,9	0,2	3,6	12	30
(36) Baumschule / Gartenbau	74	24,2	21	6,9	53	17,4	73	23,7	21	6,8	52	16,9	307	88	-0,5	0,0	-0,5	3	12
(37) Kleingartenanlage	748	22,3	202	6,0	546	16,3	760	22,7	206	6,1	554	16,5	3.354	765	0,4	0,1	0,3	9	15
(38) Mischgebiet ohne Wohngebietscharakter, dichte Bebauung	42	78,4	25	46,9	17	31,5	43	79,8	25	46,5	18	33,4	54	21	1,4	-0,4	1,8	1	2
(41) Sicherheit und Ordnung	238	40,4	94	16,0	144	24,4	247	41,9	94	15,9	153	26,0	590	83	1,5	-0,1	1,6	10	43
(43) Verwaltung	244	55,1	127	28,7	117	26,4	247	55,7	125	28,3	122	27,5	443	180	0,6	-0,5	1,1	6	6
(44) Hochschule und Forschung	203	45,3	102	22,8	101	22,5	211	46,9	104	23,1	107	23,8	450	100	1,7	0,3	1,3	5	23
(45) Kultur	98	47,4	49	23,5	50	23,9	104	50,4	50	24,0	55	26,3	207	80	2,9	0,5	2,4	6	37
(46) Krankenhaus	301	36,6	157	19,1	144	17,5	310	37,7	161	19,6	149	18,1	823	114	1,1	0,5	0,6	2	5
(47) Kindertagesstätte	122	35,8	50	14,6	72	21,2	122	36,0	49	14,5	73	21,5	340	237	0,2	-0,1	0,3	9	15
(49) Kirche	38	37,4	17	16,4	21	21,0	39	38,4	17	17,0	22	21,3	102	112	1,0	0,6	0,3	3	2
(51) Sonstige Jugendeinrichtungen	36	15,8	14	6,2	22	9,5	37	16,2	14	6,0	23	10,1	230	63	0,4	-0,2	0,6	5	4
(53) Park / Grünfläche	271	10,2	26	1,0	245	9,3	280	10,6	24	0,9	256	9,7	2.645	1.107	0,4	-0,1	0,4	83	217
(54) Stadtplatz / Promenade	23	35,9	1	1,2	22	34,7	24	37,9	1	2,1	23	35,8	64	100	2,0	0,8	1,1	6	2
(55) Wald	39	0,2	13	0,1	26	0,2	41	0,2	13	0,1	27	0,2	16.387	2.744	0,0	0,0	0,0	52	242
(56) Landwirtschaft	7	0,2	4	0,1	3	0,1	6	0,2	4	0,1	2	0,1	3.327	372	0,0	0,0	0,0	3	60
(57) Brachfläche	76	2,4	25	0,8	51	1,6	26	0,8	11	0,3	15	0,5	3.213	821	-1,6	-0,4	-1,1	119	383
(58) Campingplatz	7	10,9	1	1,3	6	9,7	8	12,0	1	1,2	7	10,9	65	18	1,1	-0,1	1,2	1	3

# Veränderungskartierung 2005 - 2011

Flächentyp 2010	2005						2011						Blockfläche ha	Blockanzahl	Diff. VG			kein Vergleich	
	VG		bebaut versiegelt		unbebaut versiegelt		VG		bebaut versiegelt		unbebaut versiegelt				VG	beb	ubeb	Blockfläche	Bl.-anz.
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%			ha	%	%	ha	
(59) Wochenendhäuser und Kleingarten ähnliche Gebiete	195	25,8	75	9,9	120	15,9	199	26,4	65	8,6	134	17,8	754	229	0,6	-1,3	1,9	14	22
(60) Sonstige und heterogene Gemeinbedarfs- und Sondergebiete	183	35,7	74	14,5	109	21,2	187	36,6	75	14,7	112	21,9	513	130	0,8	0,1	0,7	13	30
(72) Parallele Zeilenbebauung mit architektonischem Zeilengrün (1920-1930er), 3-5-geschossig	344	44,2	205	26,3	139	17,9	348	44,6	206	26,4	142	18,2	779	369	0,4	0,1	0,4	1	0
(73) Geschosswohnungsbau der 1990er Jahre und jünger	258	55,2	125	26,8	133	28,4	267	57,2	130	27,9	137	29,3	467	292	2,0	1,0	0,9	32	48
(91) Parkplatz	93	47,9	10	4,9	83	42,9	106	54,6	9	4,9	97	49,8	194	195	6,8	-0,1	6,9	25	20
(92) Bahnhof und Bahnanlage ohne Gleiskörper	194	47,0	35	8,4	159	38,5	192	46,5	39	9,3	154	37,2	413	251	-0,5	0,9	-1,3	13	15
(93) Flughafen	138	31,5	15	3,4	124	28,1	140	31,7	17	3,8	123	28,0	440	40	0,3	0,4	-0,1		
(94) sonstige Verkehrsflächen	198	58,9	27	8,1	171	50,8	188	55,8	27	8,1	161	47,7	337	428	-3,1	0,0	-3,1	133	43
(99) Gleiskörper	542	44,7	9	0,7	534	44,0	544	44,9	9	0,7	536	44,2	1.212	459	0,2	0,0	0,2	98	79
<i>Summe ohne Gewässer und ohne Straßen</i>	<i>19.712</i>	<i>27,3</i>	<i>9.325</i>	<i>12,9</i>	<i>10.386</i>	<i>14,4</i>	<i>20.208</i>	<i>28,0</i>	<i>9.445</i>	<i>13,1</i>	<i>10.763</i>	<i>14,9</i>	<i>72.144</i>	<i>23.325</i>	<i>0,7</i>	<i>0,2</i>	<i>0,5</i>	<i>969</i>	<i>1.923</i>

Es können Rundungsdifferenzen auftreten.  
Gleiskörper fließen zu 100 % versiegelt in die Berechnung ein.

Tabelle 19: Versiegelung 2005 und 2011 der Flächentypen der ISU 2010 – Gesamtbilanz über ganz Berlin

Flächentyp 2010	2005						2011						Blockfläche ha	Bl.-anz.	Diff. VG		
	VG		bebaut versiegelt		unbebaut versiegelt		VG		bebaut versiegelt		unbebaut versiegelt				VG %	beb %	ubeb %
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%					
(1) Dichte Blockbebauung, geschlossener Hinterhof, 5 - 6-geschossig	213	84,3	156	61,9	56	22,4	213	84,5	156	62,0	57	22,5	252	179	0,1	0,1	0,1
(2) Geschlossene Blockbebauung, Hinterhof, 5-geschossig	1.396	76,3	934	51,0	462	25,2	1.409	77,0	941	51,5	467	25,5	1.830	1.083	0,7	0,4	0,3
(3) Geschlossene und halboffene Blockbebauung, Schmuck- und Gartenhof, 4-geschossig	512	63,5	317	39,4	194	24,1	516	64,0	318	39,5	198	24,5	806	510	0,5	0,1	0,4
(6) Mischbebauung, halboffener und offener Schuppenhof, 2 - 4-geschossig	126	60,2	72	34,4	54	25,8	129	61,7	72	34,6	57	27,2	209	114	1,5	0,1	1,4
(7) Entkernte Blockrandbebauung, Lückenschluss nach 1945	502	64,4	308	39,5	194	24,9	508	65,1	309	39,6	199	25,5	779	431	0,8	0,2	0,6
(8) Heterogene, innerstädtische Mischbebauung, Lückenschluss nach 1945	89	64,9	52	38,0	37	26,9	90	65,9	52	38,4	38	27,5	137	56	0,9	0,3	0,6
(9) Großsiedlungen und Punkthochhäuser, 4 - 11-geschossig	1.063	45,4	479	20,4	585	25,0	1.066	45,5	479	20,4	588	25,1	2.342	673	0,1	0,0	0,1
(10) Blockrandbebauung mit Großhöfen (1920-1940er), 3 - 5-geschossig	463	54,3	298	34,9	165	19,4	467	54,7	298	34,9	169	19,8	853	595	0,4	0,0	0,4
(11) Freie Zeilenbebauung mit landschaftlichem Siedlungsgrün (1950-1970er), 3 - 6-geschossig	998	40,2	522	21,0	476	19,2	1.010	40,6	526	21,2	484	19,5	2.484	850	0,5	0,1	0,3
(12) Altbau-Schule (Baujahr vor 1945)	164	51,6	80	25,1	84	26,5	169	53,1	81	25,3	89	27,8	319	186	1,6	0,3	1,3
(13) Neubau-Schule (Baujahr nach 1945)	479	48,8	206	21,0	273	27,8	488	49,8	209	21,3	280	28,5	981	404	0,9	0,2	0,7
(16) Sportanlagen, ungedeckt	576	31,8	109	6,0	466	25,7	615	34,0	112	6,2	503	27,8	1.812	486	2,2	0,2	2,0
(17) Sportanlagen, gedeckt	45	46,3	21	21,4	24	25,0	47	48,4	22	22,4	25	26,0	97	52	2,0	1,0	1,0
(21) Dörfliche Mischbebauung	143	33,3	76	17,6	67	15,7	146	33,9	77	17,8	69	16,1	431	121	0,6	0,2	0,4
(22) Reihen- und Doppelhäuser mit Garten	447	30,1	252	17,0	195	13,1	459	30,9	269	18,1	190	12,8	1.485	844	0,8	1,1	-0,3
(23) Freistehende Einfamilienhäuser mit Garten	2.568	26,8	1.573	16,4	995	10,4	2.771	28,9	1.633	17,0	1.138	11,9	9.598	4.658	2,1	0,6	1,5
(24) Villen und Stadtvillen mit parkartigem Garten	448	30,4	274	18,6	174	11,8	461	31,2	278	18,9	182	12,4	1.476	666	0,9	0,3	0,5

## Veränderungskartierung 2005 - 2011

Flächentyp 2010	2005						2011						Block- fläche	BI- anz.	Diff. VG			
	VG		bebaut versiegelt		unbebaut versiegelt		VG		bebaut versiegelt		unbebaut versie- gelt				ha	VG	beb	ubeb
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%						
(25) Verdichtung in Einzelhausgebieten, Mischbebauung mit Gärten und halbprivater Umgrünung	320	34,2	193	20,7	127	13,5	328	35,0	196	20,9	132	14,1	935	352	0,8	0,3	0,6	
(27) Friedhof	91	7,9	14	1,3	76	6,7	92	8,0	15	1,3	77	6,8	1.147	187	0,1	0,0	0,1	
(29) Kerngebiet	380	80,3	233	49,3	146	31,0	387	81,9	239	50,6	148	31,3	473	284	1,6	1,3	0,4	
(30) Gewerbe- und Industriegebiet, großflächiger Einzelhandel, geringe Bebauung	2.946	62,9	1.152	24,6	1.794	38,3	3.052	65,1	1.161	24,8	1.891	40,3	4.687	1.052	2,2	0,2	2,1	
(31) Gewerbe- und Industriegebiet, großflächiger Einzelhandel, dichte Bebauung	731	83,1	396	44,9	336	38,2	757	86,0	407	46,2	350	39,8	880	194	2,8	1,3	1,6	
(32) Flächen der Ver- und Entsorgung	276	44,6	89	14,3	188	30,3	284	45,9	87	14,1	197	31,8	620	120	1,3	-0,2	1,5	
(33) Mischgebiet ohne Wohngebietscharakter, geringe Bebauung	228	57,2	112	28,1	116	29,1	246	61,6	113	28,4	133	33,3	399	147	4,4	0,2	4,2	
(36) Baumschule / Gartenbau	75	23,3	21	6,6	53	16,7	74	23,2	21	6,6	53	16,6	319	91	-0,2	0,0	-0,1	
(37) Kleingartenanlage	749	22,2	203	6,0	546	16,2	763	22,7	207	6,1	557	16,5	3.369	774	0,4	0,1	0,3	
(38) Mischgebiet ohne Wohngebietscharakter, dichte Bebauung	43	77,1	25	45,9	17	31,2	43	78,2	25	45,4	18	32,7	55	22	1,1	-0,4	1,5	
(41) Sicherheit und Ordnung	239	37,8	95	15,0	144	22,8	252	39,8	95	15,0	157	24,8	633	93	1,9	-0,1	2,0	
(43) Verwaltung	247	55,1	129	28,8	118	26,3	251	55,8	127	28,4	123	27,4	449	186	0,7	-0,4	1,1	
(44) Hochschule und Forschung	206	43,7	104	22,1	102	21,5	218	46,1	106	22,4	112	23,7	472	105	2,5	0,3	2,2	
(45) Kultur	116	47,5	50	20,3	66	27,2	120	49,3	51	20,7	70	28,6	244	86	1,8	0,4	1,4	
(46) Krankenhaus	302	36,4	158	19,0	144	17,4	311	37,6	162	19,5	150	18,1	828	116	1,2	0,5	0,7	
(47) Kindertagesstätte	125	35,4	52	14,6	74	20,8	127	35,8	51	14,5	76	21,4	355	246	0,5	-0,1	0,6	
(49) Kirche	39	37,5	17	16,5	22	21,0	40	38,6	18	17,1	22	21,5	104	115	1,0	0,6	0,4	
(51) Sonstige Jugendeinrichtungen	37	15,9	15	6,3	22	9,5	39	16,5	14	6,1	24	10,4	234	68	0,6	-0,2	0,8	
(53) Park / Grünfläche	276	9,6	26	0,9	249	8,7	305	10,7	25	0,9	281	9,8	2.862	1.190	1,0	-0,1	1,1	
(54) Stadtplatz / Promenade	24	35,7	1	1,2	23	34,5	25	37,9	1	2,0	24	35,9	66	106	2,2	0,8	1,4	
(55) Wald	41	0,2	14	0,1	27	0,2	44	0,3	14	0,1	30	0,2	16.629	2.796	0,0	0,0	0,0	
(56) Landwirtschaft	12	0,4	4	0,1	8	0,2	6	0,2	4	0,1	2	0,1	3.386	375	-0,2	0,0	-0,2	
(57) Brachfläche	111	3,1	27	0,8	84	2,3	29	0,8	12	0,3	17	0,5	3.595	940	-2,3	-0,4	-1,9	
(58) Campingplatz	7	10,8	1	1,2	7	9,6	8	11,7	1	1,1	7	10,5	68	19	0,9	-0,1	1,0	
(59) Wochenendhäuser und Kleingarten ähnliche Gebiete	196	25,3	76	9,8	120	15,5	203	26,2	66	8,5	137	17,6	776	243	0,9	-1,3	2,2	

# Veränderungskartierung 2005 - 2011

Flächentyp 2010	2005						2011						Blockfläche	Bl.-anz.	Diff. VG			
	VG		bebaut versiegelt		unbebaut versiegelt		VG		bebaut versiegelt		unbebaut versiegelt				ha	%	%	%
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%						
(60) Sonstige und heterogene Gemeinbedarfs- und Sondergebiete	191	35,1	77	14,1	114	21,0	195	35,9	78	14,3	117	21,6	543	143	0,8	0,2	0,6	
(72) Parallele Zeilenbebauung mit architektonischem Zeilengrün (1920-1930er), 3-5-geschossig	345	44,2	205	26,3	139	17,9	348	44,6	206	26,4	142	18,2	779	370	0,4	0,1	0,3	
(73) Geschosswohnungsbau der 1990er Jahre und jünger	276	53,6	135	26,2	141	27,4	288	56,0	139	27,1	149	28,9	515	324	2,4	0,9	1,4	
(91) Parkplatz	99	46,3	10	4,5	89	41,8	115	53,9	10	4,8	105	49,0	214	220	7,6	0,3	7,3	
(92) Bahnhof und Bahnanlage ohne Gleiskörper	199	46,6	35	8,3	164	38,3	194	45,4	39	9,1	155	36,3	428	264	-1,2	0,8	-2,0	
(93) Flughafen	138	31,5	15	3,4	124	28,1	140	31,7	17	3,8	123	28,0	440	40	0,3	0,4	-0,1	
(94) sonstige Verkehrsflächen	204	53,7	27	7,2	177	46,6	195	51,4	27	7,2	168	44,2	380	561	-2,3	0,0	-2,3	
(99) Gleiskörper	568	44,0	9	0,7	559	43,3	563	43,6	9	0,7	554	42,9	1.291	557	-0,4	0,0	-0,4	
<i>Summe ohne Gewässer und ohne Straßen</i>	<i>20.069</i>	<i>27,1</i>	<i>9.449</i>	<i>12,8</i>	<i>10.620</i>	<i>14,3</i>	<i>20.606</i>	<i>27,8</i>	<i>9.574</i>	<i>12,9</i>	<i>11.032</i>	<i>14,9</i>	<i>74.067</i>	<i>24.294</i>	<i>0,7</i>	<i>0,2</i>	<i>0,6</i>	
<i>Gewässer*</i>													<i>5.397</i>	<i>667</i>				
<i>Summe mit Gewässer aber ohne Straßen</i>	<i>20.069</i>	<i>25,3</i>	<i>9.449</i>	<i>11,9</i>	<i>10.620</i>	<i>13,4</i>	<i>20.606</i>	<i>25,9</i>	<i>9.574</i>	<i>12,0</i>	<i>11.032</i>	<i>13,9</i>	<i>79.464</i>	<i>24.961</i>	<i>0,7</i>	<i>0,2</i>	<i>0,5</i>	
<i>Straße**</i>					<i>8.584</i>	<i>89,1</i>					<i>8.584</i>	<i>89,1</i>	<i>9.630</i>					
<i>Summe ohne Gewässer aber mit Straßen</i>	<i>28.653</i>	<i>34,2</i>	<i>9.449</i>	<i>11,3</i>	<i>19.204</i>	<i>22,9</i>	<i>29.190</i>	<i>34,9</i>	<i>9.574</i>	<i>11,4</i>	<i>19.616</i>	<i>23,4</i>	<i>83.697</i>	<i>24.294</i>	<i>0,6</i>	<i>0,1</i>	<i>0,5</i>	
<i>Summe Berlin mit Gewässer und mit Straßen</i>	<i>28.653</i>	<i>32,2</i>	<i>9.449</i>	<i>10,6</i>	<i>19.204</i>	<i>21,6</i>	<i>29.190</i>	<i>32,8</i>	<i>9.574</i>	<i>10,7</i>	<i>19.616</i>	<i>22,0</i>	<i>89.094</i>	<i>24.961</i>	<i>0,6</i>	<i>0,1</i>	<i>0,5</i>	

Es können Rundungsdifferenzen auftreten.  
Gleiskörper fließen zu 100 % versiegelt in die Berechnung ein.

## 5.5 Ergebnis der Veränderungskartierung der Versiegelung

Die folgenden Abbildungen zeigen die Veränderung der Versiegelung pro Block. Aufgrund der verwendeten Erfassungsmethode werden geringfügig veränderte Veränderungen nicht angezeigt (Abbildung 28 und Abbildung 29).

### Veränderungskartierung der bebaut versiegelten Fläche

Für die Erfassung der bebaut versiegelten Flächen werden ausschließlich Gebäudedaten der ALK verwendet. Im Hinblick auf die hohe Aktualität der Geo-Daten wird die Erfassungsgenauigkeit der bebaut versiegelten Fläche als sehr genau angenommen. In Abbildung 28 wird eine Veränderung der Bebauung ab 3 % der Blockfläche angezeigt. Die Bebauung hat vor allem in der Innenstadt überwiegend zugenommen, in den äußeren Bezirken und gerade auch in Gewerbegebieten hat der Grad der bebaut versiegelten Flächen jedoch in gleichem Maße abgenommen (z. B. Gewerbegebiet Adlershof). Gut zu erkennen sind auch Neubaugebiete, wie z. B. in Gatow.

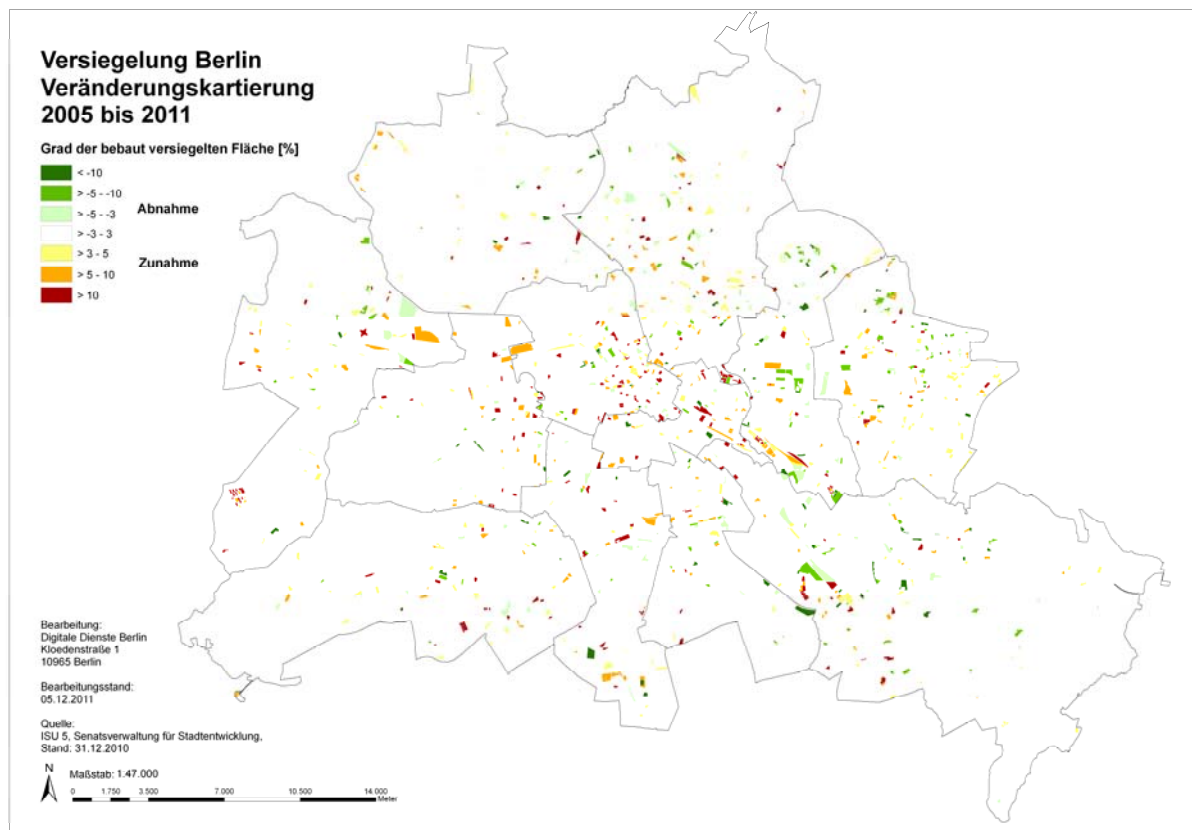


Abbildung 28: Veränderungskartierung 2005 bis 2011 – Grad der bebaut versiegelten Fläche, Veränderungen größer 3 %

### Veränderungskartierung der Gesamtversiegelung

Die Veränderung der Gesamtversiegelung wird erst ab einer Änderung > 10 % angezeigt. Darunter liegende Veränderungen gehen zwar in die Gesamtbilanzierung ein, in der Abbildung 29 sollen jedoch gerade die prägnanten Veränderungen hervorgehoben werden. Bei einer Versiegelungsveränderung < 10 % kann es sich zudem um methodenbedingte

Veränderungen handeln. Die umfangreichen Validierungs- und Verifizierungsanalysen der Hauptstudie von 2005 ließen eine untere Grenze von mindestens 5 % und maximal 10 % erwarten (Abschlussbericht, Kapitel 6). Es wurde zudem darauf hingewiesen, dass bei niedrigeren Grenzen neben korrekt erfassten Veränderungen in zunehmendem Maße auch Pseudo-Veränderungen kartiert werden und die Kartierungsgenauigkeit damit sinkt.

Auffällig ist die Versiegelungszunahme um mehr als 20 % im Gewerbegebiet am Siemensdamm. Ebenso auffällig ist der Versiegelungsrückgang auf den ehemaligen Landebahnen des Tempelhofer Flugfeldes. Hier überwächst besonders in den „Ohren“ die moosige Vegetation die eigentlich versiegelten Flächen. Dies geht dann aus dem Satellitenbild als unversiegelte Fläche in die Kartierung ein. Auch in der Veränderungskartierung der Gesamtversiegelung sind die Neubaugebiete gut zu erkennen.

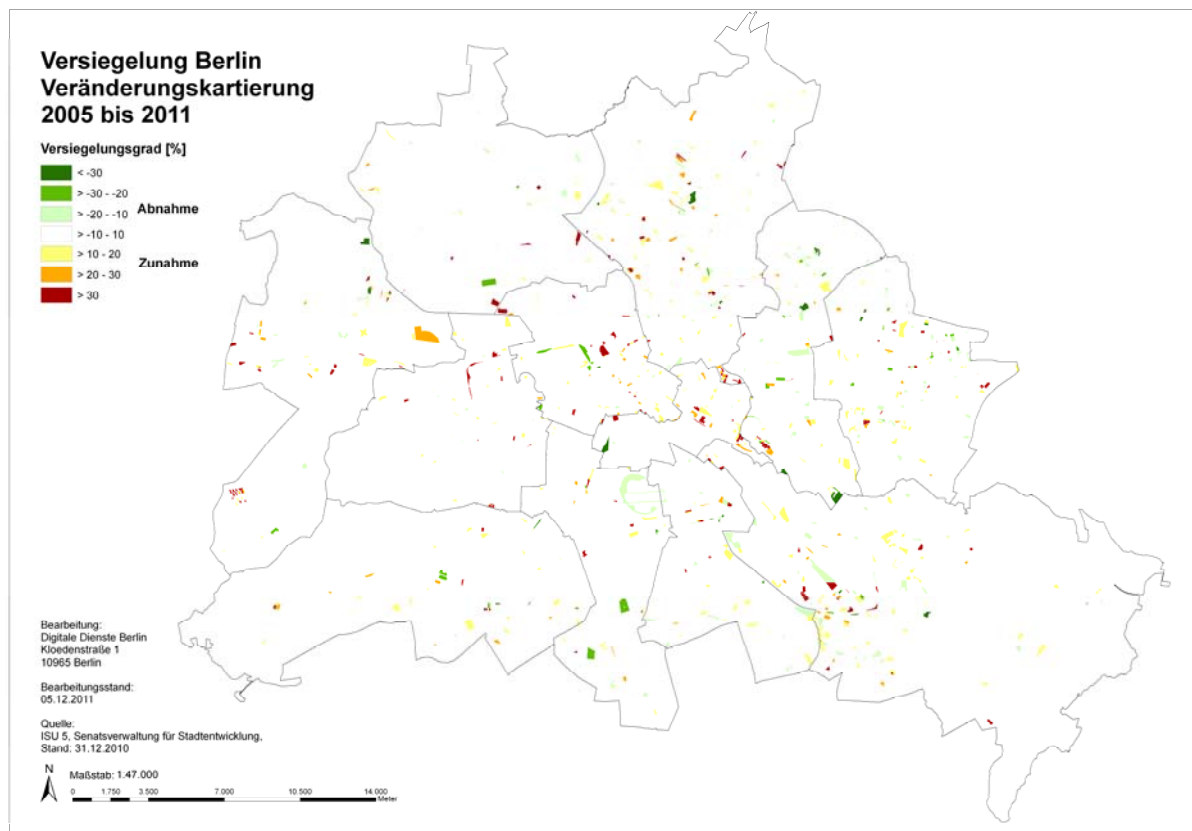


Abbildung 29: Veränderungskartierung 2005 bis 2011 – Gesamtversiegelungsgrad, Veränderungen größer 10 %

### Gesamtbilanz der Versiegelung in Berlin 2005 und 2011

Abschließend zeigt Tabelle 20 die Gesamtbilanz der Versiegelung in Berlin von 2005 und 2011. Dabei wurden die jeweiligen Ergebnisse der beiden Untersuchungen mit ihren unterschiedlichen Gesamtflächen und Straßenanteilen verwendet. Es kommt dadurch zu einem geringen Unterschied zwischen dem Vergleich auf Flächentypenebene und der Gesamtbilanz. Im Ergebnis beträgt der Versiegelungsgrad im Jahre 2011 32,8 % und liegt damit um 0,9 % über den Werten von 2005. Der wesentliche Anteil dieser Versiegelungszunahme liegt dabei bei der unbebaut versiegelten Fläche.



Tabelle 20: Gesamtbilanz der Versiegelung in Berlin 2005 und 2011

	VG		bebaut versiegelt		unbebaut versiegelt		Straße		Gesamtfläche ha
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	
<b>2005</b>	28.408	31,9	9.423	10,6	10.526	11,8	8.459	9,5	89.896
<b>2011</b>	29.190	32,8	9.574	10,7	11.032	12,4	8.584	9,6	89.094

## 6 Diskussion und Bewertung

Ein Ziel der vorliegenden Untersuchung ist die Anwendung des 2005 entwickelten hybriden Verfahrens zur Versiegelungskartierung von Berlin für die Ableitung eines neuen, homogenen, aktuellen Datensatzes der Gesamtversiegelung sowie der bebaut bzw. unbebaut versiegelten Fläche für das Jahr 2011. Veränderungen des Versiegelungsgrads müssen im Rahmen eines Monitoring lokalisierbar sein. Die Verfahrensentwicklung für die Veränderungskartierung der Versiegelung bildet folglich den zweiten Auswertungsschwerpunkt.

Das übergeordnete Ziel der Versiegelungskartierung und deren Veränderungen ist nicht primär die flächenscharfe Kartierung von Veränderungen, sondern vielmehr die Ableitung von aggregierten Aussagen für Bezugsflächen, den statistischen Blöcken des ISU.

### 6.1 Übertragbarkeit des Verfahrens für die Kartierung 2011

#### Ermittlung der bebaut versiegelten Fläche

Die Einbindung von ALK-Daten für die Ermittlung der bebaut versiegelten Fläche in den Auswertungsprozess hat sich sehr bewährt. Erst die ALK-Gebäudeinformationen ermöglichen die Unterscheidung von bebaut und unbebaut versiegelten Flächen.

Aktualitätsdefizite oder unvollständige Gebäudeerfassungen in der ALK führen dazu, dass Gebäude im Satellitenbild als unbebaut versiegelte Flächen kartiert werden (Beispiel „BND-Gebäude“, Anhang 9.1). Der Gesamtversiegelungsgrad eines Blockes wird dennoch weitgehend richtig ermittelt, da dieser der Summe aus unbebaut und bebaut versiegelter Fläche entspricht.

In der aktuellen ALK von 2010 sind keine Gartenhäuser bzw. Lauben kartiert. Entsprechende Informationen werden für Teilgebiete Berlins aus der ALK von 2005 übernommen, da diese in der Kartierung von 2005 eingebunden wurden. Ebenso werden die Annahmen der bebaut versiegelten Flächenanteilen innerhalb von Kleingärten pro Bezirk von 2005 übernommen (vgl. Kap. 4.3.5).

#### Ermittlung der unbebaut versiegelten Fläche

##### - Satellitenbilddaten

Als Grundlage für Folgekartierungen wurde in der Hauptstudie eine geometrisch und radiometrisch hochgenau korrigierte Master-Szene erstellt. Die guten Erfahrungen der vorliegenden Untersuchung bestätigen diese Vorgehensweise. Die neue 2011er Szene konnte mit geringem zeitlichem Aufwand auf die Referenz-Szene angepasst werden.

Hinsichtlich der Auswahl von Satellitenszenen wurde bereits in der Hauptstudie auf die Einflussfaktoren Beleuchtungssituation sowie Phänologie hingewiesen. Es sollten Aufnahmen aus den Monaten Juni oder Juli bevorzugt genutzt werden (geringer Einfluss durch Schlag Schatten, i.d.R. hohe Vitalität von Ruderalvegetation). Hinsichtlich der 2005er Master-Szene mit September-Aspekt wurde der phänologischen Situation zu wenig Beachtung geschenkt.

Die vergleichsweise geringe Vitalität der Ruderalvegetation im September 2005 erschwert die radiometrische Angleichung von Folgeaufnahmen mit vitalerer Vegetation. Im Rahmen der Verfahrensübertragung musste daher eine wenn auch geringfügige Anpassung der spektralen Klassifizierung, die iterative Angleichung der Vegetationsgrad-Kategorien, eingeführt werden (vgl. Kap. 4.2.4.2).

### - ISU-Daten

Die Einbindung von aktuellen ISU-Daten erfordert umfangreiche Überprüfungen und Abgleiche mit dem ISU-Stand der älteren Kartierung. Im Zuge der Aktualisierung des ISU 2010 wurden neben einigen Blockgeometrien auch die Flächennutzung und Stadtstruktur überarbeitet (SENSTADTUM 2010). Dabei wurden nicht nur neue Flächennutzungen aktualisiert sondern auch fehlerhafte Flächennutzungen korrigiert. Die unterschiedlichen Flächennutzungen können im Verfahren der regelbasierten Klassifizierung bei der gleichen spektralen Information zu unterschiedlichen Versiegelungsgraden führen. Insbesondere die Zuordnung zu solchen Flächentyp-Kategorien, die im Regelwerk andere Versiegelungsgrade zugewiesen bekommen, kann zu Fehlkartierungen führen (z. B. Korrektur von Gewerbe und Industrie mit geringer Bebauung zu Gewerbe und Industrie mit hoher Bebauung). In einem weiteren Schritt musste deshalb bei einer Auswahl von Flächen am Bildschirm überprüft werden, ob eine tatsächliche Nutzungsänderung oder lediglich eine der genannten Korrekturen vorgenommen wurde.

Durch die zusätzliche Einbindung der Grünnutzung (GRZ) konnte der Anteil von Kategorieänderungen erheblich reduziert werden (vgl. Kap. 4.2.1.3 und Tabelle 5).

## 6.2 Veränderungskartierung

### Monitoring mit Satellitenbilddaten

Im Rahmen der Hauptstudie wurde eine Verfahrensvalidierung vorgenommen, in der eine gute Übertragbarkeit des Verfahrens auf andere Szenen festgestellt wurde. Im Vergleich zu Ergebnissen aus terrestrischen Erhebungen und Luftbildinterpretationen konnte aufgezeigt werden, dass bei Anwendung des hybriden Verfahrens der Versiegelungsgrad der unbebaut versiegelten Fläche tendenziell geringfügig unterschätzt wird und folglich auch der der Gesamtversiegelung. Dies ist methodisch bedingt.

Im Rahmen eines Monitoring wird das Verfahren auf mindestens zwei Szenen von unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkten angewendet. Es ist davon auszugehen, dass die Unterschätzung des Versiegelungsgrades in allen Auswertungen in gleicher Weise eintritt. Relative Veränderungen des Versiegelungsgrads auf Blockebene, positive wie auch negative, können folglich ermittelt werden.

Hinsichtlich der Genauigkeitserfassung von Veränderungen sind verschiedene Einflüsse zu beachten, die grundsätzlich bei multitemporalen Satellitenbilddauswertungen bzw.

-vergleichen wirken:

- Unterschiedliche Aufnahmewinkel, Beleuchtungssituationen oder Phänologien können zu geringfügig abweichenden Kartierungen von identischen Oberflächen führen, ohne dass eine reale Veränderung der Versiegelungssituation vorliegt.
- Zum einen werden beim Überflug des Satelliten identische unveränderte Oberflächen immer geringfügig versetzt zueinander abgetastet, der integrale Reflexionswert für ein Bodenelement von 10 m x 10 m (SPOT5) variiert folglich geringfügig in Abhängigkeit von den jeweils beteiligten Oberflächenbedeckungsarten bzw. -zuständen.
- Zum anderen wird im Rahmen der geometrischen Korrektur das Resampling-Verfahren nearest neighbour eingesetzt, um die originalen Grauwerte beizubehalten (vgl. Kap. 3.2.1). Dies führt zu einem methodisch bedingten Versatz zwischen zwei aufeinander angepasste Szenen von +/- 0,5 Pixel. Bei multispektralen SPOT5-Aufnahmen entspricht

dies +/- 5 m.

Bei Vergleichen von mehreren Kartierungen führen die genannten Effekte dazu, dass in einem geringen Umfang Pseudo-Veränderungen ermittelt werden. Diese Fehlkartierungen sind somit ausschließlich auf den multitemporalen Szenenvergleich zurückzuführen.

Wenn Aussagen auf Bezugsflächen abgeleitet werden, beispielsweise die Berechnung von Differenzkarten, verbleiben zumeist nur sehr geringe Fehler. Es sind methodisch bedingte Variationen des Versiegelungsgrads je Block von 5 % bis maximal 10 % zu erwarten. Wenn nun Aussagen auf der Blockebene getroffen werden, muss folglich der genannte Effekt berücksichtigt werden. In der Hauptstudie wurde daher empfohlen, erst bei Flächenunterschieden von mehr als 5 % bzw. 10 % pro Block von einer realen Veränderung des Versiegelungsgrads zu sprechen. Auch die Erfahrungen der 2011er Kartierung bestätigen, dass Änderungen des Versiegelungsgrads unter der genannten Grenze von den oben genannten Pseudo-Veränderungen nicht verlässlich abgegrenzt werden.

Um den Einfluss der genannten Effekte auf die Kartierungsgenauigkeiten zu minimieren, wurde in der vorliegenden Untersuchung das Verfahren der multitemporalen Verdachtsflächenerfassung eingeführt (vgl. Kap. 4.2.6.1).

Insbesondere die Phänologieunterschiede zwischen der 2005er September- und der 2011er Maiaufnahme erfordern methodische Lösungen. Die multitemporale Verdachtsflächenkartierung verbessert die Abgrenzung von Veränderungen und Pseudo-Veränderungen erheblich. Das Verfahren ist auf zukünftige Auswertungen übertragbar.

Im gleichen Verfahren werden zudem die genannten geometrischen Überlagerungseffekte berücksichtigt, indem Mindestflächengrößen und –breiten für die Verdachtsflächenermittlung festgelegt werden.

Weitere methodisch bedingte Pseudo-Veränderungen sind nicht auf die Satellitenbildauswertung zurückzuführen, sondern treten im Vergleich der ISU 2005 mit der ISU 2010 auf. So werden Pseudo-Veränderungen des Versiegelungsgrads bei solchen Blöcken festgestellt, deren Nutzung lediglich korrigiert wurde, dadurch bei der automatischen Ableitung des Versiegelungsgrads aber andere Regeln wirken. Geometrieveränderungen der 2011er Blöcke können im Vergleich mit den älteren 2005er Geometrien zu hohen Flächenanteilen von Nichtblockflächen führen. Vor diesem Hintergrund müssen insgesamt 718 Blöcke von der Veränderungskartierung ausgeschlossen werden.

Ferner können für 37 Blöcke am östlichen Stadtrand keine Veränderungen abgeleitet werden, da diese im 2005er Satellitenbild nicht abgebildet wurden und entsprechend keine Versiegelungsgrade vorliegen.

Insgesamt wurden somit 972 Blöcke (4 % von 24.294 Blöcken ohne Gewässer) von der Veränderungskartierung ausgeschlossen (vgl. Kap. 5.4).

Ein Vergleich der 2011er Versiegelungsdaten mit zukünftig ermittelten Werten ist jedoch möglich.

### **Versiegelungsentwicklung**

Über Gesamtberlin, inklusive Straßen und Gewässer, hat der Versiegelungsgrad von 2005 bis 2011 um 0,9 % zugenommen. Der Veränderungsnachweis pro Block zeigt jedoch einzelne starke Versiegelungszunahmen aber auch –abnahmen. Ebenso verhält es sich bei der bebaut versiegelten Fläche. Insgesamt hat der Bebauungsgrad um nur 0,1 % zugenommen, gerade aber in Neubaugebieten sowie in verdichteten Industriegebieten hat es starken Zuwachs der Bebauung in den sechs Jahren gegeben.

## 7 Zusammenfassung

Versiegelungsdaten werden bei der Senatsverwaltung Berlin von verschiedenen Stellen regelmäßig genutzt. Nicht zuletzt wird im politischen Raum zunehmend nach zeitlich hoch aufgelösten Versiegelungsdaten verlangt. Für das Jahr 2005 wurde von der TU Berlin, Institut für Landschafts- und Umweltplanung, von der HU Berlin, Geografisches Institut (Abteilung Geomatik), sowie von Digitale Dienste Berlin, Büro für Angewandte Fernerkundung, ein hybrides Verfahren zur Versiegelungskartierung in Berlin entwickelt.

Die Methode ermöglicht unter Einbeziehung von hoch aufgelösten Satellitenbilddaten als auch Fachinformationen bzw. Geo-Daten eine stadtweit homogene, aktuelle und hinreichend genaue Erfassung und Veränderungskartierung der Versiegelung und ist dabei operationell und kostengünstig.

Für die Versiegelungskartierung von 2011 wurde wieder eine SPOT 5-Satellitenszene hinzugezogen. Das Auswertungsverfahren beruht auf der Verwendung von ALK-Daten für die bebauten Versiegelungsflächen und auf der Analyse der hoch auflösenden multispektralen Satellitenbilddaten unter Einbeziehung von aktuellen Flächennutzungsdaten aus dem Informationssystem Stadt und Umwelt für die unbebaut versiegelten Flächen. Als Bezugsflächen dienen die statistischen Blöcke des ISU.

Im Vorfeld der Satellitenbilddatenauswertung wird eine fernerkundungsrelevante Kategorisierung der Flächentypen des ISU durchgeführt. Die Kategorien bilden eine bedeutende Grundlage für Stratifizierungen und Regelwerke. Für 2011 werden die aktuellen und zum Teil veränderten Nutzungen in diese Kategorienbildung integriert und reine Nutzungskorrekturen speziell behandelt.

Im bewerten Verfahren werden im Rahmen einer spektralen Klassifizierung zunächst Vegetationsgrade (NDVI) sowie besonders relevante Oberflächenbedeckungsarten (u. a. Sand, Asche, Schotter, Kunstbeläge) ausgewiesen. Es schließt sich eine regelbasierte Klassifizierung an, in der eine kontextbezogene Zuordnung von Objekt- und Vegetationsklassen zu Versiegelungsgraden erfolgt. Die Ableitung von aggregierten Aussagen auf Blockebene erfolgt abschließend im GIS (YADE-GIS, ArcGIS). Schattenbereiche werden gesondert berücksichtigt und klassifiziert.

Neben der Versiegelungskartierung 2011 erfolgt eine Aggregation der vorhandenen Ergebnisse der regelbasierten Klassifikation von 2005 auf die aktuellen Blöcke der ISU5 von 2010. Damit wird eine Veränderungskartierung ermöglicht. Zwischen 2005 und 2011 hat der Versiegelungsgrad von Berlin (inkl. Straßen und Gewässern) um 0,9 % zugenommen.

Der Integration der neuen Versiegelungsdaten 2011 in den Digitalen Umweltatlas Berlin steht nun nichts mehr im Wege.

Obwohl auch für die Versiegelungskartierung 2011 eine SPOT 5-Satellitenszene zum Einsatz kam, ist das Verfahren nicht auf ein spezielles Satellitenaufnahmesystem optimiert und unterstützt eine flexible Sensorauswahl hoch auflösender Systeme (4 m bis 10 m). Der hohe Automatisierungsgrad gewährleistet eine rasch durchführbare, großräumige Kartierung von Versiegelungsflächen.

## 8 Literatur

- ALBERTZ, J. (2001): Einführung in die Fernerkundung - Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 2. Aufl., Darmstadt.
- BERLINER WASSERBETRIEBE (BWB) (1998): Getrenntes Entgelt für Schmutz- und Niederschlagswasser ab dem Jahr 2000. Anschreiben an die Eigentümer im September 1998. Berlin.
- BUNDESKLEINGARTENGESETZ (BKleingG) vom 28. Februar 1983 (BGBl. I S. 210), zuletzt geändert durch Gesetz vom 13.9.2001 (BGBl. I S. 2376).
- COENRADIE, B. (2003): Waldzustandserfassung und -monitoring mit hochauflösenden Satellitenbilddaten. Dissertation, TU Berlin.  
([http://edocs.tu-berlin.de/diss/2003/coenradie\\_bodo.pdf](http://edocs.tu-berlin.de/diss/2003/coenradie_bodo.pdf))
- EHLERS, M. (2002): Fernerkundung für GIS-Anwender - Sensoren und Methoden zwischen Anspruch und Wirklichkeit. In: BLASCHKE, T. (Hrsg.): Neue Sensoren - innovative Methoden. Wichmann Verlag, Heidelberg, 10-23.
- GERSTENBERG, J. H. & GOEDECKE, M. (2011): Datengrundlagen aus dem Informationssystem Stadt und Umwelt für das Niederschlags - Abflussmodell ABIMO der Bundesanstalt für Gewässerkunde. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin. PDF von [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/download/Abimo2008\\_Doku\\_110419\\_final.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/download/Abimo2008_Doku_110419_final.pdf). Zugriff am: 02.12.2011.
- HAAG, L. (2006): Wie hoch sind die Versiegelungsgrade in Berlin wirklich? - Ein Methodenvergleich. Diplomarbeit TU-Berlin (unveröffentlicht), Berlin.
- HABERÄCKER, P. (1991): Digitale Bildverarbeitung: Grundlagen und Anwendungen. 4. Aufl., Carl Hanser Studienbücher, München/Wien.
- HILL, J. (2003): Atmospheric Correction Processing. User Guide, Version 3.0. (unveröffentlicht).
- JACOBSEN, K. (2005): Use of Very High resolution Satellite Imagery. Tagung der Polnischen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und GIS, CD-ROM, Warschau, 11 S.
- KIM, H.O. & KLEINSCHMIT, B. (2005): Use of High Resolution Satellite Imagery for the Analysis of Sealing in the Metropolitan Area Seoul. In: ERASMI, S. & CYFFKA, B., KAPPAS, M. (Hrsg.): Remote Sensing & GIS for Environmental Studies: Applications in Geography. Göttinger Geographische Abhandlungen, Vol. 113, 281-286.
- KONECNY, G. (1995): Satelliten-Fernerkundung und Kartographie. Geo-Informationssysteme, Jg. 8, Heft 2, 3-12.
- KLEINSCHMIT, B. & B. COENRADIE (2005): Kartierung von Trockenheitsfolgeschäden mit hochauflösenden Satellitenbilddaten. In: SEYFERT, E. (Hrsg.): Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation (DGPF) e.V., Band 14.
- NETZBAND, M. (1998): Möglichkeiten und Grenzen der Fernerkundung zur Versiegelungskartierung in Siedlungsräumen. IÖR-Schriften 28, Dresden.
- RICHARDS, J.A. & X. JIA (1999): Remote Sensing Digital Image Analysis - An Introduction. Springer-Verlag, 3rd Edition, Berlin/Heidelberg.
- ROESRATH, C. & KITTELBERGER, C. (2001): Konzeptstudie zur Fortschreibung der Versiegelungsdaten mit Hilfe hoch auflösender Satellitendaten unter Berücksichtigung der topologischen Fortführung des UIS-Grundlayouts - Abschlussbericht -. Technische Uni-

- versität Berlin, Institut für Landschaftsentwicklung Fachgebiet Landschaftsplanung, insb. Landschaftspflege und Naturschutz. Im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin (unveröffentlicht) Berlin.
- SENATSVORWALTUNG FÜR BAU- UND WOHNUNGSWESEN (SENBAUWO) (1994): Der trigonometrische Punkt I. Ordnung Müggelberg. Koordinatenanfangspunkt Berlin. Lebenswert Wohnen. Berlin.
- SENATSVORWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG (SENSTADTUM) (2004): CIR-Luftbilder der Senatsverwaltung von Juli 2004 (unveröffentlicht), Berlin.
- SENATSVORWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG (SENSTADTUM) (2005 a): Automatisierte Liegenschaftskarte. Auf: [www.stadtentwicklung.berlin.de](http://www.stadtentwicklung.berlin.de). Zugriff am 03.04.2005.
- SENATSVORWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG (SENSTADTUM) (2005 b): Flächentypen. Eine Beschreibung der im Informationssystem Stadt und Umwelt (ISU) der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung erfassten und verwalteten Struktur- und Flächennutzungskategorien von Berlin. PDF von [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/db607\\_03.htm#lk9](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/db607_03.htm#lk9), Zugriff am 04.12.2006.
- SENATSVORWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG (SENSTADTUM) (2010): Flächennutzung und Stadtstruktur. Dokumentation der Kartiereinheiten und Aktualisierung des Datenbestandes. Unveröffentlicht.
- TANRÉ, D., DEROO, C., DUHAUT, P., HERMAN, M., MORCETTE, J.J., PERBOS, J., DESCHAMPS, P.Y., (1986): Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum (5S). User's Guide. – Laboratoire d'optique atmosphérique, Université Lille, France.
- VERWALTUNGSVORSCHRIFTEN ÜBER KÜNDIGUNGSENTSCHÄDIGUNG AUF KLEINGARTENLAND vom 11. Februar 2003 (ABl. Nr. 10 vom 7. März 2003, S.814). Berlin.
- VERWALTUNGSVORSCHRIFTEN ÜBER DAUERKLEINGÄRTEN UND KLEINGÄRTEN AUF LANDESEIGENEN GRUNDSTÜCKEN vom 14. November 2000 (ABl. Nr. 2 vom 12. Januar 2001, S. 82). Berlin.
- WIMMER, B. (2006): Schriftwechsel mit Frau Wimmer Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Abteilung I C - Kleingartenwesen am 12.10.06.

## 9 Anhang

### 9.1 Abbildungen von Einzelblöcken

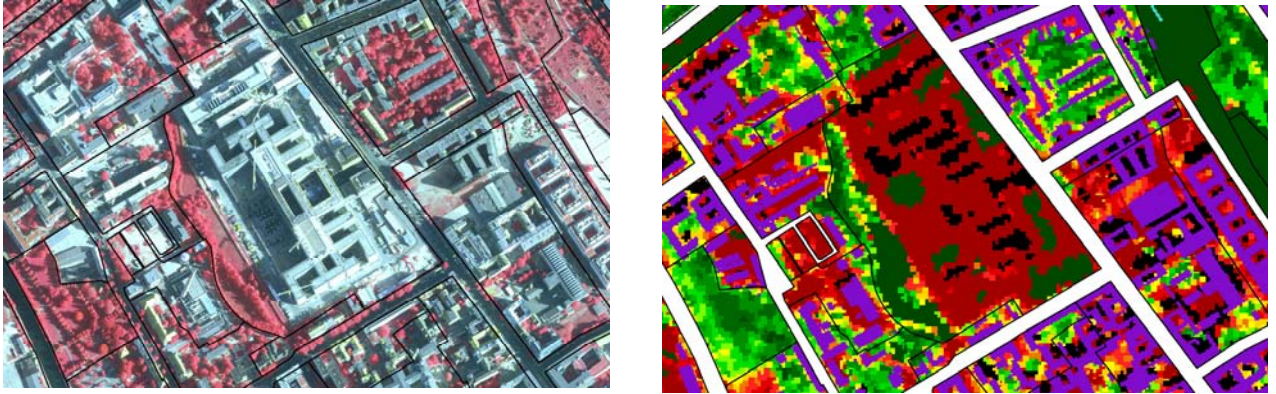


Abbildung 30: Bundesnachrichtendienst (0100986171000400), fehlendes Gebäude in ALK, dadurch unbebaut versiegelte Fläche (rot) und Schatten (schwarz)

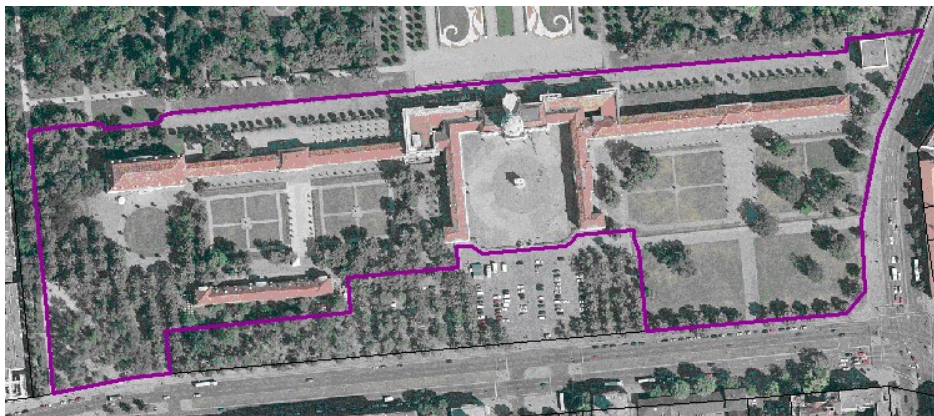


Abbildung 31: Schloss Charlottenburg (0700207151000500)



Abbildung 32: Traglufthalle auf Schulblock (0900416121000200)



Abbildung 33: Kohleschuttfläche, fehlendes Gewässer in ISU 5 (0800360531001200)



Abbildung 34: Sportanlage westlich der Avus (0700257371000100)



Abbildung 35: Neue Wache (0101020291000000)