Strukturbasierte Aussagen zur Veränderung des Grünvolumens und der damit zusammenhängenden ökologischen Flächenleistungen

Produkt 3.1.2e

Version: 1.0
Status: Final
Datum: 31.12.2011

TP 3.1.2
– Grün- und Freiflächen, städtebauliche Strukturen, biometeorologische Effekte –

TP-Leiter: Prof. Dr. Wolfgang Wende, Dr. Tobias Krüger
Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR)

Bearbeiter: Jörg Hennersdorf
Iris Lehmann
Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR)

Kontakt: Tel.: 0351/4679-0
Fax: 0351/4679-212
E-Mail: w.wende@ioer.de; j.hennersdorf@ioer.de; i.lehmann@ioer.de

REGKLAM
Entwicklung und Erprobung eines Integrierten Regionalen Klimaanpassungsprogramms für die Modellregion Dresden

Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung
Förderkennzeichen: 01 LR 0802

Koordinator: Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V. (IÖR)
Weberplatz 1, 01217 Dresden
Projektleiter: Prof. Dr. Dr. h.c. Bernhard Müller

www.regklam.de

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 3
   1.1 Zielstellung und Vorgehen 3
   1.2 Stadtklima, Stadtgrün und ökologische Leistungen 4
2. Ermittlung der Grünausstattung 9
   2.1 Grundlagen 9
   2.2 Stadtvegetationsstrukturtypen der Stadt Dresden 9
   2.3 Übertragung auf die Stadtstrukturtypen der Stadt Dresden 20
   2.4 Übertragung auf die Modellregion mittels landesweiter Biotop- und Nutzungstypenkartierung 22
   2.5 Übertragung auf die Modellregion mittels ATKIS und SEMENTA® 23
3. Wirkungsbeziehungen zwischen Stadtstrukturellen und Klimadaten 26
4. Teilstädtische Untersuchungen 32
5. Handlungsempfehlungen 35
6. Weiterführende Literatur 36

1. Einleitung

1.1 Zielstellung und Vorgehen

Eines der Ziele von Teilprojekt 3.1.2 ist es, Grundlagen und Optionen für Anpassungsstrategien der Stadtentwicklung durch die frühzeitige Berücksichtigung klimawirksamer Aspekte bei der Stadtplanung bereitzustellen. Dabei werden statistisch ableitbare Zusammenhänge zwischen struktureller Ausprägung und Überwärmungseffekten herausgearbeitet.

Die städtebauliche Struktur mit Ihrem Nutzungs- und Bebauungsmuster hat in Abhängigkeit von der Sonneneinstrahlung einen erheblichen Einfluss auf die konkreten örtlichen Temperaturverhältnisse. Besonders relevant ist dieser Aspekt bei austauscharmen Wetterlagen mit stabilen Schichtungen, die zur Ausprägung städtischer Wärmeinseln führen. Diese Wärmeinseln werden häufig durch die Topografie verstärkt. Im Sommer treten die größten Übertemperaturen in heißen Nächten auf und beeinträchtigen das Schlafklima. Städteplanerische Maßnahmen können eine Hitzewelle nicht verhindern, indirekt aber durchaus zu örtlichen Verbesserungen beitragen. Ignorieren städteplanerische Vorgaben diesen Aspekt, können sie andererseits ungünstige strukturelle Voraussetzungen schaffen, die den thermischen Effekt verstärken.

Die städtebauliche Struktur einer Stadt wird gebildet durch die Gebäude, Straßen, Plätze und Freiräume. Sie alle unterliegen im Wesentlichen dem Wandel von Funktionalitäten, Nutzungsinteressen und Sicherheitsbedürfnissen, städtebaulichen und ästhetischen Ansprüchen. Ein entscheidender Faktor ist darüber hinaus der globale Klimawandel, der sich selbstverständlich auf die lokalen Rahmenbedingungen auswirkt und diese mit bestimmt. Die Gestaltungsspielräume sind maßgeblich durch Raumverfügbarkeit, Bevölkerungsentwicklung und Investitionspotenziale vorgegeben. Es stellt sich die Frage, inwieweit die Art, das Maß an städtischen Grün und dessen räumliche Verteilung auf die lokalen Auswirkungen des Klimawandels Einfluss nehmen. Es geht dabei grundsätzlich um einen Balanceakt zwischen intensiver Stadterneuerung, intelligenter Stadtverdichtung und ökologischer Leistungsfähigkeit der teilstädtischen Räume und der Gesamtstadt.

Vor dem Hintergrund des Klimawandels und dem Bestreben nach Anpassungsstrategien werden zunehmend Art, Maß und Lage der Grünflächen im Siedlungsraum bedeutsam für die Lebensraumqualität. Die Wertschätzung des Menschen gegenüber den ökologischen und psychosozialen Funktionen von städtischen Grünflächen wächst an Hitzetagen insbesondere in hochverdichteten und versiegelten städtebaulichen Räumen.

Zentraler Gegenstand des Teilprojektes 3.1.2 e ist die strukturbasierte Ermittlung der Grünausstattung und Bodenversiegelung sowie deren zentralen Kenngrößen (Grünflächenanteile, Grünvolumen, Versiegelungsgrad, Ökologische Flächenleistungswerte). Die Analyse folgt dabei dem Strukturtypensatz. Ausgehend von einem Ansatz über Stadtvegetationsstrukturtypen wurden die ermittelten Kenngrößen auf die gebräuchlichen Stadtstrukturtypen umgelegt. Laut Antrag war das Teilprojekt ausschließlich auf die Stadt Dresden ausgelegt. Das Teilprojekt erhebt jedoch den Anspruch, Anpassungsoptionen an Überwärmungseffekte für die gesamte Modellregion abzuleiten. Aus diesem Grund erfolgt die Untersuchung zweistufig. Zunächst werden anhand der Stadt Dresden Detailuntersuchungen durchgeführt. Dies ist notwendig, da die Datenlage diese Detailuntersuchungen ausschließlich für die Stadt Dresden hergibt. Anschließend kann eine Transformation der in der Stadt Dresden gewonnenen Aussagen in relevante Gebiete der Modellregion, also beispielsweise in Mittelstädte erfolgen. Aufgrund des Typenansatzes ist eine Übertragung

in ähnliche Strukturen in der Modellregion möglich. Erheblicher zusätzlicher Aufwand wurde deshalb in die Erhebung der Strukturen der Modellregion und die Entwicklung von Methoden zur Übertragung des auf den Stadtbiotoptypen der Stadt Dresden entwickelten Ansatzes auf die Modellregion gesteckt. Mit Hilfe der Geobasisdate ATKIS-Basis-DLM und dem im IÖR entwickelten SEMENTA® scheint ein auf andere Gebiete übertragbares Vorgehen gefunden.

In einem weiteren Schritt wurden die Strukturdaten mit klimatischen Daten in Beziehung gesetzt. Dabei lagen Daten aus dem Umweltatlas der Stadt Dresden (Landeshauptstadt Dresden 2002), gemessen Daten und Modellergebnisse aus anderen Teilprojekten vor. Es erfolgten Variantenuntersuchungen mit Hilfe der meteorologischen Modelle ENVI-Met und HIRVAC 2D sowie mit dem theoretischen Ansatz der ökologischen Flächenleistungswerte. Es wurden verschiedene reale Strukturen in Planungsszenarien hinsichtlich stärkerer Durchgrünung, Entsiegelung, Rückbau, Nachverdichtung u. ä. modifiziert und die Veränderungen der Grünausstattung sowie die sich herausbildenden bioklimatischen Situationen bzw. ökologischen Leistungen bewertet. Die Arbeiten im Teilprojekt 3.1.2 e erfolgten dabei in enger Verflechtung mit den Teilprojekten 3.1.2 a und 3.1.2 b. Es bestehen zudem Synergien zum Projekt „Noch wärmer, noch trockner? Stadtnatur und Freiraumstrukturen im Klimawandel“[1], die zu einer höheren Qualität der Ergebnisse in beiden Projekten geführt haben.

Abschließend erfolgte die Ableitung von Handlungsempfehlungen.

1.2 Stadtklima, Stadtgrün und ökologische Leistungen

Bedingt durch die bebaute Umwelt der städtischen Siedlungen bildet sich innerhalb des vorherrschenden Regionalklimas ein modifiziertes Stadtklima als anthropogene Klimaanomalie heraus (Lauer/Bendix 2004), welches zusätzlich durch Abwärme und Luftschadstoffemissionen verändert wird. Ursachen des spezifischen Stadtklimas sind die Umwandlung natürlicher Böden durch Versiegelung und synthetische Materialien, die Erhöhung der Rauigkeit der Erdoberfläche, die Reduzierung der Vegetationsdecke, die Reduzierung der langwelligen Oberflächenstrahlung und der Ausstoß von Luftschadstoffen sowie die Abwärmeproduktion (Kuttler 1998). Innerhalb des Stadtklimas bilden sich Lokalklimasituationen in Abhängigkeit der städtebaulichen Strukturen (Anordnung von Bebauung, Grünflächen, Erschließungswegen usw.). Je nach Wetterlage, Jahres- bzw. Tageszeit und innerstädtischer Exposition kommt es zu klimatischen Belastungszonen, sogenannten Wärmeinseln in der Stadt.

Im Gegensatz zu bebauten Flächen sorgen Grünflächen für erhöhte Verdunstung, Luftfeuchtigkeit sowie bioklimatischen Ausgleich. Sie sind für viele Städte von elementarer Bedeutung. Über ihre lufthygienische Ausgleichfunktion hinaus hemmen sie den Aufbau innerstädtischer Wärmeinseln oder sind zumindest in der Lage, deren negative Effekte abzuschwächen (Matzarakis 2001). Stadtvegetation hat vielfältige, insbesondere aber ökologische und soziale Funktionen. Sie dient der biologischen und mentalen Gesundheit der Menschen in den Städten sowie dem Schutz natürlicher Lebensgrundlagen. Durch die Vegetation werden Umweltbelastungen reduziert (Nohl 1993). Ökologische Funktionen der Vegetation in der Stadt sind u. a. bioklimatische Funktion, Filter-, Puffer-, Transformationsfunktion, Grundwasserneubildungsfunktion, Abflussregulation, Lebensraumfunktion, Biotopbildungsfunktion, Bodenschutz und Immissionsschutz (Arlt et.al 2005).

[1] F+E-Vorhaben gefördert durch das BfN mit Mitteln des BMU; FKZ 3508821800; Projektleitung: Dr. Juliane Mathey, IÖR Dresden

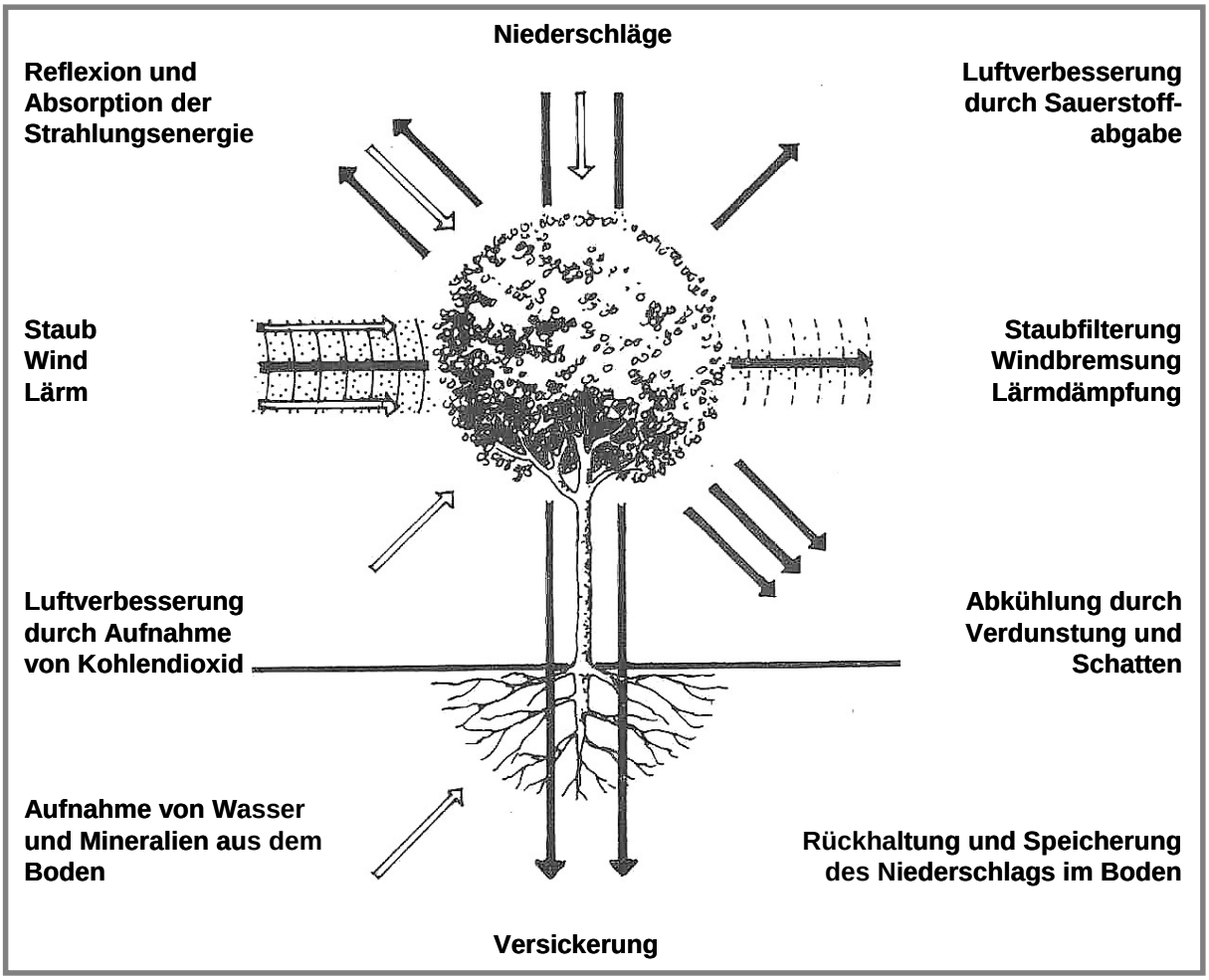


Abbildung 1: Funktionsschema der Beziehung zwischen Pflanze und Umwelt (Quelle: Arlt et al. 2005 nach Baeseler et al. 1974)

Städtische Freiflächen wirken als stadtklimatische Regulative für die unmittelbar angrenzende Bebauung. Um einen ausgeglichenen Klimahaushalt in den Städten zu erzielen, sollte ein System kleiner engmaschig verteilter und von Vegetation bestimmter Freiflächen angestrebt werden. Damit wird der Austausch unterschiedlich temperierter Luftmassen leichter vollziehbar (Hege et al. 1998/99). Parkanlagen und innerstädtische Grünflächen haben die größte kühlende Wirkung, wenn sie mit einem hohen Anteil an Wasser- und Wiesenflächen sowie lockerer Anordnung von Bäumen gestaltet sind. Sie ermöglichen ein hohes Maß an Regenwasserversickerung, senken den Regenwasserabfluss und sorgen für mehr Verdunstungskühle. Da sie innerhalb der Städte die Flächen mit der geringsten Oberflächenrauhigkeit ausprägen, besitzen sie eine besondere Funktion für den horizontalen Luftausgleich (Hege et al. 1998/99).

Tabelle 1: Wirkungstendenzen von Stadtvegetation auf ausgewählte ökologische Leistungen (Quelle: Arlt et. al 2005 nach Ammer et al. 1978; Bruse 2003; Doetsch et al. 1997; Finke 1994; Hege et al. 1998/99; Nohl 1993)

Stadtökologische Faktoren	Wirkungstendenz (bei Zunahme der Stadtvegetation)	Qualitative Beschreibung

Lufttemperatur	sinkend	Anstieg der verschattenden Wirkung insbesondere durch die mittlere und hohe Vegetation; Transpiration der Pflanzen; Reflektion von Sonnenenergie; Kühlung unterhalb der Vegetation sowie der angrenzenden Bereiche.
Luftfeuchte	steigend	Geringerer Abfluss von Regenwasser; Zunahme der Regenwasserversickerung; Zunahme der Verdunstungsflächen; steigende Wasserdampfabgabe.
Luftbewegung	sinkend	Entstehung von Temperaturunterschieden zwischen Vegetationsflächen und der Umgebung; vertikale Luftbewegungen; Ausbildung kleiner Luftkreisläufe, die den horizontalen Luftaustausch unterstützen oder behindern (je nach Anordnung der Vegetation innerhalb der Struktur); Zunahme des Luftwiderstandes und damit Abnahme der Windgeschwindigkeiten.
Staubbindevermögen	steigend	Verringerung der Umgebungstemperatur durch Vegetation; geringere Staubaufwirbelung; erhöhte Luftzirkulationen durch lokale Temperaturunterschiede zwischen Bäumen und Straßen bzw. Bäumen und Gebäuden; erhöhtes Sedimentations- und Absorptionspotenzial für Stäube und Aerosole.
Bodenbefestigung	steigend	Ausbildung von Wurzelgeflechten; Reduzierung des Bodenabtrags durch Windabbremsung und Aufnahme von Niederschlägen; Verringerung des Abflusses von Oberflächenwasser; Verringerung der Erosionsneigung.
Regenwasserversickerung	steigend	Senkung des Regenwasserabflusses; Entstehung von Verdunstungskühle (Kaltluftentstehungsgebiete); horizontaler Luftausgleich, durch geringe Oberflächenrauhigkeit.
Oberflächenwasserabfluss	sinkend	Rückhaltung des Niederschlages im Kronenraum und Unterholz; ansteigende Verdunstungsrate; Zunahme der Versickerung; Rückhaltung im Wurzelraum; erhöhte Grundwasserneubildungsrate.
Flora und Fauna	steigend	Entstehung naturnaher Lebensräume; bei Grünflächenvernetzung Erhöhung von Naturpotenzialen; verbesserte Lebensbedingungen; Zunahme der Artenvielfalt.
Lufthygiene (Sauerstoffgehalt; Windkomfort)	steigend	Reduzierung der Schadstoffbelastung innerhalb bebauter städtebaulicher Strukturen; Entstehung von Sauerstoff und Glukose durch Umwandlung von Kohlendioxid aus der Luft (Photosynthese). Schwefeldioxid, Fluorwasserstoff, Chlorwasserstoff und Ozon werden ebenfalls von Pflanzen aufgenommen, stören jedoch die Photosynthese; verringerte Windbelastung.
Lärm	weitgehend unbeeinflusst; psychologisch sinkend	Einschränkung der Sichtbeziehungen zu den Schallquellen, dadurch Reduzierung der störenden Wirkung als psychologischer Effekt; messbare Pegelminderung bei breiten und dichten sowie stufig aufgebauten Pflanzflächen in Abhängigkeit von der Pflanzart sowie der Jahreszeit in Höhe von 0,1 bis 0,3 dB pro laufenden Meter Pflanzung; Schallpegelminderung in Abhängigkeit von der Frequenz (Schallabsorption und diffuse Reflektion im höheren Frequenzbereich wirksamer als im tiefen).
Besonnung	unbeeinflusst bis sinkend	Dämpfung der Helligkeitsmaxima unter Bäumen und höheren Sträuchern (mittlere und hohe Vegetationsschicht); Reflexion von Sonnenlicht; verschattende Wirkung.

Art und Struktur, d.h. Größe, Aufbau und Zusammensetzung der vegetationsbestandenen Flächen bestimmen deren klimatische Wirkung innerhalb der Stadt. In verdichtet geschlossenen Bebauungsstrukturen trägt beispielsweise eine lockere Anordnung von Bäumen zur Temperaturabsenkung bei (Arlt et. al 2005, Kuttler 1998, Sperber 2007).

In Tabelle 1 werden die Auswirkungen von Vegetation auf das Klima, den Boden, Flora und Fauna sowie stadthygienische Faktoren in ihrer Wirkungstendenz qualitativ beschrieben.

Bei den durchgeführten Untersuchungen wurde davon ausgegangen, dass die einzelnen Vegetationsschichten unterschiedliche Wirkungen hervorrufen. Es wird deshalb in einem

weiteren Schritt die Vegetation differenziert nach den Vegetationsschichten „niedrig", „mittel" und „hoch" in ihren Wirkungen dargestellt. Damit wird es möglich, bei konkreten Fragestellungen gezielte Planungsstrategien zu entwickeln.

Tabelle 2: Ökologische Wirkungen der Vegetationsschichten „niedrig", „mittel", „hoch" (Quelle: Arlt et. al 2005 nach Ammer et al. 1978; Bruse 2003; Doetsch et al. 1997; Finke 1994; Hege et al. 1998/99; Nohl 1993)

Stadtökologische Faktoren	**Vegetationsschicht „niedrig"** (Rasen, Wiese)	**Vegetationsschicht „mittel"** (Sträucher, Stauden, Hecken, Gebüsche, kleine Bäume)	**Vegetationsschicht „hoch"** (mittlere, große Bäume)	**Vegetationsschichten „niedrig", „mittel", „hoch"** (Parkanlagen mit Baum-, Rasen- sowie Strauch- und Heckenbestand)
Lufttemperatur	Mittlere Kaltluftentstehung in Abhängigkeit vom Absinken der Oberflächentemperatur des Bodens – Abkühlende Wirkung auf die bebaute Umgebung in den Abend- und Nachtstunden (Temperaturunterschiede bis 5°C im Vergleich zu angrenzenden befestigten Flächen).	Verhinderung von Temperaturextremen durch ausgleichende Wirkung auf die Bodentemperatur und die bodennahe Lufttemperatur.	Absenkung der Lufttemperatur besonders unter den Baumkronen. Die Kronen der Wälder ermöglichen kaum eine Abstrahlung der kalten Luft. Temperaturabsenkende Wirkung auf die angrenzende Bebauung bis ca. 40 m Entfernung.	Temperaturabsenkende Wirkung in den Nachmittag- und Abendstunden bis zu einer Entfernung von 200 m bis 300 m in einem angrenzenden Wohngebiet; kühlende Wirkung am Tag.
Luftfeuchte	Erhöhung der relativen Luftfeuchte bis zu 30 % gegenüber angrenzenden befestigten Flächen.	Erhöhung der relativen Luftfeuchte ohne qualitative Angaben	Erhöhung der relativen Luftfeuchte durch Aufnahme von Niederschlagswasser und Verdunstung. Verbesserung des Mikroklimas bereits durch Einzelbäume (in Wäldern relative Luftfeuchte in Abhängigkeit von der Tageszeit zwischen 75 und 100 %).	Erhöhung der Luftfeuchte und positive Beeinflussung der mikroklimatischen Situation der angrenzenden Bebauung.
Luftbewegung	Geringe Auswirkung auf Luftbewegung.	Durch hohe Winddurchlässigkeit der Vegetation gleichmäßige Windbremsung; Windberuhigung bei Lage der Vegetation quer zur Anströmrichtung – Verringerung der Windgeschwindigkeiten luvseitig der Vegetation bis zu einer Entfernung von ca. dem 4fachen, leeseitig bis zu einer Entfernung von ca. dem 20fachen der Vegetationshöhe; in städtischen Randlagen Möglichkeit der Behinderung des Kaltluftstroms durch Verringerung des Luftaustauschs.	Starke Reduzierung der Windgeschwindigkeit; bei dichtem Baumkronenschluss Verhinderung vertikaler Turbulenzen im Stammbereich. Düsenwirkung bei alleeartiger Bepflanzung.	Horizontaler Luftaustausch durch die geringste Oberflächenrauhigkeit in der Stadt. Als städtische Flächen mit Verbindung zum Freiland ermöglichen sie den Zufluss unbelasteter Kaltluft.
Staubbinde-	Geringfügige Ablagerung von Staub aus	Hohes Maß der Staubbindung, An-	Hohes Staubbindevermögen (bis 90 %)	Hohes Staubbindevermögen der Flächen durch die

vermögen	der Luft; stärkere Bindung von Staub- und Gasanteilen aus Niederschlägen auf den Grünflächen.	stieg des Staubgehaltes unmittelbar hinter der Vegetation auf einen Wert unter dem Ausgangswert (aktive Filterwirkung).	– dadurch sehr geringe Staubkonzentrationswerte im Einzugsbereich der Pflanzung, die hinter der Pflanzung sofort wieder ansteigen.	Bindung sedimentierter Stäube der Bäume von den Rasenflächen und damit Verhinderung der erneuten Aufwirbelung der Stäube.
Regenwasser-versickerung/ Grundwasser-neubildung	Kaum Regenwasserabfluss durch hohes Maß an Versickerungsleistung; Grundwasserneubildung bzw. Vermeidung von Grundwasserabsenkung.	Kaum Regenwasserabfluss; Stabilisierung der Bodenfeuchte durch erhöhte Versickerungsleistung; Grundwasserneubildung.	Kaum Regenwasserabfluss; geringer Beitrag zur Grundwasserneubildung durch hohen Eigenbedarf der Bäume.	Kaum Regenwasserabfluss; Stabilisierung der Bodenfeuchte; geringer Beitrag zur Grundwasserneubildung .
Biotop- und Artenschutz	Ausbildung ausdauernder Pflanzengemeinschaften aus Kräutern und Gräsern, wobei der Standort und die Pflege für die Artenzusammensetzung entscheidend sind.	Erfüllung wichtiger Funktionen als Lebensräume für Pflanzen und Tiere; Vernetzung natürlicher und naturnaher Lebensräume; Ermöglichung von Wanderungsbewegungen und Ausbreitung von Tieren bzw. Pflanzen.	Einzelbäume und Alleen sind Lebensräume für Lebensgemeinschaften.	Durch Staffelung von Saum bildenden Büschen und höher werdenden Gehölzen im Inneren sowie Wiesenflächen Pufferwirkung und Gliederung des Lebensraumes für Pflanzen und Tiere.
Strahlung	Relativ niedrige Reflexionszahl von ca. 12-30 % im kurzwelligen Spektralbereich; dadurch positive Wirkung auf das Lichtklima der unmittelbaren Umgebung.	keine quantitativen Angaben zu Strahlungsreflexion und Helligkeit	Starke Absorption von Strahlung und geringe Strahlungsreflexion (5- 20 %); Dämpfung der Helligkeitsmaxima des Sonnenlichtes; hohe Schattenwirkung und damit Minderung der Lufttemperatur.	Sehr positive Wirkung auf die Strahlungsreflexion und die Helligkeit durch die Überlagerung von niedriger, mittlerer und hoher Vegetation.
Lufthygiene	Hohe assimilative Fähigkeiten (Verbrauch an Kohlendioxid und Entstehung von Sauerstoff) - insbesondere von Wiesenflächen bis 60 cm Höhe – durch große Blattfläche pro m² Bodenfläche	In Abhängigkeit von der Dichte der Pflanzung erfolgt die Sedimentation der Staubpartikel (bei ca. 40% iger Durchlässigkeit werden die höchsten Wirkungen erzielt).	Aufnahme oder Ablagerung der Schadstoffe von bzw. auf den Blättern; Verbesserung der Luftqualität durch Filterwirkung.	Verringerte Windgeschwindigkeit führt zu erhöhter Sedimentation und Deposition von Partikeln unter Bäumen. Offener Boden und Grasflächen bewirken auf Grund der erhöhten Rauhigkeit, dass am Boden gelagerte Partikel nicht mehr freigesetzt werden.
Lärm	Bodennahe Schallquellen werden über Wiesen- und Rasenflächen durch Schallabsorption in Abhängigkeit von der Frequenz und der Entfernung in ihrem Lärm gemindert.	In Abhängigkeit vom Abstand der Schallquelle von Hecken oder Gebüschen sowie deren Höhe, Tiefe und Wuchsform kann Lärm direkt hinter der Pflanzung geringfügig gesenkt werden (ca. 0,25 - 0,35 dB/m Heckentiefe).	Geringe bis keine Lärmminderung durch Einzelbäume und Baumgruppen, jedoch Dämpfung der hohen Frequenzen und damit Änderung des Geräusches. Dichte Wälder verringern die Schallausbreitung in Abhängigkeit von der Waldtiefe um 0,1 bis 0,2 dB/m.	Geringe bis keine Lärmminderung; Änderung des Geräusches durch Dämpfung der Frequenzen.

2. Ermittlung der Grünausstattung

2.1 Grundlagen

Der Siedlungskörper von Städten und Gemeinden wird durch die Elemente Bebauung, Freiflächen und Erschließungs- bzw. Versorgungsnetze und -anlagen sowie deren wechselseitige Verknüpfungen räumlich-zeitlicher und funktionaler Art gebildet und geprägt. Er ist ein hoch komplexes System bzw. eine hoch komplexe Grundgesamtheit, deren Untersuchung als Ganzes zu umfangreich und aufwendig ist und sich nicht in Form von 1:1 Betrachtungen vor Ort realisieren lässt. Es werden daher sinnvolle abgrenzbare Einheiten benötigt, mit deren Hilfe wissenschaftlich begründet geordnet, gruppiert und strukturiert werden kann. Typologien bieten diese Möglichkeit (Blum, Gruhler 2010). Sie sind „unersetzliche Denkmodelle", die dazu dienen, „wiederkehrende Erscheinungsformen" als solche zu erkennen und von anderen abzugrenzen (Kluge 1999). Mit Hilfe von Typologien ist es möglich, eine große Grundgesamtheit, zu analysieren. Ein Strukturtyp repräsentiert ein spezifisches Ordnungs- und Beziehungsgefüge baulich-räumlicher Elemente (z.B. Bebauung, Infrastruktur, Freiflächen). Die Analyse der Strukturen legt den Strukturtypenansatz zu Grunde. Grundsätzlich beschreibt die Strukturanalyse damit Wirkungszusammenhänge von Strukturen (Siedlungsstrukturen, Bebauungsstrukturen, Grünstrukturen etc.) und Zuständen sowie damit einhergehenden Leistungen. Indikatoren sind beispielsweise die Flächenzerschneidung, die Bodenversiegelung, das Grünvolumen oder der Bodenpreis. Damit können das sozioökonomische und ökologische Leistungsvermögen der Flächen abgebildet sowie Rückschlüsse auf die Lebensqualität gezogen werden.

Die Strukturanalyse erfolgte auf Basis Geographischer Informationssysteme (GIS). GIS-Analysen ermöglichen die Auswertung raumbezogener Fragestellungen zu den Wirkungszusammenhängen beispielsweise von Flächennutzungsstruktur bzw. Stadtvegetationsstruktur und standortbezogener klimatischer Situation, die im Projekt eine zentrale Bedeutung besitzen. Im Ergebnis stehen Daten und Kenngrößen, die als Input zur klimatischen Modellierung (Bestimmung mikroklimatischer Ausgleichsfunktionen, Klimaprojektionen, Szenarien) Anwendung finden.

2.2 Stadtvegetationsstrukturtypen der Stadt Dresden

In einem früheren Forschungsprojekt am IÖR[2] wurde die Stadtbiotoptypenkartierung der Stadt Dresden aus dem Jahre 1999 modifiziert und auf vegetationsstrukturell relevante Biotoptypen reduziert. Durch Auswahl, Zusammenfassung und Differenzierung sind aus den über 100 Dresdner Stadtbiotoptypen Stadtvegetationsstrukturtypen entwickelt worden. Die Auswahl erfolgte mit Hilfe der Beschreibung der Stadtbiotoptypen, der Beschreibung der Merkmale der Vegetations- und Nutzungsstrukturen der unbebauten Grundstücksflächen sowie der weiteren Zusatzinformationen aus der Stadtbiotopkartierung von Dresden. Eine besondere Bedeutung bei dem Auswahlverfahren hatten der Versiegelungsgrad, die Vegetationsschichtung sowie die Nutzungs- und Pflegeintensität der Biotoptypen. Die ausgewählten vegetationsstrukturell bedeutsamen Biotoptypen sind mit Bezug auf die Dresdner Stadtbiotoptypengliederung zusammengefasst, in wenigen Fällen auch weiter gegliedert worden: Die Biotoptypen der Wohnbebauung und gemischten Bauflächen und die Biotoptypen der Industrie-, Gewerbe- und Sonderflächen wurden auf Grund ähnlicher Versiegelungsgrade zusammengefasst und durch die ausführlich beschriebenen Strukturmerkmale unterschieden. Ergebnis sind 52 Stadtvegetationsstruk-

[2] Methodische Ansätze zur Sicherung und Entwicklung ökologischer Qualitätsniveaus in städtischen Siedlungsräumen (Projektnummer P 105, IÖR Dresden)

turtypen. Es erfolgte eine generelle Höhenstufen der Vegetationsschichtung. Flächen die ihrer Natur nach keine Vegetationsanteile aufweisen wurden im Stadtvegetationsstrukturtyp 100 zusammengefasst. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde dieser Typ in Wasserflächen, Verkehrsflächen und unversiegelte Flächen ohne Vegetation differenziert.

Zur Ermittlung der Höhenstruktur der Vegetationsschichtung wurde, unter Berücksichtigung der mittelmaßstäbigen Ebene, eine Orientierung auf generelle Höhenstufen der Vegetationsschichtung als angemessen erachtet. Es wurden der Untersuchung drei generelle Höhenstufen zu Grunde gelegt (Höhenstufe „niedrig": 10 cm; 50 cm; 80 cm; Höhenstufe „mittel":100 cm; 150 cm; 300 cm, Höhenstufe „hoch": 10 m; 15 m). Jeder der 52 IÖR-Projekt-Biotoptypen ist durch eine interdisziplinäre Arbeitsgruppe, insbesondere durch Biologen, auf der Grundlage des Biotopschlüssels bzgl. der Merkmale der Vegetations- und Nutzungsstrukturen in seiner durchschnittlichen Höhe innerhalb der Höhenstufen „niedrig", „mittel", „hoch" eingeschätzt worden.

Biotoptypen der Wohnbebauung und gemischten Bauflächen und Biotoptypen der Industrie-, Gewerbe- und Sonderflächen

Strukturmerkmale:
Reich strukturierte Gärten und Anlagen mit
- hohem Anteil meist alter und wertvoller Laubgehölze; Koniferen und Zierrasen ist untergeordnet;
- großflächig mit parkähnlichem Charakter (meist Villengärten)

Zur Vergrößerung bitte die Bilder anklicken!

Vegetationsschichtung [1]	Ausgewählte Merkmale der Struktur: Bewuchsanordnung: vereinzelt	lockere Bestände	in Gruppen	in Reihe	dichte Bestände	Nutzungs- und Pflegeintensität: extensiv	intensiv (Nutz- und Zierbeete)	Besonderheiten: Spontanvegetation	Saumbestände an Straßen, Wegen	Spezifische Höhenstufen der Vegetationsschichtung in m	Flächenanteil in %
Rasen [2]							x			0,1	21
Wiese [3]						x					
Sträucher, Stauden, Kräuter < / = 1 m Höhe											
Sträucher, Stauden, Kräuter > 1 m Höhe										3	16
Niederhecke [4] < / = 1 m Höhe											
Mittelhecke [5] > 1 - 2,5 m Höhe					x	x					
Baumhecken [6] > 2,5 m Höhe											
Gebüsche [7] < / = 2 m		x									
Gebüsche > 2 m Höhe					x						
kleine Bäume < / = 3 m Höhe	x										
mittelgroße Bäume > 3 - 10 m Höhe			x		x					15	42
große Bäume > 10 m Höhe		x			x						

Weitere Flächen innerhalb des Stadtbiotoptyps	Flächenanteil in %
Flächen ohne Vegetation	9
Überbaute Flächen	12

Äußere Dynamik: Gering
Innere Dynamik: Gering

zurück zur Übersicht

Matrizen der Vegetationsstruktur für 52 Stadtbiotoptypen

Auswahl von Repräsentanten für jeden der 52 Stadtbiotoptypen auf stichprobentheoretischer Grundlage

Physiognomische Flächenidentifikation für die Repräsentanten auf der Grundlage von Naturfarbluftbildern

Repräsentantenspezifische Flächenanteile mit
- hoher Vegetation
- mittlerer Vegetation
- niedriger Vegetation
- ohne Vegetation
- Überbauung

Biotoptypspezifische Flächenanteile in Form arithmetischer Mittelwerte der repräsentantenspezifischen Flächenanteile

Abbildung 1: Matrix der Vegetationsstruktur am Beispiel des Stadtvegetationsstrukturtyps 1 (Wohnbebauung, gemischte Bauflächen, Industrie-, Gewerbe- und Sonderflächen) und schematischer Ablauf der vegetationsstrukturellen Analyse (Quelle: Arlt et al. 2002)

Die biotopspezifische Vegetationsstruktur wird mit dem Grünvolumen und den Flächenanteilen der niedrigen, mittleren und hohen Vegetationsschichten sowie den Flächenanteilen ohne Vegetation und den Flächenanteilen mit Überbauung gemessen. Die Messung der biotoptypspezifischen Vegetationsstrukturen erfolgte im Rahmen einer vegetationsstrukturellen Analyse auf der Grundlage eines Naturfarbluftbild-Mosaiks (Dresden 1999) anhand von Repräsentanten.

Diese Stadtvegetationsstrukturtypen wurden weiter qualifiziert. Grundlage dieser Qualifizierung war insbesondere die sogenannte Abwasserkarte der Stadt Dresden. Ihr Bezugsjahr ist im Wesentlichen das Jahr 2000. Dresden hat die ehemalige Abwassergebühr in eine getrennte Schmutz- und Niederschlagswassergebühr überführt. Die Niederschlagswassergebühr errechnet sich aus dem Anteil der überbauten und versiegelten Fläche eines Grundstücks. Voraussetzung für die gesplittete Gebührenerhebung ist eine grundstücksbezogene Datenbank, die genaue Flächenangaben zu den überbauten, befestigten (voll- und teilversiegelt) und unbefestigten Grundstücksflächen beinhaltet. Die Geometriedaten dieser Erhebung, einschließlich des Bodenversiegelungswertes für jede Fläche, standen für die vorliegenden Untersuchungen flächendeckend für die Stadt Dresden zur Verfügung. Die Abwasserkarte differenziert u.a. Dächer, Gründächer, Wasserundurchlässige Flächen (Beton, Asphalt, Platten), Teildurchlässige Flächen (Pflaster, Platten mit versickerungsfähigen Fugen), Schwachableitende Flächen (wassergebundene Decken, wie Kies und Schotter) sowie unbefestigte Flächen, wie Rasen, Garten etc. Sie ermöglicht Rückschlüsse auf Überbauungsgrad, Versiegelungsgrad und Abflussbeiwert. Für alle Repräsentanten der Stadtvegetationsstrukturtypen wurden somit zusätzlich zu den Kenngrößen Grünflächenanteil und Grünvolumen die Kenngrößen Versiegelungsgrad, Abflussbeiwert, Vernetzungsgrad und Überbauungsgrad ermittelt. Über Plausibilitätskontrolle und Mittelwertbildung wurden somit jedem Projektbiotoptyp diese Kenngrößen in Form von Mittelwerten zugeordnet.

Bodenversiegelung: Bodenversiegelung ist das Verdichten offener Böden und Bedecken mit teilweise durchlässigen bis undurchlässigen Materialien. Durch Bodenversiegelung werden Austauschvorgänge zwischen Boden und Atmosphäre unterbunden oder eingeschränkt.

Bodenversiegelung und damit einhergehend Bodenverdichtung sind einerseits durch Gebäude und Infrastruktur eine Voraussetzung für die sozioökonomische Wertschöpfung (Flächenproduktivität) und ein entscheidender Faktor für das sozioökonomische Leistungsvermögen der Städte. Sie werden auf dem Bodenmarkt im Sinne von Ausstattungsparametern berücksichtigt und durch den Bodenpreis reflektiert. Andererseits wird dadurch das ökologische Flächenleistungsvermögen (beispielsweise bioklimatischer Ausgleich, Grundwasserneubildung, Staubbindung, Biotopbildung) reduziert. Flächenleistung wird in diesem Zusammenhang als Grad der Erfüllung ökologischer und sozioökonomischer Funktionen definiert, die den Flächen im Rahmen der Flächennutzung übertragen werden.

Schlüsselfaktor städtischer Bodenversiegelung ist die „Flächennutzungsproportion", d. h. das Verhältnis von Siedlungsraum zu Freiraum bzw. zwischen Grünflächen, teil- und versiegelten Flächen der Infrastruktur und Flächen mit Bebauung.

Grünausstattung: Grünausstattung sind die Grünflächenanteile und deren Struktur. Die Grünflächenanteile sind die Anteile aller vegetationsbestandenen Flächen insgesamt und differenziert nach den Schichtungen „niedrig" (Rasen-, Wiesenflächen), „mittel" (Flächen mit Hecken und Sträuchern), „hoch" (baumbestandene Flächen) an den Bezugsflächen.

In Verbindung mit der Kenntnis über deren räumliche Verteilung innerhalb einer Stadt lassen sich Rückschlüsse auf die klimatische Situation ziehen.

Grünvolumen: Das Grünvolumen ist ein Indikator für umfangreiche ökologische Leistungen im städtischen Lebensraum, insbesondere dem bioklimatischen Ausgleich und der lufthygienischen Qualität. Das Grünvolumen wird auf eine Flächeneinheit von 1 m² bezogen. In Abhängigkeit von dessen Aggregation können Veränderungen des Grünvolumens im Rahmen von städtebaulichen Maßnahmen auf Quartiers- oder Grundstücksebene angezeigt werden. Die mikroklimatischen Wirkungen der Veränderungen sind jedoch spürbar.

Tabelle 3: Grünausstattung der Stadtvegetationsstrukturtypen

Stadtvegetations-strukturtyp (SVST)		Beschreibung	Flächenanteil [%] Vegetationsschicht "niedrig"	Flächenanteil [%] Vegetationsschicht "mittel"	Flächenanteil [%] Vegetationsschicht "hoch"	Flächenanteil [%] "ohne Vegetation"	Flächenanteil [%] "überbaut"	Spezifisches Grünvolumen [m³/m²] Vegetationsschicht "niedrig"	Spezifisches Grünvolumen [m³/m²] Vegetationsschicht "mittel"	Spezifisches Grünvolumen [m³/m²] Vegetationsschicht "hoch"	Spezifisches Grünvolumen [m³/m²] insgesamt
1	Wohn- und Industrieflächen	reichstrukturierte Gärten, parkartig	21	16	42	9	12	0,02	0,48	5,73	6,23
2		durchschnittl. bis hoher Laubgehölzanteil	40	8	23	12	17	0,20	0,12	2,20	2,52
3		strukturarme Gärten	31	10	11	17	31	0,03	0,15	1,30	1,48
4		vegetationslos oder -arm	16	6	6	34	38	0,02	0,06	0,60	0,68
5		Nutzgärten	41	7	13	14	25	0,21	0,07	0,87	1,15
6		Nutzgärten m. ausgeprägtem Gehölzbestand	35	19	15	16	15	0,18	0,29	1,01	1,47
7	Verkehrsflächen	Bahn- und Gleisanlagen	36	4	12	45	3	0,18	0,06	0,80	1,04
8		Graswege (unversiegelt)	100	0	0	0	0	0,10	0,00	0,00	0,10
9	Grün- und Erholungsanlagen	geschl. Baumbestand	30	8	53	8	1	0,15	0,24	7,23	7,62
10		Wechselnder Anteil an Gehölzen	48	7	25	17	3	0,05	0,21	2,96	3,22
11		Scher-, Zier-, Sportrasen	83	1	9	7	0	0,08	0,02	1,07	1,16
12		Vegetationsfreie und -arme Flächen	14	3	12	69	2	0,01	0,05	1,42	1,48
13		Friedhöfe	28	16	44	10	2	0,14	0,24	4,20	4,58
14		gehölzreiche Kleingärten	44	20	14	14	8	0,35	0,60	1,37	2,32
15		gehölzarme Kleingärten	44	19	12	17	8	0,22	0,29	0,78	1,29
16		Campingplätze	54	10	16	13	7	0,05	0,30	1,07	1,43
17	Uferzonen	Röhricht, Binsen	28	37	4	31	0	0,22	0,37	0,36	0,96
18		Hochstauden, Ufergehölz	23	18	55	4	0	0,18	0,54	5,53	6,25
19		Rasenböschung	19	2	3	76	0	0,10	0,03	0,20	0,33
20		vegetationslos oder -arm	15	9	2	73	1	0,02	0,09	0,13	0,24
21	Grünland	Intensivgrünland	78	6	7	9	0	0,39	0,06	0,70	1,15
22		keine bzw. weitgehend keine Gehölze	92	2	6	0	0	0,46	0,02	0,71	1,19
23		Hochstauden	84	4	6	6	0	0,67	0,06	0,71	1,44
24		Gehölze	80	8	8	4	0	0,40	0,24	0,80	1,44
25	Ackerflächen	Acker	94	2	0	4	0	0,75	0,03	0,00	0,78
26		Obstkulturen	16	77	3	4	0	0,08	1,16	0,20	1,44
27		Erwerbsgartenbau	40	11	6	24	19	0,20	0,11	0,57	0,88
28		Grabeland	64	10	12	10	4	0,32	0,10	0,63	1,05
29		Weinberg	78	5	13	4	0	0,08	0,08	1,24	1,39
30	Aufschüttungen	verbuscht	32	61	1	6	0	0,16	1,83	0,07	2,06
31		vegetationsarm bis verbuschend	70	19	0	11	0	0,35	0,29	0,00	0,64
32		vegetationsarm bis -los	88	7	1	4	0	0,09	0,11	0,07	0,26
33	Ruderal- u. Staudenfluren, Brachflächen	Stauden, Hochstauden	69	8	4	19	0	0,35	0,12	0,27	0,73
34		Verbuschung	76	12	7	3	2	0,61	0,36	0,67	1,64
35		mit Einzelbäumen	44	22	18	15	1	0,22	0,66	2,13	3,01
36	naturnahe Feuchtstandorte	Röhricht-, Seggen-, Binsensümpfe	77	23	0	0	0	0,62	0,35	0,00	0,96
37		feuchte u. nasse Hochstaudenfluren	84	13	3	0	0	0,67	0,13	0,20	1,00
38		verbuscht	71	27	2	0	0	0,36	0,41	0,16	0,92
39		baumbestanden	65	12	20	3	0	0,33	0,36	1,58	2,27
40	Trockenrasen	allgemein	67	28	0	5	0	0,07	0,42	0,00	0,49
41		verbuscht, baumbestanden	35	58	0	7	0	0,18	1,74	0,00	1,92
42	Wälder	reine Waldbestände	3	24	73	0	0	0,00	0,72	6,97	7,69
43		Aufforstung	4	81	12	3	0	0,02	1,22	0,53	1,77
44		Kahlschlag	64	12	23	1	0	0,32	0,18	2,09	2,59
45		Lichtung	70	16	13	1	0	0,35	0,24	1,24	1,83
46		ausgeprägter Waldsaum	19	7	74	0	0	0,10	0,21	10,10	10,41
47		Wildwiese, Wildacker	96	1	3	0	0	0,48	0,02	0,15	0,64
48	Kleingehölze	Gebüsch, Gehölz-/Böschungspflanzung	1	31	55	13	0	0,01	0,93	4,35	5,28
49		Hecken, Strauchreihen	21	55	21	3	0	0,02	0,83	1,66	2,51
50		Baumreihen und -gruppen	25	22	50	3	0	0,03	0,66	5,38	6,06
51		Streuobsffläche, -brache	52	33	13	1	1	0,26	0,99	1,31	2,56
52		markante Einzelbäume	0	0	100	0	0	0,00	0,00	9,55	9,55

Die Ergebnisse der Erhebung wurden kartografisch aufbereitet. Nachfolgende Karte zeigt beispielhaft das Grünvolumen der Stadt Dresden in Abhängigkeit von den Stadtvegetationsstrukturtypen zum Referenzjahr 1999:

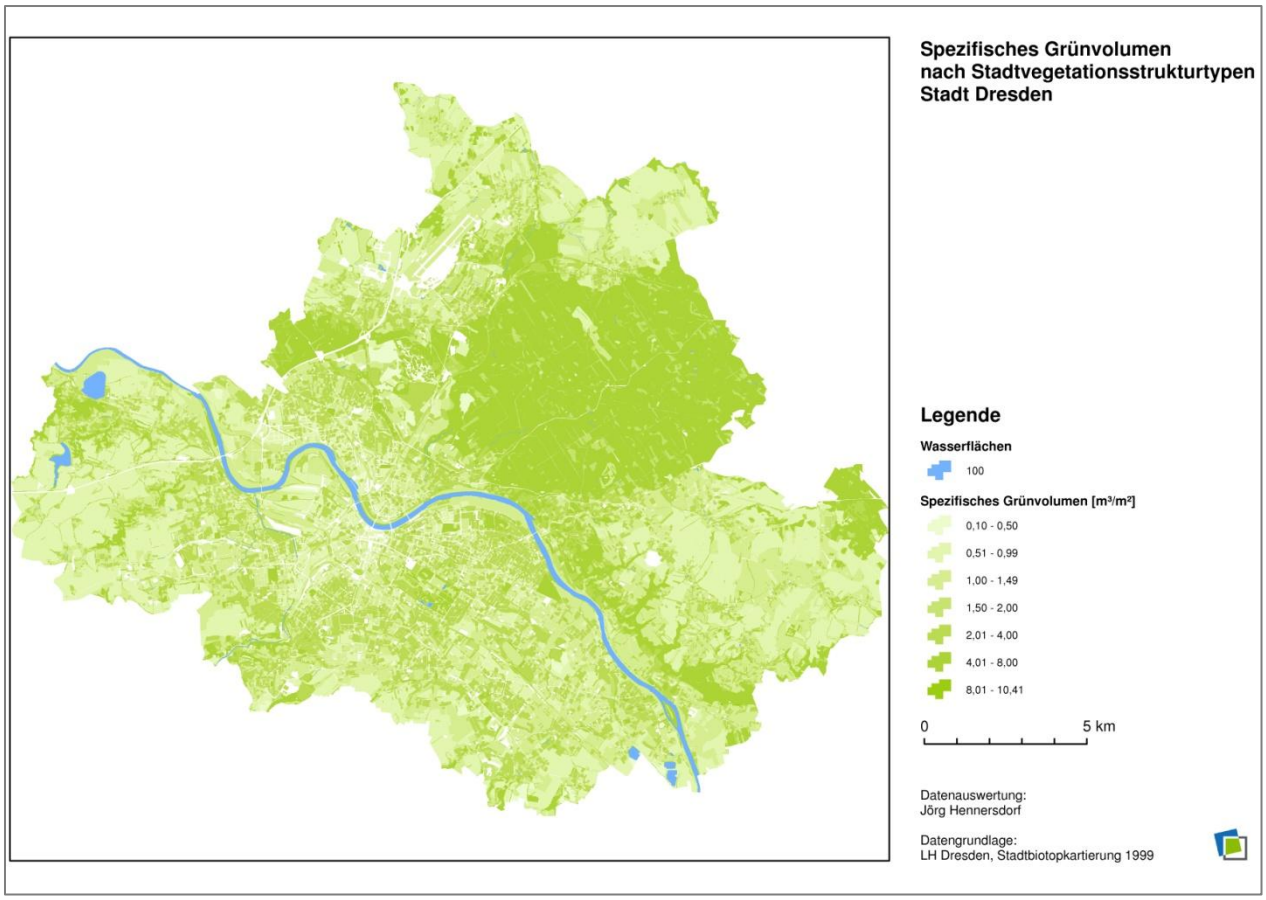


Abbildung 3: Grünvolumen der Stadt Dresden auf Basis der Stadtvegetationsstrukturtypen 1999

Das mittlere Grünvolumen der Stadt Dresden betrug zu diesem Zeitpunkt 1999 2,75 m³/m².

Validiert wurde das Ergebnis mit einer Untersuchung von Hecht (2006).Er bestimmte das Grünvolumen der Stadt Dresden auf Grundlage einer Laserscanbefliegung und ermittelte ein spezifisches Grünvolumen von 3,08 m³/m² (vgl. auch Meinel et. al (2006)). Aufgrund der geringen Abweichungen der Ergebnisse voneinander, kann davon ausgegangen werden, dass der Stadtvegetationsstrukturtypenansatz belastbar ist.

Zur theoretischen Bewertung ausgewählter ökologischer Leistungen unterschiedlicher Bodenbedeckungen wurde der Ansatz des Ökologischen Flächenleistungswertes entwickelt. (Heber/Lehmann 1996, Arlt/Lehmann 2005). Die Einschätzung der ökologischen Leistungen der Bodenbedeckung und des Bodens erfolgt nach den Kriterien Wärmespeicherung, Staubbindevermögen, Schadstoffrückhaltung, Oberflächenwasserabfluss, Niederschlagswasserversickerung sowie Biotopausbildungsvermögen. Die Art der Bodenbedeckung wird nach Gebäude, Asphalt/Beton, Platten, Kleinpflaster, wassergebundene Decke/Rasengittersteine, offener Boden/Acker, Rasen, Bäume/Sträucher, Stauden, Wiesen und natürliche Wasserfläche differenziert. Bewertet wird durch dimensionslose Flächenleistungsparameter auf ordinalem Skalenniveau mit 16 Wertstufen zwischen 0 (keine Leistung) und 1 (maximale Leistung). Grundsätzlich erfolgt die Bewertung von Bodenbedeckungen differenziert nach ausgewählten ökologischen Leistungen. Der Wertsynthese liegen gewichtete Mittelwerte zu Grunde:

$$ÖFL_n = \sum_{j=1}^{12} FLP_{Bodendeckschicht\,j} * FA_{Bodendeckschicht\,j}$$

$$mittlere\,ÖFL = \frac{\sum_{n=1}^{7} ÖFL_n}{7}$$

$ÖFL_n$ = ökologische Flächenleistung; n = 1…7

$FLP_{Bodenbedeckung}$ = Flächenleistungsparameter differenziert nach Art der Bodenbedeckung

$FA_{Bodenbedeckung}$ = Flächenanteil der Bodenbedeckung an der Fläche des Analysegebietes

Ausgewählte ökologische Flächenleistungen		Versiegelte Flächen				Teilversiegelte Flächen			Unversiegelte Flächen				
		Überbaut	Überbaut mit Dachbegrünung	Wasser - Pool	Wasser - Teich	Asphalt / Beton	Platten / Pflaster	Wassergebundene Decke / Rasengittersteine	Offener Boden	Vegetationsschicht "niedrig"	Vegetationsschicht "mittel"	Vegetationsschicht "hoch"	Natürliche Wasserfläche
Klima	Klimatisches Ausgleichsvermögen	0	1	1	1	0	0.15	0.3	0.3	1	0.9	0.8	1
	Staubbindevermögen	0	0.2	1	1	0	0.05	0.1	0.1	0.3	0.6	0.8	1
Boden	Schadstoffrückhaltung	0	0	0	0	0	0.25	0.4	0.5	0.8	0.8	0.8	kein Wert
	Porosität/Durchlässigkeit	0	0	0	0	0.1	0.3	0.6	1	0.9	1	1	1
Wasser	Grundwasserneubildunng	0	0	0	0	0	0.4	0.8	1	0.5	0.5	0.4	1
	Regenwasserversickerung	0	0.2	0	0	0.1	0.45	0.5	1	0.9	0.9	0.9	1
Flora / Fauna	Biotopbildungsvermögen	0.1	0.5	0	0.6	0.1	0.25	0.4	0.5	0.8	0.9	0.9	1

0 **keine** ökologischen Leistungen
> 0 <= 0.2 **sehr geringe** ökologische Leistungen
> 0.2 <= 0.4 **geringe** ökologische Leistungen
> 0.4 <= 0.6 **mittlere** ökologische Leistungen
> 0.6 <= 0.8 **hohe** ökologische Leistungen
> 0.8 <= 1 **sehr hohe** ökologische Leistungen

Quellen: Jentschke, Lange 1989; Sukopp, Wittig 1993; Heber, Lehmann 1996; Arlt, Lehmann 2005

Abbildung 4: Ökologische Flächenleistungsparameter in Abhängigkeit von der Bodenbedeckung in teilstädtischen Gebieten

Arlt/Lehmann 2005 definieren die Ökologischen Flächenleistungen wie folgt:

Klimatisches Ausgleichsvermögen: Leistungsbereich, der grundsätzlich alle Klimaelemente (Strahlung, Beleuchtung, Bewölkung, Niederschlag, Temperatur, Verdunstung, relative Feuchtigkeit und Windgeschwindigkeit) einschließt und auf deren Unterschiede zwischen Stadtklima und Klima der ländlichen Umgebung Bezug nimmt (vgl. u. a. Kuttler 1998, 128).

Der in der Untersuchung angewendete Ansatz zur Bewertung von Bodenbedeckungen bezieht nicht alle Klimaelemente ein. Er berücksichtigt nur das klimatische Ausgleichsvermögen und das Staubbindevermögen. Die Flächenleistungsparameter quantifizieren

vordergründig die Fähigkeit der Bodenbedeckungen die gegenüber dem Umland höheren mittleren Temperaturen in der Stadt abzusenken. Entscheidend für den klimatischen Ausgleich ist das nächtliche Abkühlungsverhalten der Oberflächen. Die hohe Wärmespeicher- und -leitfähigkeit versiegelter Flächen geht mit der Wärmespeicherung (tagsüber) und der Wärmeabgabe (nachts) einher. Versiegelte Flächen erzielen kaum abkühlende Wirkung. Den höchsten nächtlichen Abkühlungseffekt weisen niedrige Vegetationsschichten auf (Rasen, Wiese, Sträucher, Stauden, Kräuter </= 1 m). Da das Temperatur- und Verdunstungsverhalten von Flächen unterschiedlicher Bodenbedeckung eng mit der Luftfeuchtigkeit korrespondiert, findet der Klimafaktor „relative Feuchtigkeit" indirekte Berücksichtigung in der Bewertung.

Staubbindevermögen: Fähigkeit der Bodenbedeckung zur Ausfilterung von partikulär gebundenen, nichtflüchtigen Luftschadstoffen in Form von Sedimentationsstäuben, in sehr geringem Umfang auch von Schwebestäuben und Schadgasen. Die Ablagerung von Stäuben nimmt mit zunehmender Rauhigkeit der Oberflächen zu. Das Staubbindungsvermögen versiegelter Flächen und offener Böden ist gering. Grünflächen besitzen ausgeprägte Bindungspotenziale. Die Wirkungsgrade weisen signifikante Beziehungen zur Vegetationsschichtung auf. Der Staubfilterwirkungsgrad von Bäumen und Sträuchern liegt um ein Vielfaches höher als der von Gras.

Schadstoffrückhaltung: Fähigkeit der Böden und deren Deckschichten zur Zurückhaltung von Schadstoffen. Die Zurückhaltung schließt das Eindringen der Schadstoffe in den Boden und deren Bindung, Adsorption und Transformation ein. Versiegelte Flächen verhindern in hohem Maße zwar das Eindringen von Schadstoffen in den Boden. Sie leisten aber keinen Beitrag zur Schadstoffrückhaltung, weil die Schadstoffe nahezu ungeklärt in die Oberflächengewässer gelangen. Auf teil- und unversiegelten Flächen dringen Schadstoffe in den Boden ein. In Abhängigkeit von Art und Typ entwickeln die Böden eine Filterwirkung (Bindung von Schmutz- und Schadstoffteilchen in der Wasserleitbahn) und eine Pufferwirkung (Adsorption von gasförmigen und gelösten Schadstoffen an Tonmineralien und Huminstoffen sowie chemische Fällung der Schadsubstanzen im Rahmen von Reaktionen mit bodeneigenen Stoffen: Eisen, Aluminium, Mangan). Die lebenden Mikroorganismen des Bodens übernehmen die Funktion der Schadstofftransformation. Ein hohes Maß an Schadstoffrückhaltung bieten unversiegelte und bewachsene Böden mit einem humusreichen oberen Horizont und einem ausgeglichenem Körnungsgefüge sowie ph-Werten zwischen 5,5 und 7,5.

Porosität und Durchlässigkeit: Eigenschaften von Böden und deren Deckschichten, die die Bodenwirksamkeit der Atmosphärilien (Luft, Wasser, Nährstoffe, Schadstoffe) beeinflussen. Die Bodenwirksamkeit ist bei stark versiegelten Bodenflächen (beispielsweise unter Gebäuden mit fossilierten Restböden) nicht vorhanden. In Bezug auf die Erfüllung von Bodenfunktionen sind hohlraumreiche Bodenbedeckungen grundsätzlich positiv zu bewerten. Unversiegelter, intakter Boden übernimmt im komplexen Geschehen des Wasserkreislaufs eine zentrale Regelungsfunktion, die u. a. auf das Gleichgewicht der Wasserhaushaltskomponenten (Bodenwassergehalt[3], Evapotranspiration[4] und Oberflächenabfluss[5]) ausgerichtet ist. Bodenversiegelung stört die Regelungsfunktion und verschiebt das Gleichgewicht. Mit zunehmender Versiegelung erhöht sich der Oberflächenabfluss des

[3] Durch Infiltration verbleibt das Niederschlagswasser in Form von Haftwasser in der oberen Bodenzone und sickert bei Überschreiten der Sättigungsgrenzen in die tieferen Bodenschichten und gelangt so in das Grundwasser.

[4] Gesamtmenge der Verdunstung des Niederschlagswassers durch Pflanzen (Transpiration) sowie von Boden und Wasserflächen (Evaporation).

[5] Je nach Geländeneigung, Aufnahmefähigkeit des Bodens und Intensität der Niederschläge fließen Teile des Niederschlagswassers oberflächlich in die Vorflut ab.

Niederschlagswassers und sinken die Bodenwassergehalte. Folgen für den Wasserhaushalt sind eine geringere Evapotranspiration und Grundwasseranreicherung. Darüber hinaus tragen versiegelte Flächen in Großstädten und Ballungsgebieten zu Hochwasserabflüssen mit hohen Fließgeschwindigkeiten bei. Die Konsequenzen schließen den wasserbautechnischen Ausbau der Vorfluter und damit einhergehende Kosten sowie die Beeinträchtigungen der Gewässer- und Uferbiotope ein. Schließlich transportiert das Oberflächenwasser versiegelter Flächen eine erhebliche Schadstofffracht in die Gewässer.

Grundwasserneubildung: Leistungsvermögen der Fläche/des Bodens, auf Grund durchlässiger Bodenbedeckungen, durchlässiger Grundwasserdeckschichten, der Vegetationsstruktur sowie der klimatischen Gegebenheiten Grundwasservorkommen zu generieren (in Anlehnung an Marks et al. 1992, 194). Die Grundwasserneubildung durch Versickerung von Niederschlägen unterliegt grundlegend der Wasserdurchlässigkeit der Bodenbedeckungen und darüber hinaus dem Einfluss von Klimafaktoren (beispielsweise Temperatur, Luftfeuchte, Wind, Niederschlagsmenge), Bodeneigenschaften (nutzbare Feldkapazität), Vegetationsstrukturen (beispielsweise Wald, Grünland, Acker) sowie des Grundwasserflurabstandes. Grundsätzlich gilt, dass auch in städtischen Räumen Maßnahmen zur Verbesserung der Versickerung der Niederschläge und damit zur Entlastung des Grundwasserhaushalts sinnvoll sind.

Regenwasserversickerung: Fähigkeit der Bodenbedeckung, Niederschlagswasser vor Ort auf der Fläche weitgehend zurückzuhalten und zu versickern. Die Versickerung des Niederschlagswassers ist von zahlreichen Faktoren abhängig, beispielsweise von Hangneigung, Bodenbedeckung, Bodenart, Porenraumverteilung, Durchlässigkeit, hydraulische Leitfähigkeit, Permeabilität (Kuntze et al. 1994, 343). Die Versickerung des Niederschlagswassers ist nicht nur im Interesse der Grundwasserneubildung und Schadstoffrückhaltung, sondern sie reduziert auch die stoßweise hydraulische Belastung der Gewässer und stärkt damit deren Basisabfluss (Sukopp, Wittig 1998, 211). Neben technischen Maßnahmen (beispielsweise Flächenversickerung, Muldenversickerung tragen die Verwendung wasserdurchlässiger Bodenbeläge und die Vermeidung und Rücknahme unnötiger Bodenversiegelung, beispielsweise von Verkehrsflächen brach gefallener Baugebiete, nicht unerheblich zur Grundwasseranreicherung, Verbesserung der Wassergüte sowie zu einem kontinuierlicherem Abfluss in den Gewässern bei.

Biotopbildungsvermögen: Leistungsvermögen des Bodens / der Fläche, eine Lebensstätte für Pflanzen und Tiere zu bilden und die Lebensprozesse zu beeinflussen, aufrechtzuerhalten und gegebenenfalls wiederherzustellen (in Anlehnung an Marks et al. 1992, 188). Städtische Flächen weisen bedeckungsspezifische Charakteristika in der Ausprägung biotischer und abiotischer Faktoren sowie im Wasser-, Boden- und Lufthaushaushalt auf. Sie bieten Lebensraum für unterschiedliche Pflanzen und Tiere. Beispielsweise verschlechtern sich die Lebensmöglichkeiten von Organismen mit zunehmender Bodenversiegelung, weil sich Haushaltsstörungen und die Nutzungsintensität der Fläche (beispielsweise das Befahren und die Trittbelastung) verstärken. Das verbleibende Biotopbildungsvermögen versiegelter Böden kann mit Hilfe des Fugen- und Porenanteils und der Substrateigenschaften des Oberflächenbelags eingeschätzt werden. Vollständig versiegelte Flächen bieten praktisch keine Möglichkeiten für Pflanzenbewuchs.

Auf Grundlage der vorliegenden Differenzierung der Repräsentanten der Stadtvegetationsstrukturtypen in überbaute Flächen, vegetationsbestandene Flächen der Schichten „niedrig", mittel", „hoch" sowie der weiteren Ausdifferenzierung der „offenen Flächen" auf Basis der Abwasserkarte der Stadt Dresden in offene Böden, natürliche und künstliche Wasserflächen, (teil-)versiegelte Flächen mit Asphalt/Beton, Platten/Kleinpflaster sowie wassergebundener Decke konnten für alle Stadtvegetationsstrukturtypen die ökologi-

schen Flächenleistungswerte sowie zusätzlich die durchschnittlichen Versiegelungsgrade und Abflussbeiwerte[6] bestimmt werden.

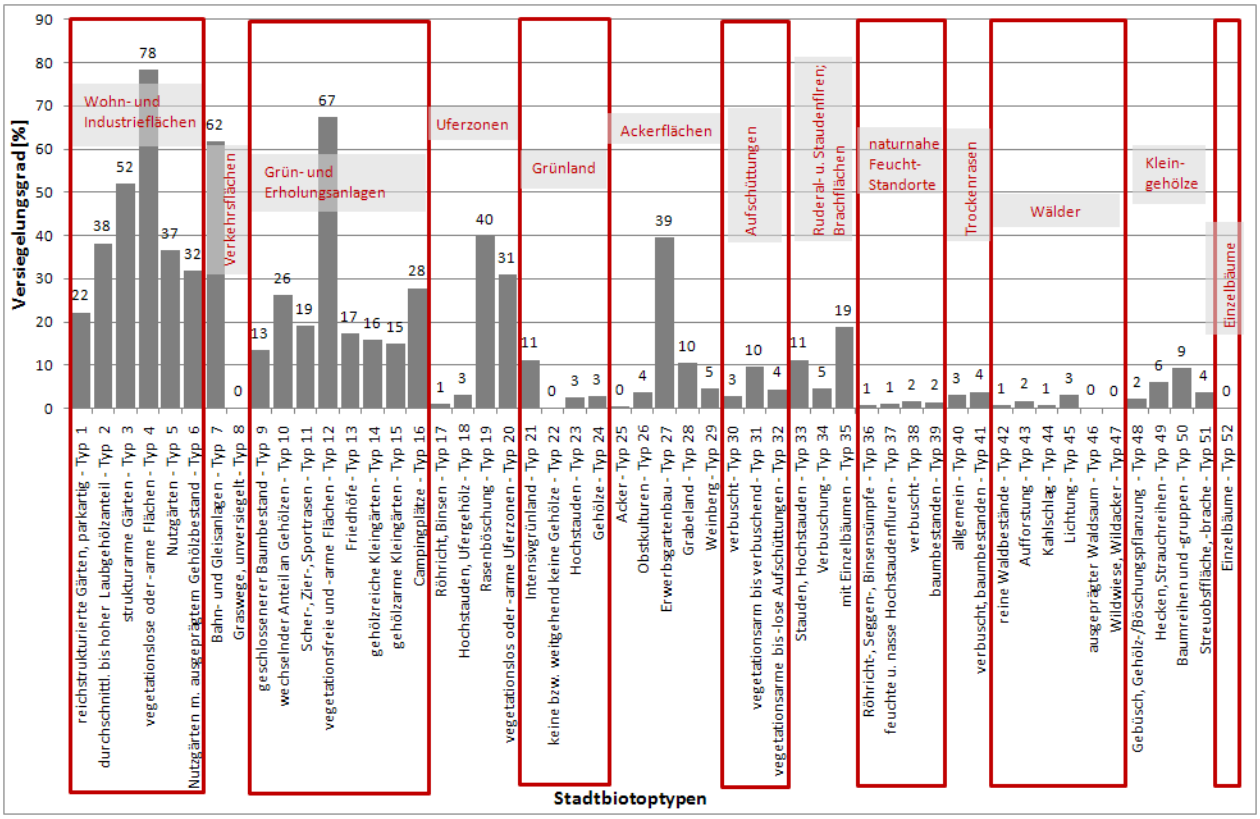


Abbildung 5: Durchschnittliche Versiegelungsgrade der Stadtvegetationsstrukturtypen

Tabelle 4: Ökologische Flächenleistungswerte der Stadtvegetationsstrukturtypen

[6] Abflussbeiwert: Anteil des auf eine Oberfläche fallenden Niederschlagswassers, der auf der Oberfläche in ein Entwässerungssystem oder einen Vorfluter abfließt (Arlt/Lehmann 2005)

Stadtvegetations-strukturtyp (SVST)		Beschreibung	Versiegelungsgrad [%]	Überbauungsgrad [%]	Abflussbeiwert [-]	Klimatisches Ausgleichs-vermögen [-]	Staubbindevermögen [-]	Klimatisch-lufthygienische Situation [-]	Schadstoffrückhaltung [-]	Porosität/Durchlässigkeit [-]	Grundwasserneubildung [-]	Regenwasserversickerung [-]	Biotopbildungsvermögen [-]	mittlere ÖFL [-]
1	Wohn- und Industrieflächen	reichstrukturierte Gärten, parkartig	22	12	0,22	0,70	0,51	0,61	0,62	0,77	0,40	0,72	0,73	0,64
2		durchschnittl. bis hoher Laubgehölzanteil	38	20	0,38	0,59	0,34	0,47	0,49	0,60	0,33	0,59	0,59	0,51
3		strukturarme Gärten	52	29	0,50	0,44	0,23	0,33	0,37	0,47	0,29	0,47	0,46	0,39
4		vegetationslos oder -arm	78	39	0,73	0,23	0,12	0,17	0,18	0,26	0,17	0,27	0,29	0,22
5		Nutzgärten	37	23	0,38	0,57	0,27	0,42	0,50	0,61	0,37	0,60	0,55	0,49
6		Nutzgärten m. ausgeprägtem Gehölzbestand	32	19	0,32	0,62	0,33	0,47	0,53	0,66	0,40	0,64	0,61	0,54
7	Verkehrsflächen	Bahn- und Gleisanlagen	62	1	0,46	0,40	0,19	0,30	0,41	0,55	0,47	0,60	0,46	0,44
9	Grün- und Erholungsanlagen	geschl. Baumbestand	13	1	0,12	0,80	0,59	0,70	0,72	0,88	0,45	0,83	0,82	0,73
10		Wechselnder Anteil an Gehölzen	26	2	0,25	0,72	0,39	0,56	0,61	0,76	0,43	0,73	0,69	0,62
11		Scher-, Zier-, Sportrasen	19	0	0,21	0,81	0,29	0,55	0,67	0,80	0,49	0,79	0,70	0,65
12		Vegetationsfreie und -arme Flächen	67	3	0,44	0,39	0,19	0,29	0,40	0,60	0,56	0,55	0,46	0,45
13		Friedhöfe	17	2	0,15	0,76	0,55	0,66	0,67	0,84	0,45	0,79	0,79	0,69
14		gehölzreiche Kleingärten	16	9	0,17	0,69	0,35	0,52	0,60	0,74	0,45	0,71	0,65	0,60
15		gehölzarme Kleingärten	15	9	0,15	0,70	0,34	0,52	0,59	0,75	0,47	0,72	0,66	0,61
16		Campingplätze	28	10	0,40	0,60	0,33	0,47	0,46	0,57	0,36	0,55	0,59	0,49
17	Uferzonen	Röhricht, Binsen	1	0	0,08	0,74	0,37	0,55	0,70	0,96	0,64	0,92	0,75	0,73
18		Hochstauden, Ufergehölz	3	0	0,05	0,84	0,62	0,73	0,78	0,96	0,46	0,89	0,86	0,77
19		Rasenböschung	40	0	0,06	0,75	0,54	0,65	0,39	0,59	0,46	0,58	0,63	0,56
20		vegetationslos oder -arm	31	1	0,29	0,27	0,10	0,18	0,41	0,78	0,77	0,77	0,43	0,50
21	Grünland	Intensivgrünland	11	0	0,14	0,88	0,30	0,59	0,74	0,87	0,53	0,85	0,75	0,70
22		keine bzw. weitgehend keine Gehölze	0	0	0,21	0,84	0,28	0,56	0,68	0,79	0,43	0,79	0,71	0,65
23		Hochstauden	3	0	0,11	0,93	0,33	0,63	0,77	0,90	0,51	0,89	0,78	0,73
24		Gehölze	3	0	0,19	0,84	0,32	0,58	0,69	0,82	0,47	0,80	0,72	0,67
25	Ackerflächen	Acker	0	0	0,10	0,94	0,29	0,62	0,78	0,91	0,54	0,91	0,78	0,73
26		Obstkulturen	4	0	0,08	0,86	0,53	0,69	0,76	0,96	0,52	0,88	0,85	0,77
27		Erwerbsgartenbau	39	22	0,38	0,53	0,21	0,37	0,48	0,62	0,44	0,61	0,52	0,49
28		Grabeland	10	4	0,15	0,85	0,36	0,60	0,71	0,84	0,48	0,83	0,75	0,69
29		Weinberg	5	0	0,10	0,92	0,38	0,65	0,77	0,90	0,50	0,88	0,80	0,74
30	Aufschüttungen	verbuscht	3	0	0,08	0,88	0,48	0,68	0,77	0,96	0,54	0,89	0,84	0,77
31		vegetationsarm bis verbuschend	10	0	0,15	0,84	0,32	0,58	0,71	0,87	0,52	0,85	0,74	0,69
32		vegetationsarm bis -los	4	0	0,12	0,95	0,31	0,63	0,77	0,89	0,52	0,88	0,78	0,73
33	Ruderal- u. Staudenfluren, Brachflächen	Stauden, Hochstauden	11	0	0,14	0,70	0,26	0,48	0,66	0,89	0,66	0,88	0,67	0,67
34		Verbuschung	5	2	0,12	0,86	0,35	0,60	0,74	0,90	0,53	0,88	0,76	0,72
35		mit Einzelbäumen	19	1	0,20	0,74	0,37	0,56	0,65	0,80	0,46	0,79	0,70	0,65
36	naturnahe Feuchtstandorte	Röhricht-, Seggen-, Binsensümpfe	1	0	0,08	0,82	0,40	0,61	0,74	0,95	0,57	0,92	0,78	0,74
37		feuchte u. nasse Hochstaudenfluren	1	0	0,09	0,97	0,39	0,68	0,79	0,91	0,49	0,89	0,81	0,75
38		verbuscht	2	0	0,10	0,95	0,39	0,67	0,79	0,92	0,49	0,89	0,82	0,75
39		baumbestanden	2	0	0,08	0,90	0,44	0,67	0,77	0,91	0,47	0,87	0,80	0,74
40	Trockenrasen	allgemein	3	0	0,18	0,87	0,33	0,60	0,67	0,78	0,47	0,78	0,74	0,66
41		verbuscht, baumbestanden	4	0	0,09	0,91	0,44	0,67	0,77	0,93	0,52	0,88	0,83	0,75
42	Wälder	reine Waldbestände	1	0	0,02	0,82	0,72	0,77	0,78	0,97	0,42	0,88	0,88	0,78
43		Aufforstung	2	0	0,05	0,85	0,58	0,71	0,77	0,97	0,50	0,87	0,86	0,77
44		Kahlschlag	1	0	0,07	0,93	0,45	0,69	0,79	0,94	0,48	0,90	0,83	0,76
45		Lichtung	3	0	0,10	0,94	0,40	0,67	0,78	0,91	0,49	0,89	0,82	0,75
46		ausgeprägter Waldsaum	0	0	0,02	0,84	0,70	0,77	0,80	0,98	0,42	0,90	0,88	0,79
47		Wildwiese, Wildacker	0	0	0,10	0,99	0,32	0,66	0,80	0,90	0,50	0,90	0,80	0,75
48	Kleingehölze	Gebüsch, Gehölz-/Böschungspflanzung	2	0	0,10	0,75	0,64	0,69	0,73	0,92	0,46	0,85	0,82	0,74
49		Hecken, Strauchreihen	6	0	0,21	0,81	0,52	0,66	0,63	0,81	0,60	0,73	0,81	0,70
50		Baumreihen und -gruppen	9	0	0,09	0,85	0,62	0,74	0,74	0,92	0,45	0,85	0,86	0,76
51		Streuobsffläche, -brache	4	2	0,10	0,91	0,43	0,67	0,77	0,91	0,49	0,87	0,82	0,74
52		markante Einzelbäume	4	2	0,00	0,80	0,80	0,80	0,80	1,00	0,40	0,90	0,90	0,80
101	vegetationslose Flächen	sonstige Verkehrsflächen	100											
102		unversiegelter offener Boden	0	0	0,10	0,30	0,10	0,20	0,50	1,00	1,00	1,00	0,50	0,63
103		vegetationslose Aufschüttungen	4	0	0,12	0,95	0,31	0,63	0,77	0,89	0,52	0,88	0,78	0,73
104		Wasserflächen	0	0		1,00	1,00	1,00		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Der Ansatz der ökologischen Flächenleistungswerte eignet sich insbesondere sehr gut für Variantenuntersuchungen teilstädtischer Gebiete. Dabei können in einem teilstädtischen Raum Veränderungen von Bodenbedeckungssituationen bzgl. der Verbesserung ihrer ökologischen Leistungsfähigkeit bewertet werden. Im Rahmen von REGKLAM stehen das Klimatische Ausgleichsvermögen und das Staubbindevermögen besonders im Fokus. Bei-

spiele für diese Variantenuntersuchungen finden sich in Kapitel 4. dieses Produktberichtes.

2.3 Übertragung auf die Stadtstrukturtypen der Stadt Dresden

Die Definition und Erfassung von Stadtvegetationsstrukturtypen ist relativ aufwändig und bedarf der Existenz einer Stadtbiotopkartierung als Grundlage. Gebräuchlicher und im Begriffsverständnis von Stadtplanern stärker verankert sind dagegen Typen baulicher Strukturen, sogenannte Stadtstrukturtypen. Die Stadtstrukturtypenkartierung basierend auf der Karte der statistischen Blöcke der Stadt Dresden beschreibt unterschiedliche Struktur- und Nutzungstypen. Flächen mit gleichartiger baulicher Struktur, also mit einem homogenen Erscheinungsbild, werden zu Struktureinheiten zusammengefasst und einem der definierten Typen zugeordnet. Die einzelnen Struktureinheiten werden hinsichtlich weiterer Merkmale, wie z.B. dem Versiegelungsgrad bewertet. Das Attribut „Versiegelungsgrad" wurde in Form von Klassen (0, 1, 2, 3, 4, 5) in 20-Prozent-Intervallen angegeben, wobei der Schlüssel „0" für unversiegelte Flächen steht, während der Schlüssel „5" den Bereich von 80 Prozent versiegelt bis vollversiegelt bezeichnet. Da Nettoblöcke abgegrenzt sind, ist der Versiegelungsgrad unabhängig von der Versieglung umliegender Verkehrsflächen und damit eindeutig dem Strukturtyp des Blockes zuzuordnen. Die Bewertung erfolgte grundsätzlich auf der Geometrie der Statistischen Blöcke der Stadt. Beim Vorkommen mehrerer Strukturtypen in einem Block gilt das Dominanzprinzip.

Tabelle 5: Nomenklatur der Stadtstrukturtypenkartierung in Dresden

Stadtstrukturtyp	Kurzbezeichnung
Geschlossene Blockbebauung	1
Offene Blockbebauung	2
Zeile/Reihe	3
Einzel-/Doppelhaus	4
Mischformen (Stadt- und Wohngebietszentren, alte Ortskerne, historische Gebäude, Bildung/Erziehung, Verwaltung, Medizin, Wohnheime)	5
Großflächige Bebauung	6
Sport/Spielanlagen	7
Kleingärten	8
Gleisanlagen	9
Acker	A
Grünland/Gärtnereien	B
Parks/Zoo	C
Friedhöfe	D
Wald	E
Wasserflächen	F
Abgrabungen/Aufschüttungen	G
Baustellen	H
Verkehrsflächen, Garagen	I
Brachflächen	K
Blockrestflächen	L

Zur Ermittlung der Grünausstattung der baulichen Strukturen erfolgte die Verschneidung der Stadtvegetationsstrukturtypen mit einer zum Bezugsjahr 1999 passenden Stadtstrukturtypenkartierung der Stadt Dresden. Somit konnten die Grünflächenanteile und Grünvolumen der statistischen Blöcke über die Attribute der Stadtvegetationsstrukturtypen

ermittelt werden und es sind Aussagen zur Grünausstattung von den in der Blockkarte geführten städtebaulichen Strukturen möglich.

Tabelle 6: Grünausstattung der Stadtstrukturtypen

Stadt-strukturtyp	Vegetationsstruktur – Flächenanteile [%]				Spezifisches Grünvolumen [m³/m²]			
	Vegetations-schicht „niedrig“	Vegetations-schicht „mittel“	Vegetations-schicht „hoch“	„ohne Vegetation inkl. überbaut“	Vegetations-schicht „niedrig“	Vegetations-schicht „mittel“	Vegetations-schicht „hoch“	„insgesamt“
1	27,6	7,9	12,0	52,5	0,07	0,12	1,26	1,45
2	33,8	9,5	17,9	38,8	0,14	0,18	1,81	3,13
3	34,1	9,4	15,2	41,3	0,13	0,17	1,54	1,84
4	37,8	11,8	20,5	30,0	0,18	0,24	2,02	2,44
5	33,8	9,9	15,7	40,6	0,13	0,19	1,58	1,90
6	32,6	8,0	11,2	48,2	0,13	0,15	1,14	1,42
7	41,2	8,0	17,7	33,0	0,14	0,19	1,80	2,13
8	40,7	16,0	13,9	29,3	0,26	0,42	1,35	2,03
9	28,0	9,3	19,2	43,5	0,15	0,24	1,66	2,05
A	78,6	6,7	4,9	9,9	0,57	0,12	0,47	1,16
B	55,8	16,0	11,0	17,2	0,34	0,30	1,07	1,72
C	42,7	7,8	30,0	19,4	0,11	0,21	3,73	4,05
D	30,1	15,3	39,9	14,7	0,15	0,24	3,83	4,22
E	9,6	24,2	60,9	5,3	0,03	0,66	5,80	6,49
F	11,8	4,0	5,2	79,0	0,07	0,09	0,51	0,66
G	53,1	17,7	12,3	16,8	0,21	0,34	1,15	1,70
H	40,3	9,3	12,0	38,5	0,16	0,19	1,22	1,58
I	21,3	7,5	13,4	57,8	0,10	0,19	1,33	1,62
K	57,0	6,1	6,2	30,6	0,36	0,11	0,62	1,08
L	8,7	3,0	5,4	82,9	0,04	0,08	0,56	0,67

Zur Modifizierung der bestehenden Stadtstrukturtypenkarte der Stadt Dresden entwarf die Stadtverwaltung Dresden in Zusammenarbeit mit dem IÖR ein Konzept, wie diese Karte von mehreren Ämtern der Stadtverwaltung auf verschiedenen Maßstabsebenen genutzt werden könnte. Ausgehend von einer sogenannten Basisblockkarte mit 16 Strukturtypen wurde im Teilprojekt 3.1.2 a die „Erweiterte Blockkarte“ erstellt. Die Erweiterte Blockkarte differenziert auf einer zweiten Ebene in 46 Nutzungsarten und auf einer dritten Ebene in 69 sogenannte „Differenzierte Nutzungsarten“, so dass Auswertungen und Visualisierungen in unterschiedlichen Maßstäben möglich sind. Zur Gewährleistung der Anschlussfähigkeit an die früheren Stadtstrukturtypkartierungen wurde jeder Block der Erweiterten Blockkarte auch hinsichtlich des früheren Kartierschlüssels bewertet. Über diesen kann die Umlegung der Grünausstattung der Stadtvegetationsstrukturtypen auf Stadtstrukturtypen zu jeder Zeit problemlos durchgeführt und die aktuelle Grünausstattung der Stadt Dresden berechnet werden.

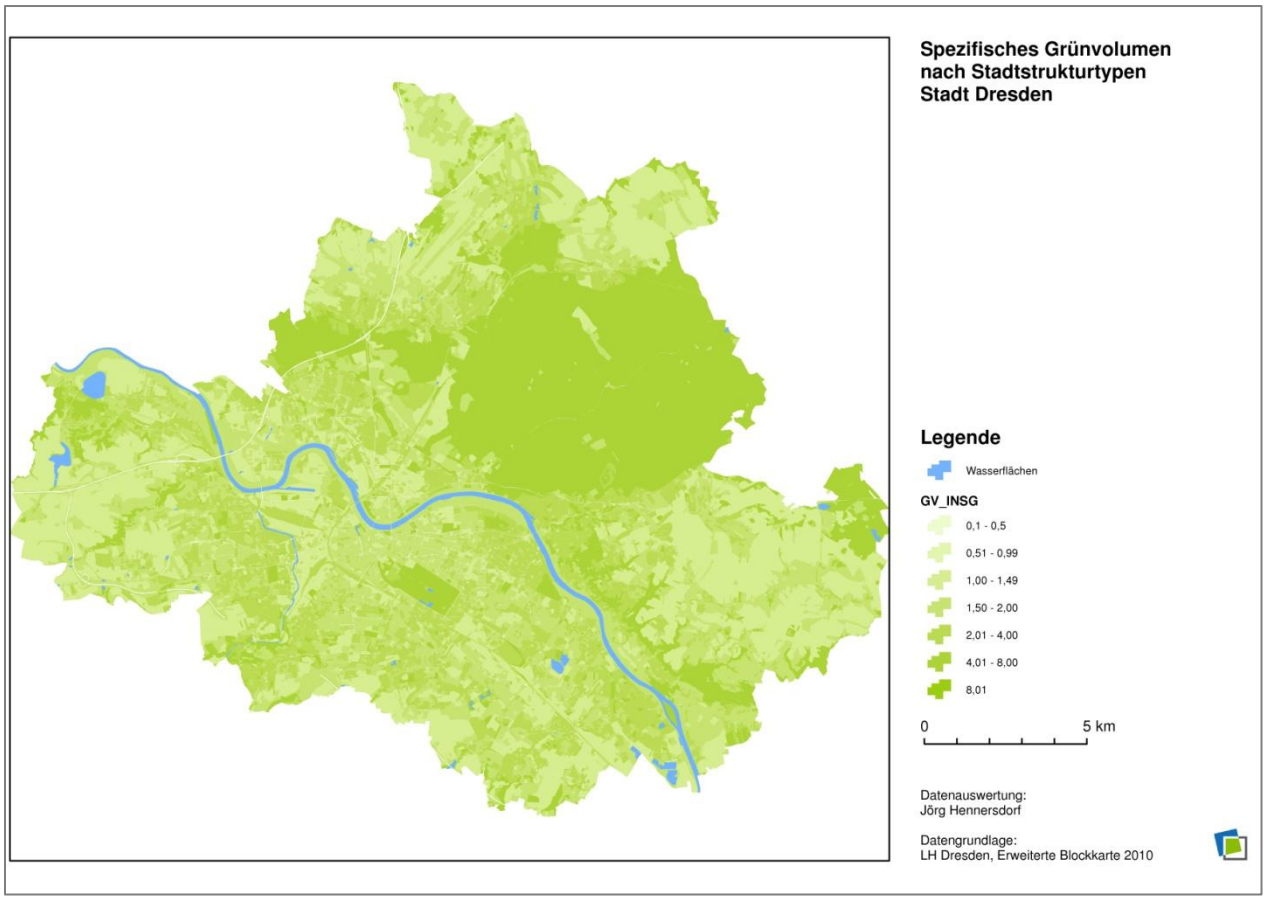


Abbildung 6: Grünvolumen der Stadt Dresden anhand von Stadtstrukturtypen 2010

Das mittlere Grünvolumen der Stadt Dresden beträgt im Jahr 2010 2,95 m³/m². Der Grünflächenanteil beträgt 75,8 % und differenziert sich wie folgt: 38,9 % „Vegetationsschicht „niedrig", 13,4 % Vegetationsschicht „mittel" und 23,5 % Vegetationsschicht „hoch".

2.4 Übertragung auf die Modellregion mittels landesweiter Biotop- und Nutzungstypenkartierung

Zur Übertragung der Ergebnisse der Struktur- und Grünausstattungserhebung der Stadt Dresden auf die Modellregion wurde zunächst der für die Modellregion flächendeckend vorliegende Datensatz der **Biotoptypen- und Landnutzungskartierung** (BTLNK) im Freistaat Sachsen, Ausgabe 2005, getestet. Die BTLNK-Daten geben Auskunft über den Ist-Zustand der Landschaftsausstattung des Jahres 2005 im Freistaat Sachsen. Die Lage der Geometrien ist an die CIR-Orthobilder aus der Befliegung von 2005 angepasst. Die BTLNK ist ein flächendeckender Datenbestand mit Flächen-, Linien- und Punktgeometrien. Die Ausweisung der Landschaftsausstattung erfolgt in Form von Kartiereinheiten, die durch einen neunstelligen Code verschlüsselt sind. In der Modellregion wurden anhand dieses Schlüssels über 5.600 Biotop- und Landnutzungstypen festgestellt.

Durch Verschneidung der Stadtvegetationsstrukturtypen Dresdens mit der sachsenweiten Biotoptypen- und Landnutzungskartierung erfolgte zunächst eine Prüfung, welche Stadtvegetationsstrukturtypen in welchen Kartiereinheiten der BTLNK vorkommen. Anhand

von Kreuztabellen, der Beschreibung der Ausprägungen und Strukturmerkmale der BTLNK-Typen in der Kartieranweisung sowie der Beschreibung der Stadtvegetationsstrukturtypen wurde eine Transformationstabelle zwischen den Kenngrößen der Stadtvegetationsstrukturtypenkarte und den Kartiereinheiten der sachsenweiter BTLNK geschaffen. Die Zuweisung der Stadtvegetationsstrukturtypen erfolgte in der Regel durch Setzung. Damit wurden Zufälligkeiten in der Verschneidung ausgeschlossen und auch BTLNK-Typen, die nicht im Stadtgebiet von Dresden vorkommen bewertet. Insbesondere im bebauten Raum wurden auch Mischungkalkulationen von Kenngrößen der Stadtvegetationsstrukturtypen vorgenommen. Beispielsweise errechnen sich die Kennwerte für Flächen des BTNLK-Kartierschlüssels 911300000 „Wohngebiet städtisch geprägt – Einzel- und Reihenhaussiedlung" mit folgenden Wichtungen aus den Kennwerten der Stadtvegetationsstrukturtypen: 50% SVST 2 (Wohnfläche mit durchschnittlichem bis hohem Gehölzanteil) 25% SVST 3 (Wohnfläche mit strukturarmen Gärten), 10% SVST 6 (Wohnfläche, Nutzfläche mit ausgeprägtem Gehölzbestand) und 15% SVST 100_verk (sonstige Verkehrsflächen).

2.5 Übertragung auf die Modellregion mittels ATKIS und SEMENTA®

Analyse- und Bewertungsverfahren, die Biotopkartierungen als Grundlage haben, sind sehr aufwändig. Außerdem erfolgen Biotop- und Nutzungstypenkartierungen in den einzelnen Bundesländern sehr unterschiedlich. Es wurde deshalb ein Verfahren gesucht, dass leichter zu handhaben und allgemeingültiger anwendbar ist. Deutschlandweit verfügbar sind die Geobasisdaten des ATKIS-Basis-DLM25. Das Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem (ATKIS) beschreibt die Oberfläche der Erde mit Digitalen Landschafts- und Geländemodellen. ATKIS bildet auch die Raumbezugsbasis für die Anbindung und Verknüpfung mit geothematischen Fachdaten. Es trägt den Charakter eines Geobasisinformationssystems der Vermessungs- und Katasterverwaltungen der Bundesländer. ATKIS ist in Objektklassen, Objektartgruppen und Objektarten gegliedert. Diese werden durch Attribute beschrieben. Im Rahmen dieses Teilprojektes wurde nunmehr getestet, inwieweit sich die über die Stadtvegetationsstrukturtypen gewonnenen Kenngrößen auf die ATKIS-Objektarten übertragen lassen.

ATKIS wird zurzeit auf das neue AAA-Modell umgestellt, wobei Sachsen noch im alten ATKIS-Schema arbeitet. Für die Untersuchung stand die Ausgabe des Jahres 2010 des ATKIS-Datensatz des Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen (GeoSN) zur Verfügung. Zunächst wurden aus dem landesweiten ATKIS-Gesamtdatenbestand die flächenhaft modellierten Objektarten der Modellregion Dresden selektiert. Grundlage war dafür das shape-File „Flächen-Kompakt", in welchem alle flächenhaften Objektarten mit Redundanzen abgelegt sind. In der Modellregion wurden 66 flächenhaft modellierte Objektarten festgestellt. Diese wurden in einem weiteren Schritt einzeln abgelegt und nach Siedlung bzw. Freiraum differenziert. Im Vorfeld wurden die Objektart 2101 „Ortslage" sowie die Objektarten der Objektbereiche 6000 „Relief" und 7000 „Gebiete" ausgesondert.

Theoretisch sind per Definition Objektarten festgelegt, die die sogenannten Grundflächen bilden. Sie sollen die Erdoberfläche redundanzfrei beschreiben. Im Datensatz der sogenannten Grundflächen finden sich dennoch eine Vielzahl von Redundanzen. Die Schaffung eines redundanzfreien ATKIS-Datensatzes ist somit nicht trivial, arbeitsintensiv und zeitaufwändig. Um diesen dennoch zu erreichen wurden die Objektarten sequentiell mittels

ArcGIS Overlay-Analysetool „update" zusammengefasst. Vorgegangen wurde dabei immer in der Richtung vom „Allgemeinen" zum „Speziellen", d. h. von der Grunddatenfläche zu Überlagerungsflächen. Die Objektarten der Siedlungsfläche und des Freiraums wurden dabei getrennt behandelt. Zunächst wurde ein redundanzfreier Datensatz erzeugt, der alle Objektarten der Siedlungsfläche vereinte und danach wurde analog mit den Freiraumobjektarten verfahren. Zum Abschluss wurden beide Datensätze mit Hilfe des update-Befehls vereinigt. Die Priorität wurde hierbei auf die Objektarten des Freiraums und der Grünanlagen gelegt, da der Schwerpunkt der Untersuchung auf der Ermittlung der Vegetationsstruktur und des Grünvolumens liegt.

Problematisch ist, dass der Bereich der baulich geprägten Flächen lediglich durch die vier Objektarten 2111 „Wohnbaufläche", 2112 „Industrie- und Gewerbefläche", 2113 „Fläche gemischter Nutzung", und 2114 „Fläche besonderer funktionaler Prägung" beschrieben wird. Denn genau diese Flächen von höchstem Interesse, wenn städtebauliche Strukturen bezüglich ihrer klimatisch-lufthygienische Situation betrachtet werden sollen. Damit stand das Problem, diese Flächen stärker zu untersetzten. Hierfür wurde die ArcMap-Programmerweiterung SEMENTA® genutzt. SEMENTA® ist ein Programm zur vollautomatischen Ableitung planungsrelevanter Siedlungskennwerte auf Basis der Topographischen Karte DTK25(-V) und des ATKIS Basis-DLM. Es wurde am Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung entwickelt und wird derzeit weiter qualifiziert. Es ermöglicht u.a. sehr großflächige Siedlungsanalysen. Im REGKLAM-Teilprojekt 3.1.2 a wurde der gesamte Gebäudedatenbestand der Modellregion in Form eines ALK-Gebäudedatensatzes mit Hilfe komplexer Bildverarbeitungsprozesse vermessen und typisiert. Da sich das System nach wie vor in der Entwicklungsphase befindet war es erforderlich, das Ergebnis dieser vollautomatischen Klassifikation anhand eines für die gesamte Modellregion als Wep Mapping Service (WMS) vorliegenden Luftbildes visuell zu prüfen und Fehlklassifikationen zu erkennen. Es erfolgte bei einem Teil dieser Fehlklassifikationen eine Korrektur, deren Ergebnis als Trainingsdatensatz für einen neuen Rechnungslauf diente, der anschließend erneut geprüft wurde. Es erwies sich die Notwendigkeit, diese Arbeitsschritte mehrfach durchzuführen, um die Klassifikationsgüte der Gebäudepolygone schrittweise zu erhöhen um somit eine vertretbare Ergebnisqualität zu erzielen. Der relativ hohe Aufwand zur Erstellung eines typisierten Gebäudedatensatzes in hoher Qualität sollte sich durch Weiterentwicklung des Klassifikationsprozesses deutlich reduzieren.

Durch Unterlagerung der typisierten Gebäudedaten mit den ATKIS-Blöcken der Siedlungs-Layer der Objektarten 2111, 2112, 2113, 2114 und 2202 wurden diese im Anschluss unter Berücksichtigung der Nutzungsart sowie des in ihnen überwiegend vorkommenden Gebäudetyps nach der in Tabelle 7 aufgeführten Typologie klassifiziert. Die Abgrenzung der ATKIS-Blöcke wurde dabei generell beibehalten. Somit konnten alle bebauten ATKIS-Flächen der Objektarten 2111, 2112, 2113 und 2114 hinsichtlich ihrer Struktur beschrieben und die gängige Stadtstrukturtypengliederung aufgenommen werden.

Tabelle 7: Baublocktypologie von SEMENTA®

Baublocktypologie (implementiert)		**Geplante weiterführende Differenzierung (keine Implementierung)**
Level 1	**Level 2**	**Level 3**

Code	Bezeichnung	Code	Kurzbez.	Bezeichnung	Bezeichnung
B1	Blockstrukturen	B11	G-B	Geschlossene Blockbebauung	Traditionell kompakt-geschlossen
					Traditionell fragmentarisch
					Blockstrukturen überformt
		B12	O-B	Offene Blockbebauung	Traditionell kompakt-offen
					Neubau – kompakt
					Stadtvillen (Blockstrukturen mit geringer Dichte)
					Würfelbebauung
					Unregelmäßige offene Strukturen
B2	Offene Baustrukturen	B21	ZT-B	Zeilenbebauung (traditionell)	Zeile (Reformwohnungsbau)
					Zeile ab 50-er Jahre
		B22	ZI-B	Zeilenbebauung (industriell)	Hofbildende Zeilen
					Mäander
					Hochhaus-Scheibe
		B23	HH-B	Hochhausbebauung (>50m)	Punkt-Hochhäuser
B3	Ein-, Zweifamilien- und Reihenhäuser	B31	EZFH-B	Ein- und Zweifamilienhausbebauung	Ein- und Zwei-FH-Bebauung geringer Dichte
					Verdichtete freistehende Ein- und Zwei-FH-Bebauung
		B32	RH-B	Reihenhausbebauung	Reihenhausbebauung
		B33	DH-B	Dörflich Traditionelle Bauweise	Traditionell dörflich geringe Dichte
					Traditionell dörflich verdichtet
					Streusiedlung
B4	Nichtwohnnutzung	B41	IG-B	Industrie/Gewerbe	Gewerbliche Flächen
		B42	BFP-B	Besondere funktionale Prägung (Verwaltung, Gesundheit/Soziales, Bildung/Forschung, Kultur usw.)	Sonstige Nichtwohnnutzung (Brachen, öffentliche Gebäude, Wald, Weg)

Problematisch sind jedoch nicht bebaute ATKIS-Flächen der Objektarten 2111, 2112, 2113 und 2114. Diese können sehr vielgestaltig sein. So kann es sich einerseits um Grünabstandsflächen anderseits aber auch um vollversiegelte Parkplätze handeln, wodurch erhebliche Unterschiede in der Grünstruktur auftreten können, die in einem Typ nicht zu fassen sind. Diese Flächen kommen zahlenmäßig relativ häufig vor (9 % aller ATKIS-Blöcke der Modellregion), sind allerdings in ihrer Flächensumme mit einem Flächenanteil von 0,5 % an der Gesamtfläche der Modellregion im Rahmen mittelmaßstäbiger Untersuchungen vernachlässigbar. Für eine abschließende Klärung der Frage, wie diese Flächen zuzuordnen sind, besteht weiterer Forschungsbedarf. Im Rahmen diese Untersuchung wurden diese Flächen zunächst mit ihrer ursprünglichen Objektarten-Attributierung mitgeführt.

Der oben beschriebene modifizierte ATKIS-Datensatz wurde nun mit dem SEMENTA®-typisierten ATKIS-Flächen mittels update-Funktionalität aktualisiert. Im Anschluss erfolgte für das Stadtgebiet von Dresden die Verschneidung mit dem Datensatz der Stadtvege-

tationsstrukturtypen. Über die in dem Datensatz enthaltenen Kenngrößen zu Grünausstattung, Grünvolumen und ökologischer Flächenleistung konnten diese auf die einzelnen ATKIS-Objektarten bzw. SEMENTA®-Baublöcke übertragen werden. Für die nicht im Stadtgebiet Dresdens vorkommenden Objektarten mussten Setzungen der Kenngrößen vorgenommen werden, wobei die Beschreibung ähnlich gegliederter Stadtvegetationsstrukturtypen und der jeweiligen ATKIS-Objektart die Grundlage bildeten. Ein Beispiel dafür sind Moore und Sümpfe. Auch hier besteht bei der Kenngrößenberechnung noch Forschungsbedarf, so dass eine abschließende Ausweisung aller objektartspezifischen Kenngrößen noch nicht erfolgen konnte. Mit den objektartspezifischen Kenngrößen besteht die Möglichkeit, die Grünausstattung und das Grünvolumen der gesamten Modellregion abzubilden. Das Hauptaugenmerk unserer Untersuchung liegt jedoch auf der Grünausstattung und der klimatisch-lufthygienischen Situation der Siedlungsräume, die besonders anfällig im Hinblick auf Auswirkungen des Klimawandels sind.

3. Wirkungsbeziehungen zwischen Stadtstrukturellen und Klimadaten

Im Folgenden wurden die erhobenen (stadt-)strukturellen Datensätze mit vorliegenden Klimadatensätzen verschnitten. Es besteht ein enger Wirkungszusammenhang zwischen Grünausstattung und mikroklimatischer Situation. Nach Finke (1993) ist im Wesentlichen die ökologische Qualität einer Stadt von dem Anteil und der räumlichen Verteilung der Grünflächen abhängig. Darüber hinaus beeinflusst die Struktur der sehr differenziert mit Vegetation bestandenen Flächen die mikroklimatische Situation der untersuchten teilräumlichen Fläche. Um diesen Zusammenhang nachzuweisen, wurden im Rahmen des Projekts „Noch wärmer, noch trockner? Stadtnatur und Freiraumstrukturen im Klimawandel"[7] Modellierungen mit Hilfe des 3 D-Mikroklimamodells ENVI-Met[8] durchgeführt. Außerdem wurden mit dem Vegetations-Atmosphärenmodell HIRVAC 2D[9] Repräsentantenflächen der Stadtvegetationsstrukturtypen modelliert, um deren temperaturabsenkende Wirkung als Differenzwert zu einer versiegelten Referenzfläche zu ermitteln. Es wurden die Vegetationsflächen nach den Vegetationsschichten „niedrig" (Rasen-, Wiesenflächen), „mittel" (mit Hecken, Sträuchern oder Stauden bestandene Flächen) und „hoch" (Bäume) sowie die überbauten und versiegelten und teilversiegelten Flächen modelliert. Im Ergeb-

[7] F+E-Vorhaben gefördert durch das BfN mit Mitteln des BMU; FKZ 3508821800; Projektleitung: Dr. Juliane Mathey, IÖR Dresden

[8] Das Modell ENVI-Met (Bruse/Fleer 1998) ist ein dreidimensionales kleinskaliges Atmosphärenmodell, das speziell für die Anwendung im urbanen Raum konzipiert wurde. Es ist in der Lage, die Mikroklimaunterschiede zwischen den Stadtstrukturen sowie deren Wechselwirkungen räumlich und zeitlich sehr detailliert abzubilden. ENVI-Met ist ein prognostisches Modell, basierend auf den Grundgesetzen von Strömungs- und Thermodynamik, und ermöglicht die Modellierung von Strömungen um Gebäude, Austauschprozessen von Wärme und Wasserdampf am Boden und an Wänden sowie den Austausch von Vegetation und Bioklimatologie. Es ist eine Modellierung der Wechselwirkungen von Oberflächen, Vegetation und Atmosphäre möglich. Als Modellinput dienten u.a. Gebäudehöhen, die Vegetationsstruktur mit spezifischen Höhenstufen und Bodendeckschichten (versiegelt (Asphalt), teilversiegelt (wassergebundene Decke), offener Boden (Lehmboden)). (vgl. Produktbericht REGKLAM Teilprojekt 3.1.2 b, Mathey et al. 2011)

[9] Das Modell HIRVAC (HIgh Resolution Vegetation Atmosphere Coupler) wird zur Ableitung übertragbarer Zusammenhänge zwischen Mikroklimawirkungen und der städtischen Vegetations- und Freiraumstruktur wurde eingesetzt. Es handelt sich um ein atmosphärisches Grenzschichtmodell, das seit mehreren Jahren an der Professur für Meteorologie der TU Dresden entwickelt und angewendet wird. HIRVAC existiert in einer 1-D und 2-D-Variante und verfügt über Mehrschicht-, Vegetations- und Bodenmodule, mit denen aktuelle Probleme der Boden-Vegetations-Atmosphären-Wechselwirkungen untersucht werden können. Die Vegetation wird durch Parameter wie Kronenschlussgrad, Blattflächendichte, Blattflächenindex, Formwiderstand sowie Ergebnisse des mechanistischen Photosynthesemodells (PSN6, Universität Bayreuth, FALGE et al. 1996) für unterschiedliche Vegetationstypen parametrisiert. Für die konkreten Untersuchungen im Rahmen dieses Projektes wurden die Parameter modifiziert und an den Vegetationsstrukturtypenansatz mit den Kenngrößen Grünflächenanteil sowie spezifisches Grünvolumen in den Vegetationsschichten „niedrig", „mittel" und „hoch" angepasst. (vgl. Produktbericht REGKLAM Teilprojekt 3.1.2 b, Mathey et al. 2011)

nis standen Stadtvegetationsstrukturtypen abhängige Aussagen zu deren potenziellen Temperaturabsenkungsvermögen.

Die Anwendung der Ergebnisse auf die Stadt Dresden und deren Überlagerung mit den vom Umweltamt Dresden im Rahmen der Synthetischen Klimafunktionskarte von 1999 ausgewiesenen Überwärmungsbereichen für sehr hohe (1) und hohe (2) Belastung ergibt, dass die Flächen mit kaum bzw. geringer temperaturabsenkender Wirkung weitgehend innerhalb dieser Belastungszonen liegen. Es ist zu prüfen, ob die außerhalb der beiden Belastungszonen liegenden Flächen ohne potenzielles Temperaturabsenkungsvermögen als Belastungszone zusätzlich ausgewiesen werden sollten.

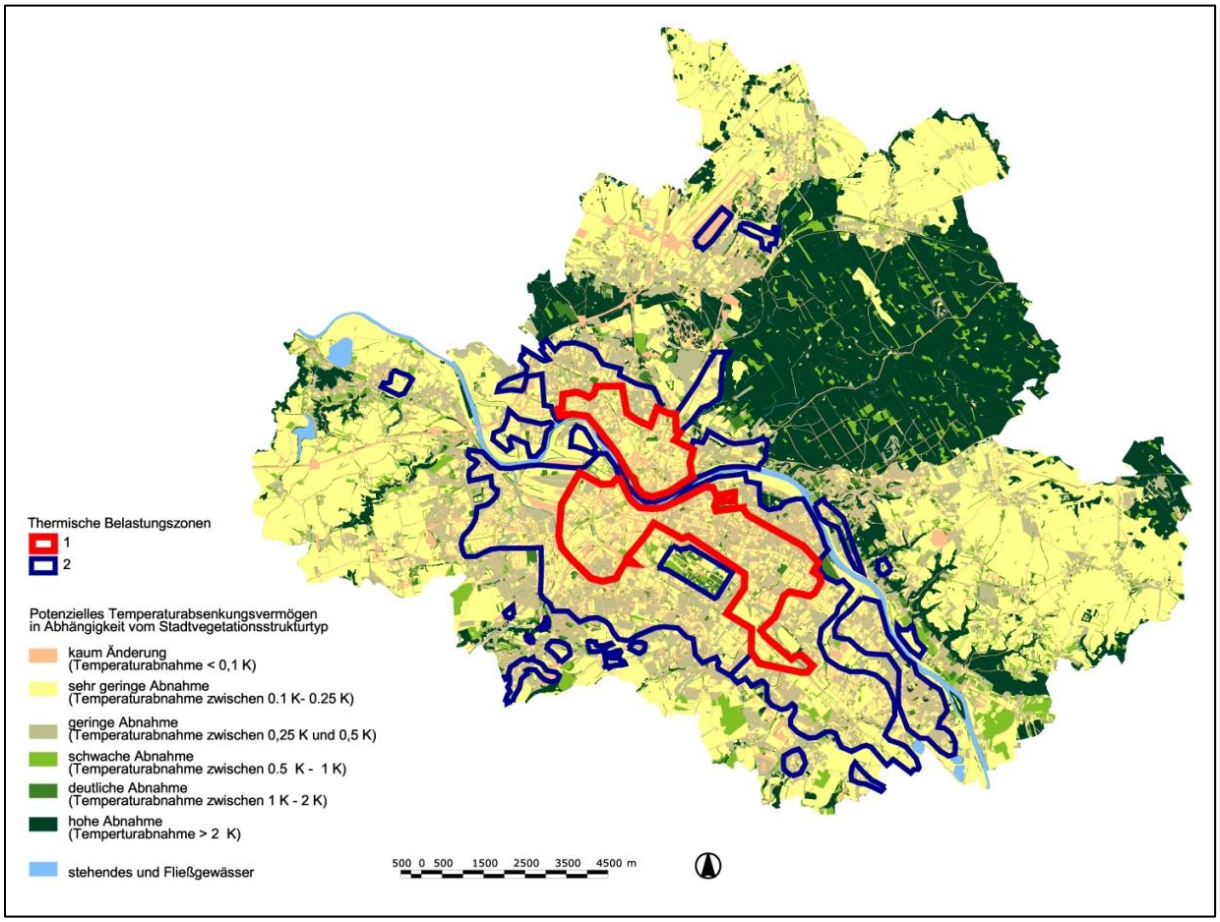


Abbildung 7: Potenzielles Temperaturabsenkungsvermögen von Stadtvegetationsstrukturtypen innerhalb der Thermischen Überwärmungszonen sehr hoher und hoher Belastung

Bivariate Regressionsrechnungen weisen einen engen Zusammenhang zwischen dem potenziellen Temperaturabsenkungsvermögen und dem spezifischen Grünvolumen (Bestimmtheit 0,94) sowie dem Flächenanteil der Vegetationsschicht „hoch" (Bestimmtheitsmaß 0,88) nach.

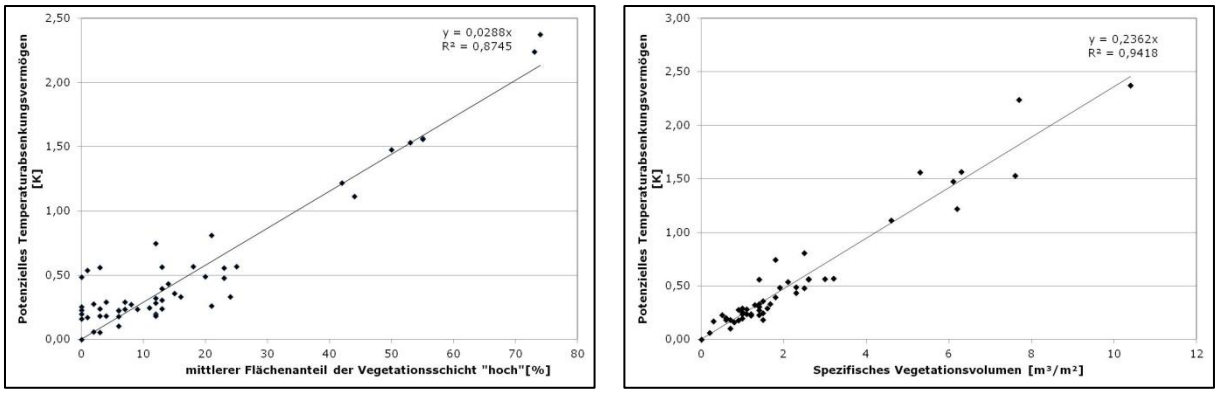


Abbildung 8: Zusammenhang zwischen Potenziellem Temperaturabsenkungsvermögen und Flächenanteil der Vegetationsschicht „hoch" bzw. dem Spezifischen Vegetationsvolumen

Die versiegelten Flächen sind ökologische Defizitflächen. U.a. ist die Erfüllung der ökologischen Produktions- und Lebensraumfunktion weitgehend eingeschränkt. Da versiegelte Flächen und damit die Bodenversiegelung ein Schlüsselindikator für die Grundbelastung von Boden, Wasser und Klima in den Städten sind, können über die Kenngröße „Versiegelungsgrad" Aussagen über die mikroklimatische Situation in den teilstädtischen Räumen in ihrer Tendenz getroffen werden.

Eine bivariate Regressionsrechnung auf der Grundlage der Stadtvegetationsstrukturtypen zwischen deren Versiegelungsgraden und potenziellen Temperaturabsenkungsvermögen ergibt einen mittleren Zusammenhang bei einem Bestimmtheitsmaß von R^2= -0,45.

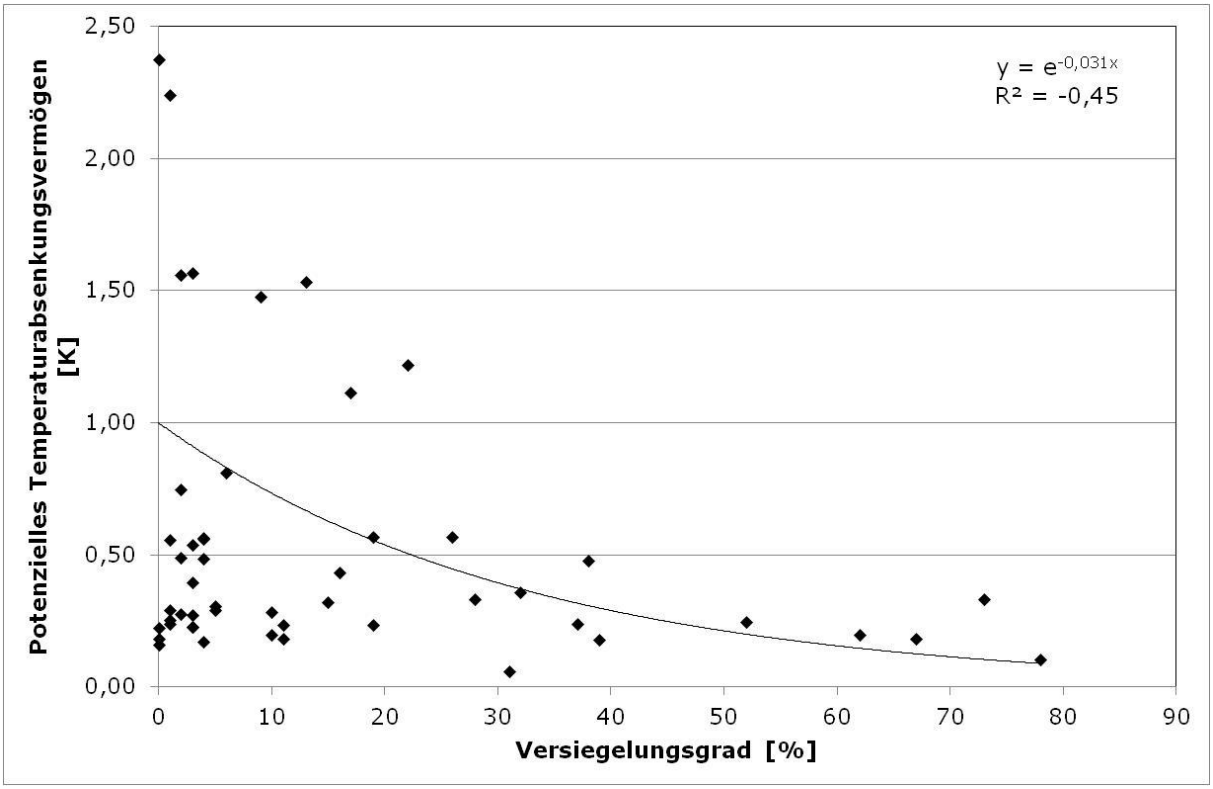


Abbildung 9: Zusammenhang zwischen Potenziellem Temperaturabsenkungsvermögen und Versiegelungsgrad

Die Anwendung des Zusammenhanges auf Dresden und die Darstellung aller Stadtvegetationsstrukturtypen mit einem mittleren versiegelten Flächenanteil > 50 % (d.h. einem Versiegelungsgrad > 50 %) ohne Berücksichtigung der vollversiegelten Verkehrswege zeigt die Lage der Flächen mit mittlerer bis hoher Versiegelung. Eine Überlagerung des Ergebnisses mit den von Umweltamt Dresden ausgewiesenen thermischen Belastungszonen für sehr hohe (1) und hohe (2) Belastung schließt die aus der Sicht der Bodenversiegelung maßgeblichen Problemgebiete ein. Flächen mit einem hohen versiegelten Flächenanteil sind in den meisten Fällen neu entstandene Gewerbegebiete oder Nachverdichtungen.

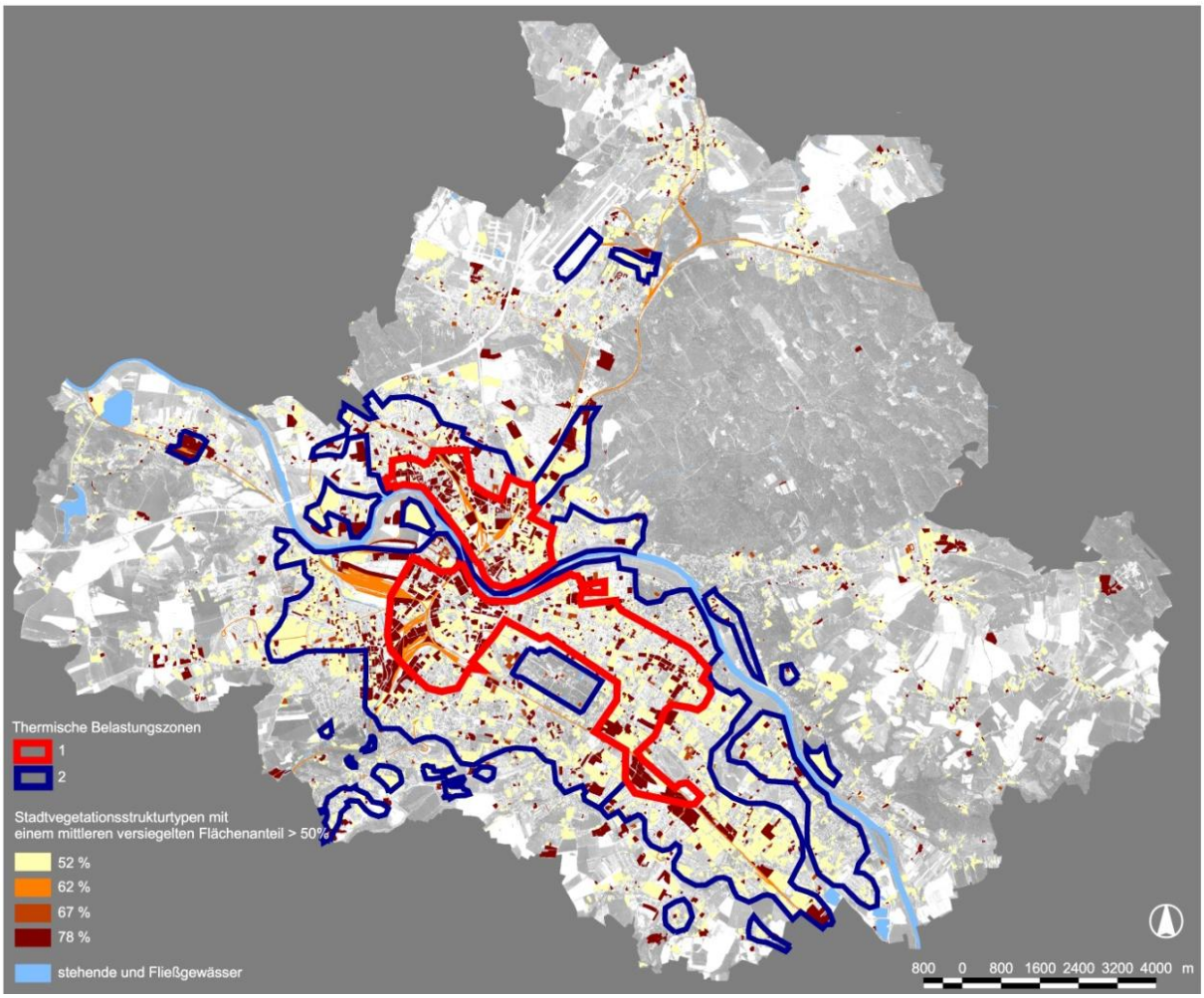


Abbildung 10: Mittlerer Versiegelungsgrad von Stadtvegetationsstrukturtypen innerhalb der Thermischen Überwärmungszonen sehr hoher und hoher Belastung

Durch die Verschneidung der Analyseergebnisse des Thermalkanals von Landsat-Satellitenszenen mit der Stadtstrukturtypenkartierung konnten für die Stadtstrukturtypen mittlere Oberflächentemperaturen an einem heißen Tag ermittelt und statistisch ausgewertet werden (vgl. REGKLAM-Produktberichte 3.1.2 c und 3.1.2 a).

Im Sommer 2009 wurden in Dresden im Rahmen eines Meteorologischen Vertiefungspraktikums der Technischen Universität Dresden (TUD) Messungen zum Zweck des Nachweises stadtklimatologischer Effekte (erhöhte Lufttemperatur, geringere Luftfeuchtigkeit, etc.) durchgeführt. Hierfür wurden standardisierte meteorologische Messungen

u.a. von Lufttemperatur, -feuchte, Wind etc. in den Parkanlagen des Großen Gartens und des Zwingerparks durchgeführt. Begleitet wurden diese Messungen an mehreren strahlungsreichen, heißen Sommertagen von mobilen Messungen in Form von zeitlich hochaufgelösten Fahrradmessungen durch typische städtische Strukturen (u.a. Altstadt, Neustadt, Südvorstadt, Johannstadt und Friedrichstadt) (vgl. Produktbericht REGKLAM-Teilprojekt 3.1.2 a). Den Verlauf der Routen zeigt Abbildung 12. Die auf den Routen gemessenen Werte, insbesondere der Temperatur, wurden ins GIS überführt und dort in Beziehung zu den Stadtvegetationsstrukturtypen gesetzt.

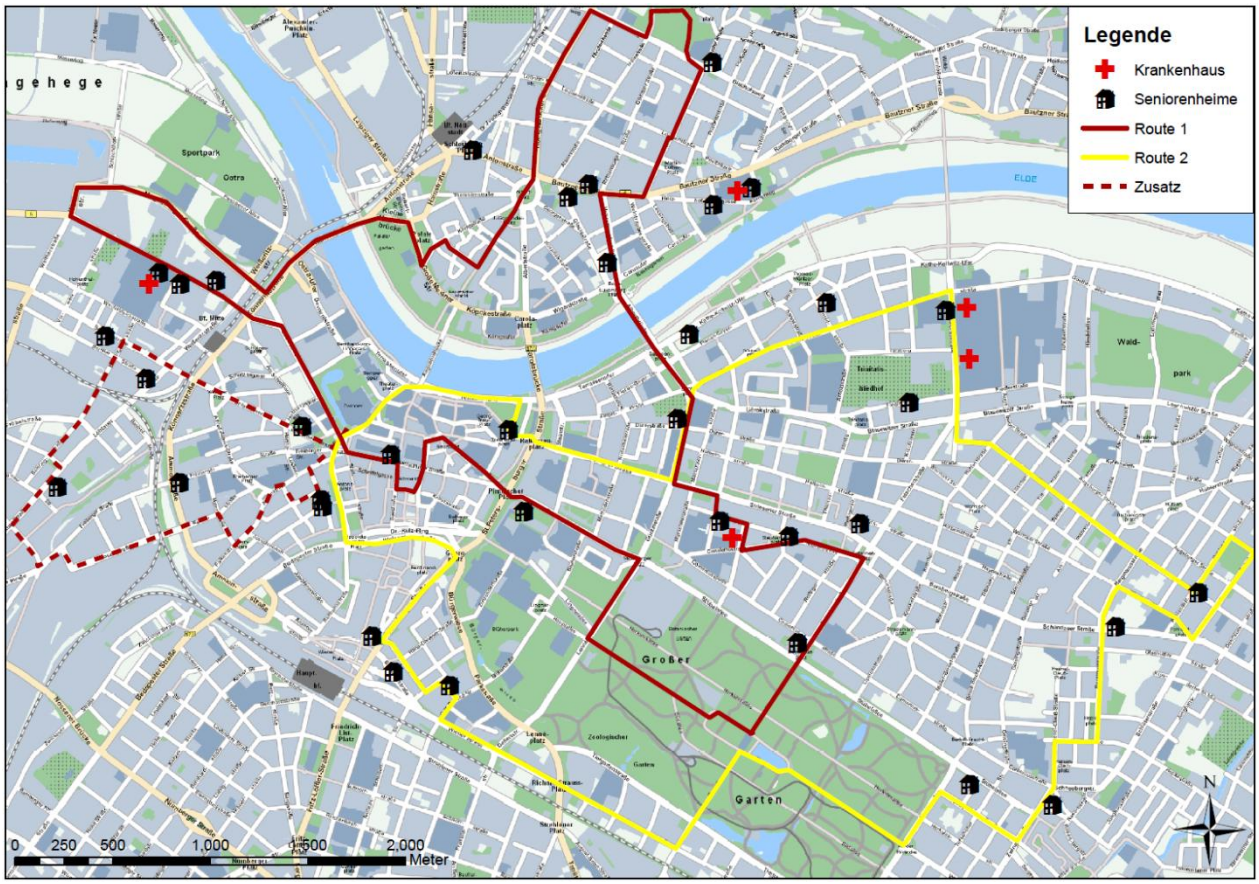


Abbildung 11: Verlauf der Fahrradrouten zu den Messungen an 4 Strahlungstagen (16.07., 17.07., 07.08., 20.08.2009) (Quelle: A. Westbeld, V. Goldberg Teilprojekt 3.1.2 b)

Im Teilprojekt 3.1.2 e werden die Konsequenzen des Klimawandels für die Grün- und Freiflächensituation in der Stadt Dresden und der gesamten Modellregion untersucht und neben den Kennwerten Grünflächenanteil und Grünvolumen differenziert nach „niedrig", „mittel", „hoch", dem Versiegelungsgrad auf der Grundlage des Ökologischen Flächenleistungswertes und speziell der klimatischen und lufthygienischen Situation analysiert und bewertet.

Um die Robustheit des Ansatzes einschätzen zu können, wurden die Ergebnisse konkreter Temperaturmessungen von Messfahrten an einem heißen Sommertag korreliert mit den Flächenleistungswerten „Klimatisches Ausgleichsvermögen" und „Staubbindevermögen".

Es wurde jedem Temperaturmesspunkt ein bzw. -bei straßenmittiger Messung- zwei SVST zugeordnet. Die Summe aller einem SVST zugeordneten Messpunkte dividiert durch die Anzahl der Messpunkte ergab die „Mittlere gemessene Temperatur" für den jeweiligen SVST. Die Korrelationen der „Mittleren gemessenen Temperatur" mit den aus dem theoretischen Bewertungsansatz für die SVST ermittelten Flächenleistungswerten „Klimati-

sches Ausgleichsvermögen" und „Staubbindevermögen" zeigen bei Bestimmtheitsmaßen von 0,56 bzw. 0,53 einen mittleren Zusammenhang (Abb. 12).

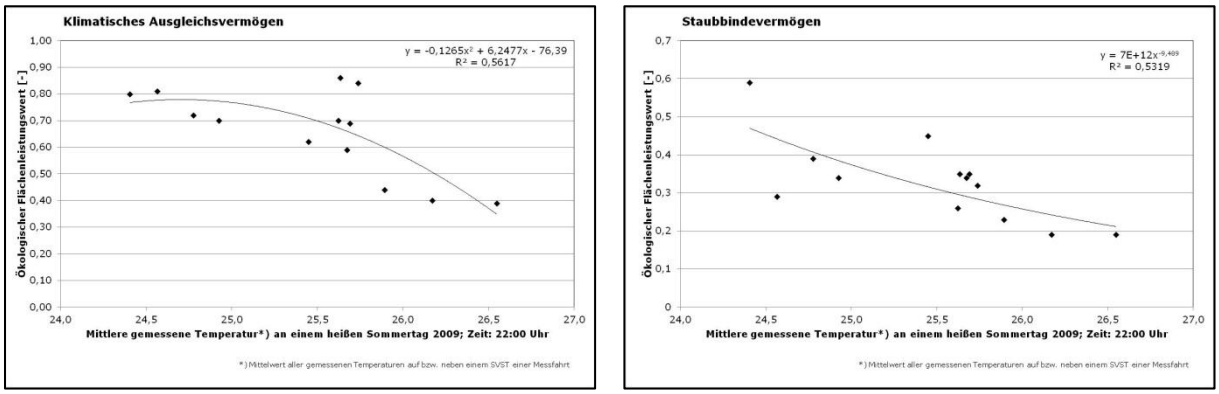


Abbildung 12: Bivariater Zusammenhang zwischen den theoretisch gebildeten Größen des ÖFL-Ansatzes „Klimatisches Ausgleichsvermögen" bzw. „Staubbindevermögen" und der „Mittleren gemessenen Temperatur" auf bzw. neben allen Messpunkten eines SVSTs einer Messfahrt an einem heißen Sommertag 2009; 22:00 Uhr

Die „Klimatisch-lufthygienische Situation", die im Bewertungsansatz durch die Summe von „Klimatisches Ausgleichsvermögen" und „Staubbindevermögen" dividiert durch 2 beschrieben wird, zeigt mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,72 eine hohen Zusammenhang zur gemessenen Temperatur (Abb. 13).

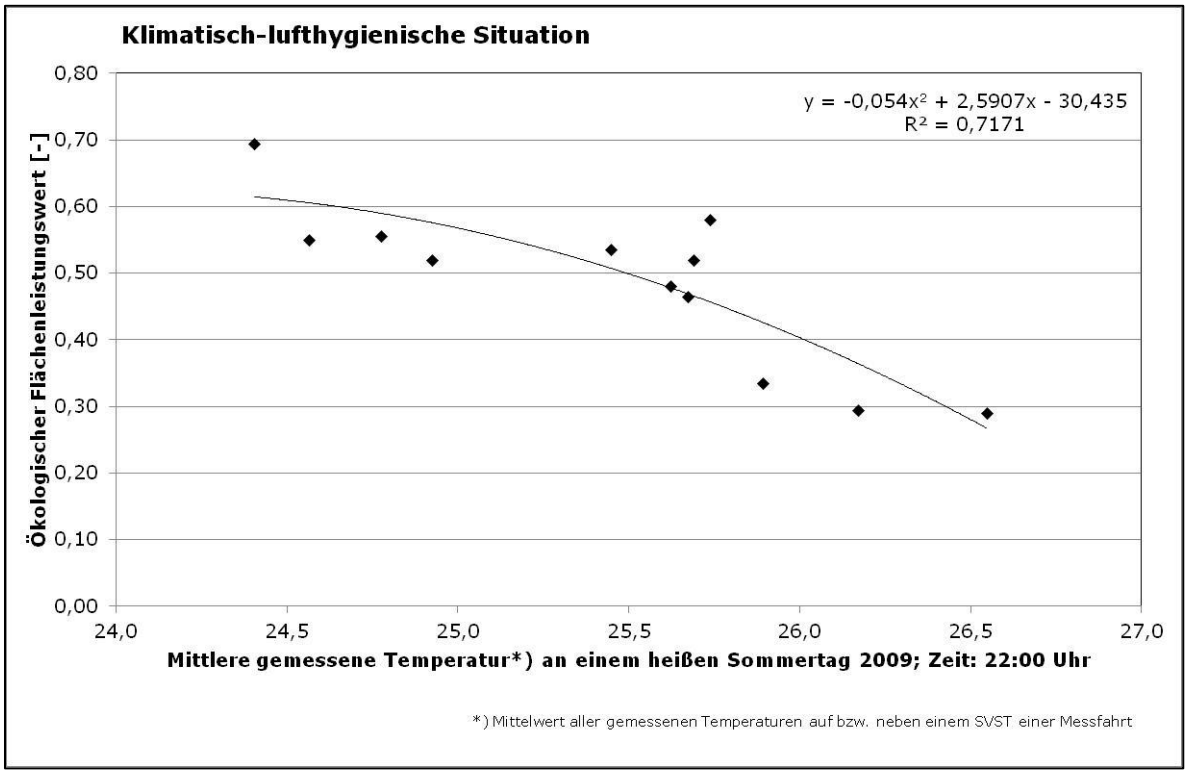


Abbildung 13: Bivariater Zusammenhang zwischen der theoretisch gebildeten Größe des ÖFL-Ansatzes „Klimatisch-lufthygienische Situation" und der „Mittleren gemessenen Temperatur" auf bzw. neben allen Messpunkten eines SVSTs einer Messfahrt an einem heißen Sommertag 2009; 22:00 Uhr

Damit scheint der Nachweis erbracht, dass sich der theoretische Ansatz für überschlägliche Ermittlungen maßnahmenbezogener Leistungseffekte eignet und in den noch ausstehenden Variantenuntersuchung angewendet werden kann.

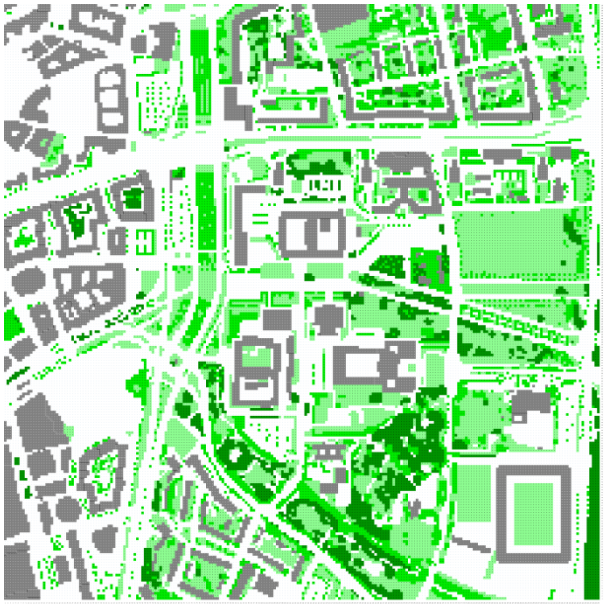
Im weiteren Verlauf des Projektes ist zudem eine HIRVAC 2D-Modellierung der gesamten Modellregion auf Basis des Strukturdatensatzes aus ATKIS bzw. SEMENTA® vorgesehen.

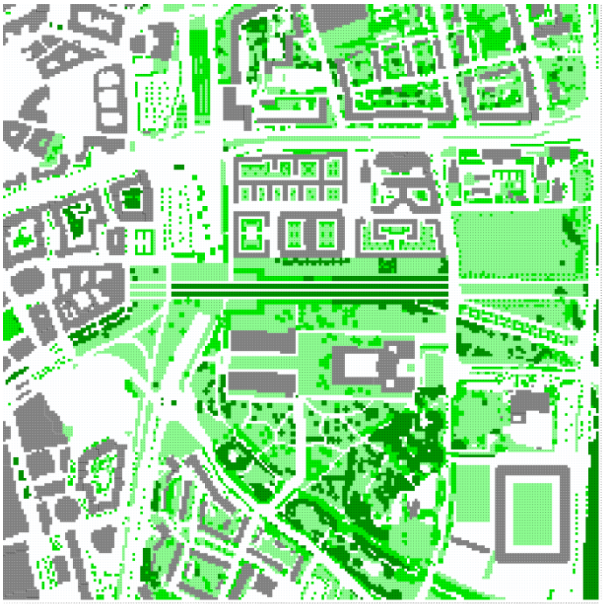
4. Teilstädtische Untersuchungen

Teilstädtische Untersuchungen können mit Hilfe der Stadtvegetationsstrukturtypen und der meteorologischen Modelle HIRVAC 2D und ENVI-Met geführt werden. So wurden mit Hilfe von HIRVAC 2D bereits Flächennutzungsszenarien für verschiedene Stadtstrukturen im Hinblick auf verstärkte Durchgrünung, Rückbau oder Nachverdichtung durchgespielt. Bei diesen Flächennutzungsszenarien werden bestehende Strukturen durch Maßnahmen in andere Strukturen umgewandelt und die Veränderung der Grünausstattung sowie die Temperaturänderung zur Ausgangssituation abgebildet (Mathey et al. 2011).

Im Teilprojekt 3.1.2 b erfolgte die Modellierung von Ist- und Planzuständen von Bebauung und Grünräumen für die Fokusgebiete Dresden-Altstadt und Dresden-Friedrichstadt mittels ENVI-Met. unter Nutzung der Stadtvegetationsstrukturtypen mit ihren Grünausstattungsparametern.

ENVI-Met fand in der Modellierung von Ist-Zustand und verschiedenen Änderungsvarianten des Robotron-Areals in Dresden Anwendung[10]. Eingangsdaten sind die Gebäude, die Bodendeckschichten und insbesondere die Vegetation in ihren Schichtungen mit Höhen und Grünvolumen entsprechend ihres Stadtvegetationstyps. In Abhängigkeit von Windströmungen und Turbulenzen lassen sich thermisch Effekte zu verschiedenen Tageszeiten und in verschiedenen Höhen abbilden.





[10] vgl. IÖR-Forschungsprojektes Green-City-Lab (Projektleitung Prof. Wende, Bearbeitung F. Held)

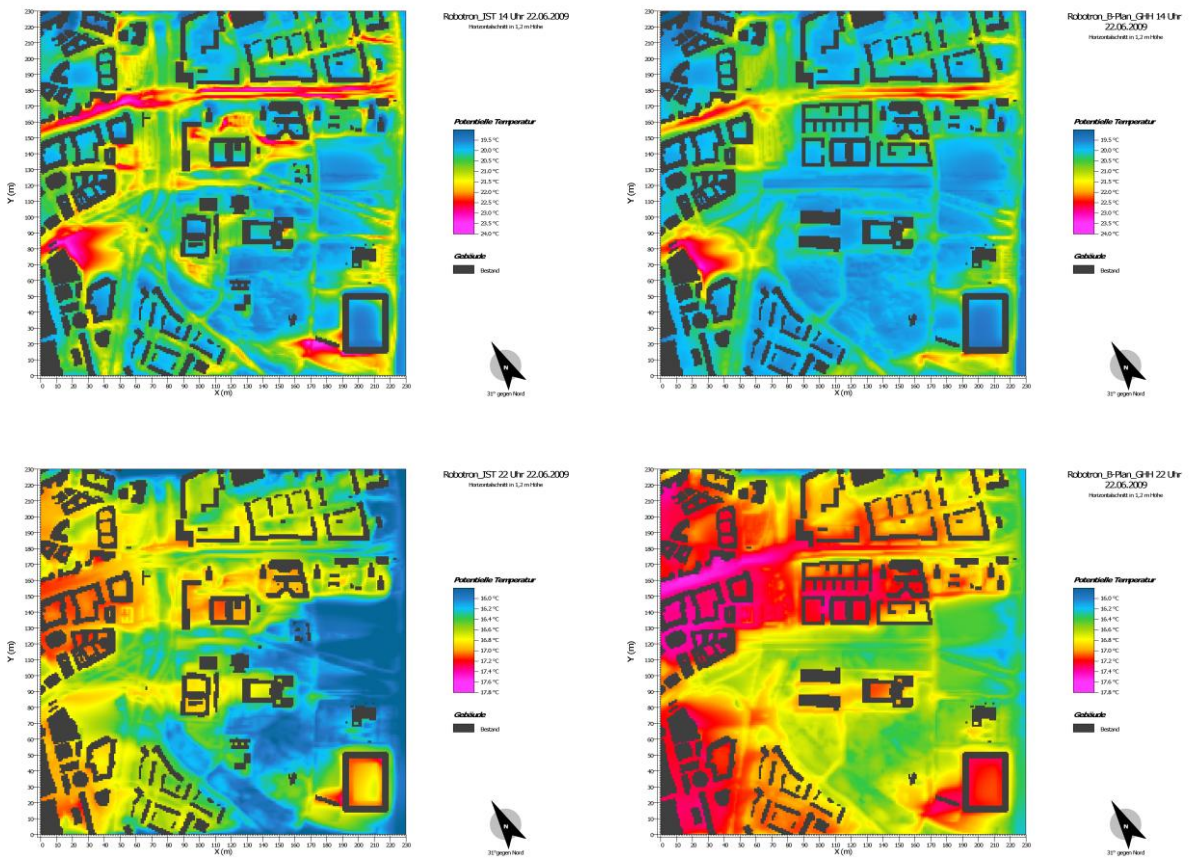


Abbildung 14: ENVI-Met-Modellierung Robotron-Areal, Gegenüberstellung Ist-Zustand – Plan „Grüne Hinterhöfe" (Quelle: Held 2011)

Es ist vorgesehen, im Rahmen der Fortführung des Teilprojektes 3.1.2 e weitere Modellierungen mit HIRVAC 2D und ENVI-Met für verschiedene teilstädtische Fokusgebiete durchzuführen.

Der Ansatz der ökologischen Flächenleistungswerte wurde für teilstädtische Räume sowohl für Wohnquartiere als auch für Gewerbestandorte bereits angewandt. Gegenstand der nachfolgend dargestellten Modellrechnung ist ein Wohngebiet mit Blockrandbebauung und überbautem Innenhof. Die ökologischen Leistungsparameter wurden für die Ausgangssituation und zwei Varianten ermittelt. Diese sahen einen schrittweisen Abriss der Hofüberbauung mit anschließender Nutzung als vegetationsbestandene Freifläche vor. Die vergleichenden Betrachtungen der Ausgangssituation mit den Varianten zeigen die mit dem Gebäudeabriss einhergehende Erhöhung der ökologischen Flächenleistungen. Von wesentlicher Bedeutung ist der Rückgang versiegelter Flächen zugunsten von Vegetationsflächen. Das klimatische Ausgleichsvermögen nimmt in Variante 2 um das 2,6 fache gegenüber dem Ausgangszustand zu, was eine spürbare Verbesserung des Mikroklimas im Innenhof mit sich bringt. (Deilmann et al. 2005)

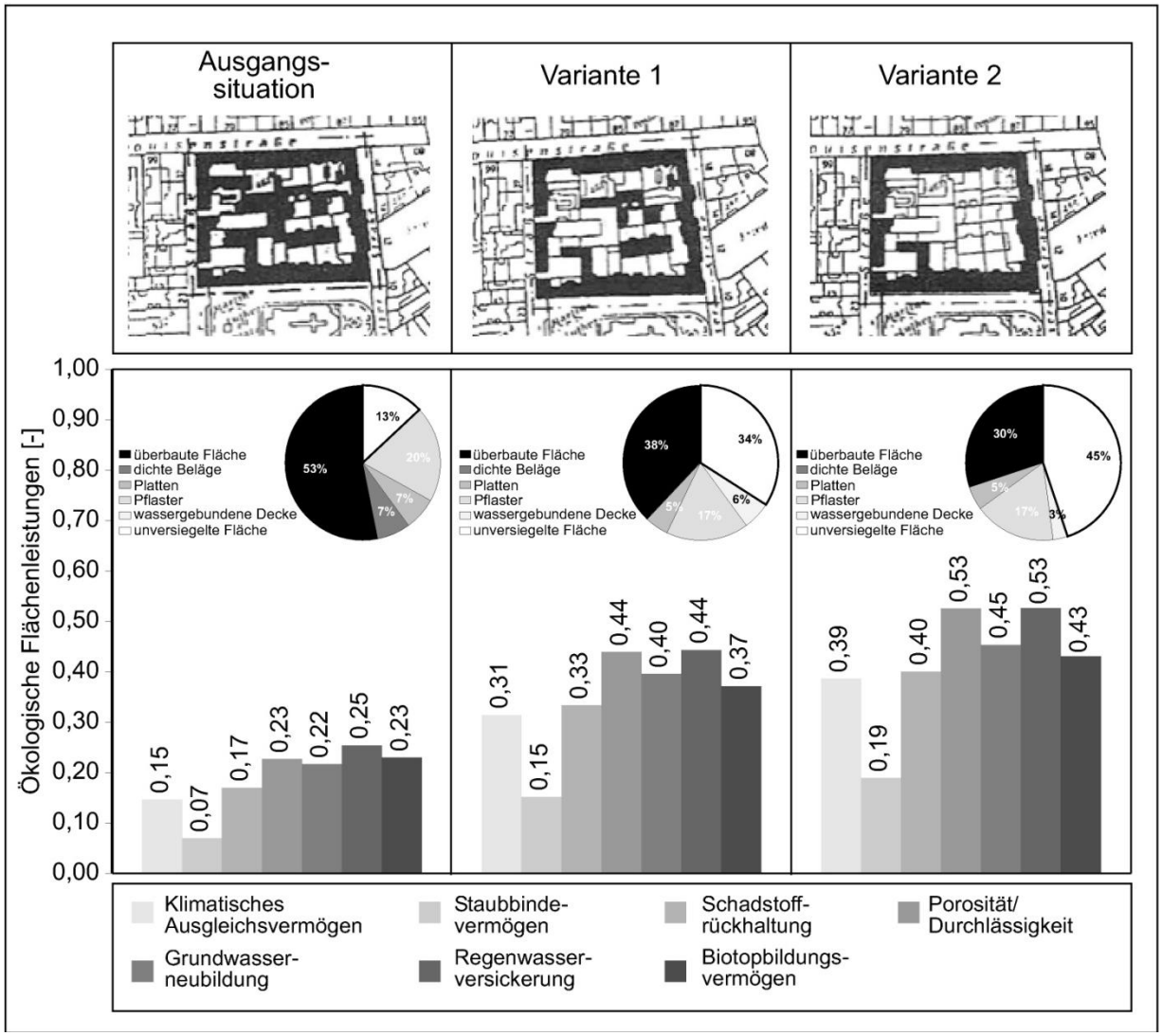


Abbildung 15: Auswirkungen von Gebäudeabrissen innerhalb von Wohnquartieren mit geschlossener Blockrandbebauung auf ausgewählte ökologische Flächenleistungen (Quelle: Heber/Lehmann 1993; 1996)

Auch für Gewerbeflächen wurden solche Untersuchungen geführt. Betrachtet wurden eine Fläche des Einzelhandels sowie eine Fläche des produzierenden Gewerbes hinsichtlich der Verbesserung der klimatisch-lufthygienischen Situation aufgrund von Bodenbedeckungsvariationen. In Variante 1 erfolgt die Erhöhung des ökologischen Leistungsniveaus vorrangig durch Entsiegelung während in Variante 2 zusätzlich noch Maßnahmen durch Baumbepflanzung, Dachbegrünung und Anlegen künstlicher Wasserflächen durchgeführt werden.

Auf der Einzelhandelsfläche erfolgten in der Variante 1 Belagänderungen auf 10 % der Asphalt/Beton-Flächen in Platten/Pflaster und wassergebundene Decke/Rasengittersteine sowie Begrünung von 50 % des offenen Bodens mit Rasen. Das Anlegen von Gründächern auf ca. 70 % der überbauten Flächen in der Variante 2 führte zu einer weiteren Steigerung der ökologischen Leistungen. Insgesamt konnte das ökologische Leistungsniveau von 10% auf 25% erhöht werden.

Auf der Fläche des produzierenden Gewerbes kann die klimatisch-lufthygienische Situation von 6% auf 27% um 350 % verbessert werden. Dies wurde durch Belagänderung und Entsiegelung mit anschließender Begrünung (Variante 1) sowie durch das Anlegen von Teichen auf 5 % der Flächen und das Entsiegeln mit anschließender Begrünung mit Ra-

sen, Bäumen und Sträuchern auf 30 % der Flächen (Variante 2) erreicht. (Arlt/Lehmann 2008)

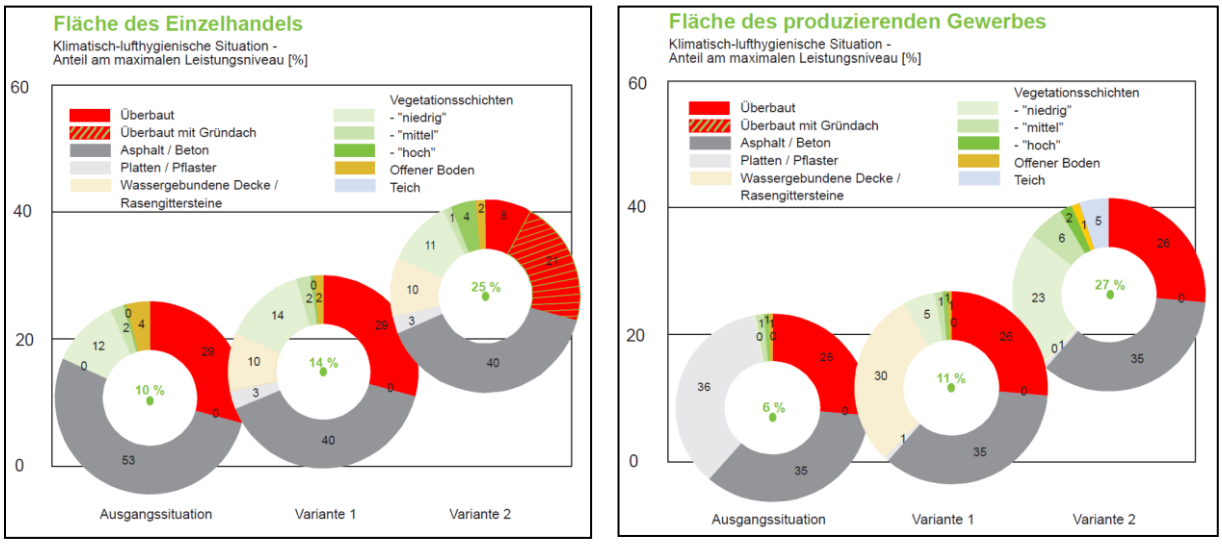


Abbildung 16: Variantenuntersuchung zur klimatisch-lufthygienischen Situation durch Änderung der Bodenbedeckungsstruktur von ausgewählten Gewerbestandorten

Im weiteren Verlauf des REGKLAM-Projektes sollen derartige Untersuchungen in teilstädtischen Räumen fortgesetzt und den Modellierungen mit HIRVAC 2 D und ENVI-Met gegenübergestellt werden.

5. Handlungsempfehlungen

Bodenversiegelung, Größe und Struktur der Grünflächen sowie die mikroklimatische Situation stehen in einem engen Wirkungszusammenhang. Damit wächst mit steigender baulicher Verdichtung die Notwendigkeit, den Grünanteil auf den verbleibenden Freiflächen zu erhöhen. Bezogen auf das REGKLAM-Untersuchungsgebiet liegen somit die Konzentrationspunkte auf den innerstädtischen hoch verdichteten Flächen sowie den hochversiegelten Flächen in städtischer Randlage.

Entsiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen führen nachweisbar zur Verbesserung der klimatisch-lufthygienischen Situation. In theoretischen Untersuchungen am IÖR Dresden konnte am Beispiel eines Quartiers am Lutherplatz nachgewiesen werden, dass sich durch Entsiegelung und strukturierte Begrünung der entstandenen Freiflächen die klimatisch lufthygienische Situation signifikant verbessern kann:

- Innenhöfe gründerzeitlicher geschlossener Randbebauung mit einem Versiegelungsgrad > 80 % und einem Überbauungsgrad > 50 % sollten zur Verbesserung der klimatisch lufthygienischen Situation entkernt und begrünt werden.
- Auf innerstädtischen und randstädtischen Einzelhandels- und Produktionsflächen kann durch Änderung der Bodenbedeckung (Belagänderung, Entsiegelung), Begrünung von Randstreifen und Abstandsflächen mit Rasen, Stauden, Sträuchern, Hecken und Bäumen sowie die Begrünung von Flachdächern die klimatisch lufthygienische Situation gegenüber der Ausgangsituation um 15 bis 25 % verbessert werden.

Abstandsgrünflächen mit Baum- und Strauchanpflanzungen zwischen Wohnbebauung und Verkehrswegen sollten zur Gebäudeabschattung und Verbesserung der lufthygienischen Situation und des städtebaulichen Lärmschutzes erhalten bzw. geschaffen werden. Insbesondere Bäume haben einen großen Einfluss auf das potenzielle Temperaturabsenkungsvermögen.

Straßenbegleitgrün in Form von alleeartigen Baumreihen sollte unter Beachtung der Hauptwindrichtung angepflanzt werden, um insbesondere an Hitzetagen Abschattungs- und Durchlüftungseffekte zu erzielen.

Parkplätze und große versiegelte Flächen sollten durch mittlere und große Bäume verschattet werden um das Aufheizen der Oberfläche zu mindern. Es ist darauf zu achten, dass die Durchlüftung nicht durch zu starken Kronenschluss behindert wird.

Begrünte Dächer und Fassaden sind eine unterstützende Maßnahme zur Verbesserung des Stadtklimas. Sie reduzieren das Aufheizen von Gebäuden und unterstützen die Abkühlung der aufgeheizten Umgebung.

Nicht nur große Grünflächen haben positive Effekte. Mindestens genauso gut sind viele kleine mit differenzierter Grünstruktur. Sie sollten gut vernetzt sein. Studien zeigten, dass viele kleinere Grünflächen (> 1 ha) eine effektivere Abkühlung der Stadtluft zur Folge haben, als wenige große (Bongardt 2006, Matzarakis 2008, Stülpnagel 1987, Scholz 2011). Unter den Aspekten der Erreichbarkeit und Wohnumfeldqualität sind viele kleine Grünräume und deren Vernetzung für die Bevölkerung einer Stadt von hoher Bedeutung.

Brachen stehen im Spannungsfeld von Verdichtung und Durchgrünung. Aus diesem Grund ist für jede Brache in Abhängigkeit bestehender Rahmenbedingungen individuell zu entscheiden, ob eine Revitalisierung oder auf der Fläche erfolgen soll. Auch die Form der Zwischennutzung sollte in dem Abwägungsprozess berücksichtigt werden.

6. Weiterführende Literatur

ADV (2003): ATKIS-Objektartenkatalog (ATKIS-OK). Teil D1. Version 3.2 Stand 01.07.2003. Teilkatalog Basis-DLM. Onlinedokument (Zugriff 13.07.2010): http://www.geodatenzentrum.de/docpdf/ok_d1.pdf

ARLT, G.; FÜRLL, L.; HENNERSDORF, J.; KOCHAN, B.; LEHMANN, I.; MATHEY, J.; SCHWARZ, M.; STUTZRIEMER, S.; THINH, N.X. (2002): Stadtökologische Qualität und Vegetationsstrukturen städtischer Siedlungsräume. IÖR-Texte 139. Dresden.

ARLT, G.; HENNERSDORF, J.; LEHMANN, I.; THINH, N. X.; SOCHER, W. (2003): Basisindikator Vegetationsvolumen - Vorgehensweise und Fallbetrachtung in Dresden. In: Stadtforschung und Statistik (2003) 2, S.38-45

ARLT, G.; HENNERSDORF, J.; LEHMANN, I.; THINH, N. X. (2005): Auswirkungen städtischer Nutzungsstrukturen auf Grünflächen und Grünvolumen Dresden: IÖR-Schriften 47, Dresden.

ARLT, G.; LEHMANN (2005): Ökologische Flächenleistungen – Methodische Grundlagen; Analyse und Bewertung teilstädtischer Gebiete in Dresden. IÖR-Texte 147. Dresden.

ARLT, G.; LEHMANN, I. (2008): Ökologische Leistungen. In: Bundesbaublatt 57 (2008) 1, S.12-15

BAESELER, H.; GELBRICH, H.; GREINER, J.; STEFKE, E.; THIEMANN, H. (1974): Grünanlagen im Wohngebiet. In: Bauakademie der DDR. Institut für Städtebau und Architektur. Berlin.

BLUM, A.; GRUHLER, K. (Hrsg.) (2010): Typologien der gebauten Umwelt – Modellierung und Analyse der Siedlungsentwicklung mit dem Strukturtypenansatz. Aachen.

BONGARDT, B. (2006): Stadtklimatologische Bedeutung kleiner Parkanlagen – dargestellt am Beispiel des Dortmunder Westparks. (Universität Universität Duisburg-Essen – Dissertation). – Hohenwarsleben (Westarp Wissenschaften). – Essener Ökologische Schriften 24, 268 S.

BRUSE, M.; FLEER, H. (1998): Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. Environmental Modelling & Software (13) 373–384.

BRUSE, M. (2003): Stadtgrün und Stadtklima. In: LÖBF-Mittelungen 1, 66-70.

DEILMANN, C.; GRUHLER, K.; BÖHM, R. (2005): Stadtumbau und Leerstandsentwicklung aus ökologischer Sicht. München.

DOETSCH, P.; RÜPKE, A. (1997): Projektbegleitung: Prof. Dipl. Ing. Harald Burmeier: Revitalisierung von Altstandorten versus Inanspruchnahme von Naturflächen. Gegenüber-stellung der Flächenalternativen zur gewerblichen Nutzung durch qualitative, quantitative und monetäre Bewertung der gesellschaftlichen Potentiale und Effekte, Forschungs- und Entwicklungs-Vorhaben Nr. 103 40 119. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Abgerufen am 15.05.2003 unter http://www.umweltbundesamt.de/altlast/web1/berichte/gwiese/gwiese32.htm

FINKE, L. (1993): Stadtentwicklung unter ökologisch veränderten Rahmenbedingungen. In: Zukunft Stadt 2000. Stuttgart. S. 321-381.

FINKE, L. (1994): Landschaftsökologie – Das Geographische Seminar. Braunschweig.

HEBER, B.; LEHMANN, I. (1993): Stadtstrukturelle Orientierungswerte für die Bodenversiegelung in Wohngebieten. IÖR-Schrift 05, Dresden.

HEBER, B.; LEHMANN, I. (1996): Beschreibung und Bewertung der Bodenversiegelung in Städten. IÖR-Schrift 15, Dresden.

HECHT, R.(2006): Entwicklung einer Methode zur Erfassung des städtischen Grünvolumens auf Basis von Laserscannerdaten laubfreier Befliegungszeitpunkte. Diplomarbeit am Institut für Karthographie der Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften der TU Dresden in Kooperation mit dem Institut für ökologische Raumentwicklung e.V., Dresden.

HEGE, H.-P.; LAUSTERER, H.; SCHEFFLER, V.; SCHWARTING, H. (1998/99): Verbesserung des Stadtklimas durch Grün – Wirkungen, Planung und Umsetzung – Seminarpapier im Rahmen der Veranstaltung Instrumente der ökologischen Planung, Stadtklima 21; Universität Kaiserslautern, Lehr- und Forschungsgebiet Ökologische Planung und UVP; WS.

HERBERG, A. ET. AL. (2008): Antrag des Leibniz-Instituts für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR) zum Gesamtantrag von IÖR-TUD-TU BAF-DGFZ-IfT-LHD-SEDD auf Projektförderung im Rahmen der Förderinitiative des Bundesministeriums für Bildung

und Forschung (BMBF) Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten (KLIMZUG) Regionen gewinnen im Wettbewerb - die Welt gewinnt mit! in der Bekanntmachung vom 14.03.2007. Dresden, 2008.

JENTSCHKE, R.; LANGE, E. (1989): Entsiegelungsprogramm für öffentliche Flächen – Grundlagen zur Ergreifung von Maßnahmen für den innerstädtischen Bereich von Berlin-West. AGU Arbeitsgemeinschaft Umweltplanung Berlin.

KLUGE, S. (1999): Empirisch begründete Typenbildung. Zur Konstruktion von Typen und Typologien in der qualitativen Sozialforschung. Opladen.

KUNTZE, H., ROESCHMANN, G., SCHWERDTFEGER, G.(Hrsg.) (1994): Bodenkunde. UTB.

KUTTLER, W. (1998): Stadtklima. In: Sukopp, H.; Wittig, R. (Hrsg.): Stadtökologie. Fischer.

LANDESHAUPTSTADT DRESDEN (2002): Umweltatlas Dresden Bände I und II. Dresden.

LAUER, W., BENDIX, J. (2004): Klimatologie. 2. neu bearb. Auflage. Braunschweig.

MARKS, R., MÜLLER, M. J., LESER, H., KLINK, H.-J. (Hrsg.) (1992): Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes. Forschungen zur Deutschen Landeskunde Band 229.

MATHEY, J.; RÖßLER, S.; LEHMANN, I.; BRÄUER, A.; GOLDBERG, V.; KURBJUHN, C.; WESTBELD, A. (2011): Noch wärmer, noch trockener? Stadtnatur und Freiraumstrukturen im Klimawandel. Naturschutz und Biologische Vielfalt Heft 111. Bundesamt für Naturschutz Bonn – Bad Godesberg..

MATZARAKIS, A. (2001): Die thermische Komponente des Stadtklimas. – Freiburg (Meteorologisches Institut der Universität Freiburg). – Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg 6: 286 S.

MEINEL, G.; HECHT, R.; HEROLD, H.; SCHILLER, G. (2008). Automatische Ableitung von stadtstrukturellen Grundlagendaten und Integration in einem Geographischen Informationssystem. Bonn. (Forschungen / BBR; 134)

MEINEL, G.; HECHT, R.; SOCHER, W. (2006): Städtisches Grünvolumen - neuer Basisindikator für die Stadtökologie? Bestimmungsmethodik und Ergebnisbewertung. In: CORP 2006 - Computergestützte Raumplanung. Tagungsband. Wien : Institut für EDV-gestützte Methoden in Architektur und Raumplanung, 2006, S.685-694.

NOHL, W. (1993): Kommunales Grün in der ökologisch orientierten Stadterneuerung. Handbuch und Beispielsammlung. Studien/IMU-Institut München,19.

RÖßLER, S.; BRÄUER, A.; GOLDBERG, V.; LEHMANN, I.; MATHEY, J. (2010): Grün ist nicht gleich grün. Erkenntnisse aus einem Forschungsprojekt am IÖR in Dresden. In: Garten + Landschaft 120 (2010) 4, S.16-19.

SCHOLZ, C. (2011): Urbanes Grün – Grünräume und Grünstrategien in der Stadtentwicklung. In: AKP – Fachzeitschrift für Alternative Kommunal Politik. Heft 3/2011. S. 45-47.

SPERBER, H. H. (2007): Stadtklima - ein unausweichliches Phänomen? Untersuchung zur Wirkung naturnäherer baulicher Mikrostrukturen. – Stadt + Grün (2): 40-48.

STÜLPNAGEL, A. V. (1987): Klimatische Veränderungen in Ballungsgebieten unter besonderer Berücksichtigung der Ausgleichswirkung von Grünflächen, dargestellt am Bei-

spiel von Berlin (West) (TU Berlin – Dissertation). – Berlin (Technische Universität Berlin): 173 S.

SUKOPP, H., WITTIG, R. (1993): Stadtökologie. Stuttgart/Jena/New York.

Kontakt

Jörg Hennersdorf, Iris Lehmann
Leibniz-Institut für ökologische Raumordnung e.V.
Weberplatz 1, 01217 Dresden
Tel.: 0351/4679-0
Fax: 0351/4679-212
E-Mail: j.hennersdorf@ioer.de / i.lehmann@ioer.de

Wissenschaftliches Projektmanagement:
Alfred Olfert & Janet Prechtel
Leibniz-Institut für ökologische Raumordnung e.V.
Weberplatz 1, 01217 Dresden
Tel.: 2092300
Fax: 2098729
E-Mail: a.olfert@ioer.de j.prechtel@ioer.de