

Eine neue Stadtstrukturklassifikation zur Analyse der Beziehung zwischen ökologischer Funktion, Bebauung und Bodenbedeckungsstruktur: eine vergleichende Studie von Berlin und New York City

Larondelle, Neele; Haase, Dagmar; Hamstead, Zoe A.; Kremer, Peleg; McPhearson, Timon

Veröffentlichungsversion / Published Version

Zeitschriftenartikel / journal article

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Larondelle, N., Haase, D., Hamstead, Z. A., Kremer, P., & McPhearson, T. (2016). Eine neue Stadtstrukturklassifikation zur Analyse der Beziehung zwischen ökologischer Funktion, Bebauung und Bodenbedeckungsstruktur: eine vergleichende Studie von Berlin und New York City. *Stadtforschung und Statistik : Zeitschrift des Verbandes Deutscher Städtestatistiker*, 29(2/2016), 64-75. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-56049-0>

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer CC BY-NC-ND Lizenz (Namensnennung-Nicht-kommerziell-Keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Nähere Auskünfte zu den CC-Lizenzen finden Sie hier:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.de>

Terms of use:

This document is made available under a CC BY-NC-ND Licence (Attribution-Non Commercial-NoDerivatives). For more information see:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>

Neele Larondelle, Dagmar Haase, Zoé A. Hamstead, Peleg Kremer und Timon McPhearson

Eine neue Stadtstrukturklassifikation zur Analyse der Beziehung zwischen ökologischer Funktion, Bebauung und Bodenbedeckungsstruktur

Eine vergleichende Studie von Berlin und New York City

Dr. Neele Larondelle

Wissenschaftlerin am Potsdam Institut für Klimafolgenforschung sowie Gastwissenschaftlerin an der Humboldt Universität zu Berlin, Institut für Geographie, Lehrstuhl für Landschaftsökologie. Themenschwerpunkte: sozial-ökologische Systeme in Städten, städtische Ökosystemleistungen, Stadtvegetation, Urbane Landnutzungsforschung, Stadtökologie.
✉ neele.larondelle@geo.hu-berlin.de

Prof. Dr. Dagmar Haase

Professorin für Landschaftsökologie an der Humboldt Universität zu Berlin, Institut für Geographie sowie Gastwissenschaftlerin am Helmholtz Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Department Landschaftsökologie, Leipzig. Themenschwerpunkte: städtische Ökosystemleistungen, Landnutzungswandel in Städten, grüne Infrastruktur in Städten.
✉ dagmar.haase@ufz.de

Zoé A. Hamstead

M. Sc., Doktorandin, Milano School of International Affairs, Management and Urban Policy. Themenschwerpunkte: Stadtökologie, Landschaftsökologie, Stadtplanung, Geographie.
✉ zoe@newschool.edu

Prof. Dr. Peleg Kremer

Gast-Professorin am G67-I Mendel Science Center, Villanova University, Villanova, Pennsylvania. Themenschwerpunkte: Urbane Nachhaltigkeit, räumliche Analysen der sozial-ökologischen Systeme in Städten.
✉ peleg.kremer@villanova.edu

Prof. Dr. Timon McPhearson

Professor für Stadtökologie, Chair, Environmental Studies, The New School, New York. Themenschwerpunkte: Stadtökologie, sozial-ökologische Systeme in Städten, urbane Resilienz, städtische Ökosystemleistungen.
✉ timon.mcphearson@newschool.edu

Schlüsselwörter:

Stadtstruktur – Temperaturregulierung – Vergleichsstudie – Berlin – New York City

Die hier vorliegende Studie stellt einen neuen Stadtstrukturklassifikationsansatz vor. Hierzu werden Informationen zu Landbedeckung und Gebäudehöhe genutzt. Ziel der Studie ist es, eine internationale Vergleichbarkeit von Analysen der Beziehung zwischen Stadtstruktur und ökologischer Funktion zu erreichen und ein Bezugssystem zu entwickeln, was es ermöglicht, ökologische Prozesse und Muster als Resultat urbaner Landbedeckungsmuster zu analysieren.

Wir haben die Klassifikation an zwei sehr unterschiedlichen Schauplätzen getestet: Im kontinentalen Berlin und in der Küstenstadt New York City. Als ökologischer Referenz-Indikator wurden Landsat-Oberflächentemperaturaufnahmen verwendet und für beide Städte verglichen, welcher Zusammenhang zwischen Stadtstruktur(-komposit) und Temperatur besteht.

Die Ergebnisse zeigen, dass beide Städte viele Strukturklassen teilen und diese ähnliche Trends im Hinblick auf die Oberflächentemperatur beschreiben, trotz der erheblichen Unterschiede in Klima und Struktur von Berlin und New York. Es zeigt sich, dass etwa 68 % Berlins und 79 % von New York City von denselben 15 urbanen Strukturklassen beschrieben werden können.

Die Ergebnisse zeigen auch, dass gemeinsame Strukturklassen ähnliche Temperaturmuster aufweisen und sich unser neues Bezugssystem der Stadtstrukturklassifikation auf sehr verschiedene Stadttypen anwenden lässt.

Die Ergebnisse der neuen Klassifikation zeigen außerdem, den großen Einfluss von Gewässern auf die Temperaturregulation in Städten. Strukturklassen, welche Wasser beinhalten, weisen die niedrigsten Oberflächentemperaturen auf, was auf einen positiven Ausgleichseffekt von Wasseroberflächen zu hohen Lufttemperaturen hinweist und daher für Stadtplanung und Landmanagement äußerst wichtig ist, gerade in Zeiten zunehmender Hitzewellen und Sommertrockenheit.

Einleitung

Menschliches Wohlergehen und das Funktionieren von Ökosystemen in Städten werden zu großen Teilen von der Stadtstruktur und deren Eigenschaften, also der räumlichen Komposition und Konfiguration von Vegetation, Freiflächen und Gebäuden beeinflusst. Die Stadtökologie als Wissenschaft untersucht, wie sich soziale und biophysikalische Diversität in Städten und ökologische Funktionen wechselseitig beeinflussen (Alberti 1999). Betrachtet werden hierbei in jüngster Zeit zunehmend die Einheit und die Nachbarschaft von natürlichen und bebauten Komponenten im großen Maßstab.

Durch Stadtwachstum, Landnutzungsintensivierung, der Ballung von Industrie und Gewerbe und sozialen Funktionen und Prozessen wie Wohnen und Migration in einem – wenn auch stark überprägten – Naturraum formen verschiedenste Kombinationen von Strukturelementen zeitliche und räumliche Muster in einer Stadtlandschaft. Ebendiese Strukturelemente, auch „die urbane Matrix“ genannt, sind wichtige Determinanten für ökologischen Funktionalität und deren Ergebnisse wie Luftqualität, lokale Klimaregulation oder hydrologischer Abfluss. Damit eignen sich Strukturelemente zur Abbildung/Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Stadtstruktur einerseits und ihrer ökologischen Funktion andererseits besonders gut (Forman and Godron 1986).

Um die Beziehung von Struktur und Funktion für einen Stadtraum zu verallgemeinern, erweist sich die Messung einer ökologischen Funktion für den gesamten Untersuchungsraum oft als logistisch schwer bis unmöglich. Stattdessen werden Funktionen durch Indikatoren oder Proxies, von großmaßstäbigen empirischen Studien und durch Beurteilungen von Experten her- oder abgeleitet. Letztere werden dann auf Landnutzungs- oder Landbedeckungstypen oder einen Mix aus beidem übertragen (siehe auch: Davies et al. 2011; Dobbs et al. 2011; Larondelle et al. 2014).

Landnutzung als Proxy zu verwenden ist häufig problematisch, denn die unterliegenden Klassifikationen variieren oft stark zwischen verschiedenen lokalen Kontexten, da sie oft Experten-basiert entstanden sind. Zudem unterscheiden sich auch die biophysikalischen und bebauten Strukturen, welche die ökologischen Prozesse erschaffen, teils stark innerhalb einer Landnutzungs-kategorie – ein „Neubaugebiet“ ist in Berlin und New York nicht dasselbe. Dies kommt selbst innerhalb ein und derselben Stadt vor, und auch dann wenn die zugrundeliegende Klassifikation dieselbe ist. So können zum Beispiel Flächen einer Stadt, die als Stadtpark klassifiziert sind gänzlich unterschiedliche Strukturen und somit ökologische Funktionen aufweisen. Allein die Vegetationsstrukturen reichen von Wiesen über Sträucher bis hin zu flächendeckender Baumbedeckung und auch der Anteil der versiegelten Fläche variiert je nach Park und Nutzung sehr stark.

Mangels guter Alternativen nutzen viele Studien trotzdem landnutzungs- und/oder landbedeckungsabgeleitete Indikatoren um menschliches Wohlbefinden und ökologische Leistungsfähigkeit in einem Stadtgebiet zu bewerten. Nur sehr wenige

Arbeiten haben bisher jedoch die Beziehung zwischen Struktur und Funktion für verschiedene Städte vergleichend untersucht, dies gilt insbesondere für Städte verschiedener Kontinente.

Vergleichsstudien sind innerhalb der Stadtökologie eine hervorragende Methodik um die Strukturelemente zu identifizieren, welche die Struktur-Funktion-Beziehung entscheidend prägen und somit gestatten, allgemeingültige Prinzipien abzuleiten, welche von Stadtplanung und Naturschutz genutzt werden können. Vergleichsstudien können zudem helfen, lokale und globale Umwelteinflüsse voneinander zu trennen. Das systematische Fehlen standardisierter Variablen und flächendeckender Daten macht es allerdings schwierig, einen solchen Vergleich durchzuführen (Hahs et al. 2009). Eine Stadtstrukturklassifikation, welche vergleichbare Strukturelemente nutzt sowie ein für die untersuchte ökologische Funktion passender räumlicher Maßstab sind unabdingbar für ein solches Unterfangen. Die Vielfalt und das enge Nebeneinander von unterschiedlichen Stadtstrukturen – Höhe, Dichte, Bedeckung – prägen Städte weltweit. Die Dynamik, in welcher Strukturen sich ändern ebenso. Gerade die oft unterschätzte dritte Dimension in Städten bietet Habitat für Lebewesen, formt Straßenschluchten und Windkorridore und beeinflusst somit unter anderem das lokale Klima und das lokale Habitatpotenzial ganz entscheidend.

Eine Klassifikation, welche eine internationale Vergleichbarkeit garantieren soll, muss den oben genannten Anforderungen genügen. Zudem muss sie Landbedeckungs- und Landnutzungsklassen einschließen, die eine hohe Bedeutsamkeit aufweisen. Annahmen über den Anteil an Vegetation an besiedeltem Gebiet beispielsweise führen zu großen Ungenauigkeiten beim Vergleich von Städten, oft sogar innerhalb ein und derselben Stadt.

Die Stadt Berlin nutzt etwa den Biotopflächenfaktor (BFF) um naturhaushaltwirksame Flächen innerhalb der bebauten Innenstadt zu quantifizieren. Der BFF ist das Verhältnis naturhaushaltwirksamer Flächen zur gesamten Grundstücksfläche und schließt damit die ökologischen Potenziale von Hinterhöfen, Dächern und Feuerschutzwänden in eine Bewertung ein. Auch wenn die Einführung dieses Faktors ein möglicher Weg ist, um die Einschränkungen herkömmlicher Stadtstrukturklassifikationen zu umgehen, ist es doch ein lokaler Einzelfall, zu dessen Berechnung zudem Expertenwissen der Fernerkundung benötigt wird.

Diese Studie hat es sich daher zum Ziel gesetzt

- 1) eine neue Stadtstrukturklassifikation zu entwickeln auf Grundlage von quasi generischen und einfach zu erhebenden Strukturelementkombinationen wie Bebauungshöhe, Versiegelung, Grün- und Wasseranteil;
- 2) diese neue Klassifikation in Berlin und New York City vergleichend zu testen;
- 3) die Sensitivität der Klassen gegenüber einer ökologischen Funktion, der Oberflächentemperatur, zu testen und
- 4) die Muster der Beziehung zwischen Oberflächentemperatur und Stadtstruktur zu analysieren, um das Generalisierungspotenzial des Ansatzes zu diskutieren.

Die Arbeit fußt auf einem Vorschlag von Stewart and Oke (2012), welche auf bio-physikalischen Eigenschaften der städtischen Oberfläche lokale städtische Klimazonen identifizieren. Indem wir Landbedeckungselemente und Gebäudehöhe kombinieren, leiten wir Stadtstrukturklassen ab, die gewöhnlich in jeder Stadt vorkommen und sich mit sehr einfachen Parametern beschreiben lassen. Viele Studien haben sich bereits der Untersuchung der Beziehung zwischen Landnutzung/Landbedeckung und Oberflächen-/Lufttemperatur gewidmet. Der hier vorgestellte Ansatz ist dennoch bisher einzigartig, da die neuen Klassen nicht a-priori definiert werden. Durch die Kombination von allgemeinen Strukturelementen werden je Stadt individuell auftauchende Klassen erzeugt.

Material und Methoden

Untersuchungsgebiete

New York City (NYC) ist mit über 8 Millionen Einwohnern und einer durchschnittlichen Bevölkerungsdichte von 10 640 Einwohner/km² die größte Stadt der USA. NYC befindet sich an der Atlantikküste und besitzt mehr Grünfläche als jede andere US-amerikanische Stadt. Der ambitionierte Plan der Stadtplaner, die Grünfläche noch zu erhöhen soll bis 2030 dazu führen, dass der Baumbedeckungsgrad von 21 % auf 30 % steigt. Bevölkerungswachstum und Klimawandel setzen die Stadt unter wachsenden Anpassungsdruck.

Deutschlands Hauptstadt Berlin ist mit 3,5 Millionen Einwohnern und einer durchschnittlichen Bevölkerungsdichte von 4.000 Einwohner/km² zwar deutlich kleiner und weniger dicht besiedelt als NYC, sie ist dennoch die größte Stadt Deutschlands. Gleichzeitig ist die im nordöstlichen Teil Deutschlands gelegene Stadt eine der grünsten Städte Europas mit 44 %

Grün- und Wasserflächen. Starkes Bevölkerungswachstum, zunehmende Hitze und Trockenheit werden auch in Berlin in Zukunft zunehmenden Druck erzeugen.

In Abbildung 1 werden die Untersuchungsgebiete dargestellt. Die Landnutzungsklassen schließen Gebäudehöhe (niedrig, mittel, hoch), Baumbedeckung, Grass- und Strauchvegetation, offener Boden, versiegelte Oberfläche und Wasser ein. Die Abbildung zeigt die räumliche Verteilung der Klassen. Die Originaldaten besitzen für NYC eine Auflösung von 1x1m und für Berlin von 10 x 10 m. Die beiden Kartenausschnitte für NYC zeigen die Verteilung der Klassen, welche in dem Maßstab allerdings nur eingeschränkt erkennbar sind.

Entwicklung der Stadtstrukturklassen

Zur Bildung der neuen Stadtstrukturklassen (SSK) haben wir Daten zu Landbedeckung und Gebäudehöhe kombiniert (Tabelle 1). In Berlin bot sich für eine europäische Vergleichbarkeit die Nutzung der Urban Atlas-Daten an (European Commission 2011). Der Urban Atlas bietet öffentlich verfügbare, hochaufgelöste Landnutzungsdaten mit einer minimalen Genauigkeit von 80 % für jeden Ballungsraum in der EU mit einer Einwohnerzahl ab 100.000. Die Urban Atlas-Daten wurden kombiniert mit einem Landnutzungsmodell (Lauf et al. 2012), aus welchem Gebäudehöhen durch Annäherung über den Gebäudetyp gewonnen wurden. Für NYC haben wir 1 x 1 m Rasterdaten zur Landbedeckung mit einer Pixelgenauigkeit von 96 % (MacFaden et al. 2012) und Gebäudehöhen der NYC Grundstücksteuer-Datenbank (MapPLUTO) verschnitten.

Die neuen SSK wurden als Resultat der Verschneidung von Landbedeckung und Gebäudehöhe abgeleitet. Landbedeckungstypen umfassen Baumbedeckung, Grass- und Strauchvegetation, offener Boden, Wasser, versiegelte Fläche. Die Ge-

Abbildung 1: Untersuchungsgebiete Berlin und New York City

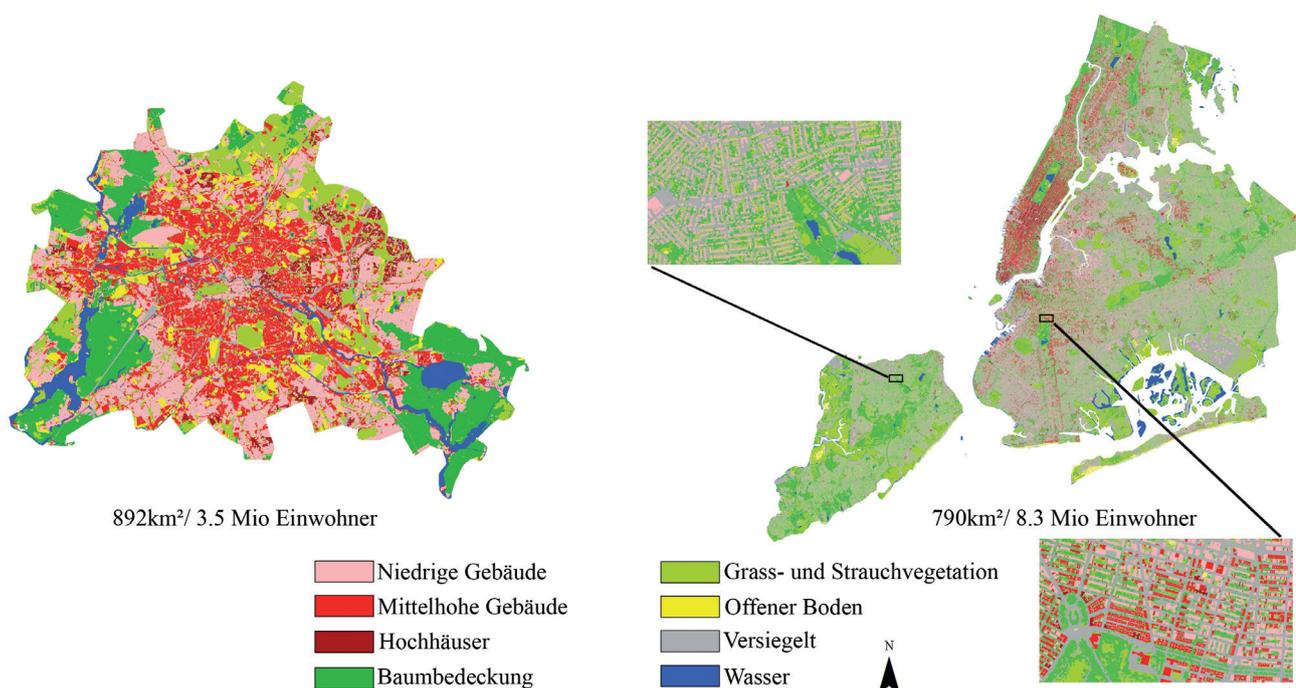


Tabelle 1: Datenquellen von Landbedeckung, Gebäudehöhe und Oberflächentemperatur

Daten	Datenquelle	
	Berlin	NYC
Landbedeckung	Urban Atlas (EEA), 2006	Landcover dataset (Mcfaden, 2012)
Gebäude	Landnutzungsmodell 2008 (Lauf et al. 2011), Expertenschätzungen	MapPluto Grundstückssteuer-Datenbank (2011)
Oberflächentemperatur	Landsat TM 7 Beobachtungen, thermales Band (6_1): <ul style="list-style-type: none"> • 3. Juli 2008 Datenlücken gefüllt durch 28. Juli 2008 • 1. Juni 2008 Datenlücken gefüllt durch 12. Juni 2006 	Landsat TM 7 Beobachtungen, thermales Band (6_1): <ul style="list-style-type: none"> • 15. Juli 2011 Datenlücken gefüllt durch 20. August 2010 • 22. Juli 2011 Datenlücken gefüllt durch 3. Juli 2010

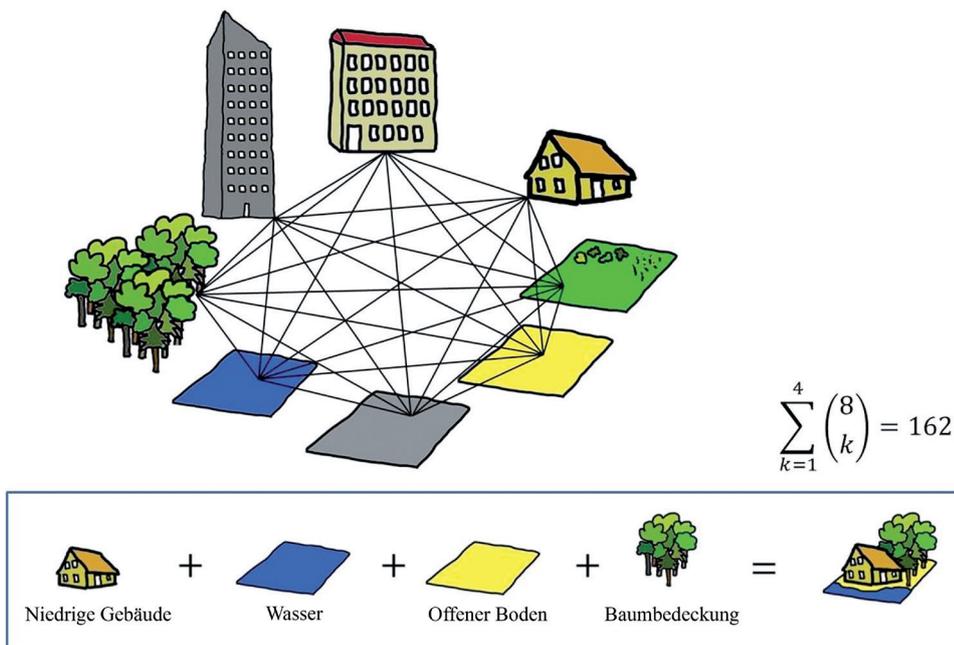
Tabelle 2: Terminologie Landbedeckung und Transformierung der originalen Datensätze

NYC	Berlin	Landcover Terminologie
Baumbedeckung	Wald	Baumbedeckung
Grass- und Strauchvegetation	Landwirtschaft, naturnahe Flächen, Stadtparks, Brachflächen, isolierte Strukturen	Grass- und Strauchvegetation
Straßen und andere versiegelte Flächen	Straßen und Eisenbahnnetzwerk und damit assoziierte Flächen	versiegelt
offener Boden	Sport- und Freizeitflächen, Abbau- und Entsorgungsflächen	offener Boden
Wasser	Gewässer, Feuchtgebiete	Wasser

bäudehöhe wurde in drei Typen unterteilt: niedrige Gebäude (1–3 Stockwerke), mittelhohe Gebäude (4–9 Stockwerke) und Hochhäuser (ab 9 Stockwerke; Vorgehen nach: Stewart and Oke 2012; Tabelle 2).

Die so kombinierten Daten wurden als Rasterdaten gespeichert und auf 50x50 m generalisiert. In einem nächsten Schritt wurde ein Netz mit 100x100 m (1ha) großen Zellen an den vorhandenen Daten ausgerichtet, sodass sich maximal 4 verschiedene Typen von Landbedeckung und Gebäudehöhen in einer Zelle wiederfinden. Die existierenden Kombinationen in den Zellen stellen die neuen SSK dar.

Abbildung 2: Kombinationen der verschiedenen Strukturelemente



Mit Hilfe des Werkzeugs *zonale Statistik* der Software ArcGIS 10 (Geographisches Informationssystem) haben wir die Fläche jedes Strukturelementes in jeder Zelle berechnet. Abbildung 2 zeigt die möglichen Kombinationen der verschiedenen Strukturelemente, die maximale Klassenanzahl sowie ein Kombinationsbeispiel.

Aufbereitung der Daten zur Oberflächentemperatur

Um die Beziehung zwischen Stadtstruktur und ökologischer Funktion zu analysieren, wurde die Oberflächentemperatur als Indikator genutzt. Die Oberflächentemperatur ist ein oft

genutzter Proxy, um Aussagen zur Umgebungstemperatur zu machen (Schwarz et al. 2011; Haase et al. 2012), außerdem ist sie ein Indikator für die Temperaturregulierung und für Kühlungseffekte von Vegetation und Wasser. Die Informationen wurden aus thermalen Satellitendaten von Landsat 7 (band 6_1) gewonnen. Hierfür wurden zwei verschiedene Landsat-Szenen für jede Stadt verwendet. Die Kriterien für die Auswahl waren (1) das Aufnahme datum an einem Sommertag mit minimaler Wolkenbedeckung (< 10%) und (2) eine größtmögliche Deckung der Aufnahme daten der Landsat-Szenen und der Landbedeckungsdaten. Die Verfügbarkeit solcher Szenen ist leider stark eingeschränkt, sodass in Berlin beispielsweise die Szenen und die Landbedeckungsdaten aus verschiedenen Jahren verwendet werden mussten (siehe Tabelle 1). Insgesamt wurden 8 Szenen ausgewählt und mittels der Software ENVI 5.0 bearbeitet. Die Informationslücken in den Aufnahmen wurden mit zusätzlichen Szenen gefüllt und eine atmosphärische Korrektur vorgenommen (Kealy and Hook 1993).

Statistische Analyse der Temperatur in den Stadtstrukturklassen

Zur Analyse der Temperaturinformationen pro SSK wurden 4 Tabellen erstellt, in der jede Zeile eine Zelle für zwei Aufnahme tage pro Stadt darstellt. Für jede Zelle wurden der

Tabelle 3: Landsat-Beobachtungen zur Oberflächentemperatur an zwei Tagen

Gebiet	Anzahl Beobachtungspunkte	Datum Landsat Temperaturdaten	Anzahl Beobachtungspunkte mit Temperaturdaten	Durchschnittstemperatur (°C)
Berlin	89 519	03. Juli 2008	89 555	33,69
		01. Juni 2008	89 448	27,29
NYC	81 510	15. Juli 2011	79 854	32,57
		22. Juli 2011	80 566	32,88

Mittelwert, die Streuung sowie die Standardabweichung der Temperaturpixel berechnet, welche sich räumlich mit der Zelle überschneiden. In einem zweiten Schritt wurde diese Information verbunden mit der Information der SSK pro Zelle. Wir haben die SSK untersucht, die 90% der Fläche der Stadt abbilden und zusätzlich speziell die SSK, welche in beiden Städten gemeinsam vorkommen. Temperaturtrends wurden mit Hilfe der Mittelwerte der Temperaturpixel analysiert (Tabelle 3).

Weiterführende Analyse

Zur weiteren Analyse der Struktur-Funktions-Beziehung wurde die Komposition innerhalb ausgewählter Klassen zusätzlich untersucht. Hierfür wurden die durchschnittlichen Flächenanteile pro auftretendem Strukturelement ausgewählter SSK berechnet. Zudem wurde für ausgewählte Klassen eine Nachbarschaftsanalyse durchgeführt. Hierzu wurden alle SSKs in einem 200m-Buffer um bestimmte SSK betrachtet und der Anteil jeder SSK an dem Buffer berechnet.

Abbildung 3: Räumliche Verteilung der 15 gemeinsamen SSK in Berlin und NYC (Flächendeckung in Berlin 68% und in NYC 79%)

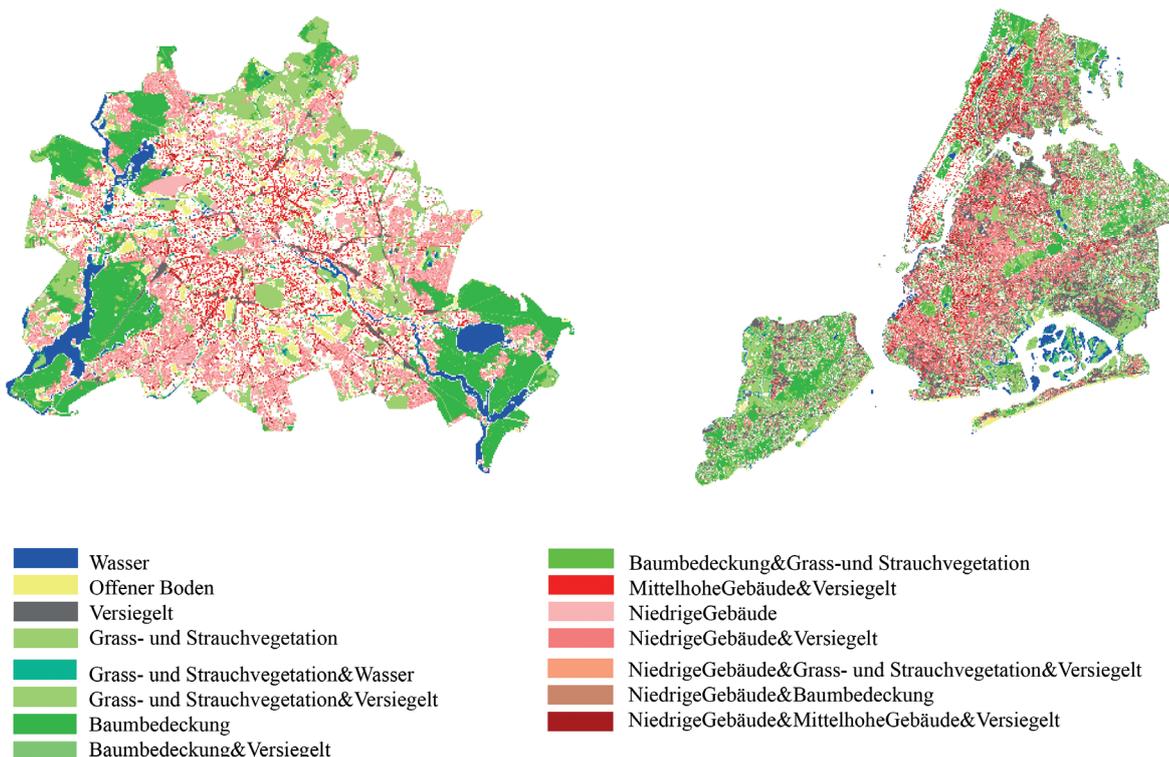


Tabelle 4: Luftbilder mit Beispielen aus Berlin und NYC für die 15 gemeinsamen Klassen

	SSK	NYC	Berlin		SSK	NYC	Berlin
Niedrige Gebäude				Baumbedeckung versiegelt			
Niedrige Gebäude & Baumbedeckung				Grass- und Strauchvegetation			
Niedrige Gebäude & Grass- und Strauchvegetation & versiegelt				Grass- und Strauchvegetation & versiegelt			
Niedrige Gebäude & mittelhohe Häuser & versiegelt				Grass- und Strauchvegetation & Wasser			
Niedrige Gebäude & versiegelt				Versiegelt			
Mittelhohe Häuser & versiegelt				Offener Boden			
Baumbedeckung				Wasser			
Baumbedeckung & Grass- und Strauchvegetation							

Ergebnisse

Der Vergleich der Stadtstrukturklassifikation beider Städte zeigt, dass 90 % der Fläche von NYC mit 19 SSK beschrieben werden können. 23 % der Stadt ist charakterisiert von Klassen mit ausschließlich versiegelter Oberfläche. In Berlin benötigen wir 25 SSK um 90 % der Stadt abzubilden, 39% davon beinhalten ausschließlich nicht-versiegelte Flächen. Von den SSK, die 90 % der Städte abbilden, haben beide Städte 15 gemeinsam. Diese gemeinsamen SSK bedecken jeweils 79% NYCs und 68 % Berlins.

In den 15 „gemeinsamen SSK“ finden sich sechs SSK mit Gebäudeinformationen, von denen fünf niedrige Gebäude beinhalten, eine mittelhohe und einmal eine Mischung aus niedrigen und mittelhohen Gebäuden. Die restlichen neun SSK beinhalten keine Gebäude. Abbildung 3 zeigt die räumliche Verteilung der gemeinsamen 15 SSK; Tabelle 4 zeigt Beispiele für diese SSK aus Luftbildern für beide Städte. Tabelle 5 fasst alle SSK, die 90 % der Städte ausmachen zusammen, die gemeinsamen 15 SSK sind hier dick hervorgehoben. Nicht geteilte SSK umfassen in NYC fünf und in Berlin acht Klassen. In NYC beinhalten diese Klassen dreimal Gebäude und einmal Vegetation in Kombination mit versiegelter Oberfläche. Sechs von acht der nicht-gemeinsamen SSK in Berlin enthalten Gebäude. Beide Städte haben eine SSK mit dem Strukturelement Hochhaus, diese kommt allerdings nicht in den gemeinsamen Klassen vor.

In der Untersuchung des Temperaturtrends ist die Ähnlichkeit der Kurven augenscheinlich (Abbildung 4): SSK mit einer Kombination aus Gebäuden und versiegelter Oberfläche sind wärmer als SSK mit einer Kombination mit Baumbedeckung und Wasser, welche als relativ kühler erscheinen. Der direkte Vergleich der SSK in Berlin und NYC auf einer standardisierten Skala (Abbildung 4 rechts) zeigt zunächst auch einen übergreifend ähnlichen Temperaturtrend. Auf Grund der ansonsten sehr unterschiedlichen Stadtstruktur weisen diese Ergebnisse darauf hin, dass der hier vorgestellte Klassifizierungsansatz in der Lage ist, allgemein gültige Stadtstrukturen und Landbedeckungskom-

positionen in verschiedenen Städten zu beschreiben, welche ökologische Funktionen bestimmen (in diesem Fall Temperaturregulierung). Weitere statistische Informationen zu den SSK und den jeweiligen Temperaturanalysen befindet sich im Anhang (Tabelle A).

Einige SSK jedoch zeigen unterschiedliche Ausprägungen in beiden Städten (Abbildung 4 rechts). Größte Unterschiede finden sich bei den SSK „Baumbedeckung & versiegelt“ (0,33 standardisierte Temperaturgrad Unterschied), „Offener Boden“ (0,26 standardisierte Grad Unterschied), „Grass- und Strauchvegetation & Wasser“ (0,22 standardisierte Grad Unterschied), „Niedrige Gebäude & Baumbedeckung“ (0,19 standardisierte Grad Unterschied) und „Grass- und Strauchvegetation“ (0,19 standardisierte Grad Unterschied).

Zum Verständnis dieser Unterschiede wurde die Komposition der Strukturelemente innerhalb der SSK analysiert. Für die Fälle „Niedrige Gebäude & versiegelt“ (Fall A) und „Baumbe-

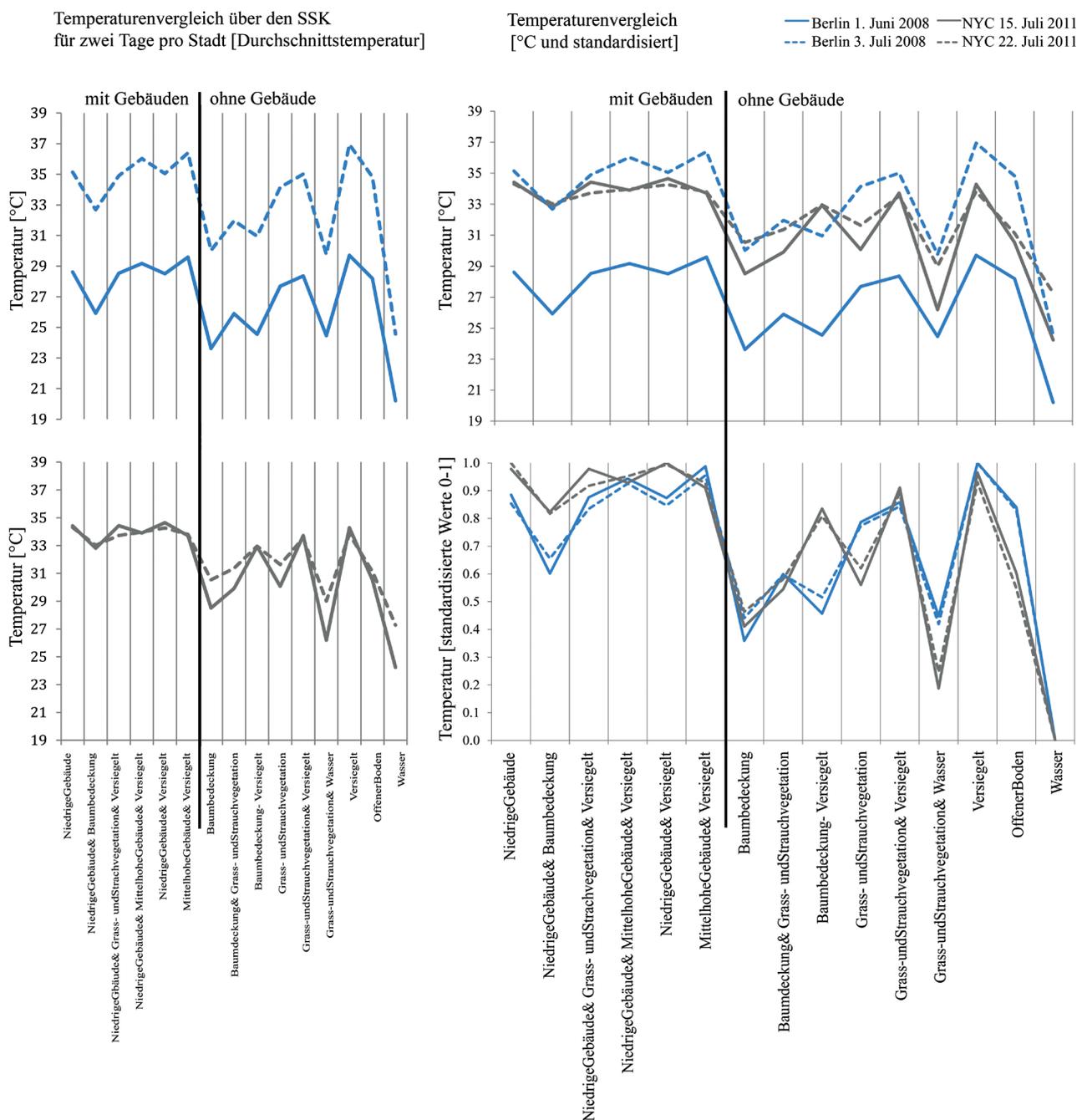
Tabelle 5: Flächen und Flächenanteile der SSK, die 90 % der Fläche beider Städte umfassen (gemeinsame Klassen fett hervorgehoben)

Stadtstrukturklasse SSK (hervorgehobene Klassen in NYC und Berlin gemeinsam)	NYC		Berlin	
	%	ha	%	ha
Niedrige Gebäude & mittelhohe Häuser & versiegelt	2	1 518	2	1 485
Niedrige Gebäude & mittelhohe Häuser			3	2 992
Niedrige Gebäude & Baumbedeckung & versiegelt	5	4 213		
Niedrige Gebäude & Baumbedeckung	2	1 549	1	719
Niedrige Gebäude & Grass- und Strauchvegetation & versiegelt	1	1 121	1	1 175
Niedrige Gebäude & Grass- und Strauchvegetation			3	3 133
Niedrige Gebäude & versiegelt	16	12 605	6	5 476
Niedrige Gebäude & offener Boden			1	692
Niedrige Gebäude	2	1 301	12	11 029
Mittelhohe Häuser & Baumbedeckung & versiegelt	1	1 010		
Mittelhohe Häuser & Grass- und Strauchvegetation & versiegelt			1	787
Mittelhohe Häuser & Grass- und Strauchvegetation			2	1 810
Mittelhohe Häuser & versiegelt	3	2 819	5	4 135
Mittelhohe Häuser			8	6 770
Hochhäuser			1	859
Hochhäuser & Versiegelt	1	735		
Baumbedeckung & Grass- und Strauchvegetation & versiegelt	4	3 373		
Baumbedeckung & Grass- und Strauchvegetation	6	4 525	1	1 096
Baumbedeckung & versiegelt	11	8 843	1	871
Baumbedeckung	7	5 604	16	13 885
Grass- und Strauchvegetation & versiegelt	6	4 847	2	2 038
Grass- und Strauchvegetation & offener Boden			2	1 389
Grass- und Strauchvegetation – Wasser	1	793	1	694
Grass- und Strauchvegetation	7	5 478	12	10 568
Versiegelt & offener Boden			1	1 049
Versiegelt	13	10 324	1	1 015
Offener Boden	1	575	3	2 905
Wasser	2	1 636	4	3 932
Gesamt	90	72 869	90	81 181

deckung & versiegelt“ (Fall B) sind die Unterschiede gut durch die unterschiedliche durchschnittliche Flächendeckung der Strukturelemente zu erklären (Tabelle 6). „Niedrige Gebäude & versiegelt“ zum Beispiel zeigt in NYC relativ höhere standardisierte Temperaturen als in Berlin. Die Kompositionsanalyse zeigt hier, dass in NYC (57%) versiegelte Elemente einen wesentlich höheren Anteil ausmachen als in Berlin (34%). Niedrige Gebäude sind oft umgeben von Gärten (in dieser Auflösung nicht differenziert ausgewiesen), welche eine relativ niedrigere Temperatur als versiegelte Flächen aufweisen.

Andere SSK, in denen die relative Temperatur große Unterschiede aufweist, sind die SSK „Niedrige Gebäude & Baumbedeckung“ (Fall C) und „Grass- und Strauchvegetation & Wasser“ (Fall D). In beiden Fällen hat die Kompositionsanalyse keine weiteren Erklärungsansätze geliefert, da die Anteile der Strukturelemente in beiden Städten nahezu gleich sind. Eine Kompositionsanalyse konnte auch Temperaturunterschiede in den homogenen SSK „Niedrige Gebäude“ (Fall E), „Offener Boden“ (Fall F) und „Grass- und Strauchvegetation“ (Fall G) nicht

Abbildung 4: Temperaturverhalten über den gemeinsamen SSK (SSK geteilt in sechs bebaute Klassen (mit Gebäuden, links der schwarzen Linie) und neun unbebaute Klassen [rechts der schwarzen Linie]. Die linke Seite zeigt die Temperatur für zwei Tage in Berlin und NYC getrennt. Die rechte Seite zeigt die Temperaturen für beide Städte in einer Grafik [oben: Temperaturen für beide Städte; unten: Temperaturen für beide Städte; Min-Max-standardisiert])



erklären. Hier wurde eine Bufferanalyse vorgenommen, um die Nachbar-SSK zu untersuchen.

Die SSK „Niedrige Gebäude & Baumbedeckung“ (Fall C) ist in NYC meistens benachbart von den SSK „Niedrige Gebäude & versiegelt“ und andere Kombinationen mit „versiegelt“. In Berlin gehören die meisten Nachbarn zu der SSK „Baumbedeckung“, auf dem zweiten und dritten Platz befinden sich die Klassen „Niedrige Gebäude“ und „Niedrige Gebäude & Baumbedeckung“, auf dem vierten Platz folgt dann „Baumbedeckung & Wasser“. Die gleiche Analyse für die SSK „Niedrige Gebäude“ (Fall E), bei der sich in NYC relativ höhere Temperaturen zeigen, macht sichtbar, dass die fünf häufigsten Nachbarklassen in NYC alle eine Kombination mit versiegelt/bebaut sind, währenddessen drei von fünf Nachbarklassen von „Niedrige Gebäude“ in Berlin weder bebaut noch versiegelt sind.

Im Fall G („Grass- und Strauchvegetation“) zeichnen sich in Berlin höhere relative Temperaturen ab als in NYC. Die Nachbarschaftsanalyse deckt auch hier eine mögliche Erklärung auf. Auch wenn 56 % der Nachbarklassen von „Grass- und Strauchvegetation“ auch „Grass- und Strauchvegetation“ ist, ist die SSK mit dem zweitgrößten Flächenanteil „Grass- und Strauchvegetation & versiegelt“. In NYC ist es die flächenmäßig größte Klasse wie in Berlin, gefolgt von „Baumbedeckung & Grass- und Strauchvegetation“ mit 12%. SSK mit einer Kombination aus Baumbedeckung zeigen generell relativ niedrigere Temperaturen als Kombination aus Grass- und Strauchvegetation oder versiegelten und bebauten Klassen. Unterschiede der Nachbar-SSK scheinen auch Temperaturdifferenzen in den Klassen „Offener Boden“ (Fall F) und „Grass- und Strauchvegetation & Wasser“ (Fall G) zu erklären.

Beide Analysen zeigen, dass Temperaturunterschiede durch Komposition der Strukturelemente innerhalb einer Klasse sowie der Nachbarschaft von anderen SSK erklärt werden können.

Diskussion

Wir finden erstaunlich ähnliche Temperaturtrends über neu klassifizierte Stadtstrukturen für beide Städte, welche doch sehr unterschiedlich sind (vergleiche Abbildung 4). Einige Klassen zeigen im Vergleich beider Städte mehr Unterschiede als andere. Am 3. Juli 2008 zeigt Berlin allgemein höherer Temperaturen über allen Klassen als am 1. Juli, die Durchschnittstemperatur lag an jenem Tag auch 6° C höher. SSK mit Kombinationen aus Baumbedeckung und Wasser zeigen jedoch kleinere Temperaturdifferenzen. Dies könnte ein Indikator dafür sein, dass diese Strukturelemente ein höheres Kühlungs potenzial auch an heißen Tagen haben – ein Ergebnis welches auch von zahlreichen anderen Studien unterstützt wird (Arnfield 2003).

In NYC sind SSK mit versiegelten Oberflächen, wie „mittelhohe Gebäude & versiegelt“, „Grass- und Strauchvegetation & versiegelt“ und „versiegelt“ durch eher homogene Temperaturen an den Aufnahmetagen 15. Juli 2011 und 22. Juli 2011 cha-

rakterisiert. Während SSK wie „Baumbedeckung“, „Grass- und Strauchvegetation“, „Grass- und Strauchvegetation & Wasser“ und „Wasser“ größere Heterogenität im Temperaturverhalten aufweisen. Dies ist besonders bemerkenswert vor dem Hintergrund, dass die beiden Aufnahmetage allgemein nur 0,31 standardisierte Temperaturgrade voneinander abweichen. Diese Beobachtung weist darauf hin, dass es nötig ist, den langfristigen klimatischen Kontext noch genauer zu untersuchen, da SSK möglicherweise verschiedene Kühlungs- oder Hitzespeicherkapazitäten aufweisen.

Einige Unsicherheiten der Studie ergeben sich aus a) der unterschiedlichen Maßstäbe von Landsat- und Landbedeckungsdaten und den daraus abgeleiteten Verbindungen, b) potentielle Ungenauigkeiten bei der Klassenzuweisung der Originaldaten, c) Unterschiede innerhalb der Stadtstrukturen beider Städte, d) Fehler bei den Annahmen für Gebäudehöhe, e) zusätzliche kontextabhängige Einflüsse auf Oberflächentemperatur und f) Abgrenzung der Untersuchungsgebiete, da für beide Städte administrative Grenzen gewählt wurden und in NYC diese einen Großteil der Wasserfläche von East und Hudson River ausschließen. Zudem hängt die Verfügbarkeit von Oberflächentemperaturinformationen von der Verfügbarkeit von Satellitendaten ab und repräsentiert nur einen bestimmten Aufnahmezeitpunkt, welcher auch nur eine begrenzte Repräsentativität für längere Zeiträume hat.

Die hier präsentierten Ergebnisse unterstützen die Annahme, dass grüne (Vegetation) und blaue (Gewässer) Infrastruktur einen wichtigen Anteil an ökologischem Nutzen für die Stadtbevölkerung hat, so zum Beispiel zu lokaler Klimaregulation (Chiesura 2004; West et al. 2012; Ng et al. 2012). Vegetation reduziert maßgeblich urbane Hitzeinseln und lindert negative Einflüsse des Klimawandels (Hamin und Gurrán 2009). So verstärkt die Anwesenheit von Parkbäumen beispielsweise den Temperaturkomfort durch die Bereitstellung von Schatten und filtert die Luft von Schadstoffen und nutzt somit der Gesundheit und dem Wohlergehen der Stadtbevölkerung. Gewässer in und um Städte bieten zusätzliche Kühlungs funktion und tragen zum sensitiven und latenten Wärmehaushalt bei (Hathway und Sharples 2012). Völker und Kistemann (2013) zeigen sogar einen therapeutischen Effekt von Gewässern im Zusammenhang mit der Stressreduktion. Eine große Vielfalt von empirischen Studien analysiert Grünflächen und Gewässer, bisher wurden diese Effekte aber nicht systematisch mit der Stadtstruktur in Verbindung gebracht, wie in der vorliegenden Studie.

Städte sind, wie in der Einleitung erwähnt, charakterisiert von einer starken Durchmischung von grauen, grünen und blauen Strukturelementen in starkem räumlichem Nebeneinander. Diese urbanen Eigenschaften rufen oft einzigartige städtische Ökosystemleistungen hervor, welche dynamisch in wechselseitiger Abhängigkeit zueinander stehen. Besonders deswegen ist es wichtig, die Elemente nicht isoliert voneinander zu betrachten. Unser Ansatz baut auf aktuellen Strukturklassifikationen auf (Cadenasso et al. 2007; Stewart und Oke 2012) und stellt eine breit einsetzbare Methode vor, welche Stadtvergleiche ermöglicht – Stadtvergleiche, die anderenfalls durch sehr verschiedene Datengrundlagen nur sehr begrenzt möglich

Tabelle 6: Analyse der SSK-Komposition und der Nachbar-SSK

(Strukturelement werden durch Farben repräsentiert [grau = SSK beinhalten versiegelte Fläche; rot = SSK beinhalten bebaute Fläche/ nicht versiegelt; grün = SSK beinhalten Vegetation [Grass- und Strauchvegetation oder Baumbedeckung], ohne bebaute oder versiegelte Komponente; blau = nur Wasser; gelb = nur offener Boden])

		NYC	Berlin	
A	Analyse der SKK-Komposition (% Durchschnittsfläche) für “Niedrige Gebäude & versiegelt“			
	Niedrige Gebäude	38,05	65,65	
	Versiegelt	57,19	34,19	
B	Analyse der SKK-Komposition (% Durchschnittsfläche) für “Baumbedeckung & versiegelt“			
	Baumbedeckung	45,87	66,71	
	Versiegelt	53,60	32,58	
C	Nachbar-SKK (in % der Gesamtfläche aller Nachbar-SKK) “Niedrige Gebäude & Baumbedeckung“ in einem 200m-Buffer			
		NYC	Berlin	
	Niedrige Gebäude & versiegelt	17,27	Baumbedeckung	32,02
	Niedrige Gebäude & Baumbedeckung	14,94	Niedrige Gebäude	17,53
	Baumbedeckung & versiegelt	13,33	Niedrige Gebäude & Baumbedeckung	15,37
	Niedrige Gebäude & Baumbedeckung – versiegelt	13,15	Niedrige Gebäude & versiegelt	6,66
	Baumbedeckung	7,87	Baumbedeckung & versiegelt	3,59
	D	Nachbar-SKK (in % der Gesamtfläche aller Nachbar-SKK) “Grass- und Strauchvegetation & Wasser in einem 200m-Buffer		
			NYC	Berlin
		Grass- und Strauchvegetation	31,66	Grass- und Strauchvegetation
Wasser		18,93	Wasser	16,32
Grass- und Strauchvegetation & Wasser		18,02	Grass- und Strauchvegetation & Wasser	12,49
Baumbedeckung & Grass- und Strauchvegetation		7,16	Niedrige Gebäude & Grass- und Strauchvegetation	3,85
Grass- und Strauchvegetation & Versiegelt		5,92	Niedrige Gebäude	3,78
E	Nachbar-SKK (in % der Gesamtfläche aller Nachbar-SKK) “Niedrige Gebäude“ in einem 200m-Buffer			
		NYC	Berlin	
	Niedrige Gebäude & versiegelt	39,65	Niedrige Gebäude	46,19
	Niedrige Gebäude	17,18	Niedrige Gebäude & versiegelt	17,24
	Versiegelt	9,73	Niedrige Gebäude & Grass- und Strauchvegetation	6,09
	Niedrige Gebäude & Baumbedeckung & versiegelt	6,31	Niedrige Gebäude & mittelhohe Häuser	3,84
Niedrige Gebäude & mittelhohe Häuser & versiegelt	4,31	Grass- und Strauchvegetation	3,22	
F	Nachbar-SKK (in % der Gesamtfläche aller Nachbar-SKK) “Offener Boden“ in einem 200m-Buffer			
		NYC	Berlin	
	Offener Boden	36,81	Offener Boden	34,53
	Grass- und Strauchvegetation & offener Boden	11,73	Versiegelt & offener Boden	8,71
	Grass- und Strauchvegetation	8,85	Grass- und Strauchvegetation & offener Boden	7,32
	Versiegelt & offener Boden	6,64	Grass- und Strauchvegetation	6,54
Grass- und Strauchvegetation & versiegelt	5,93	Niedrige Gebäude	4,11	
G	Nachbar-SKK (in % der Gesamtfläche aller Nachbar-SKK) “Grass- und Strauchvegetation“ in einem 200m-Buffer			
		NYC	Berlin	
	Grass- und Strauchvegetation	49,91	Grass- und Strauchvegetation	56,83
	Baumbedeckung & Grass- und Strauchvegetation	11,44	Grass- und Strauchvegetation & versiegelt	5,85
	Grass- und Strauchvegetation & versiegelt	9,28	Niedrige Gebäude & Grass- und Strauchvegetation	4,87
	Grass- und Strauchvegetation & Wasser	4,02	Niedrige Gebäude	3,59
Versiegelt	3,87	Baumbedeckung & Grass- und Strauchvegetation	2,65	

wären. Unsere Ergebnisse zeigen, dass die Komposition der SSK und die Nachbarschaft, in welcher eine bestimmte SSK sich befindet, eine wichtige Rolle für die Struktur-Funktions-Beziehung spielt. Wir können zudem schlussfolgern, dass ein Großteil der Fläche der Städte Berlin und NYC von einem sich wiederholenden Muster gleicher Stadtstruktur-Kombinationen beschrieben werden kann.

Das hier vorgestellte Klassifikationssystem ist komplex und individuell: Die Analyse eher sich-ergebender, als prä-definierter Klassen birgt die zusätzliche Möglichkeit der Individualität einer Stadt Rechnung zu tragen und wirklich jene Klassen zu analysieren, die vor Ort zur vielschichtigen Struktur-Funktions-Beziehung beitragen.

Fazit

Der hier entwickelte und getestete Stadtstrukturklassifikationsansatz ist in der Lage, Stadtstruktur in zwei Untersuchungsgebieten zu beschreiben. Ferner macht es der Ansatz möglich, Stadtstruktur und eine ausgewählte ökologische Funktion in Beziehung zu setzen. 79% New York Citys und 68% Berlins lassen sich mit 15 Klassen beschreiben. Weiterhin beschreiben diese Klassen Oberflächentemperatur auf ähnliche Weise, und zeigen eine erstaunliche Überschneidung der Struktur-Funktionsbeziehung in Berlin und NYC, ungeachtet der Unterschiede in Klima, Größe, Dichte und kultureller, ökonomischer und ökologischer Entwicklung beider Städte.

Das übergeordnete Ziel dieser Untersuchung war die Entwicklung einer allgemeingültigen Methode zur Klassifikation von Stadtstruktur. Dies soll eine Reduzierung der Unsicherheiten bei Städtevergleichen für Analysen von Struktur-Funktionsbeziehung nach sich ziehen und helfen Prinzipien aufzudecken um Stadtplanung und Stadtentwicklung zu informieren. Wir

konnten sowohl Stadtstrukturkompositionen mit ähnlichen Temperatureigenschaften in unterschiedlichen Städten identifizieren, als auch potenzielle Faktoren wie Nachbarschaft erkennen.

Die Stärke der neuen Stadtstrukturklassifikation liegt in der Beschreibung von Landbedeckungskompositen anstatt der Charakterisierung einzelner Typen. Auf diese Weise lässt sich die komplexe, heterogene Stadtlandschaft weitaus besser und „automatisiert“ abbilden, als mit herkömmlichen Klassifikationen und Vergleiche zwischen Städten werden erleichtert, auch wenn keine gemeinsame Datenbasis vorliegt.

Nächste Schritte zur Weiterentwicklung des Ansatzes sollten den Test der Klassifikation in anderen städtischen Kontexten, sowie die Evaluierung zusätzlicher ökologischer Funktionen beinhalten. Lärmregulierung, Sturmwasserversickerung, Biodiversität und Luftfilterung sind unter anderem Möglichkeiten hier weiter zu kommen. Des Weiteren kann die Temperaturanalyse mit höher aufgelösten Daten und unter Einbeziehung von Windgeschwindigkeiten wiederholt werden sowie durch die Berechnung von Umgebungstemperatur den „Link“ zwischen Stadtstruktur und menschlichem Wohlergehen stärker koppeln.

Originalartikel (englisch)

Larondelle N, Hamstead ZA, Kremer P, et al (2014): Applying a novel urban structure classification to compare the relationships of urban structure and surface temperature in Berlin and New York City. *Appl Geogr* 53:427–437. doi: 10.1016/j.apgeog.2014.07.004

Hamstead ZA, Kremer P, Larondelle N, et al (2015): Classification of the heterogeneous structure of urban landscapes (STURLA) as an indicator of landscape function applied to surface temperature in New York City. *Ecol Indic*. doi: 10.1016/j.ecolind.2015.10.014

Literatur

Alberti M (1999): Urban Patterns and Environmental Performance: What Do We Know? *J Plan Educ Res* 19: 151–163. doi: 10.1177/0739456X9901900205

Arnfield a. J (2003): Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *Int J Climatol* 23: 1–26. doi: 10.1002/joc.859

Cadenasso ML, Pickett ST a., Schwarz K (2007): Spatial heterogeneity in urban ecosystems: re-conceptualizing land cover and a framework for classification. *Front Ecol Environ* 5: 80–88. doi: 10.1890/1540-9295(2007)5[80:SHIUER]2.0.CO;2

Chiesura A (2004): The role of urban parks for the sustainable city. *Landsc Urban Plan* 68: 129–138. doi: 10.1016/j.landurbplan.2003.08.003

Davies ZG, Edmondson JL, Heinemeyer A, et al (2011): Mapping an urban ecosystem service: quantifying above-ground carbon storage at a city-wide scale. *J Appl Ecol* 48: 1125–1134. doi: 10.1111/j.1365-2664.2011.02021.x

Dobbs C, Escobedo FJ, Zipperer WC (2011): A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators. *Landsc Urban Plan* 99: 196–206. doi: 10.1016/j.landurbplan.2010.11.004

European Commission (2011): Mapping Guide for a European Urban Atlas.

Forman RTT, Godron M (1986): *Landscape Ecology*. John Wiley, New York City

Haase D, Schwarz N, Strohbach M, et al (2012): Synergies, Trade-offs, and Losses of Ecosystem Services in Urban Regions: an Integrated Mul-

tiscale Framework Applied to the Leipzig-Halle Region, Germany. *Ecol Soc*. doi: 10.5751/ES-04853-170322

Hahs AK, McDonnell MJ, Breuste JH (2009): A comparative ecology of cities and towns: synthesis of opportunities and limitations. In: McDonnell MJ, Hahs AK, Breuste JH (eds) *Ecology of cities and towns: a comparative approach*. Cambridge University Press, pp 574–596

Hamin EM, Gurran N (2009): Urban form and climate change: Balancing adaptation and mitigation in the U.S. and Australia. *Habitat Int* 33: 238–245. doi: 10.1016/j.habitatint.2008.10.005

Hathway E a., Sharples S (2012): The interaction of rivers and urban form in mitigating the Urban Heat Island effect: A UK case study. *Build Environ* 58: 14–22. doi: 10.1016/j.buildenv.2012.06.013

Kealy PS, Hook SJ (1993): Separating temperature and emissivity in thermal infrared multispectral scanner data: implications for recovering land surface temperatures. *Geosci Remote Sensing, IEEE Trans* 31: 1155–1164. doi: 10.1109/36.317447

Larondelle N, Haase D, Kabisch N (2014): Mapping the diversity of regulating ecosystem services in European cities. *Glob Environ Chang* 26: 119–129. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2014.04.008

Lauf S, Haase D, Seppelt R, Schwarz N (2012): Simulating demography and housing demand in an urban region under scenarios of growth and shrinkage. 39: 229–247. doi: 10.1068/b36046t

MacFaden SW, O’Neil-Dunne JPM, Royar AR, et al (2012): High-resolution tree canopy mapping for New York City using LIDAR and object-based image analysis. *J Appl Remote Sens* 6:063567. doi: 10.1117/1.JRS.6.063567

Ng E, Chen L, Wang Y, Yuan C (2012): A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. *Build Environ* 47: 256–271. doi: 10.1016/j.buildenv.2011.07.014

Schwarz N, Bauer A, Haase D (2011): Assessing climate impacts of planning policies - An estimation for the urban region of Leipzig (Germany). *Environ Impact Assess Rev* 31: 97–111. doi: 10.1016/j.eiar.2010.02.002

Stewart ID, Oke TR (2012): Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bull Am Meteorol Soc* 93: 1879–1900. doi:10.1175/BAMS-D-11-00019.1

Völker S, Kistemann T (2013): Reprint of: “I’m always entirely happy when I’m here!” Urban blue enhancing human health and well-being in Cologne and Düsseldorf, Germany. *Soc Sci Med* 91: 141–52. doi: 10.1016/j.socscimed.2013.04.016

West ST, Shores K, Mudd L (2012): Association of available parkland, physical activity, and overweight in America’s largest cities. *J Public Health Manag Pr* 18: 423–430.

Anhang

Tabelle A: Flächenanteile und Statistik für alle Klassen, die 90 % der Stadtfläche Berlins und New York Citys beschreiben

Stadtstrukturklasse SSK (hervorgehobene Klassen gemeinsam in NYC und Berlin)	NYC							Berlin								
	Fläche in %	15. Juli 2011			22. Juli 2011			Fläche in %	3. Juli 2008			1. Juni 2008				
		s	Min	Max	s	Min	Max		s	Min	Max	s	Min	Max		
Niedrige Häuser & mittelhohe Häuser & versiegelt	2	1,94	20,9	41,2	1,11	24,5	38,1	2	1,60	30,1	45,8	3,02	17,3	37,7		
Niedrige Häuser & mittelhohe Häuser								3	1,84	27,3	44,1	2,96	17,4	39,5		
Niedrige Häuser & Baumbedeckung & versiegelt	5	2,10	17,0	39,6	1,15	20,1	37,4									
Niedrige Häuser & Baumbedeckung	2	2,17	17,0	41,5	1,13	23,6	38,4	1	1,88	28,3	41,2	3,02	17,9	35,3		
Niedrige Häuser & Grass- und Strauchvegetation & versiegelt	1	2,06	17,8	46,0	1,83	19,0	37,7	1	1,82	30,1	40,4	2,57	18,3	35,0		
Niedrige Häuser & Grass- und Strauchvegetation								3	2,10	27,1	45,2	2,71	17,4	38,2		
Niedrige Häuser & versiegelt	16	2,43	17,0	47,3	1,32	19,8	42,5	6	1,76	28,5	43,1	2,65	17,2	39,2		
Niedrige Häuser & offener Boden								1	1,83	29,0	41,8	2,59	18,7	37,4		
Niedrige Häuser	2	3,25	17,0	49,4	1,82	27,2	43,8	12	2,25	23,9	46,1	2,89	17,4	41,8		
Mittelhohe Häuser & Baumbedeckung & versiegelt	1	1,94	20,6	38,0	1,09	23,5	36,3									
Mittelhohe Häuser & Grass- und Strauchvegetation & versiegelt								1	1,67	30,5	42,9	3,15	17,1	38,0		
Mittelhohe Häuser & Grass- und Strauchvegetation								2	2,089	30,2	48,8	3,05	16,4	41,7		
Mittelhohe Häuser & versiegelt	3	2,17	17,4	43,1	1,18	22,0	38,9	5	1,50	30,4	48,0	2,98	17,1	38,4		
Mittelhohe Häuser								8	2,12	22,0	51,5	3,25	17,4	44,3		
Hochhäuser								1	1,26	30,7	40,0	2,218	17,8	37,0		
Hochhäuser & versiegelt	1	2,48	17,6	44,2	2,06	21,3	39,0									
Baumbedeckung & Grass- und Strauchvegetation & versiegelt	4	2,20	17,0	39,6	1,47	19,1	37,7									
Baumbedeckung & Grass- und Strauchvegetation	6	2,87	17,0	41,9	1,69	19,0	38,3	1	2,20	26,1	41,4	2,64	17,2	33,9		
Baumbedeckung & versiegelt	11	2,27	14,7	41,4	1,43	19,1	38,2	1	1,57	27,1	37,5	2,40	15,9	33,3		
Baumbedeckung	7	2,73	17,0	37,2	1,53	19,2	35,0	16	1,20	25,9	40,5	2,10	15,4	32,9		
Grass- und Strauchvegetation & versiegelt	6	2,85	17,2	42,6	1,89	19,1	39,7	2	2,22	27,9	42,3	2,99	18,0	36,8		
Grass- und Strauchvegetation & offener Boden								2	2,12	26,9	42,5	2,79	17,8	38,0		
Grass- und Strauchvegetation & Wasser	1	3,00	15,3	36,3	1,86	20,7	35,3	1	2,67	23,9	39,0	2,60	17,4	33,2		
Grass- und Strauchvegetation	7	3,96	15,4	43,4	2,30	19,9	40,3	12	2,96	26,3	45,3	3,19	17,4	39,6		
Versiegelt & offener Boden								1	1,70	27,5	41,7	2,56	17,9	37,6		
Versiegelt	13	2,80	14,8	45,1	1,79	19,5	39,8	1	2,40	23,4	46,2	3,22	19,0	40,1		
Offener Boden	1	4,43	17,0	39,6	3,10	21,0	37,0	3	2,12	24,7	44,2	2,74	17,9	40,8		
Wasser	2	2,54	17,0	38,8	1,78	22,8	37,0	4	1,90	22,4	35,6	1,77	15,7	32,0		