

Flächennutzungsmonitoring IX
Nachhaltigkeit der Siedlungs- und Verkehrsentwicklung?

IÖR Schriften Band 73 · 2017

ISBN: 978-3-944101-73-6

Bebauungsstrukturklassifikation NRW – Grundlage für Klimamodellsimulationen

Nicole Müller, Robert Hecht, Saskia Buchholz

Müller, N.; Hecht, R.; Buchholz, S. (2017): Bebauungsstrukturklassifikation NRW – Grundlage für Klimamodellsimulationen. In: Meinel, G.; Schumacher, U.; Schwarz, S.; Richter, B. (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring IX. Nachhaltigkeit der Siedlungs- und Verkehrsentwicklung? Berlin: Rhombos, IÖR Schriften 73, S. 81-91.

RHOMBOS Rhombos Verlag – www.rhombos.de

Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung IÖR – www.ioer.de

Bebauungsstrukturklassifikation NRW – Grundlage für Klimamodellsimulationen

Nicole Müller, Robert Hecht, Saskia Buchholz

Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund des Klimawandels, insbesondere der erwarteten zunehmenden Hitzebelastung, soll die Effektivität verschiedener städtebaulicher Klimaanpassungsmaßnahmen untersucht werden. Dabei werden mithilfe von Stadtklimasimulationen die Wirkungen verschiedener Klimaanpassungsmaßnahmen quantifiziert und miteinander verglichen. Um Aussagen für ganz Nordrhein-Westfalen treffen zu können, die Anzahl der Simulationen aber möglichst gering zu halten, werden nur ausgewählte, für Hitze besonders anfällige Stadtquartiere modelliert. Zum einen werden dafür Stadtquartiere in der Beispielstadt Bonn herangezogen, zum anderen aus der Bebauungsstrukturklassifizierung abgeleitete, schematisierte (idealisierte) Stadtstrukturen verwendet. Zur Klassifizierung der Bebauungsstrukturen auf Baublockebene wird ein automatisiertes Klassifikationsverfahren verwendet, in welches flächendeckend verfügbare Geodaten eingehen. Dabei werden die Bebauungsstrukturen, in erster Linie basierend auf der Gebäudegrundfläche, -höhe und -form, der Flächennutzung sowie des Versiegelungsgrades bestimmt. Die Bebauungsstrukturklassifizierung dient sowohl dazu, typische Stadtquartiere für die Stadtklimasimulationen abzuleiten als auch die Ergebnisse aus der Stadt Bonn und den idealisierten Stadtquartieren auf ganz Nordrhein-Westfalen übertragbar zu machen. Die Ergebnisse sollen abschließend den Kommunen in Nordrhein-Westfalen über ein Webtool zur Verfügung gestellt werden.

1 Hintergrund und Zielsetzung

Vor dem Hintergrund des Klimawandels ist es wichtig, dass sich Städte auf die zukünftig zu erwartenden klimatischen Veränderungen einstellen und sich an nicht mehr abwendbare negative Auswirkungen des Klimawandels anpassen. Hierfür soll in einem Kooperationsprojekt des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen zusammen mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD) und der Bundesstadt Bonn ein webbasiertes „Informationssystem für klimaangepasste Stadtplanung in NRW“ entwickelt werden. Dieses soll es Kommunen und Stadtplanern ermöglichen, für ein frei wählbares Stadtquartier, interaktiv verschiedene Anpassungsmaßnahmen und ihre Wirkungen auf das Stadtklima zu prüfen, um so die bestmögliche Anpassungsstrategie unter den jeweiligen Gegebenheiten ableiten zu können. Im Fokus des Projektes steht die Anpassung an sommerliche Hitzeepisoden durch städtebauliche Maßnahmen.

Städte weisen im Vergleich zum Umland meist höhere Temperaturen auf (Phänomen der städtischen Wärmeinsel). Dieser klimatische Unterschied zwischen Umlandbereichen und Städten liegt in erster Linie an der unterschiedlichen Flächennutzung und den Eigenschaften der städtischen Oberflächen und Materialien: Ein hoher Versiegelungsanteil bei gleichzeitig geringem Grün- und Wasserflächenanteil, eine Reduktion des Luftaustauschs sowie eine hohe Bebauungsdichte führen zu einer erhöhten Wärmespeicherung und somit der Überwärmung der Stadt im Vergleich zum Umland (Kuttler 2008). Städtische Wärmeinseln treten meist während austauscharmer Hochdruckwetterlagen (Strahlungswetterlagen) auf. Dies sind insbesondere im Sommer Situationen, in denen mit hohen thermischen Belastungen zu rechnen ist. Im Rahmen des Klimawandels ist davon auszugehen, dass solche Hitzewellen häufiger auftreten und länger andauern werden (IPCC 2014). Daher gilt es, gerade während sommerlicher Hitzeepisoden, die thermische Belastung in Städten durch Anpassungsmaßnahmen zu reduzieren.

Da städtebauliche Veränderungen einen langen Planungshorizont aufweisen und Veränderungen im Bestand nur sehr selten möglich sind bzw. vorgenommen werden, ist es wichtig, dass sich die Stadtentwicklung möglichst frühzeitig mit dem Thema Klimawandel und Klimaanpassung auseinandersetzt. Für die Bestimmung der am besten geeigneten Maßnahmen im jeweiligen Untersuchungsgebiet sind meist detaillierte stadtklimatische Untersuchungen nötig, die einen hohen Zeit-, Kosten- und/oder Personalaufwand in Anspruch nehmen, den nur wenige Städte erbringen können (Reckien et al. 2014). Das in diesem Kooperationsprojekt zu entwickelnde webbasierte Informationssystem soll den Kommunen in Nordrhein-Westfalen eine Hilfestellung geben, mögliche Anpassungsmaßnahmen miteinander zu vergleichen und die für ihre Gegebenheiten vor Ort effektivsten Maßnahmen abzuleiten, ohne eine eigene stadtklimatische Untersuchung durchführen zu müssen.

2 Methodik

Die quantitative Wirkung verschiedener Anpassungsmaßnahmen wird durch Stadtklimasimulationen in unterschiedlich strukturierten Stadtquartieren bestimmt. Um die Ergebnisse auf ganz NRW übertragbar zu machen, wird das Landesgebiet in verschiedene Bebauungsstrukturklassen eingeteilt. So können die Simulationsergebnisse, die in der Beispielstadt Bonn gewonnen werden, auf ähnlich strukturierte Gebiete in ganz NRW übertragen werden, dasselbe gilt für die schematisch aus den Bebauungsstrukturklassen abgeleiteten, idealisierten Stadtquartiere. Abschließend sollen die Ergebnisse in einem Webtool verfügbar gemacht werden.

2.1 Anpassungsmaßnahmen

Bei diesem Kooperationsprojekt sollen städtebauliche Anpassungsmaßnahmen untersucht werden, die insbesondere einen Reduktionseffekt der sommerlichen thermischen Belastung herbeiführen können. Mögliche Anpassungsmaßnahmen, die bis zu einem gewissen Grad auch im Bestand durchgeführt werden können, sind beispielsweise

- Veränderung der Oberflächen- und Materialeigenschaften: Durch die Verwendung heller Farben kann die Rückstrahlwirkung der Oberflächen (Albedo) erhöht werden, wodurch die Aufheizung der Materialien und damit die Wärmespeicherung verringert wird.
- Entsiegelung und Einbringen von Grünflächen: Durch die Erhöhung des Anteils von verdunstungsaktiven Flächen, kann ein Kühleffekt für die lokale Umgebung erzielt werden. Der Vegetationsanteil kann, gerade im Baubestand, nicht nur auf Bodenebene, sondern auch durch Dach- und Fassadenbegrünungen erhöht werden.
- Nachverdichtungen: Um dem Druck der wachsenden Bevölkerung und damit einhergehend der Schaffung von Wohnraum in vielen Städten in NRW nachzukommen, müssen Kommunen nachverdichten (Leitbild der kompakten Stadt oder Stadt der kurzen Wege). Bei der Aufstockung von Gebäuden oder der Baulückenschließung kann ggf. durch Verschattung ein Reduktionseffekt für die thermische Belastung erzielt werden. Bei dieser Anpassungsmaßnahme gilt es aber, diesen tagsüber relevanten Effekt mit einer Einschränkung der nächtlichen Durchlüftung abzuwägen, die gerade für den Schlafkomfort von Bedeutung ist. Um die Nachverdichtung auch klimaangepasst zu gestalten, sollte bestenfalls eine Kombination von Anpassungsmaßnahmen vorgesehen werden (z. B. Aufstockung bei gleichzeitiger Dachbegrünung).

2.2 Stadtklimasimulationen

Die Simulationen werden vom DWD mit dem mikroskaligen urbanen Klimamodell MUKLIMO_3 (Sievers 2012; Sievers 2016) durchgeführt. Das Modell simuliert die physikalischen Prozesse in der Stadt sowie deren Rückkopplung mit der Atmosphäre. Der Anwendungsschwerpunkt der hier verwendeten Thermodynamik-Version von MUKLIMO_3 liegt in der Simulation von Tagesgängen der atmosphärischen Variablen, zumeist bei Strahlungswetterlagen, für kleinskalige Modellgebiete mit strukturierter städtischer Bebauung. Dabei wird primär die Ausprägung der Lufttemperatur in verschiedenen Siedlungsstrukturen, aber auch der Einfluss von innerstädtischen Grünflächen oder die Unterschiede und Wechselwirkungsprozesse zwischen Stadt und Umland untersucht. Durch Vergleichsrechnungen zu gezielten Änderungen der Bebauungsstruktur können auch mögliche klimatische Auswirkungen geplanter oder angedachter Maßnahmen untersucht werden.

In der für dieses Projekt verwendeten Version erlaubt das Modell MUKLIMO_3 die Simulation ganzer Städte. Zur Verringerung des Rechenaufwands wird hierbei allerdings die Bebauung als poröses Medium betrachtet und nicht in Einzelgebäude aufgelöst. Dafür werden verschiedene Flächennutzungs- und Bebauungsklassen definiert, die in erster Linie über die vier Kenngrößen Gebäudegrundfläche, mittlere Gebäudehöhe, Versiegelungsgrad zwischen den Gebäuden sowie Grünflächenanteil bzw. Anteil unversiegelter Flächen bestimmt werden. In seinem online Tool INKAS (Informationsportal Klimaanpassung in Städten) bezieht sich der DWD auf derzeit neun Siedlungsklassen sowie vier Umgebungstypen (Buchholz et al. 2016). Die Siedlungsklassen wurden ursprünglich in Anlehnung an die Siedlungstypen nach BMBau 1980 definiert. Daher soll die Siedlungsstrukturgliederung durch die Bebauungsstrukturklassifizierung aktualisiert und speziell für Nordrhein-Westfalen angepasst werden.

Die im Projekt durchgeführten Simulationen erfolgen zweistufig: Im ersten Schritt werden Stadtklimasimulationen des Ist-Zustands für die Modellstadt Bonn durchgeführt. Anschließend werden in ausgewählten, unterschiedlich strukturierten Quartieren städtebauliche Anpassungsmaßnahmen simuliert und ihre stadtklimatische Wirkung in den verschiedenen Bebauungsstrukturklassen bestimmt.

Im zweiten Teil der Simulationen wird die Untersuchung auf NRW ausgeweitet. Anhand der landesweiten Klassifizierung der Bebauungsstrukturen werden typische, hitzeanfällige Klassen für nähergehende Untersuchungen ermittelt und daraus idealisierte Modellquartiere abgeleitet. Für diese idealisierten Stadtquartiere erfolgen nun Modellsimulationen des Ist-Zustands und verschiedener Anpassungsmaßnahmen, sodass die Wirkung der Anpassungsmaßnahmen für verschiedene Bebauungsstrukturen bestimmt werden kann.

Durch die vorangegangenen Simulationen in der Modellstadt Bonn kann dabei abgeschätzt werden, wie nah die Ergebnisse der idealisierten Stadtquartiere an den Ergebnissen der realen Stadtstrukturen der Beispielstadt liegen. Darüber hinaus ist eine Abschätzung möglich mit welcher Unsicherheit durch die Einteilung in Bebauungsstrukturklassen zu rechnen ist und wie die Ergebnisse zu interpretieren sind.

2.3 Bebauungsstrukturklassifizierung

Die Bebauungsstrukturklassifizierung wurde durch das Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR) erarbeitet. Ziel der Klassifizierung ist es, Informationen zur Landnutzungs- und Bebauungsstruktur zu gewinnen, anhand derer die Ergebnisse aus einzelnen Untersuchungsgebieten landesweit übertragen werden können. Darüber hinaus basiert die Auswertung und Ergebnisdarstellung im webbasierten Informationssystem auf den verschiedenen Klassen.

Für die Bebauungsstrukturklassifizierung wurde ein Ansatz zur automatischen Erkennung von Strukturtypen (Meinel et al. 2008; Hecht et al. 2013) eingesetzt und weiterentwickelt, der auf den folgenden flächendeckend verfügbaren Eingangsdaten basiert:

- 3D-Gebäudemodell im LoD1 (2016) als Grundlage für die Beschreibung der bebauten Struktur sowie die amtlichen Hauskoordinaten (2016) zur Unterscheidung von Haupt- und Nebengebäuden,
- ATKIS Basis-DLM als Basis zur Unterscheidung der Flächennutzung und Bereitstellung der räumlichen Bezugseinheit (Baublöcke) (AdV 2008),
- Copernicus Imperviousness Layer (2012) der European Environment Agency (EEA) mit einer Auflösung von 20 m als ergänzende Information zur Bodenversiegelung (Lefebvre et al. 2013).

Die wesentlichen Schritte der Prozessierung sind: (1) Aufbereitung der Eingangsdaten, (2) Gebäudeklassifizierung, (3) Analyse der Bodenbedeckung, (4) Ermittlung der mittleren Gebäudehöhen und (5) Bestimmung des Landnutzungs- und Bebauungsstrukturtyps.

Nach Datensichtung und Qualitätskontrolle erfolgt zunächst eine zielgerichtete Vorverarbeitung der Eingangsdaten (1). Dies betrifft insbesondere das Auflösen topologischer Inkonsistenzen, der Entfernung von Kleinstpolygonen und der Behandlung atypischer Polygone für den Aufbau eines topologisch konsistenten Gebäudedatensatzes (Hartmann et al. 2016).

Anschließend werden alle Gebäude entsprechend einer vorab definierten Typologie klassifiziert und verschiedene Gebäudekennzahlen abgeleitet (2). In diesem Arbeitsschritt kommen Verfahren der Mustererkennung und des maschinellen Lernens zum Einsatz. Dabei werden die Gebäude zunächst über verschiedene geometrische, topologische, statistische und semantische Merkmale beschrieben und anschließend einer von zehn Klassen zugewiesen (Hecht 2014; Hecht et al. 2015). Auf Basis von Trainingsbeispielen wurde dazu unter Nutzung des Random-Forest-Algorithmus (Breiman 2001) ein Klassifikator erlernt. Folgende Gebäudetypen konnten bei der Klassifizierung berücksichtigt werden:

- Mehrfamilienhaus überwiegend in Blockrandbebauung,
- freistehendes Mehrfamilienhaus,
- Gebäude in mittelalterlicher Altstadt,
- Mehrfamilienhaus in traditioneller/teilindustrieller Zeilenbauweise,
- Mehrfamilienhaus in Plattenbauweise,
- freistehendes Ein- und Zweifamilienhaus,
- Ein- und Zweifamilienhäuser als Reihenhaus,

- Gebäude in dörflicher Struktur,
- Ein- und Zweifamilienhäuser als Doppelhaus sowie
- Nichtwohngebäude und Nebengebäude.

Als unterstützende Geometrie für die Merkmalsableitung werden die Siedlungsblöcke und deren Flächennutzung aus dem ATKIS Basis-DLM sowie die amtlichen Hauskoordinaten hinzugezogen. Als Trainingsdaten konnten Daten früherer Forschungsprojekte des IÖR verwendet werden.

Anschließend erfolgt die Analyse der Bodenbedeckung (3). In diesem Schritt werden auf Baublockebene die Anteile überbauter, anderweitig versiegelter und unversiegelter Flächen ermittelt. Zunächst wird der Versiegelungsgrad pro Baublock (dieser enthält sowohl überbaute Flächen als auch anderweitig versiegelte Flächen) durch Verschneidung der ATKIS-Daten mit dem Copernicus *Imperviousness* Layer bestimmt, wobei dessen jeweils aktuellster wolkenfreier Zeitschnitt verwendet wird. Bei einem Wolkenanteil von mehr als 10 % im Baublock wird auf den nächstälteren Zeitschnitt (z. B. 2009 oder 2006) ausgewichen. Für die Bestimmung des überbauten Anteils kann der Überbauungsgrad aus den Daten der Hausumringe ermittelt werden. Mit den beiden Kenngrößen Überbauungsgrad und Versiegelungsgrad kann letztendlich über die Baublockgröße der Anteil unversiegelter Flächen (Blockfläche abzüglich des versiegelten Anteils) sowie der Anteil anderweitig versiegelter Flächen (versiegelte Fläche abzüglich der überbauten Fläche) bestimmt werden.

Eine weitere wichtige Eingangsgröße für Stadtklimamodelle ist die mittlere Gebäudehöhe, deren Ableitung auf Baublockebene in Arbeitsschritt (4) erfolgt. Hierzu wird die mittlere, flächengewichtete Höhe der Gebäude durch Analyse des 3D-Gebäudemodells bestimmt. In der Analyse werden nur Gebäude mit einer Mindestfläche von 20 m² berücksichtigt.

Am Ende der Prozessierungskette steht eine regelbasierte Bestimmung des Landnutzungs- und Bebauungsstrukturtyps auf Baublockebene (5). Baublöcke sind im ATKIS Basis-DLM implizit gegeben und können hinsichtlich ihrer tatsächlichen Nutzung nach Wohnbaufläche, Industrie- und Gewerbefläche, Fläche gemischter Nutzung und Fläche besonderer funktionaler Prägung unterschieden werden. Diese Flächen sind in der Regel durch topologische Linien, wie das Straßennetz, die Grundstücksgrenze im Übergang zum Freiraum oder Gewässer begrenzt. Die Flächen im ATKIS enthalten jedoch auch die anliegenden Verkehrsflächen (Brutto-Baublöcke). Die aus dem ATKIS Basis-DLM und der darin modellierten tatsächlichen Nutzung generierte Baublockgeometrie stellt die Landesfläche flächendeckend und überlappungsfrei in Maschen dar.

Da in der Klassifizierung sowohl die Landnutzung als auch Bebauungsstruktur abgebildet sein soll, besitzt die Typologie zwei grundlegende Informationsebenen. Auf der ersten Ebene wird nach der tatsächlichen Nutzung aus dem ATKIS Basis-DLM (TN)

unterschieden (ersten beiden Stellen des vierstelligen Codes, z. B. 11 – Wohnen und Mischnutzung). Auf zweiter Ebene erfolgt eine weitere Unterscheidung nach der Bebauungsstruktur (über die letzten beiden Stellen des Codes, z. B. 1112 – Mehrfamilienhäuser in offener Bauweise). Die Ausdifferenzierung der tatsächlichen Nutzung erfolgt in Anlehnung an das Flächenschema des Monitors der Siedlungs- und Freiraumentwicklung, kurz dem IÖR-Monitor (*www.ioer-monitor.de*). Dabei ergänzen sich die Komponenten baulich geprägte Siedlungs- und Verkehrsfläche, Siedlungsfreifläche, Abbau- und Haldenfläche, Landwirtschaft, Wald und Gehölz, unkultivierte Bodenfläche und Wasser komplementär zur gesamten Gebietsfläche (Meinel, Krüger 2014). Eine weitere Ausdifferenzierung nach der Bebauungsstruktur erfahren die baulich geprägten Flächen (Wohnbauflächen, Flächen gemischter Nutzung, Fläche besonderer funktionaler Prägung und Industrie- und Gewerbefläche) sofern eine Bebauung vorliegt. Die Bestimmung des Bebauungsstrukturtyps erfolgt dabei mittels des Dominanzprinzips. Der dominierende Gebäudetyp wird anteilig über die überbaute Fläche im Baublock bestimmt. Industrie und Gewerbeflächen werden in einer gesonderten Form nach zwei Kriterien in insgesamt sechs Subtypen ausdifferenziert, sofern eine Bebauung vorliegt. Die Kriterien sind die mittlere Gebäudehöhe (mit der Abstufung gering, mittel, hoch) und der Versiegelungsgrad (niedrig und hoch).

3 Ergebnis

Als Ergebnis der Bebauungsstrukturklassifizierung liegt flächendeckend für Nordrhein-Westfalen eine Einteilung in 54 Klassen vor. Diese gliedert sich in 28 Klassen mit Bebauung sowie 26 weitere Flächennutzungsklassen. Um einen für die Stadtentwicklung leicht zu interpretierenden Datensatz zu bekommen, sollten die Klassen möglichst ohne einen allzu großen Informationsverlust weiter aggregiert werden. Ziel ist es, zehn Bauklassen sowie wenige weitere Flächennutzungsklassen zu erhalten, die den INKAS-Klassen entsprechen. Den aktuellen Stand zur Aggregation zeigt Abbildung 1. Dieser Vorschlag enthält neun Bebauungsklassen und vier weitere Flächennutzungsklassen und wird zurzeit im Projekt abgestimmt.

Die vier Kennwerte, die die Flächennutzung im Stadtklimamodell hauptsächlich beschreiben, sind in Tabelle 1 für die einzelnen Klassen des Aggregationsvorschlags dargestellt. Diese Klassen unterscheiden sich in ihren Kennwerten deutlich. Daher wird erwartet, dass sich die stadtklimatische Wirksamkeit der Anpassungsmaßnahmen in den einzelnen Bebauungsstrukturklassen ebenfalls unterschiedlich ausprägt und somit die Interpretation der Ergebnisse sowie die Auswahl der bestmöglichen Anpassungsmaßnahme für die jeweilige Baustruktur möglich sind. Zudem wird deutlich, dass bei der Nutzungsart Industrie- und Gewerbeflächen eine Unterscheidung in (mindestens) zwei Klassen sinnvoll ist, da sich die Kennwerte für die vorgeschlagenen Industrieklassen deutlich voneinander unterscheiden.

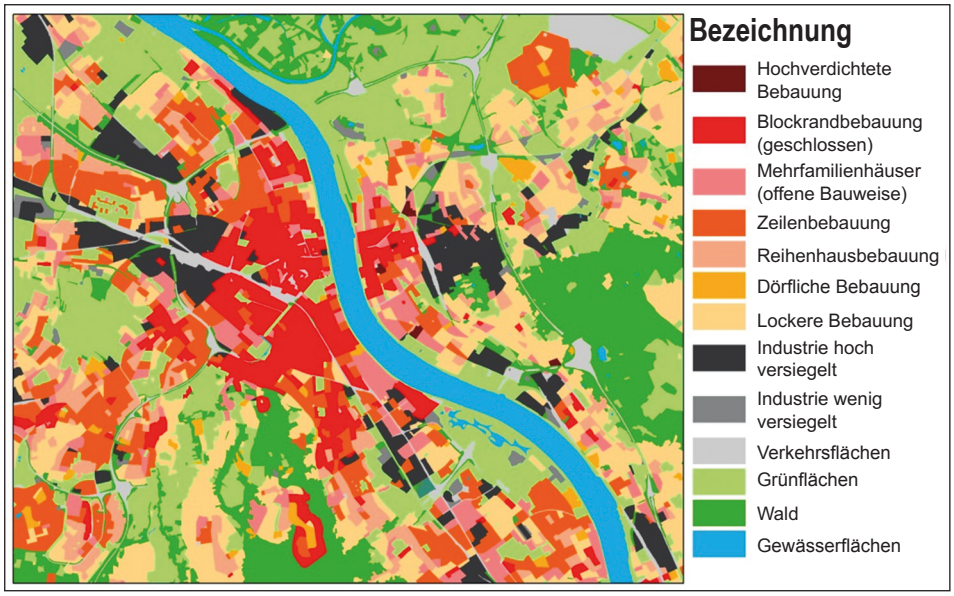


Abb. 1: Aggregationsvorschlag auf Basis der vorgenommenen Bebauungsstrukturklassifizierung: beispielhafter Ausschnitt Bonns (Datengrundlage: 3D-Gebäudemodell und ATKIS Basis-DLM © Geobasis NRW 2016, Copernicus Imperviousness Layer © EEA)

Mit Blick auf die Datengenauigkeit der Kenngrößen ist zu erwähnen, dass diese stark von der Qualität der Eingangsdaten abhängig ist. Ungenauigkeiten können beispielsweise bei der Verschneidung sehr kleiner oder sehr schmaler Bezugsflächen (Baublöcke kleiner 1 600 m² oder schmaler 40 m) mit den Bodenversiegelungsdaten (mit einer Auflösung von 20 m) entstehen. Des Weiteren basiert die Ableitung des Bebauungsstrukturtyps auf einer automatischen Klassifizierung der über neun Millionen Gebäude und einer anschließenden Aggregation der Information auf Baublockebene mittels Dominanzprinzip. Der Klassifikationsfehler der Gebäudeklassifikation, ermittelt über eine 10-fache Kreuzvalidierung, betrug insgesamt 9,4 %, wobei der Fehler für die dörflichen Häuser und die offene Mehrfamilienhausbebauung am größten war. Nach Aggregation mittels Dominanzprinzip ist der Fehler auf Baublockebene jedoch geringer einzuschätzen. Fehlklassifizierungen waren oft nur bei Baublöcken der Fall, die durch einen sehr heterogenen Gebäudebestand geprägt waren.

Tab. 1: Hauptkenngrößen der einzelnen Klassen des Aggregationsvorschlags auf Basis der vorgenommenen Bebauungsstrukturklassifizierung (Datengrundlage: 3D-Gebäudemodell und ATKIS Basis-DLM © Geobasis NRW 2016, Copernicus Imperviousness Layer © EEA)

Bezeichnung	Versiegelungsgrad (in %)	Überbauung (in %)	Anderweitig versiegelt (in %)	Unversiegelt (in %)	Mittl. Geb.höhe* (m)
Hochverdichtete Bebauung	93,1	49,0	44,1	6,9	13,7
Blockrandbebauung (geschlossen)	87,6	36,1	51,5	12,4	12,8
Mehrfamilienhäuser (offene Bauweise)	65,2	21,1	44,1	34,8	10,4
Zeilenbebauung	58,4	19,6	38,8	41,6	10,8
Reihenhausbebauung	68,7	21,9	46,8	31,3	7,9
Dörfliche Bebauung	30,2	18,2	12,0	69,8	8,5
Lockere Bebauung	32,4	8,1	24,3	67,6	4,0
Industrie wenig versiegelt	26,0	10,7	15,3	74,0	6,2
Industrie hoch versiegelt	78,4	28,2	50,1	21,6	8,8
Verkehrsflächen	67,2	0,5	66,7	32,8	0,5
Grünflächen	11,5	1,1	10,4	88,5	1,7
Wald	3,1	0,1	3,0	96,9	0,3
Gewässerflächen	4,9	0,0	4,8	95,1	0,1

* Mittlere Höhe der sich auf der Fläche befindlichen Gebäude

4 Fazit und Ausblick

Die vorgestellte Methodik zur Bebauungsstrukturklassifizierung stellt ein effektives Verfahren zur Gewinnung von Bebauungsstrukturinformationen dar. Sie kann auf große Datenmengen, wie hier das Bundesland Nordrhein-Westfalen, angewendet werden. Aufgrund der kleinteiligen Gliederung auf Baublockebene hat die Bebauungsstrukturklassifizierung einen Mehrwert gegenüber gebräuchlichen klimatischen Klassifizierungen, wie der eher groben Einteilung in Klimatope. Darüber hinaus ist eine den MUKLIMO_3- bzw. INKAS-Klassen entsprechende Aggregation der Daten und Klasseneinteilung möglich. Insgesamt ist das Verfahren übertragbar und auch in anderen Bundesländern anzuwenden, da als Eingangsdaten nur frei verfügbare, flächendeckend vorhandene Geodaten verwendet werden. Somit ist ebenfalls eine Übertragung der Ergebnisse aus den Stadtklimasimulationen über Nordrhein-Westfalen hinaus auf das gesamte Bundesgebiet denkbar.

Im Gesamtprojekt stehen nach der Bebauungsstrukturklassifizierung nun die Stadtklimasimulationen des Ist-Zustands und der Anpassungsmaßnahmen an. Abschließend werden die Ergebnisse ausgewertet, aufbereitet und in einem Webtool zur Verfügung gestellt. Der Abschluss des Projekts ist 2019 geplant.

5 Literatur

BMBau – Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (1980): Wechselwirkungen zwischen der Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen, Forschungsprojekt BMBau RS II 4-70 41 02-77.10. In: Schriftenreihe des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau 06.044. Bonn.

Breiman, L. (2001): Random Forests. In: Machine Learning 45 (1): 5-32.

Buchholz, S.; Kossmann, M.; Roos M. (2016): INKAS – a guidance tool to assess the impact of adaptation measures against urban heat. In: Meteorologische Zeitschrift 25 (3): 281-289.

Hartmann, A.; Meinel, G.; Hecht, R.; Behnisch, M. (2016): A workflow for automatic quantification of structure and dynamic of the German building stock using official spatial data. In: ISPRS International Journal of Geo-Information 5 (8), Nr. 142: 1-30.

Hecht, R.; Herold, H.; Meinel, G.; Buchroithner, M. F. (2013): Automatic Derivation of Urban Structure Types from Topographic Maps by Means of Image Analysis and Machine Learning. In: Buchroithner, M. et al. (Hrsg.): 26th International Cartographic Conference – Proceedings: International Cartographic Association, 2013.

Hecht, R. (2014): Automatische Klassifizierung von Gebäudegrundrissen – Ein Beitrag zur kleinräumigen Beschreibung der Siedlungsstruktur. Berlin: Rhombos, IÖR-Schriften 63, 1-440.

Hecht, R.; Meinel, G.; Buchroithner, M. (2015). Automatic identification of building types based on topographic databases – a comparison of different data sources. In: International Journal of Cartography 1 (1): 18-31.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2014): Klimaänderung 2014: Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC). In: [Hauptautoren: Pachauri, R. K.; Meyer, L. A. (Hrsg.)]. IPCC, Genf, Schweiz. Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn, 2016.
http://www.de-ipcc.de/_media/IPCC-AR5_SYR_barrierefrei.pdf
(Zugriff: 26.05.2017).

Kuttler, W. (2008): The Urban Climate – Basic and Applied Aspects. In: Marzluff, J. M.; Shulenberger, E.; Endlicher, W.; Alberti, M.; Bradley, G.; Ryan, C.; Simon, U.; Zumbrunnen, C. (Hrsg.): Urban Ecology – An International Perspective on the Interaction between Humans and Nature. Springer: 233-248.

Lefebvre, A.; Beaugendre, N.; Pennec, A.; Sannier, C.; Corpetti, T. (2013): Using data fusion to update built-up areas of the 2012 European High-Resolution Layer Imperviousness. In: Proceedings of the 33rd EARSeL Symposium, Matera, Italy, 3-6 June 2013.

Meinel, G.; Hecht, R.; Herold, H.; Schiller, G. (2008): Automatische Ableitung von stadtstrukturellen Grundlagendaten und Integration in einem Geographischen Informationssystem. In: Forschungen/BBR 134/2008: 1-98.

Meinel, G.; Krüger, T. (2014): Methodik eines Flächennutzungsmonitorings auf Grundlage des ATKIS Basis-DLM. In: Kartographische Nachrichten 64 (6): 324-331.

Reckien, D.; Flake, J.; Dawson, R. J.; Heidrich, O.; Olazabal, M.; Hamann, J. J.-P.; Orru, H.; Salvia, M.; De Gregorio Hurtado, S.; Geneletti, D.; Petrapertosa, F. (2014): Climate change response in Europe: what's the reality? Analysis of adaptation and mitigation plans from 200 urban areas in 11 countries. In: Climatic Change 122 (1-2): 331-340.

Sievers, U. (2012): Das kleinskalige Strömungsmodell MUKLIMO_3. Teil 1: Theoretische Grundlagen, PC-Basisversion und Validierung. Offenbach am Main, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Band 240: 1-142. http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de (Zugriff: 26.05.2017).

Sievers, U. (2016): Das kleinskalige Strömungsmodell MUKLIMO_3. Teil 2: Thermodynamische Erweiterungen. Offenbach am Main, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Band 248: 1-151. http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de (Zugriff: 26.05.2017).