

## Smartphonegestützte Bestandsaufnahme zur ökologischen Bewertung von Siedlungsräumen

*Martin Fabisch, Sascha Henninger*

(Dipl.-Ing. Martin Fabisch, Technische Universität Kaiserslautern, Lehr- und Forschungseinheit Physische Geographie, Pfaffenbergstr. 95, 67663 Kaiserslautern, martin.fabisch@ru.uni-kl.de)  
(Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Sascha Henninger, Technische Universität Kaiserslautern, Lehr- und Forschungseinheit Physische Geographie, Pfaffenbergstr. 95, 67663 Kaiserslautern, sascha.henninger@ru.uni-kl.de)

### 1 ABSTRACT

Der Mensch wird nicht nur durch den globalen Klimawandel beeinflusst, sondern ebenfalls durch lokale Veränderungen, die durch die anthropogene Überformung der Landschaft entstehen. Dieser „Stadtklimawandel“ ist nicht nur in großen Städten zu erkennen, sondern findet bereits auf kleinräumiger Ebene statt. Dabei können schon kleine Veränderungen (z.B.: Temperaturanstieg im Vergleich zum Umland) zu einer erheblichen Beeinträchtigung der Lebensqualität führen und bei Risikogruppen, wie kleinen Kindern oder Senioren, gesundheitliche Probleme hervorrufen.

Während meist große Städte die Finanzkraft besitzen diesen Stadtklimaeffekt durch empirische Erhebungen oder komplexe Modellierungen nachzuweisen und zu analysieren fehlen kleinen Gemeinden oft diese Mittel. Eine ökologisch ausgerichtete Siedlungsentwicklung ist allerdings nur unter der Hilfenahme einer belastbaren Bestandsaufnahme der ökologischen Rahmenbedingungen möglich. Die Kosten von empirischen Erhebungen und numerischen Modellierungen können zwar durch eine Verringerung der räumlichen Auflösungen bzw. der Detaillierung reduziert werden, doch dabei wird die Belastbarkeit der Ergebnisse erheblich verschlechtert.

Die vorgestellte Matrixmethode beruht auf der Betrachtung von siedlungsökologisch relevanten Indikatoren (z.B. Versiegelungsgrad oder Grünflächenanteil). Diese werden allerdings nicht wie bisher üblich getrennt voneinander betrachtet, sondern in Bezug zueinander gesetzt, sodass die Wirkungszusammenhänge, die zur Ausprägung eines Stadtklimaphänomens führen, berücksichtigt werden. So kann beispielsweise eine Wiesenfläche als potenzielles Kaltluftentstehungsgebiet klassifiziert werden, doch erst eine Hangneigung, mit einer geringen Oberflächenrauigkeit, in Richtung des Siedlungsraums ermöglicht eine stadtklimarelevante Wirkung.

Die Bestandsaufnahme der Indikatoren erfolgt anhand eines Rasters mit einer Auflösung zwischen 50 und 100 Metern. Dazu wird ein Fragenkatalog entwickelt, mit dem in einer Smartphone- oder Tablet-App vor Ort zu jedem Raster die benötigten Indikatoren abgefragt werden können. Diese einfache Handhabung ermöglicht es auch Laien die Bestandsaufnahme durchzuführen, um so die Kosten zu reduzieren. Die so gewonnenen Ergebnisse werden in einer Datenbank gespeichert und im Anschluss mithilfe eines Geographischen Informationssystems ausgewertet werden.

Die verwendeten Matrizen erlauben eine Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Stadtklimaphänomens aufgrund der verwendeten Indikatoren. Je nach Auswirkung des Phänomens auf den Menschen, kann diese Eintrittswahrscheinlichkeit als positiv oder negativ bewertet werden. Auf diese Weise können Risiko- und Potenzialkarten erstellt werden, die die Gemeinden dabei unterstützen können, eine siedlungsökologisch orientierte Gemeindeentwicklung voranzutreiben und gezielte Handlungsempfehlungen zu entwickeln.

### 2 PROBLEMSTELLUNG

Der globale Klimawandel hat sich in den letzten Jahren von einer wissenschaftlichen Theorie hin zu einem in den Medien stark vertretenen realem Phänomen entwickelt. Der erhöhte Ausstoß von anthropogenen Treibhausgasen führt zu dramatischen Veränderungen in der Atmosphäre [IPCC 2014, 1 f.]. Diese Veränderungen wirken sich negativ auf die natürliche Umwelt der Menschen aus. So kommt es durch den Klimawandel zu einer erheblichen Zunahme von Extremwetterereignissen wie beispielsweise Starkniederschläge, Überschwemmungen oder Hitzewellen [Osenberg 2013, 24].

Neben dem globalen Klimawandel kommt es auch auf lokaler Ebene zu Klimaveränderungen. Diese Veränderungen treten immer dann auf, wenn die ökologischen Gegebenheiten durch den Menschen verändert werden. Besonders ausgeprägt sind solche lokalen Klimamodifikationen in Städten. Neben der Beeinflussung des lokalen Windfelds, der Lufthygiene und des urbanen Wasserhaushalts kann eine urbane

Wärmeinsel entstehen, die in großen Städten bis zu 10 K betragen kann [Kuttler 2013, 213]. Die Vegetation in den Städten steht dabei immer in Wechselwirkung zur Atmosphäre. Auf der einen Seite beeinflusst die Vegetation die Atmosphäre u.a. durch Verschattungs- oder Verdunstungseffekte. Auf der anderen Seite passt sich die Vegetation an die veränderten Rahmenbedingungen durch andere Wachstumszyklen und eine Veränderung der Artenzusammensetzung an [Essl & Rabitsch 2013, 66 f.].

Um eine ökologische Siedlungsentwicklung betreiben zu können, müssen zunächst die lokalen Gegebenheiten analysiert werden. Doch der flächendeckende Nachweis dieses Stadtklimaeffekts ist nur durch aufwendige und in der Regel teure empirische Erhebungen oder aufwendige Modellierungen möglich. Für kleine Gemeinden, die oft ebenfalls von negativen Klimaveränderungen betroffen sind, sind diese Untersuchungsverfahren meist zu teuer, sodass die meisten Stadtklimagutachten in großen Städten durchgeführt werden [Schönwiese 2008, 340]. Die zurzeit üblicherweise verwendeten Verfahren (z.B.: einfache Simulationsverfahren oder kleinräumige empirische Erhebungen) können keine kostengünstige Lösung liefern, die hinsichtlich Detaillierung und Aktualität ausreichende Ergebnisse liefert.

### 3 DIE MATRIX-METHODE

Die Erfassung siedlungsökologisch relevanter Klimaparameter (z.B.: Lufttemperatur oder Windgeschwindigkeit) ist mit dem Smartphone aktuell nur im experimentellen Stadium möglich [Allbach et al. 2014, 63]. Aus diesem Grund werden bei der Matrix-Methode nicht die Parameter direkt gemessen, sondern siedlungsökologisch relevante Indikatoren (z.B.: Versiegelungsgrad oder Baudichte) vor Ort aufgenommen. So können bereits erste Anhaltspunkte für eine ökologische Siedlungsentwicklung erfasst werden. Viele dieser Indikatoren entfalten ihre Wirkung allerdings erst im Wechselspiel mit anderen Indikatoren [Adam & Grohé 1984, 122]. Um diese Wechselwirkungen zu erfassen und ein möglichst detailliertes und belastbares Ausgangsmaterial für siedlungsökologische Handlungsempfehlungen zu erhalten, werden unterschiedliche Indikatoren in einer Matrix gegenübergestellt. Je nach Ausprägungsintensität der Indikatoren kann so die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Stadtklimaphänomens abgeschätzt werden (Abb. 1).

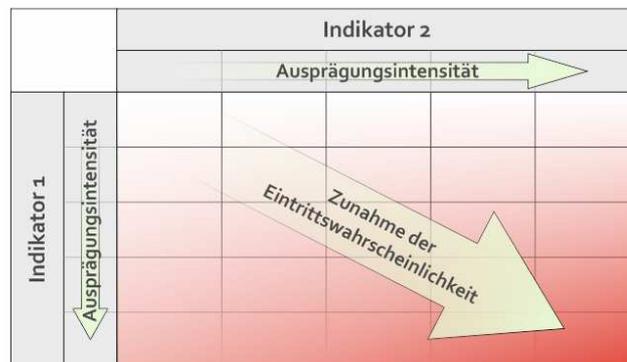


Abb. 1: Schematische Beispielmatrix [Eigene Darstellung, 2015]

Die flächendeckende Erfassung der Indikatoren erfolgt anhand eines vorher festgelegten Rasters. In der Praxis hat sich eine Kantenlänge von 50 Metern als optimaler Kompromiss zwischen Erfassungsaufwand und Detaillierungsgrad herausgestellt. Bei Kantenlängen deutlich über 50 Metern kann die Heterogenität innerhalb des Rasters zu groß werden und so die Ergebnisse verfälschen. Rastergrößen deutlich unter 50 Meter sind nur bei sehr kleinen Untersuchungsgebieten empfehlenswert, da der Erfassungsaufwand erheblich zunimmt.

Für die Methodenentwicklung ist es zunächst notwendig, eine Klassifizierung der stadtklimarelevanten Faktoren hinsichtlich ihrer Erfassbarkeit vorzunehmen. Zu diesem Zweck wird eine Unterteilung in „vor Ort“ - kartierbare, „ableitbare“ und „mess- bzw. recherchierbare“ Klimafaktoren vorgenommen. Dabei lassen sich die „vor Ort“-Faktoren sehr gut, auch von Nichtfachleuten, erfassen (z. B. Versiegelungsgrad). Die „ableitbaren“ Faktoren können durch die „vor Ort“-Faktoren deduziert werden, sodass keine gesonderte Erfassung notwendig ist. Die „mess- bzw. recherchierbaren“ Elemente hingegen können bei einer Ortsbegehung nicht ausreichend erfasst werden. Die zur flächendeckenden Erfassung benötigten empirischen Erhebungen würden einen erheblichen Mehraufwand bedeuten, der die Kosten einer solchen Untersuchung erheblich ansteigen lassen würde und darüber hinaus die Durchführbarkeit für Laien nicht mehr

gewährleistet. Sollten diese Faktoren allerdings aus anderen Untersuchungen oder Quellen vorliegen, so können diese zur Reduzierung des Erfassungsaufwands und Verbesserung der Ergebnisse in die Matrizen integriert werden.

Die „vor Ort“ – kartierbaren Faktoren gehören in erster Linie zu den Oberflächeneigenschaften (Versiegelungsgrad des Bodens, Oberflächenfarbe, Oberflächenmaterialien) und der Stadtstruktur (Baudichte, Abstandsflächen, Anordnung der Gebäude zur Straße). Zusätzlich können vor Ort noch Vegetationseigenschaften wie die Vegetationsdichte und -form erfasst werden. Die Topographieeigenschaften können ebenfalls vor Ort erfasst werden, doch die meisten Gemeinden verfügen über digitale Geländemodelle, sodass in diesem Fall von einer Bestandsaufnahme vor Ort abgesehen werden kann.

Die „ableitbaren“ Klimafaktoren fallen fast vollständig unter die hydrologischen Oberflächeneigenschaften (Abflussverhalten, Infiltrationsvermögen, kapillarer Aufstieg, Versickerungsrate und Verdunstungspotenzial). Lediglich die beiden Faktoren „Höhenstruktur des Siedlungskörpers“ und die „Oberflächenrauigkeit“ sind dem Themenkomplex Stadtstruktur zuzuordnen.

Die größten Schwierigkeiten bei einer Erfassung vor Ort stellen die „mess- bzw. recherchierbaren“ Faktoren dar (Verkehrsaufkommen, Luftverschmutzung, Energieverbrauchsverhalten und solarer Strahlungseinfall). Diese können vor Ort nicht ohne weiteres beobachtet werden. Zwar können vereinzelt Anhaltspunkte erfasst werden, wie beispielsweise Schmutzspuren unter den Fensterbänken oder Zeigerpflanzen, die z. B. Rückschlüsse auf die Sonneneinstrahlung zulassen, doch diese Beobachtungen sind nicht hinreichend belastbar und oft nicht flächendeckend in der gesamten Siedlung vorhanden.

Die Bewertung stadtklimarelevanter Faktoren zeigt, dass mit dieser Erfassungsmethode nicht alle Stadtklimaphänomene abgedeckt werden können. Besonders der Wirkungskomplex der Lufthygiene kann nicht umfassend behandelt, sondern nur teilweise abgedeckt werden. Die Indikatoren, die den Bereichen Überwärmung, Wasserhaushalt und Windfeld zuzuordnen sind, lassen sich hingegen entweder gut vor Ort erfassen oder aus den erfassten Faktoren ableiten.

#### 4 BESTANDSAUFNAHME

Die Auswahl der genutzten Indikatoren und Matrizen kann an den jeweiligen Untersuchungsraum angepasst werden. Die folgenden sechs Matrizen können als Grundlage für die meisten Siedlungsräume in Deutschland empfohlen werden (Abb. 2).

<b>Urbane Überwärmung</b>
Bebauungsdichte und Versiegelungsgrad
Oberflächenfarbe und Versiegelungsgrad
Oberflächenmaterial und Versiegelungsgrad
<b>Urbanes Windfeld</b>
Vegetationsform und Vegetationsdichte
Topographie und Oberflächenrauigkeit
<b>Urbaner Wasserhaushalt</b>
Vegetationsdichte und Topographie

Abb. 2: Empfohlene Basismatrizen [Eigene Darstellung, 2015]

Diese Matrizenauswahl ermöglicht die Betrachtung der drei wichtigsten Themenfeldern einer siedlungsökologischen Untersuchung. Darüber hinaus sind die Matrizen so ausgewählt, dass einzelne Indikatoren mehrfach verwendet werden können, um einen möglichst geringen Erfassungsaufwand zu gewährleisten. Neben der digitalen Bestandsaufnahme kann diese auch in einer analogen Tabelle erfolgen und im Anschluss digitalisiert werden.

Die smartphonegestützte Erfassung kann mit einer App durchgeführt werden. Dafür wird zunächst über einen Übersichtsplan das jeweilige Raster ausgewählt, in dem sich der Erfasser gerade befindet. In den nächsten Schritten werden die zuvor festgelegten Indikatoren Schritt für Schritt mit einem Fragebogen abgefragt und anschließend in einer Datenbank gespeichert (Abb. 3). So entsteht eine Tabelle mit der

Rasterbewertung, die zur späteren Analyse und Visualisierung in einem Geographischen Informationssystem verwendet werden kann.



Abb. 3: Beispielhafte Darstellung einer Bestandsaufnahme per Smartphone [Eigene Darstellung, 2014]

## 4.1 Urbane Überwärmung

Die Urbane Überwärmung wird durch die anthropogene Überformung der Landschaft sowie der anthropogenen Energiezufuhr hervorgerufen. Von besonderer Bedeutung ist dabei der Versiegelungsgrad, da mit einem hohen Versiegelungsgrad in der Regel die anderen Indikatoren ebenfalls stark ausgeprägt sind.

### 4.1.1 Versiegelungsgrad und Baudichte

Als erste Matrix werden die beiden Faktoren Versiegelungsgrad und Baudichte gegenübergestellt (Abb. 4). Die Klassenunterteilung erfolgt jeweils in Prozentschritten. Der Versiegelungsgrad wird dafür in „25 Prozent- Klassen“ unterteilt. Die erste Versiegelungsklasse (0-25 %) umfasst innerhalb der Siedlung üblicherweise Parks, Friedhöfe oder Kleingartenanlagen. Die anthropogene Überformung der Landschaft ist in dieser Klasse sehr gering, sodass die siedlungsökologischen Eigenschaften als positiv einzustufen sind. Die charakteristische Siedlungsstruktur für die zweite Versiegelungsklasse (26-50 %) sind Einzel-, Doppel-, und Reihenhäuser. Mit zunehmendem Versiegelungsgrad verschlechtern sich die siedlungsökologischen Eigenschaften der Fläche, da bei stärker versiegelten Flächen der Oberflächenabfluss deutlich zunimmt und die verwendeten Materialien sich stark aufheizen können [Henninger 2011, 128]. Die höchsten beiden Versiegelungsklassen werden in kleinen Siedlungen nur selten erreicht, da dort selten sehr dichte Wohnformen (51-75 %) oder extrem verdichtete Kernbereiche sowie Industriegebiete (76-100 %) zu finden sind. Die Baudichte wird in fünf Klassen unterteilt, die von den unterschiedlichen Bebauungsformen abgeleitet werden. Diese Bebauungstypen sind bebauungsfrei (0 %), Punktbebauung (1-25 %), aufgelockerte Bebauung (26-50 %), dichte Bebauung (51-75 %), sehr hohe Baudichte (76-100 %) [Blume et al. 2011, 156-158]. Der maßgebliche Faktor zur Bewertung der Baudichte ist neben der durch die Baumasse erhöhten Wärmespeicherkapazität die Zunahme der Oberflächenrauigkeit. Durch Zunahme der Oberflächenrauigkeit wird der Luftaustausch in diesen Gebieten behindert, was zur Bildung einer urbanen Wärmeinsel führen kann [Helbig 1999, 8ff].

Baudichte in %-Flächenanteil		Versiegelungsgrad in %-Flächenanteil			
		0 – 25 %	26 – 50 %	51 – 75 %	76 – 100%
bebauungsfrei		++	+	~	-
Punktbebauung (1-25 %)		++	+	-	-
aufgelockerte Bebauung (26-50 %)			~	-	--
dichte Bebauung (51-75 %)				--	--
sehr hohe Baudichte (76-100 %)					--

Abb. 4: Bewertung der Matrix „Baudichte / Versiegelungsgrad“ [Eigene Darstellung, 2015]

#### 4.1.2 Versiegelungsgrad und Oberflächenfarbe

Die zweite Matrix soll Aufschluss über das Erwärmungsverhalten des Untersuchungsgebietes liefern (Abb. 5). Als Faustformel lässt sich festhalten, dass helle Flächen eine deutlich höhere Albedo als dunkle Flächen aufweisen. Dunkle Flächen nehmen also einen größeren Teil der Sonneneinstrahlung auf und erwärmen sich dadurch stärker [Kappas 2009, 81]. Aus diesem Grund sind helle Oberflächenfarben als positiv, während dunkle Flächen hingegen als negativ zu bewerten sind.

Neben der Oberflächenfarbe ist das Material ein weiterer wichtiger Faktor bei der Erwärmung. Dabei stellen besonders Wasserflächen eine Ausnahme dar, da sie eine niedrige Albedo besitzen, sich aber trotzdem nur sehr langsam erwärmen. Des Weiteren wird bei dieser Matrix nur die überwiegende Oberflächenfarbe bewertet, sodass es an dieser Stelle zu einer Verfälschung der Ergebnisse kommen kann. Aus diesem Grund sind die Ergebnisse dieser Matrix nur ein Anhaltspunkt und benötigen bei der Feststellung von Belastungsbereichen einer detaillierteren Überprüfung vor Ort.

überwiegende Oberflächenfarbe		Versiegelungsgrad in %-Flächenanteil			
		0 – 25 %	26 – 50 %	51 – 75 %	76 – 100%
weiß		++	++	+	-
blau		++	+	~	-
braun		++	+	~	-
rot		+	~	-	-
grau		+	-	-	-
schwarz		+	-	-	-

Abb. 5: Bewertung der Matrix „Oberflächenfarbe / Versiegelungsgrad“ [Eigene Darstellung, 2015]

### 4.1.3 Versiegelungsgrad und Oberflächenmaterial

Die dritte Matrix fällt sowohl in den Bereich der urbanen Überwärmung, sowie in den des urbanen Wasserhaushaltes (Abb. 6). Die verwendeten Materialien in Siedlungen unterscheiden sich stark hinsichtlich ihrer Wärmeleitfähigkeit, Wärmespeicherkapazität und dem Abflussverhalten bei Niederschlag [VDI 2003, 23]. Aufgrund der großen Vielfalt von verwendeten Materialien in den Siedlungen ist eine detaillierte Erfassung im Rahmen der Matrixmethode nicht durchführbar. Stattdessen werden die Materialien in fünf Klassen unterteilt, die wiederum Materialien mit ähnlichen Eigenschaften zusammenfassen. Die versickerungsfähigen Materialien weisen die besten siedlungsökologischen Eigenschaften auf, da diese sich meist nur langsam erwärmen, einen niedrigen Abflussbeiwert haben und eine hohe Versickerungs- und Verdunstungsrate ermöglichen. Schotter und Kiesflächen besitzen einen ähnlichen Abflussbeiwert wie die Materialien der ersten Klasse, können sich aber bei Sonneneinstrahlung aufgrund ihrer Materialeigenschaften stärker erwärmen. Die wassergebundenen Decken können sich stark hinsichtlich ihrer siedlungsökologischen Eigenschaften unterscheiden. Während locker verdichtete Flächen einen sehr hohen Versickerungsanteil haben nimmt mit zunehmender Verdichtung der Abflussbeiwert zu. Aus diesem Grund sollten diese Flächen einer näheren Untersuchung unterzogen werden, wenn dort negative hydrologische Effekte zu vermuten. Ähnliche Differenzen beim Versickerungsverhalten können in der Klasse Pflaster- und Plattenbeläge auftreten. Umso weniger Fugen und je älter die Platten bzw. das Pflaster ist, desto geringer sind die Auswirkungen auf das lokale Klima und den Wasserhaushalt. Beton- und Asphaltflächen besitzen von den fünf Materialklassen den höchsten Abflussbeiwert und die meist graue oder schwarze Farbe führt zusätzlich zu ungünstigen thermischen Eigenschaften [Illgen 2009, 65].

Die Bewertung des Versiegelungsgrades wird für diese Matrix im Vergleich zu den ersten beiden Matrizen angepasst. Flächen mit einem hohen Versiegelungsgrad werden nicht mehr generell als negativ bewertet, da die siedlungsökologischen Eigenschaften der ersten beiden Oberflächenmaterialklassen auch bei hohen Versiegelungsgraden durchaus positive Auswirkungen auf das Stadtklima haben können.

überwiegendes Oberflächenmaterial		Versiegelungsgrad in %-Flächenanteil			
		0 – 25 %	26 – 50 %	51 – 75 %	76 – 100%
versickerungsfähiges Material	z.B.: Rasengittersteine, Schotterrasen, Porenpflaster	++	++	+	~
Schotter- und Kiesflächen	z.B.: Schotterboden auf Parkplätzen	++	+	~	-
wassergebundene Decken	z.B.: Parkplätze, Stellplätze, Gehwege	+	~	-	--
Pflaster- und Plattenbeläge	z.B.: Kopfsteinpflaster, Gehwege, Einfahrten	+	-	--	--
Asphalt- und Betonflächen	z.B.: Fahrbahnen, Parkplätze, Gehwege	+	-	--	--

Abb. 6: Bewertung der Matrix „Oberflächenmaterial / Versiegelungsgrad“ [Eigene Darstellung, 2015]

## 4.2 Urbanes Windfeld

Das urbane Windfeld in Siedlungen stellt ein sehr komplexes Thema dar. Zum einen können durch lokale Luftdruckunterschiede Winde zwischen Siedlung und Umland (Flurwinde), aber auch innerhalb der Siedlung entstehen. Zum anderen führt die Bebauung zu einer Erhöhung der Oberflächenrauigkeit, was eine Verringerung der Windgeschwindigkeit zur Folge hat [Leser & Conradin 2008, 244 f.].

### 4.2.1 Vegetationsform und Vegetationsdichte

Von besonderer Bedeutung für die siedlungsökologische Situation einer Siedlung ist die Lage von Kalt- und Frischluftluftenstehungsgebieten. Eine umfangreiche Kaltluftuntersuchung kann mit den erfassten Indikatoren nicht durchgeführt werden, allerdings lassen sich Gebiete ableiten, die ein hohes Kaltluftentstehungspotenzial besitzen. Das Potenzial einer Fläche wird vor allem durch die thermischen

Stoffeigenschaften der Oberfläche (Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität) sowie die vorhandene Vegetation bestimmt [Song 2003, 25].

Als Indikatoren werden in dieser Matrix die Vegetationsdichte sowie die Vegetationsform verwendet (Abb. 7). Die Vegetationsform wird in vier Klassen unterteilt, die hinsichtlich ihres Kaltluftpotenzials bewertet werden. Die Vegetationsform mit dem höchsten Kaltluftpotenzial sind dabei Freiflächen mit niedrigem Bewuchs (z.B. Rasen oder Wiesen). Etwas schlechter hinsichtlich ihrer Kaltluftproduktion können Freiflächen mit einzelnen Baum- oder Gehölzgruppen eingestuft werden. Waldflächen besitzen ein geringes Kaltluftpotenzial, da im Stammraum in der Nacht nur eine geringe Abkühlung der Luft stattfindet. Die Kaltluft, die in Waldgebieten gebildet wird, entsteht oberhalb des Kronendachs. Die schlechteste Vegetationsform zur Kaltluftproduktion stellen Einzelpflanzungen wie Straßenbegleitgrün dar [Song 2003, 25].

Vegetationsform		Vegetationsdichte in %-Flächenanteil			
		100 – 76 % 	75 – 51 % 	50 – 26 % 	25 – 0% 
Freifläche	Wiese, Rasen	++	++	+	~
Gehölzgruppen	Bäume, Sträucher, Stauden	+	+	~	-
Wald	Laub-, Nadel oder Mischwald	+	~	-	--
Einzelpflanzung	Bsp.: Straßenbegleitgrün			--	--

Abb. 7: Bewertung der Matrix „Vegetationsform / Vegetationsdichte“ [Eigene Darstellung, 2015]

#### 4.2.2 Topographie und Oberflächenrauigkeit

Kaltluftentstehungsgebiete besitzen einen positiven Effekt auf das Stadtklima. Ohne den entsprechenden Kaltluftabfluss ist ihre räumliche Wirkung jedoch deutlich eingeschränkt. Um eine optimale Versorgung der Siedlung mit der entstandenen Kaltluft sicherzustellen sind Kaltluftleitbahnen notwendig. Die optimalen Bedingungen für eine Kaltluftleitbahn sind Oberflächen, die in der Nacht nur wenig Wärme abgeben, ein Gefälle in Richtung Siedlung besitzen und eine möglichst geringe Oberflächenrauigkeit aufweisen, um den Kaltluftfluss nicht zu bremsen bzw. abzulenken [Weber 2004, 30]. In dieser Matrix werden die Topographie und Oberflächenrauigkeit gegenübergestellt, um Raster zu identifizieren, die als Kaltluftleitbahnen fungieren können (Abb. 8). Die Oberflächenrauigkeit wird in drei Klassen unterteilt (gering, mittel, hoch) und wird dabei aus den Vegetationsformen und der Baudichte abgeleitet. Auf Grund der Empfindlichkeit von Kaltluftströmen kann diese Untersuchungsmethode nur erste Anhaltspunkte liefern und Potenzialflächen für eine tiefere Analyse aufweisen.

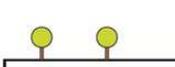
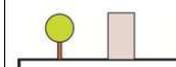
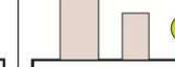
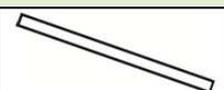
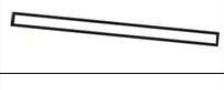
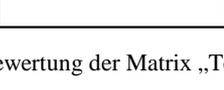
Topographie		Oberflächenrauigkeit		
		 gering	 mittel	 hoch
starkes Gefälle		++	~	-
leichtes Gefälle		++	-	-
bewegtes Gelände		+	-	-
ebenes Gelände		+	-	-

Abb. 8: Bewertung der Matrix „Topographie / Oberflächenrauigkeit“ [Eigene Darstellung, 2015]

### 4.3 Urbaner Wasserhaushalt

Der urbane Wasserhaushalt wird durch die anthropogene Überformung massiv beeinflusst. Erste Anhaltspunkte zu diesem Themenkomplex können bereits aus den ersten Matrizen gewonnen werden, da die Oberflächenmaterialien und der Versiegelungsgrad einen erheblichen Einfluss auf den Abflussbeiwert haben.

#### 4.3.1 Vegetationsdichte und Topographie

Neben den künstlichen Oberflächenmaterialien wird das Abflussverhalten von Niederschlägen und dadurch auch der urbane Wasserhaushalt, durch die Vegetation und die Topographie beeinflusst. Bei Flächen mit demselben Oberflächenmaterial ist der Abflussbeiwert bei einer geneigten Fläche deutlich höher als bei einer ebenen Fläche [Leibundgut 2007, 143 f]. Die Topographie wird für die Matrix-Methode in vier Klassen unterteilt. Diese Klassen reichen von ebenem über bewegtes Gelände bis hin zu leichtem bzw. starkem Gefälle (Abb. 9).

Die Vegetation fungiert bei Niederschlagsereignissen als Wasserspeicher und reduziert auf diese Weise einen oberflächigen Abfluss. Darüber hinaus beeinflussen die Pflanzen durch die Verdunstung über die Blätter das Stadtklima positiv [Henning 1994, 70]. Die Vegetationsdichte wird genau wie der Versiegelungsgrad in 25 Prozentschritten erfasst. Diese grobe Einteilung wird gewählt, da es in der Praxis in Abhängigkeit von Jahreszeiten und vorkommenden Pflanzenarten zu erheblichen Fehlabschätzungen kommen kann.

Topographie		Vegetationsdichte in %-Flächenanteil			
		100 – 76 %	75 – 51 %	50 – 26 %	25 – 0%
ebenes Gelände		++	+	~	--
bewegtes Gelände		++	+	~	--
leichtes Gefälle		+	~	-	--
starkes Gefälle		+	-	--	--

Abb. 9: Bewertung der Matrix „Topographie / Vegetationsdichte“ [Eigene Darstellung, 2015]

### 4.4 Siedlungsökologische Gesamtbewertung

Die Ergebnisse der einzelnen Matrizen lassen nur die Bewertung eines einzelnen Untersuchungsgegenstands zu. Eine Gesamtbewertung mit den siedlungsökologischen Problem- bzw. Potenzialbereichen ist auf diese Weise nicht möglich. Um eine solche Gesamtbewertung für den kompletten Untersuchungsraum zu erhalten, können die Ergebnisse der Matrizenerstellung in ein Punktesystem übertragen werden. Das Punktesystem ist dabei an die fünf Bewertungsklassen für die siedlungsökologischen Rahmenbedingungen angelehnt und erstreckt sich von plus zwei (sehr gute ökologische Rahmenbedingungen) bis hin zu minus zwei (sehr schlechte siedlungsökologische Rahmenbedingungen) Punkten (Abb. 10). Bei Verwendung der sechs Matrizen liegt die maximale bzw. minimale Punktzahl für jedes Raster demnach bei +12 bzw. -12 Punkten.

Raster	Matrix 1	Matrix 2	Matrix 3	Matrix 4	Matrix 5	Matrix 6	Gesamtpunktzahl
1	++ (→ +2)	+ (→ +1)	++ (→ +2)	~ (→ 0)	+ (→ +1)	++ (→ +2)	8
2	+ (→ +1)	- (→ -1)	-- (→ -2)	- (→ -1)	~ (→ 0)	~ (→ 0)	-3
3	-- (→ -2)	- (→ -1)	- (→ -1)	-- (→ -1)	- (→ -1)	-- (→ -2)	-8

Abb. 10: Beispielrechnung zur siedlungsökologischen Gesamtbewertung [Eigene Darstellung, 2015]

## 5 VISUALISIERUNG

Durch die graphische Aufbereitung wird die Übersichtlichkeit und Interpretierbarkeit der Matrizen durch die Farbgebung und den räumlichen Bezug deutlich verbessert. Bei der analogen Bestandsaufnahme kann die Visualisierung in jedem CAD- oder Grafikprogramm erfolgen.

Für die mobile Bestandsaufnahme bieten Geographische Informationssysteme die optimale Visualisierungsmethode. Dazu wird zunächst die mobile Datenbank aus der App ausgelesen und in einem Tabellenkalkulationsprogramm aufbereitet. Im Anschluss kann diese Datenbank mit den Rastern in einem Geographischen Informationssystem verknüpft werden.

Dieses Verfahren ermöglicht dem Nutzer viele Vorteile. Die automatisierte Verknüpfung der Matrizen mit den einzelnen Rastern in einem GI-System ermöglicht eine schnelle und einfache Ergebnisvisualisierung. Darüber hinaus liegen weitere Vorteile in der Möglichkeit, verschiedene Datensätze zur Analyse miteinander zu verknüpfen, räumliche Analysen vorzunehmen und Abfragen gezielt nach einer Wertekombination durchzuführen. Mit solchen Maßnahmen/ Methoden können beispielsweise schnell Raster selektiert werden, die sowohl eine negative Bewertung in der Matrix „Vegetationsdichte und Topographie“, wie auch in der Matrix „Versiegelungsgrad und Oberflächenmaterial“ aufweisen, um so Bereiche mit kritischen Eigenschaften für den urbanen Wasserhaushalt gezielt hervorzuheben. Auf veränderte Rahmenbedingungen (z. B. Neubauten) kann durch eine Änderung in der GIS-Datenbank reagiert werden, sodass die Ergebnisdarstellung automatisch aktualisiert wird (Abb. 11).

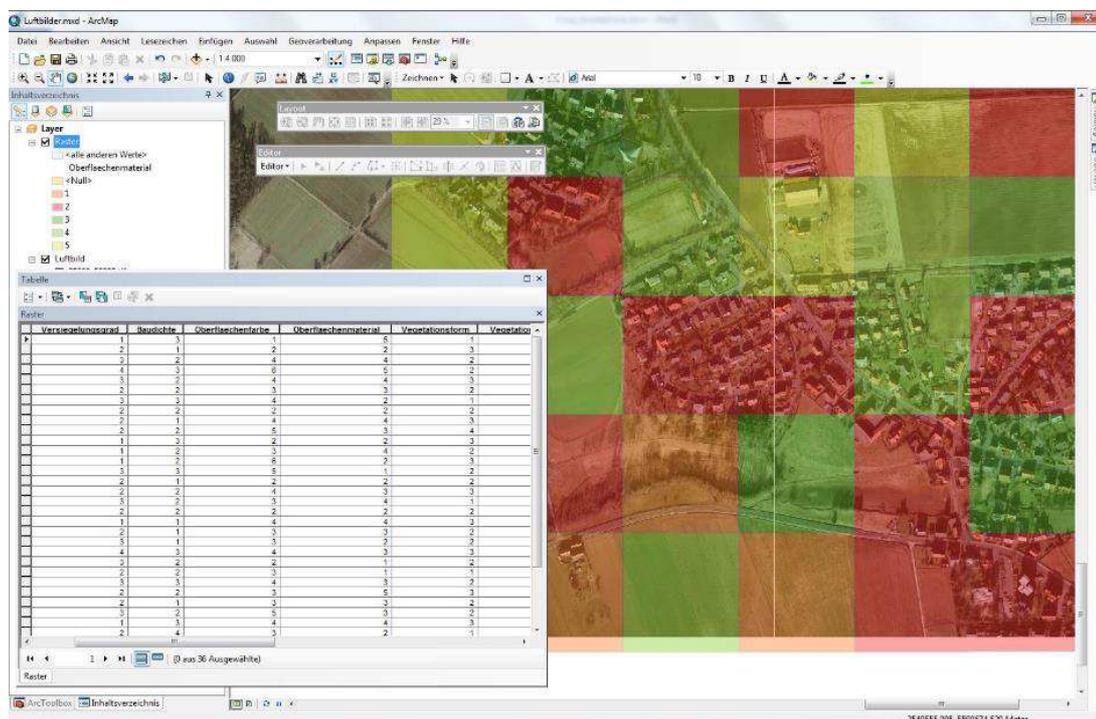


Abb. 11: Matrizenauswertung in ArcMap [Eigene Darstellung, 2015]

Als Kartengrundlage für die Visualisierung sollten grundsätzlich Luftbilder verwendet werden, da mit dieser Grundlage die Bestandsaufnahme vor Ort am besten nachvollzogen werden kann und die räumliche Orientierung gut möglich ist. Wenn in der entsprechenden Gemeindeverwaltung bereits ein gepflegtes GIS-System vorhanden ist, besteht die Möglichkeit für einzelne Fragestellungen die Kartengrundlage durch andere Pläne zu ersetzen (z. B. Bebauungsplan) oder durch weitere Informationen zu erweitern.

## 6 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Nachdem die Erfassung und Darstellung der siedlungsökologischen Problembereiche abgeschlossen ist, können aus diesen Ergebnissen Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Neben Bereichen, die sehr schlechte siedlungsökologische Rahmenbedingungen aufweisen, werden in nahezu jeder Gemeinde auch Gebiete zu erkennen sein, die gute Rahmenbedingungen besitzen. Aus diesem Grund erfolgt eine Untergliederung in drei verschiedene Zonen.

### Schutzzone

Als Schutzzone werden Gebiete abgegrenzt, die überwiegend gute bis sehr gute siedlungsökologische Rahmenbedingungen aufweisen und sich positiv auf das lokale Klima auswirken. Eingriffe, die die Rahmenbedingungen negativ beeinflussen können, sollten in diesen Zonen vermieden werden.

## Übergangszone

Die Übergangszonen besitzen weder einen deutlich negativen, noch einen starken positiven Effekt auf das Siedlungsklima. Da die Einstufung allerdings aufgrund der Gesamtbewertung erfolgt, können einzelne Untersuchungsgegenstände in diesen Zonen dennoch stark positiv bzw. negativ ausgeprägt sein. Eine differenzierte Betrachtung der einzelnen Untersuchungsgegenstände muss für diese Zonen durchgeführt werden, um mögliche negative Einflüsse zu identifizieren und durch gezielte Maßnahmen zu verbessern.

## Sanierungszone

Der größte Handlungsbedarf besteht in den Sanierungszone. Diese Zonen wurden in allen drei Hauptkategorien (Überwärmung, Wasserhaushalt und Windfeld) negativ bewertet. Es kann davon ausgegangen werden, dass von diesen Zonen eine erhebliche Verschlechterung des Siedlungsklimas ausgeht.

## 7 FAZIT

Die Matrix-Methode eignet sich gut, die siedlungsökologischen Rahmenbedingungen einer Siedlung zu analysieren. Besonders im Vergleich zu empirischen Erhebungen und aufwändigen Simulationsverfahren kann mit dieser Methode eine erhebliche Kostenreduzierung erreicht werden.

Die smartphonegestützte Matrix-Methode ermöglicht gegenüber der analogen Erfassung nochmals eine erhebliche Reduzierung des Arbeitsaufwands. Das ist in erster Linie auf die schnelle und einfache Bestandsaufnahme zurückzuführen, die ohne viele Vorkenntnisse von Laien durchgeführt werden kann. Zusätzlich trägt aber auch die Verwendung einer mobilen Datenbank zu einem verkürzten Verfahren bei, da so der Zeitaufwand der Nachbereitung (z.B. Digitalisierung) reduziert wird.

So bietet die Matrix-Methode eine kostengünstige Methode, die siedlungsökologischen Besonderheiten einer kleinen Siedlung zu erfassen. Die genaue Aufwand- und Zeitersparnis gegenüber aufwendigen Modellierungen oder empirischen Erhebungen lassen sich allerdings nur sehr schwer abschätzen, da die Einflussfaktoren sehr vielfältig sind.

Die Ergebnisse der Matrix-Methode können von den Gemeinden genutzt werden, um siedlungsökologische Problemfelder oder Potenzialbereiche innerhalb der Siedlung zu identifizieren. Die Ergebnisse der einzelnen Matrizen können, in Verbindung mit Geographischen Informationssystemen, dazu genutzt werden, diese Bereiche weiter zu konkretisieren. Bevor kostenintensive Maßnahmen ergriffen werden, sollten diese Gebiete allerdings noch einmal punktuell hinsichtlich der vermuteten Phänomene untersucht werden. Der zielgerichtete Einsatz von Messungen oder Modellierungen ist dabei deutlich kostengünstiger als eine ohne die Matrix-Methode durchgeführte großflächige Untersuchung des gesamten Siedlungsgebietes.

## 8 QUELLEN

- ADAM, K., GROHÉ, T.: Ökologie und Stadtplanung – Erkenntnisse und praktische Beispiele integrierter Planung. Köln, 1984.
- ALLBACH B., HENNINGER S., DEITCHE, E.: An Urban Sensing System as Backbone of Smart Cities, In: Schrenk, M.; Popovich, V.; Zeile, P.: Proceedings of RealCORP 2014, Wien, 2014.
- BLUME, H., HORN, R., THIELE-BRUHN, S.: Handbuch des Bodenschutzes. Weinheim, 2010.
- ESSL, F., RABITSCH, W.: Biodiversität und Klimawandel. Auswirkungen und Handlungsoptionen für den Naturschutz in Mitteleuropa. Berlin, 2013.
- HELBIG, A.: Stadtklima und Luftreinhaltung. Heidelberg, 1999.
- HENNING, I.: Hydroklima und Klimavegetation der Kontinente. Münster, 1994.
- HENNIGER, S.: Stadtökologie. Paderborn, 2011.
- ILLGEN, M.: Das Versickerungsverhalten durchlässig befestigter Siedlungsflächen und seine urbanhydrologische Quantifizierung. Kaiserslautern, 2009.
- IPCC: Climate Change 2014 Synthesis Report, Kopenhagen, 2014.
- KAPPAS, M.: Klimatologie. Klimaforschung im 21. Jahrhundert - Herausforderung für Natur- und Sozialwissenschaften. Heidelberg, 2009.
- KUTTLER, W.: Klimatologie. Paderborn, 2013.
- LEIBUNDGUT, C.: Abflussbildung und Einflussgebietsmodellierung. Freiburg, 2007.
- LESER, H., CONRADIN, C.: Stadtökologie in Stichworten. Berlin, 2008.
- OSENBERG, H.: Wie kann die Regionalplanung zur Anpassung an den Klimawandel beitragen. Berlin, 2013.
- SCHÖNWIESE, C.: Klimatologie. Stuttgart, 2008.
- SONG, Y.: Kaltluft und Kaltluftschneisen als Planungsfaktor zur Verbesserung der Luftqualität. Berlin, 2003.
- VDI: Richtlinie 3787. Blatt 5. Berlin, 2003.
- VDI: Richtlinie 3785, Blatt 1, Düsseldorf, 2007.
- WEBER, S.: Energiebilanz und Kaltluftdynamik einer urbanen Luftleitbahn. Hohenwarsleben, 2004.