

### Identifikation und Bewertung von Entsiegelungspotenzialen als Beitrag zur nachhaltigen Quartiersentwicklung: Zwischenergebnisse aus NaMaRes

Volk, Rebekka; Naber, Elias; Lützkendorf, Thomas; Böhnke, Denise;  
Mörmann, Kai; Schultmann, Frank; Norra, Stefan

Veröffentlichungsversion / Published Version

Sammelwerksbeitrag / collection article

#### Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Volk, R., Naber, E., Lützkendorf, T., Böhnke, D., Mörmann, K., Schultmann, F., Norra, S. (2021). Identifikation und Bewertung von Entsiegelungspotenzialen als Beitrag zur nachhaltigen Quartiersentwicklung: Zwischenergebnisse aus NaMaRes. In *Flächennutzungsmonitoring XIII: Flächenpolitik - Konzepte - Analysen - Tools* (S. 209-219). Berlin: Rhombos-Verlag. <https://doi.org/10.26084/13dfns-p019>

#### Nutzungsbedingungen:

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

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

#### Terms of use:

This document is made available under a CC BY Licence (Attribution). For more information see:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



Flächennutzungsmonitoring XIII  
Flächenpolitik – Konzepte – Analysen – Tools

IÖR Schriften Band 79 · 2021

ISBN: 978-3-944101-79-8

## Identifikation und Bewertung von Entsiegelungspotenzialen als Beitrag zur nachhaltigen Quartiersentwicklung – Zwischenergebnisse aus NaMaRes

*Rebekka Volk, Elias Naber, Thomas Lützkendorf, Denise Böhnke, Kai Mörmann, Frank Schultmann, Stefan Norra*

Volk, R.; Naber, E.; Lützkendorf, T.; Böhnke, D.; Mörmann, K.; Schultmann, F.; Norra, S. (2021): Identifikation und Bewertung von Entsiegelungspotenzialen als Beitrag zur nachhaltigen Quartiersentwicklung – Zwischenergebnisse aus NaMaRes. In: Meinel, G.; Krüger, T.; Behnisch, M.; Ehrhardt, D. (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring XIII. Flächenpolitik – Konzepte – Analysen – Tools. Berlin: Rhombos, IÖR Schriften 79, S. 209-219.

DOI: <https://doi.org/10.26084/13dfns-p019>

# Identifikation und Bewertung von Entsiegelungspotenzialen als Beitrag zur nachhaltigen Quartiersentwicklung – Zwischenergebnisse aus NaMaRes

*Rebekka Volk, Elias Naber, Thomas Lützkendorf, Denise Böhnke, Kai Mörmann, Frank Schultmann, Stefan Norra*

## Zusammenfassung

Es besteht ein großes gesellschaftliches Interesse daran, städtische Lebensräume nachhaltiger zu gestalten. Die zugehörige nachhaltige und ressourceneffiziente Quartiersentwicklung stellt u. a. eine Herausforderung für das Flächenmanagement dar und ist ein Prozess, der auf Basis der Analyse des Ausgangszustands zu einer Formulierung konkreter Ziele führt sowie eine Auswahl, Bewertung und Umsetzung von Maßnahmen erfordert. Der Beitrag adressiert die Grundlagen einer Analyse und Bewertung des Ausgangszustands der Flächennutzung und Bodenversiegelung in Bestandsquartieren, sowie die Identifikation von Entsiegelungspotenzialen. Zur Bewertung der Maßnahmen werden Kennwerte zu ihren Wirkungen berechnet. Mit einem Werkzeug, welches im BMBF-Projekt NaMaRes konzipiert, entwickelt und erprobt wird, werden vorhandene städtische Daten verarbeitet und angereichert, um fundierte Arbeitsgrundlagen bereitzustellen und Szenarioanalysen zu ermöglichen. Die Vorgehensweise wird am Beispiel der Karlsruher Innenstadt-Ost dargestellt.

**Schlagwörter:** Entsiegelung; Biotope; Indikatoren; Bewertung; Kosten

## 1 Einführung

Böden stellen eine nicht erneuerbare Ressource dar, welche es zu schützen gilt (vgl. BauGB; BBodSchG; ROG; BNatSchG; EU-SFD). Die intensivste Form der Flächeninanspruchnahme ist die Bodenversiegelung. Die gemeinsame Schnittmenge unterschiedlicher Definitionen der Bodenversiegelung ist das Hinzufügen einer flächigen Barriere, welche die natürlichen Bodenfunktionen, hier insbesondere Versickerung und Gasaustausch, ganz oder teilweise beeinträchtigt (UBA 2021; ETC 2019). Die Infiltrationseigenschaften der hinzugefügten Barriere werden als Hauptcharakteristika herangezogen (Arnold 1996; EK 2011). Hohe Versiegelungsanteile sind besonders in Städten, dicht besiedelten und industriell genutzten Gebieten vorzufinden. Die zu erwartenden Folgen des Klimawandels (Kaspar 2017), die fortschreitende Urbanisierung und die Verdichtung in Großstädten und Metropolregionen schaffen ein anspruchsvolles Gemenge von Zielkonflikten der Flächennutzung. Die Flächenentsiegelung und -begrünung in Bestandsquartieren stellt eine Maßnahme mit vielen erwünschten Wirkungen dar. Sie ermöglicht die Regulierung des Mikroklimas (Buyantuyev 2010) sowie des Wasserabflusses bzw.

-haushalts (Pataki 2011). Durch die Wahl geeigneter Begrünungsmaßnahmen können Schadstoffminderungen (Seta 2013), Biodiversitäts- (Artmann 2014), Produktivitäts- (Lee 2009) und Kulturdienstleistungssteigerungen (Fuller 2007; Brandner 2011) erreicht werden. Jedoch limitieren die hohe Fragmentierung von potenziellen Flächen (durch die Eigentumsstruktur oder administrative Aufteilung), die hohe Nachfrage und Nutzungskonflikte die Umsetzung von Entsiegelungsmaßnahmen in Bestandsquartieren. Zur Ausschöpfung der vorhandenen Potenziale sind Planer\*innen und zuständige Institutionen (z. B. Kommunen) mit der komplexen Aufgabe konfrontiert, langfristige Klimaschutz- und Klimaanpassungspläne in Einzelmaßnahmen zu übersetzen und diese mit begrenzten Ressourcen und häufig fehlenden Verfügungsrechten zu bewältigen. Wesentliche Erfolgsfaktoren für eine Planung und Umsetzung von Entsiegelungsprojekten in Bestandsquartieren sind die Bewertung von Potenzialen und Evaluierung von Maßnahmen. Der hier vorliegende Beitrag beurteilt die Datenlage auf lokaler Ebene und bewertet Entsiegelungsmaßnahmen technisch, ökonomisch und ökologisch je Flurstück am Beispiel eines Sanierungsgebiets in Karlsruhe.

## 2 Ausgangssituation, Daten und Methodik

In Literatur und Praxis sind vielfältige Arbeiten zur Klassifizierung von versiegelten Flächen zu finden (EK 2011; IÖR 2021; CLC 2021). Stetig werden neue Funktionen für Geoinformationssysteme und für neue Analysemöglichkeiten entwickelt. Fortschritte in der Fernerkundung führen zu höheren Auflösungen, Flächendifferenzierungen und Datenmengen. Auch das Angebot von öffentlich zugänglichen Daten wird stetig erweitert. Für das Versiegelungsmonitoring auf nationaler und regionaler Ebene haben sich methodische Ansätze etabliert, welche auf Fernerkundungsdaten, Flächennutzungstypologien oder statistischen Rechenmodellen basieren. Beispielsweise wird im Rahmen der umweltökonomischen Gesamtrechnungen der Länder die Bodenversiegelung in Deutschland mittels eines vereinfachten statistischen Rechenmodells geschätzt (LABO 2019). Andere Beispiele zeigen, dass mit entsprechendem Aufwand hohe Auflösungen von wenigen Quadratmetern erreicht werden können (Schmidt 2020). Jedoch können diese Daten und Methoden nicht von jeder Kommune umgesetzt, verarbeitet oder stetig aktuell gehalten werden, und das Bearbeitungsraster entspricht nicht dem der Maßnahmen (z. B. Entsiegelung), die meistens flurstücksbezogen sind. Dadurch bleiben kleinteilige und flurstücksbezogene Maßnahmen zur Entsiegelung oder Aufwertung unberücksichtigt oder werden als Aggregat behandelt (Dewaelheyns 2014), welches keine direkte handlungsleitende Potenzialabschätzung, Bewertung oder Planung ermöglicht. Neuere Arbeiten streben hohe Auflösungen und Flächendifferenzierungen an (Bartesaghi 2020; Frick 2019). Dies gilt auch für die Bewertung von Entsiegelungsmaßnahmen, die besonderes durch Datenlücken und den teilw. privaten und kleinteiligen Charakter erschwert werden (Zölch 2016). Größtenteils werden Satellitenbilder,

Laserscan-, Radardaten und Luftbilder mittels Klassifizierungsalgorithmen und Spektralanalysen ausgewertet. Diese wissenschaftlich etablierten Ansätze finden verstärkt Anwendung in der Praxis (Marion 2020). Die Entwicklung von generischen und in Planungsabläufen integrierten Werkzeugen ist noch in einer frühen Phase (RES:Z). In der Bebauungsplanung werden verschiedene Planungskennzahlen bereits genutzt, wie bspw. die Grundflächenzahl (GRZ). Jedoch eignet sich diese nicht für die Quantifizierung und Bewertung der Versiegelungssituation. In einigen Stadtplanungsämtern liegen Angaben zur Versiegelung von Baugrundstücken vor, welche meistens aus den Erhebungen für die gesplittete Abwassergebühr (GAG) stammen (z. B. erhoben in 2015 97 Prozent der Gemeinden in Baden-Württemberg eine GAG). Mit diesen Daten können die Bodenversiegelung ermittelt und sogenannte Entsiegelungskataster, welche eine differenzierte Bewertung des Versiegelungs- oder Befestigungsgrad von Flächen beinhalten, erstellt werden, wie etwa in Hanau. Immer mehr Studien zur nachhaltigen Stadtentwicklung und Klimaanpassung beinhalten ähnliche räumliche Analysen und Erhebungen (NRW). Es wird deutlich, dass die kleinräumigen Flächenklassifizierungen in Quartieren zukünftig für die Bewertung der Bodenversiegelung und für Klimamodellierungen erforderlich werden. Der hier vorgestellte Ansatz verwendet kommunal verfügbare Daten, ist einfach anzuwenden, übertragbar und lässt Anpassungen für einzelne Flurstücke in der Nachbearbeitung zu. Er kombiniert kommunale Vektordatensätze und zeigt Möglichkeiten der Datenergänzung auf. Die Datenlage für private Grundstücke wird für Daten von OpenStreetMap (OSM), amtliche Liegenschafts- und GAG-Daten sowie eine Biotopkartierung (BK, vgl. Beitrag Böhnke et al. in diesem Band) im Quartier untersucht. Das Untersuchungsgebiet umfasst den Stadtteil Innenstadt-Ost von Karlsruhe (Stadtteilfläche 160 ha; ca. 7 200 Einwohner\*innen) und ist durch dichte Bebauung in Blockrand- und Hofbebauung gekennzeichnet. Aufgrund der geschlossenen Morphologie der Bebauung ist mit Überhitzungstendenzen in den Blockinnenbereichen („Höfe“) zu rechnen (BMU 2017; Frick et al. 2020). Flächen mit Entwicklungspotenzial (z. B. zur Begrünung, Verdichtung etc.) sind vor allem in Blockinnenbereichen zu finden. Im Untersuchungsgebiet herrscht eine Mischnutzung der Flächen. Von besonderem Interesse sind die 365 Flurstücke privater Eigentümer\*innen mit einer Gesamtfläche von 18,9 ha und 648 Gebäuden. In dem Sanierungsgebiet existieren finanzielle Förderprogramme für Entsiegelungsmaßnahmen (Abriss von Bauwerken/Gebäuden, Entsiegelung und Begrünung). Die Anteile versiegelter Flächen im Quartier sind hoch, zusätzliche Versiegelungsmaßnahmen (Nachverdichtung) verschärfen die Situation und verringern Möglichkeiten für eine Klimaanpassung. Zusätzliche Versiegelungen reduzieren natürliche Bodenfunktionen, Ökosystemleistungen und erhöhen Belastungen durch Luftschadstoffe, Temperatur oder Extremwetterereignisse. Der Zustand im Quartier kann durch Teil-/Entsiegelungsmaßnahmen verbessert werden. Alternativen zu einer Entsiegelung sind teils nicht umsetzbar oder sehr kostenintensiv. Mit geeigneten planerischen Maßnahmen können negative Auswirkungen versiegelter Flächen auf privaten Flurstücken ver-

ringert/umgekehrt werden. Insbesondere können Flächenbedarfe für Dienstleistungen und den ruhenden Verkehr Stellschrauben für das Ausschöpfen von Potenzialen darstellen. Für die Fallstudie werden Maßnahmen der Bodenentsiegelung von gebäudefreien Flächen auf privaten Flurstücken bewertet. Hierbei wird mittels Mindestanforderungen und Bedingungen sichergestellt, dass Betriebs- und Stellplatzflächen sowie Zufahrtswege nutzbar bleiben. Eingangsdaten sind amtliche Gebäude-, Flurstücks-, Bauwerks-, und GAG-Vektordaten von kommunalen Verwaltungen/Ämtern. Des Weiteren wurden OSM-Daten für das Untersuchungsgebiet verarbeitet und eine BK durchgeführt (Erhebung mittels Begehung und Befliegungs-/Satellitendaten). Im Vergleich zur automatisierten Verarbeitung der Fernerkundungsdaten können Biotop differenzierter und präziser bestimmt und kartiert werden. Die Daten werden mit *PostgreSQL* und *PostGIS* verarbeitet. So entsteht eine Bodenkarte, die für jede Teilfläche entsprechende Attribute vorhält. Diese setzen sich aus den Gebäudeumringen und den Befestigungsarten aus der GAG/BK und zusätzlichen Attributen wie z. B. Denkmalschutz, Anzahl der Wohneinheiten (WE) zusammen. Daraus werden verschiedene flurstückscharfe Kennwertgruppen abgeleitet, u. a. die gebäudefreie Fläche mit Angabe der Begrünung, Versiegelungsgrade, Befestigungsgrade (Abflussbeiwert nach DIN 1986-100), Niederschlagsmengen, Regenwasserabflüsse (monatlich), Ökopunkte (vgl. Beitrag Böhnke et al. in diesem Band), Luftschadstoffaufnahme, Verdunstung, Flächenbedarfe für Betrieb (z. B. für Abfallbehälter) und Mobilität (z. B. für PKW), Investitionen, Kosten, Förderung und Stoffströme. Für die Ermittlung der Potenziale werden folgende Annahmen getroffen: (1) Flächen von amtlichen Gebäudeumringen werden nicht entsiegelt, d. h. kein Abriss. (2) Flächen mit einer Unterbauung durch ein Gebäude werden als oberer Gebäudeabschluss bzw. Dach gewertet (nicht Teil dieses Beitrags). (3) Flächen nichtamtlicher Gebäudeumringe können entsiegelt werden (z. B. veraltete Daten, nicht erfasste/genehmigungspflichtige Bauwerke). (4) Die Anzahl der WE bestimmt den Bedarf für befestigte Betriebs- und Stellflächen (z. B. für Abfallwirtschaft oder Mobilität). Sind Stellplätze vorhanden, wird diese Anforderung als erfüllt gewertet. (5) Anforderungen der Förderprogramme für Entsiegelung und Begrünung der Stadt Karlsruhe.

### 3 Ergebnisse

Die Eingangsdaten werden hinsichtlich ihrer Aktualität, Vollständigkeit, Merkmalerfassung und Erfassungsmethodik beurteilt und der Ist-Zustand bewertet. In Tabelle 1 wird ersichtlich, dass die OSM-Daten häufig nicht attribuiert sind und aktuell noch zu viele Datenlücken (z. B. begrünte Flächen, Flurstücke) für die beabsichtigte Analyse aufweisen. Im Vergleich zwischen den amtlichen Liegenschaftsdaten (LG) mit GAG oder BK können folgende Unterschiede festgestellt werden: In der BK der privaten Hinterhöfe wurde ca. 20 Prozent weniger Gartenfläche erhoben. Dies kann mit dem Erhebungszeitpunkt und -fokus erklärt werden. Die GAG-Daten wurden zu einem früheren Zeitpunkt

erhoben und seitdem auf der Basis von Änderungsanträgen angepasst. Die BK fand über einen Zeitraum von mehreren Wochen statt und unterscheidet eine Vielzahl von Biotoptypen im Gegensatz zur GAG, welche eine Begrünung kennzeichnet, aber nicht den Biotoptyp. Hinsichtlich des Versiegelungsgrads stimmen beide Ansätze überein. Für die Befestigung kann, bedingt durch Erhebungszeitpunkte und Differenzierung, ein Unterschied von 10 Prozent festgestellt werden. Dies gilt auch für die Ökopunkte. Hier wurde für die Klassifizierung im GAG ein einfacher Garten als Referenzwert angenommen; die BK unterscheidet zwischen den Wertigkeiten der Biotope. Zudem waren auf fast  $\frac{3}{4}$  der Flurstücke 1,2 ha bebaute Flächen (Gebäudeumringe) nicht in den amtlichen Daten enthalten (Durchschnitt: 35 m<sup>2</sup>; Median: 12 m<sup>2</sup> je Flurstück). Dabei kann es sich um nicht-genehmigungspflichtige Bauten oder nicht übertragene Änderungen handeln. Für die Entsiegelungsmaßnahmen werden alle Flächen („Höfe“) berücksichtigt, welche in Summe eine zusammenhängende und geometrisch umsetzbare Fläche für das jeweilige Flurstück bilden. Die dargestellten Ergebnisse (Tab. 2) stellen das technische Potenzial nach GAG und BK dar. Dieses Potenzial beschreibt den Teil der Flächen, die nach Stand der Technik, getroffenen Annahmen, Geometrie und gesetzlichem Rahmen entsiegelt werden können. Die Berechnungen zeigen, dass sowohl die Versiegelung deutlich verringert, als auch der Befestigungsgrad reduziert werden kann. Der Unterschied dieser Indikatoren liegt in der Gewichtung der Flächen mittels Spitzenabflussbeiwert. Im Vergleich zwischen GAG und BK liegt die absolute Spannweite der Abweichungen zwischen wenigen bis zu 22 Prozentpunkten. Werden die absoluten Abweichungen normalisiert (in Bezug auf die verfügbaren Flächen), fallen die Abweichungen deutlich kleiner aus. Da die Abweichungen im zu erwartenden Bereich liegen und die GAG-Daten stetig aktualisiert werden, werden die Ergebnisse für GAG dargestellt. Die induzierten Stoffströme (Abb. 2) betreffen die Entsiegelung (Abbruch und Entsorgung von Befestigungen) sowie die Gestaltung der neuen Befestigung und Begrünung. Das entwickelte Werkzeug ermöglicht Analysen auf Einzelprojektebene, Baublock- oder Quartiersebene. Viele Entsiegelungsprojekte haben eine Entsiegelungsfläche von 200 m<sup>2</sup> und weniger. Die maximale Fördergrenze von 19 000 € je Projekt wird in nur wenigen Fällen erreicht; der Eigenanteil liegt im Durchschnitt bei ca.  $\frac{2}{3}$  der Gesamtinvestition (Abb. 1). Zudem können Projekte identifiziert werden, welche trotz eines großen Flächenpotenzials eine vermeintlich geringe Förderung erhalten würden sowie weitere Handlungsstrategien abgeleitet werden, um die Potenziale auszuschöpfen und ggf. Defizite im Förderprogramm anzupassen (Abb. 3).

Tab. 1: Vergleich der Datenquellen (Quelle: eigene Darstellung)

Merkmal	OSM	LG+GAG-Daten	LG+BK-Daten
Flurstücke (ohne Verkehrsflächen)	N/A	409	409
Flurstückfläche	N/A	26,1 ha	26,1 ha
Bebaute Fläche	12 ha	18,3 ha	18,3 ha
Gebäudefrei (davon begrünt)	N/A (0,56 ha)	7,7 ha (2,6 ha)	7,7 ha (2,1 ha)
Ø Versiegelungsgrad	N/A	0,902	0,933
Ø Befestigungswert der gebäudefreien Flächen	N/A	0,587	0,682
Ökopunkte	33 600	206 300	187 780

Tab. 2: Maßnahmenwirkung anhand ausgewählter Kennwerte (Quelle: eigene Darstellung)

Merkmal	GAG	BK
Flurstücke mit Entsiegelungspotenzial	323	323
Theoretische Potenzialfläche	5,2 ha	5,2 ha
Davon bereits begrünt	1,98 ha	1,7 ha
Ø Hof- bzw. Freifläche Versiegelungsgrad vor-/nachher	0,76/0,45	0,81/0,46
Ø Befestigungswerte vor-/nachher	0,67/0,18	0,77/0,19
Bäume vor-/nachher	0/366	181/365
Ø Verdunstungskategorie	0,5/1,2 (vorher/nachher)	0,4/1,2 (vorher/nachher)
Ø CO <sub>2</sub> -Fixierung (konservativ geschätzt) Delta [kg]/ Gesamtmenge [t]	-127 je Entsiegelungsprojekt/ -41	-142 je Entsiegelungsprojekt/ -46
Ø Feinstaubbindung Delta/Gesamtmenge [kg/a]	-0,65 je Entsiegelungsprojekt/-210	-0,73 je Entsiegelungsprojekt/ -237
Ökopunkte Höfe vor-/nachher	154 900/250 900	136 100/248 800
Niederschlagsgebühren Delta [€/a]	-6 300	-7 800
Wasserretention (5a) Gesamtabfluss Delta [l/s]	-708	-897
Investition Ø /Gesamt [€]	10 000/3,275 Mio.	11 000/3,53 Mio.
Förderung Ø /Gesamt [€]	3 200/1,05 Mio.	3 800/1,24 Mio.

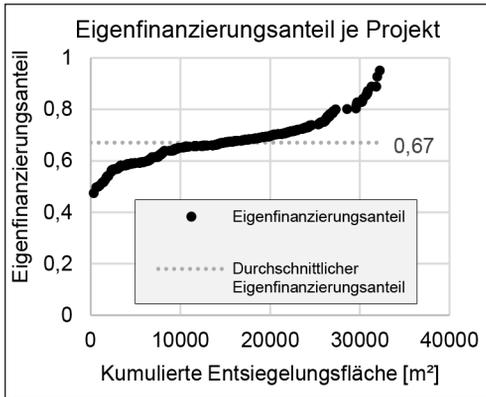


Abb. 1: Eigenfinanzierungsanteile N=323 (Quelle: eigene Darstellung)

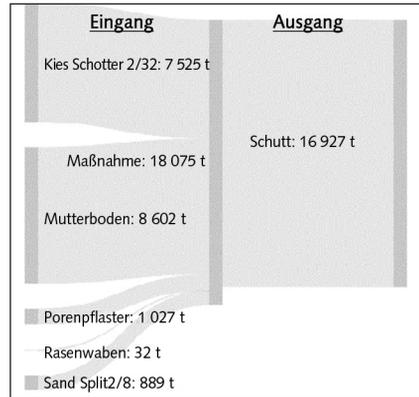


Abb. 2: Stoffströme aller 323 Maßnahmen (Quelle: eigene Darstellung)

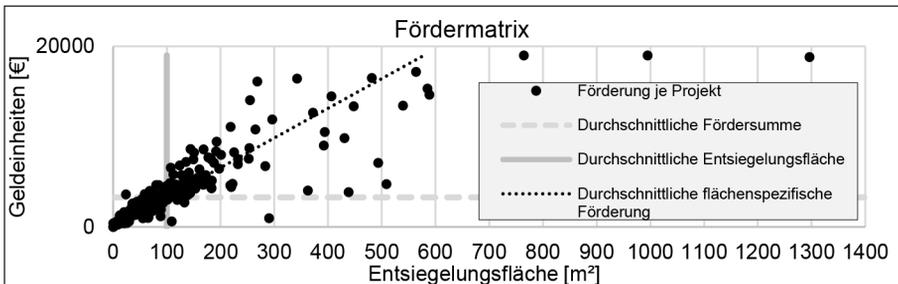


Abb. 3: Fördermatrix N=323 (Quelle: eigene Darstellung)

## 4 Diskussion und Ausblick

Ziel ist die Entwicklung eines Ansatzes zur flurstückscharfen Identifikation und Bewertung von Entsiegelungspotenzialen und zur Evaluierung von Förderinstrumenten. In der Fallstudie konnte gezeigt werden, dass die Kombination von amtlichen Liegenschaftsdaten und Daten zur gesplitteten Abwassergebühr sich für die Identifikation und Bewertung von Entsiegelungspotenzialen eignen. Die Abweichungen zu einer manuellen Biotopkartierung sind aus Sicht der Autor\*innen tolerierbar. Dazu sollten die Grundlagendaten i.e. amtliche Daten stetig aktualisiert werden – auch um Veränderungen und Zeitreihen analysieren zu können. Eine genaue Vermessung des Quartiers erfolgte nicht, womit keine Grundwahrheit für einen oder mehrere Datensätze gegeben ist. Jedoch stellt die BK eine plausible und glaubwürdige Referenz dar. Es konnte gezeigt werden, dass eine Differenzierung der Grünflächen in Biotope für die ökologische Bewertung einen Mehrwert bietet. Die erzielbaren Wirkungen von Entsiegelungsmaßnahmen sind im Vergleich zur Größe des Quartiers klein und lokal begrenzt, weshalb die

Aktivierung möglichst aller Flächenpotenziale Ziel sein sollte. Morphologisch bedingt könnten die Entsiegelungs-/Begrünungsprojekte teilweise zusammengefasst werden, was in der Umsetzung kostenreduzierend wirken kann. Die finanziellen Anreize im untersuchten Sanierungsgebiet erhöhen die Attraktivität einer Entsiegelungsmaßnahme deutlich. Jedoch kann keine Aussage zur Wahrscheinlichkeit einer tatsächlichen Umsetzung abgeleitet werden, da z. B. die Zahlungsrückströme gering sind oder nicht direkt quantifiziert werden können (z. B. Abwassergebühren, Wertsteigerung, Einfluss auf Mieten). Zentrale Planer\*innen können auf die Abwassergebühren als Steuerungsinstrument Einfluss nehmen, jedoch erscheint der Spielraum zu klein, um zur Steuerung des Versiegelungsgrades privater Flurstücke eingesetzt zu werden. Des Weiteren sind die nichtökonomischen Entscheidungskriterien und Motive der Bauherr\*innen nicht erfasst. Empirische Studien untersuchen die monetäre Bewertung von Entsiegelungs-/Begrünungsmaßnahmen, jedoch nicht die Sicht der Bauherr\*innen und deren Entscheidungsprozesse. Der durchschnittliche Befestigungsgrad eines Flurstücks könnte die Grundflächenzahl als städteplanerische Kennzahl ergänzen. Die vorgeschlagenen Maßnahmen müssen für die Umsetzung an die lokalen Bedingungen und Vorstellungen der Bauherr\*innen angepasst werden. Das entwickelte Werkzeug bietet wichtige Erkenntnisse für die Vorerkundung, reduziert den Arbeitsaufwand und schafft damit mehr Kapazitäten für die individuelle Beratung. Zudem können auf Basis der Potenzialberechnung Szenarien und Eingabedaten für Klimamodelle generiert werden. Allgemein sind eindeutige Definitionen, Systemgrenzen und Bewertungsmaßstäbe für Indikatoren z. B. die Versiegelung und Befestigung von Oberflächen notwendig. Nächste Schritte für Quartiersuntersuchungen im Projekt umfassen Ergänzungen durch andere Daten, die Integration von vertikalen und horizontalen Gebäudeaußenflächen sowie eine erhöhte Differenzierung und Granularität, um verschiedene Maßnahmenpakete zu bewerten. Eine Forschungslücke besteht noch in der empirischen Untersuchung der Entscheidungsprozesse der Bauherr\*innen.

## **Danksagung**

Diese Studie wurde innerhalb des Forschungsprojekts NaMaRes (Förderkennzeichen 033W111A) durchgeführt, gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in Deutschland im Rahmen der Fördermaßnahme „RES:Z – Ressourceneffiziente Stadtquartiere“. Das BMBF ist nicht verantwortlich für die Ergebnisse oder Empfehlungen der Autor\*innen.

## 5 Literatur

- Arnold, C. L. Jr.; Gibbons, C. J. (1996): Impervious surface coverage: the emergence of a key environmental indicator. *J Am Plan Assoc* 62: 243-258.  
<https://doi.org/10.1080/01944369608975688> (Zugriff: 01.07.2021).
- Artmann, M. (2014): Assessment of soil sealing management responses, strategies, and targets toward ecologically sustainable urban land use management. *Ambio* 43: 530-541.  
<https://doi.org/10.1007/s13280-014-0511-1> (Zugriff: 01.07.2021).
- Bartesaghi-Koc, C.; Osmond, P.; Peters, A. (2020): Quantifying the seasonal cooling capacity of 'green infrastructure types' (GITs). An approach to assess and mitigate surface urban heat island in Sydney, Australia. In: *Landscape and Urban Planning* 203 (1): S. 103893.  
DOI: 10.1016/j.landurbplan.2020.103893.
- BauGB, Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 14. Juni 2021 (BGBl. I S. 1802) geändert worden ist" (§1 Abs 6).
- BBodSchG, Bundes-Bodenschutzgesetz vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch Artikel 7 des Gesetzes vom 25. Februar 2021 (BGBl. I S. 306) geändert worden ist (§1 und 5).
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2017): Umwelt- und Aufenthaltsqualität in kompakturbanen undutzungsgemischten Stadtstrukturen.  
[https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Forschungsdatenbank/fkz\\_3715\\_75\\_101\\_umweltqualitaet\\_stadtstrkturen\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Forschungsdatenbank/fkz_3715_75_101_umweltqualitaet_stadtstrkturen_bf.pdf) (Zugriff: 01.07.2021).
- BNatSchG, Bundesnaturschutzgesetz vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das zuletzt durch Artikel 10 des Gesetzes vom 25. Juni 2021 (BGBl. I S. 2020) geändert worden ist, (§ 1).
- Böhnke, D.; Volk, R.; Lützkendorf, T.; Naber, E.; Krehl, A.; Becker, R.; Norra, S. (2021): Grünbestände in privaten Innenhöfen und deren Ökosystemleistungen im Stadtquartier – Erkenntnisse einer quartiersweiten Erhebung in Karlsruhe. In: Meinel, G.; Krüger, T.; Behnisch, M.; Ehrhardt, D. (Hrsg.): *Flächennutzungsmonitoring XIII. Flächenpolitik – Konzepte – Analysen – Tools*. Berlin: Rhombos, IÖR Schriften 79.
- Brander, L. M.; Koetse M. J. (2011): The value of urban open space: meta-analyses of contingent valuation and hedonic pricing results. *J Environ Manag* 2011 (92): 2763-2773.
- Buyantuyev, A. (2010): Urban heat islands and landscape heterogeneity: linking spatiotemporal variations in surface temperatures to landcover and socioeconomic patterns. *Landsc Ecol* 25: 17-33.  
<https://doi.org/10.1007/s10980-009-9402-4> (Zugriff: 01.07.2021).
- CLC – Copernicus Land monitoring services.  
<https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/imperviousness/view> (Zugriff: 01.07.2021).

- Dewaelheyns, V.; Rogge, E.; Gulinck, H. (2014): Putting domestic gardens on the agenda using empirical spatial data. The case of Flanders. In: *Applied Geography* 50 (2): 132-143. DOI: 10.1016/j.apgeog.2014.02.011
- EK – Europäische Kommission (2011): Report on best practices for limiting soil sealing and mitigating its effects ISBN: 978-92-79-20669-6 doi: 10.2779/15146
- ETC – European Topic Centre (2019): EEA European environment agency, European Topic Centre on Urban, land and soil systems; Barbara Kosztra György Büttner Updated CLC illustrated nomenclature guidelines, Austria.  
[https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/corine-land-cover-nomenclature-guidelines/docs/pdf/CLC2018\\_Nomenclature\\_illustrated\\_guide\\_20190510.pdf](https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/corine-land-cover-nomenclature-guidelines/docs/pdf/CLC2018_Nomenclature_illustrated_guide_20190510.pdf) (Zugriff: 01.07.2021).
- EU-SFD – EU Soil Framework Directive.  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52006PC0232&from=EN> (Zugriff: 01.07.2021).
- Frick, A.; Tervooren, S. (2019): A Framework for the Long-term Monitoring of Urban Green Volume Based on Multi-temporal and Multi-sensoral Remote Sensing Data. In: *J geovis spat anal* 3 (1): 24. DOI: 10.1007/s41651-019-0030-5.
- Frick, A.; Wagner, K.; Kiefer, T.; Tervooren, S. (2020): Wo fehlt Grün? – Defizitanalyse von Grünvolumen in Städten. In: Meinel, G.; Schumacher, U.; Behnisch, M.; Krüger, T. (Hrsg.): *Flächennutzungsmonitoring XII mit Beiträgen zum Monitoring von Ökosystemleistungen und SDGs*. Berlin: Rhombos, IÖR Schriften 78: 223-238.
- Fuller, R. A.; Irvine, K. N.; Devine-Wright, P.; Warren, P. H.; Gaston, K. J. (2007): Psychological benefits of greenspace increase with biodiversity. *Biol Lett* 2007 (3): 390-394.
- Hanau. <https://www.gpm-webgis-13.de/geoapp/kataster/hanau/> (Zugriff: 01.07.2021).
- IÖR – Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung. <https://maps.ioer.de/detailviewer/raster/> (Zugriff: 01.07.2021).
- Kaspar, F.; Mächel, H.; Jacob, D.; Kottmeier, C. (2017): Beobachtung von Klima und Klimawandel in Mitteleuropa und Deutschland. In: Brasseur, G.; Jacob, D.; Schuck-Zöller, S. (Hrsg.): *Klimawandel in Deutschland*. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-50397-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-662-50397-3_3)
- LABO – Länderausschuss für Bodenschutz (2019): Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder (UGRdL).  
[https://www.statistikportal.de/sites/default/files/2019-07/m\\_flaeche\\_2.pdf](https://www.statistikportal.de/sites/default/files/2019-07/m_flaeche_2.pdf) (Zugriff: 01.07.2021).
- Lee, J.; Park, B.-J.; Tsunetsugu, Y.; Kagawa, T.; Miyazaki, Y. (2009): Restorative effects of viewing real forest landscapes, based on a comparison with urban landscapes. *Scand J Forest Res* 2009 (24): 227-234.

- NRW – Nordrhein-Westfalen. <https://www.lanuv.nrw.de/klima/klimaanpassung-in-nrw/klimaanalyse> (Zugriff: 01.07.2021).
- OSM – Openstreetmap. [https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Data\\_items](https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Data_items) (Zugriff: 01.07.2021).
- Pataki, D. E.; Carreiro, M. M.; Cherrier, J.; Grulke, N. E.; Jennings, V.; Pincetl, S.; Pouyat, R. V.; Whitlow, T. H.; Zipperer, W. C. (2011): Coupling biogeochemical cycles in urban environments: ecosystem services, green solutions, and misconceptions. *Front Ecol Environ* 2011 (9): 27-36.
- Pause, M.; Hahn, A.; Lausch, A. (2020): Verbesserung der Informationslage zur Flächennutzung mittels aktueller und zukünftiger Fernerkundungsdaten. In: Meinel, G.; Schumacher, U.; Behnisch, M.; Krüger, T. (Hrsg.): *Flächennutzungsmonitoring XII mit Beiträgen zum Monitoring von Ökosystemleistungen und SDGs*. Berlin: Rhombos, IÖR Schriften 78: 241-250.
- RES:Z – Förderprogramm RESZ: Ressourceneffiziente-stadtquartiere. Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. <https://ressourceneffiziente-stadtquartiere.de/?lang=de> (Zugriff: 01.07.2021).
- ROG, Raumordnungsgesetz vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 3. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2694) geändert worden ist § 2.
- Schmidt, S.; Barron, C. (2020): Mapping Impervious Surfaces Precisely – a GIS-Based Methodology Combining Vector Data and High-Resolution Airborne Imagery. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 2020 (4): 14. <https://doi.org/10.1007/s41651-020-00055-6> (Zugriff: 01.07.2021).
- Setälä, H.; Viippola, V.; Rantalainen, A.-L.; Pennanen, A.; Yli-Pelkonen, V. (2013): Does urban vegetation mitigate air pollution in northern conditions? *Environ Pollut* 2013 (183): 104-112.
- UBA – Umweltbundesamt (2021): <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/boden/bodenversiegelung> (Zugriff: 01.07.2021).
- Zölch, T.; Maderspacher, J.; Wamsler, C.; Pauleit, S. (2016): Using green infrastructure for urban climate-proofing. An evaluation of heat mitigation measures at the micro-scale. In: *Urban Forestry & Urban Greening* 20 (2): 305-316. DOI: 10.1016/j.ufug.2016.09.011