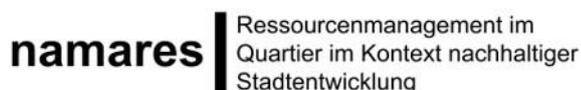


Ergebnisbericht zu den Arbeitspaketen 7, 8 und 10 des Forschungsprojekts NaMaRes



Ausgewählte Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt NaMaRes
Gefördert von Bundesministerium für Bildung und Forschung



Förderkennzeichen: 033W111A

Stand: 11.08.2022

DOI: 10.5445/IR/1000158422

Autoren, Autorinnen und Hauptbeiträge

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)		
Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP)	Elias Naber, Rebekka Volk, Frank Schultmann	Ressource Fläche
Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW)	Alice Krehl, Denise Böhnke, Stefan Norra	Ressource Ökosystemleistung
Kompetenzzentrum für Materialfeuchte (CMM)	Rainer Schuhmann, Anke Ehbrecht	Ressource Stoffe (Abfallwirtschaft)

Kurzfassung

Vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Stadtentwicklung haben sich die Ziele und Gewichtungen in der Entwicklung und Bewertung von Bestandsquartieren verändert. Mit den formellen Instrumenten der Stadtplanung und -entwicklung können im Neubau viele Ansatzpunkte des Klimaschutzes und der Klimaanpassung adressiert werden. Im Bestand hingegen sinkt die Effektivität dieser Instrumente, da ad hoc Veränderungen nicht durchgeführt oder vorgeschrieben werden können. Daher wird derzeit die Entwicklung im Bestand über langfristig angelegte Quartierssanierungen und Sanierungsprogramme angeregt.

Im Forschungsprojekt NaMaRes („Ressourcenmanagement im Quartier im Kontext nachhaltiger Stadtentwicklung“) wurden zwischen 2019 und 2022 Grundlagen und Werkzeuge zur Unterstützung einer nachhaltigen Stadtentwicklung erforscht und entwickelt. Die Erkenntnisse ermöglichen eine verbesserte prozessbegleitende Nachhaltigkeitsbewertung auf Quartiersebene. Die Werkzeuge umfassen EDV-technische Lösungen, Erhebungsmethoden und quantitative Bewertungsmethoden. Die Erprobung der Werkzeuge erfolgte in einem Bestandsquartier in der Stadt Karlsruhe in Baden-Württemberg.

Dieser Bericht fasst ausgewählte Ergebnisse der Arbeitspakete 7, 8, und 10 des Forschungsprojekts NaMaRes und aus der Erprobungsphase in dem Quartier Innenstadt-Ost in Karlsruhe zusammen. Für das Arbeitspaket 7 wurden Szenarien aus den gesamtgesellschaftlichen, lokalen und planerischen Anforderungen abgeleitet oder anhand von Experten/-innen entwickelt. Im Arbeitspaket 8 wurden für die im Arbeitspaket 7 festgelegten Szenarien quantitative und qualitative Analysen durchgeführt und ausgewertet. Aufbauend auf den projektinternen Abstimmungen und der Softwareentwicklung im Forschungsprojekt wurden Potenzialausschöpfungsszenarien berechnet, präsentiert und diskutiert. Ebenso wurden die gewonnenen qualitativen Erkenntnisse neben den Berechnungen für Handlungsempfehlungen herangezogen und im Arbeitspaket 10 dokumentiert. Hierbei fokussieren sich die Handlungsempfehlungen auf die Nachhaltigkeitsdimensionen im Allgemeinen, aber auch auf die urbane Klimaanpassung im Besonderen.

Der Bericht ist wie folgt aufgebaut: Zunächst werden die wichtigsten Rahmenbedingungen des Forschungsprojekts wiedergegeben und das Untersuchungsgebiet wird detailliert beschrieben. Hierbei werden die Datenlage, durchgeführte Erhebungen und verschiedene Übersichten gezeigt. Danach werden ausgewählte Ergebnisse vorgestellt.

Abstract

Against the backdrop of sustainable urban development, the goals and weightings in developing and assessing existing urban districts have changed. With the formal urban planning and development instruments, many starting points of climate protection and adaptation can be addressed in new district development. In existing urban districts, however, the effectiveness of these instruments decreases as changes cannot be implemented or prescribed ad hoc. The development of the existing districts is predominantly stimulated by long-term district redevelopment and refurbishment programs.

In the NaMaRes research project (“Resource management in districts in the context of sustainable urban development”), basic principles and tools for supporting sustainable urban development were researched and developed between 2019 and 2022. The findings enable an improved process-accompanying sustainability assessment at the urban district level. The tools include IT solutions, survey methods, and quantitative assessment methods. The tools were tested in an existing district in the city of Karlsruhe in Baden-Württemberg.

This report summarises selected results of the work packages 7, 8, and 10 of the NaMaRes research project and the testing phase in the district Innenstadt-Ost in Karlsruhe. For work package 7, scenarios were derived from the societal, local and planning requirements or developed with the help of experts. In work package 8, quantitative and qualitative analyses were carried out and evaluated for the scenarios defined in work package 7. Based on the internal project consultations and the software development in the research project, potential exploitation scenarios were calculated, presented, and discussed. The qualitative findings obtained were used in addition to the calculations for recommendations for action and documented in work package 10. The recommendations for action focus on the sustainability dimensions in general and climate adaptation in particular.

The report is structured as follows. First, the most important framework conditions of the research project are presented, and a detailed description of the study area is given. Then, the data situation, the surveys carried out, and various overviews are presented. Finally, selected results are presented.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	i
Abstract	iii
Inhaltsverzeichnis	v
Abbildungsverzeichnis	vii
Tabellenverzeichnis	ix
Abkürzungsverzeichnis	xi
Einordnung des Forschungsprojekts und des Berichts	xiii
Hinweis zur Zitation eigener Arbeiten	xv
1 Das Untersuchungsgebiet	1
1.1 Wissenschaftliche Untersuchungsgebiete.....	3
1.1.1 Primäres Untersuchungsgebiet: Gebäude und Flurstücke	3
1.1.2 Primäres Untersuchungsgebiet: Biotopkartierung und Aufenthaltsqualität	6
1.1.3 Primäres Untersuchungsgebiet: Pneumatische Müllentsorgung (PME)...	8
Kartengrundlage (Liegenschaftsamt Karlsruhe und Tiefbauamt Karlsruhe 2019)	8
2 Betrachte Ressourcen, Szenarienziele und Bestandsaufnahme	9
2.1 Untersuchte Ressourcen.....	9
2.1.1 Flächen	9
2.1.2 Ökosystemleistungen.....	11
2.1.3 Abfallwirtschaft.....	12
2.2 Szenarienziele	12
2.3 Bestandsaufnahme und Status quo	16
2.3.1 Flächeninventar	16
2.3.2 Kartierungen	20
2.3.3 Messungen.....	27
2.3.4 Simulationen mit ENVI-met.....	33
2.3.5 Abfallsysteme und Abfallwirtschaft.....	34
3 Potenzialanalysen	45
3.1 Potenziale und Maßnahmen.....	45
3.1.1 Potenziale der Bodenflächen	47
3.1.2 Potenziale der Fassadenflächen	48
3.1.3 Potenziale der Dachflächen	49
3.1.4 Überblick über die technische, wirtschaftliche und ökologische Bewertung	49
3.1.5 Bereitstellung von Grünflächen.....	50
3.1.6 Förderung und Förderdesign	50

3.2 Simulationen	52
3.3 Aufwertung von Grünflächen durch Feinmodul der Ökokontoverordnung.....	54
3.4 Auswahl von zukunftsfähigen Stadtbaumarten.....	56
3.5 Bewertungsszenarien für den Flächenbedarf von Abfallbehältern	58
4 Handlungsempfehlungen und Abschlussbetrachtungen	61
4.1 Ressourcenmanagement.....	61
4.2 Erhalt und Bereitstellung von Ökosystemleistungen in der Innenstadt-Ost in Karlsruhe.....	63
4.3 Abfallwirtschaft	65
5 Literaturverzeichnis.....	67

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Stadt Karlsruhe und Lage der Innenstadt-Ost in rot.....	1
Abbildung 2 Übersicht des Stadtteils Innenstadt-Ost	2
Abbildung 3 Abgrenzung des Sanierungsgebiets Innenstadt-Ost.	3
Abbildung 4 NaMaRes-Untersuchungsgebiet Flurstücke und Gebäude.....	4
Abbildung 5 Untersuchungsgebiet der Biotopkartierung und Temperaturmessungen. ...	7
Abbildung 6 Untersuchungsgebiet der Abfallwirtschaft.....	8
Abbildung 7 Flächenschema des IÖR-Monitors.	10
Abbildung 8 Leitbild einer „Flächensensiblen Stadt“	11
Abbildung 9 Historische Entwicklung der Bevölkerung mit Hauptwohnsitz in der Innenstadt-Ost in Karlsruhe.....	13
Abbildung 10 Ausschnitt des Untersuchungsgebiets in der Innenstadt-Ost von Karlsruhe und die resultierende 2D Darstellung des Flächeninventars.	17
Abbildung 11 Inventar der Oberflächen in Privatbesitz.....	17
Abbildung 12 Zugängliche Fassadenfläche und Orientierung des Normalenvektors. ...	19
Abbildung 13 Flächen, Neigung und Azimut der Schrägdächer.....	20
Abbildung 14 Beispielhafte Kartierung eines Innenhofs.	22
Abbildung 16 Zustands- und ÖSL-Indikatoren berechnet anhand der Biotopkartierung.	24
Abbildung 17 Übersicht über die Standorte (Karte) und Anzahl (Karte und Säulendiagramm) der Stadtbäume in dem Untersuchungsgebiet.	26
Abbildung 18 CO ₂ -Speicherung durch Bäume in Innenhöfen und privaten Flächen. ...	27
Abbildung 19 Messung der urbanen Wärmeinseln und Temperatur in °C.	28
Abbildung 20 Messung der urbanen Wärmeinseln und gefühlte Temperatur in °C.	28
Abbildung 21 Messung der globalen Strahlung und Beschattung.	29
Abbildung 22 Messung des Urban Aerosol Plumes am Vormittag eines Dienstags.	29
Abbildung 23 Messung des Urban Aerosol Plumes am Nachmittag eines Dienstags. ...	30
Abbildung 24 Messung des Urban Aerosol Plumes am Vormittag eines Donnerstags. ...	30
Abbildung 25 Messung des Urban Aerosol Plumes am Nachmittag eines Donnerstags.	31
Abbildung 26 Urbane Wärmeinsel Lidellplatz am 21.8.2020.	32
Abbildung 27 Urbane Wärmeinsel/gefühlte Temperatur auf dem Lidellplatz am 21.8.2020.	32
Abbildung 28 Fassadentemperaturen Ist-Zustand Innenstadt-Ost.	34
Abbildung 29 Abfallsammlung bis in die 60er Jahre in Karlsruhe.	35

Abbildung 30	Abfallsammlung in den 60er/70er Jahren in Karlsruhe.....	35
Abbildung 31	Station der pneumatischen Müllentsorgung im untersuchten Quartier. ..	36
Abbildung 32	Abfallsammlung heute in Karlsruhe.....	37
Abbildung 33	4-Behälter im Holsystem in Karlsruhe.	38
Abbildung 34	Szenario mit größter möglicher Ausschöpfung der Maßnahmenpotenziale.....	47
Abbildung 35	Überblick über den möglichen Zustand der Entwicklung der Potenziale für die Maßnahme <i>sdg</i> im Untersuchungsgebiet	48
Abbildung 36	Auswirkung der Maßnahme <i>sdg</i> auf die Grünflächenversorgung im Untersuchungsgebiet.	50
Abbildung 37	Analyse des Förderprogramms im Fallstudiengebiet mit Schwerpunkt auf der Entsiegelung von undurchlässigen Flächen.....	51
Abbildung 38	Wirkung auf die Fassadentemperatur durch eine Fassadenbegrünung in der Innenstadt-Ost.....	53
Abbildung 39	Kühlungseffekt auf die angrenzende Innenstadt-Ost durch Dachbegrünung am KIT Campus Süd.	54
Abbildung 40	Beispiel einer potentiellen Flächenaufwertung einer Zierrasenfläche durch Erhöhung der Artenvielfalt	55
Abbildung 41	Baumartenverteilung der häufigsten Baumarten im öffentlichen und privaten Bereich in der Innenstadt-Ost in Karlsruhe	57
Abbildung 42	Mitnutzung bereits befestigter Oberflächen als Abstellfläche für Abfallbehälter.	59
Abbildung 43	Schaffung von Abstellflächen für Abfallbehälter.....	59
Abbildung 44	Bauwerkintegrierte Aufstellfläche für Abfallbehälter.....	60

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Inventar der Flächen in Privatbesitz im Untersuchungsgebiet.	18
Tabelle 2 Bewertungsschema Biotop.	21
Tabelle 3 Spezifisches Abfallaufkommen in Karlsruhe und im PME Untersuchungsgebiet (gelb).....	40
Tabelle 4 Inventar und Flächenbedarfe der abfallwirtschaftlichen Infrastruktur in Karlsruhe.	41
Tabelle 5 Basisdaten der Datenanalyse der Abfallwirtschaft in Karlsruhe.....	41
Tabelle 6 Datenanalyse der Abfallbehälter in Karlsruhe, Stupferich und Innenstadt-Ost.	42
Tabelle 7 Abfallfraktionen und spezifische Abfallbehälterbedarfe für Karlsruhe, Stupferich und die Innenstadt-Ost.	42
Tabelle 8 Behälteranzahl je Hektar für die Abfallfraktionen und für Karlsruhe, Stupferich und die Innenstadt-Ost.	43
Tabelle 9 Maßnahmenpotenziale im Untersuchungsgebiet und Bewertung der Auswirkungen.	46
Tabelle 10 Lokale Förderprogrammanalyse zur Bodenentsiegelung durch die Maßnahme <i>sdg</i>	52
Tabelle 11 Beispielhafte Aufwertung einer Zierrasenfläche – Berechnung der potenziell möglichen Ökopunkte.	56
Tabelle 12 Eignung als Stadtbaum nach GALK-Liste für die häufigsten Baumarten in der Innenstadt-Ost	58

Abkürzungsverzeichnis

afka	Arbeitsförderung Karlsruhe gGmbH
AGW	Angewandte Geowissenschaften (KIT)
ALKIS®	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
BHD	Brusthöhendurchmesser
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BVA e.V.	Bürgerverein Altstadt
CAPEX	Investitionsausgaben; engl. capital expenditure
CMM	Kompetenzzentrum für Materialfeuchte (KIT)
<i>erg</i>	Maßnahme „Extensive Dachbegrünung“
EW	Einwohner/-in
FINA	Forschungs- und Innovationsagenda
<i>fmpv</i>	Maßnahme „Photovoltaik an Fassaden“
FONA	Forschung für Nachhaltigkeit
GALK	Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz
<i>gbfg</i>	Maßnahme „Bodengebundene Fassadenbegrünung“
GIS	Geoinformationssystem
ha	Hektar
IIP	Institut für Industriebetriebslehre und industrielle Produktion (KIT)
IÖR	Leibniz-Instituts für ökologische Raumentwicklung
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
<i>irg</i>	Maßnahme „Intensive Dachbegrünung“
KA	Karlsruhe
KEK	Karlsruhe Klima und Energie Agentur
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
LAD	Landesamt für Denkmalpflege
LOD	Level of Detail
LUBW	Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
OGC	Open Geospatial Consortium
ÖKVO	Ökokontoverordnung
ÖP	Ökopunkte
OPEX	Betriebskosten; engl. operational expenditure
PME	Pneumatischen Müllentsorgung
PMV	Predicted Mean Vote
PT	gefühlte Temperatur (perceived temperature)
PV	Photovoltaik
<i>pvr</i>	Maßnahme „Photovoltaik und Dachbegrünung“
RES:Z	BMBF Fördermaßnahme „Ressourceneffiziente Stadtquartiere“
<i>rmpv</i>	Maßnahme „Photovoltaikdach“
<i>sdg</i>	Maßnahme „Bodenentsiegelung/Hausgarten“
STL	strategisches Leitthema
<i>uprg</i>	Maßnahme „Tiefgaragendachbegrünung“
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
<i>wbfg</i>	Maßnahme „Wandgebundene Fassadenbegrünung“

Einordnung des Forschungsprojekts und des Berichts

Das NaMaRes-Projekt ist eins von zwölf Forschungsprojekten die in der Fördermaßnahme „Ressourceneffiziente Stadtquartiere“ (RES:Z) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wurden. In den Projekten wurden umsetzungsorientierte Konzepte für Wasserwirtschaft, Flächennutzung und Stoffstrommanagement als Grundlage für eine nachhaltige Entwicklung von Stadtquartieren erforscht, entwickelt und erprobt. Diese Initiative und Fördermaßnahme ist Teil der Forschung für Nachhaltigkeit (FONA)-Strategie der Bundesregierung. Das von den Autorinnen und Autoren mit weiteren Projektpartnern durchgeführte NaMaRes-Projekt ergänzt als Baustein städtische Nachhaltigkeitsstrategien und zielt auf die Ressourcenbereiche Flächen, Wasser und Stoffe ab, in denen Städte dringenden Forschungs- und Handlungsbedarf identifiziert haben.

Das Forschungsprojekt NaMaRes zielt auf das strategische Leitthema SLT 2 „Städtisches Transformationsmanagement“ der Forschungs- und Innovationsagenda (FINA) ab, in dem neue Wege für strategische Planung und optimierte Verwaltungsorganisation aufgezeigt werden. Insbesondere erfolgt die Entwicklung und Erprobung digitaler Werkzeuge im Verwaltungshandeln in enger Abstimmung mit kommunalen Anwender/-innen. Des Weiteren ordnen sich die Ziele des Projektes in den Handlungsfeldern „AG I: Umsetzung der Sustainable Development Goals auf kommunaler Ebene, kommunales Nachhaltigkeitsmanagement“ und „AG IV: Smart Cities und Nachhaltige Entwicklung“ des interministeriellen Arbeitskreises für „Nachhaltige Stadtentwicklung in nationaler und internationaler Perspektive“ (IMASStadt) ein.

Ziel des Projektes war es, dem Akteur Stadt/Kommune ein integriertes Werkzeug zur physischen Beschreibung und Bewertung von Stadtquartieren hinsichtlich der vorhandenen Ressourcen (im Bereich Wasser, Fläche und Stoffströme in Gebäuden, Ver- und Entsorgungssystemen, Siedlungs-, Verkehrs-, Frei- und Grünflächen, vorhandene Ökosystemleistungen) sowie zur Steuerung der Quartiersentwicklung zur Verfügung zu stellen. Dieses kann zur Optimierung und Hebung der Potenziale zur nachhaltigen Gestaltung des Quartiers und zur Verbesserung des Wohlbefindens seiner Bewohner/-innen genutzt werden. Im entwickelten Werkzeug werden vorhandene Ressourcenbestände und -ströme (Wasser, Stoffströme) und Flächennutzung bilanziert sowie Maßnahmen bzw. Maßnahmenbündel zur Verbesserung der Ressourceneffizienz in spezifischen Rahmenbedingungen von Quartieren und Akteurskonstellationen bewertet. Projektergebnis ist ein webfähiges Werkzeug für kommunale Entscheider/-innen (bspw. Quartiersmanager/-innen) im Stadtplanungsamt und Bürger/-innen, die den Stand und die Entwicklung der Ressourceneffizienz ihres Quartiers bewerten und einsehen bzw. dazu beitragen wollen. Das Werkzeug ermöglicht zukunftsweisendes Quartiersmanagement im Sinne eines Monitorings bzw. Dashboards und ist modular erweiterungsfähig. Des Weiteren wurden mehrere Leitfäden für Entscheider/-innen und Steckbriefe zu Indikatoren auf Quartiersebene erarbeitet (Lützkendorf und Mörmann 2023a, 2023b; Lützkendorf et al. 2023; Naber et al. 2023; Krehl et al. 2023).

Der hier verfasste Bericht ergänzt die bereits veröffentlichten wissenschaftlichen Publikationen und die Projektdokumentation. Fokus ist die Zusammenfassung ausgewählter Ergebnisse aus den

Arbeitspaketen 7, 8 und 10 und aus der Erprobungsphase in dem Quartier Innenstadt-Ost in Karlsruhe. Hierfür werden auch die wissenschaftlichen Publikationen des Projekts zitiert. Arbeitspaket 7 behandelte „Szenarien“, welche aus den planerischen und lokalen Anforderungen im Quartier abgeleitet oder anhand von Experten/-innen entwickelt wurden. Arbeitspaket 8 beinhaltet die Anwendung der entwickelten quantitativen Methoden im Untersuchungsgebiet und Arbeitspaket 10 leitete aus den Erfahrungen und Ergebnissen allgemeine und konkrete Handlungsempfehlungen ab. Schwerpunkte des Berichts sind die Inventarisierung von Ressourcen und die Identifizierung von (Ressourcen-)potenzialen zur Steigerung der Attraktivität, Wiederherstellung von reduzierten Leistungen und Begrenzung von negativen anthropogenen Einflüssen im Quartier Innenstadt-Ost der Stadt Karlsruhe.

Die ermittelten theoretischen, technischen, ökonomischen und ausschöpfbaren Potenziale wurden analysiert. Diesen Analysen liegen folgende Zeitscheiben und temporale Annahmen zugrunde. Der Sanierungsgebietsstatus gilt von 2018 bis 2030. Die Inventare zeigen den Zustand in den Jahren 2020 und 2021. Wenn nicht abweichend angegeben, werden für Berechnungen von Maßnahmen Betrachtungszeiträume von 30 Jahren gewählt (angelehnt an durchschnittliche Sanierungszyklen im Gebäudebestand). Zusätzlich muss bei den Ergebnissen berücksichtigt werden, dass es sich bei einigen der verwendeten Eingangswerten und -parametern um Standard- und Literaturwerte handelt. So ist zu beachten, dass die Leistungen zur Verbesserung des Mikroklimas und zur Beseitigung von Schadstoffen sehr variabel und orts-, gewässer- sowie artenabhängig sind.

Hinweis zur Zitation eigener Arbeiten

Teile der vorgestellten Ergebnisse dieses Berichts wurden bereits in den wissenschaftlichen Publikationen des Projekts als begutachtete Zeitschriftenartikel, Konferenzbeiträge, -präsentationen, -poster, Abschlussarbeiten oder auf öffentlichen Veranstaltungen vorgestellt und veröffentlicht. Daraus wurden für diesen Bericht zahlreiche Abbildungen sowie Texte entnommen und, wenn zutreffend, aus dem Englischen übersetzt. Soweit die Quelle referenzierbar ist, wurde diese entsprechend gekennzeichnet.

Wissenschaftliche Hauptpublikationen an denen sich die Inhalte dieses Berichts anlehnen oder dafür entnommen worden sind:

(Boehnke et al. 2022): Boehnke, Denise; Krehl, Alice; Mörmann, Kai; Volk, Rebekka; Lützkendorf, Thomas; Naber, Elias et al. (2022): Mapping Urban Green and Its Ecosystem Services at Microscale—A Methodological Approach for Climate Adaptation and Biodiversity. In: Sustainability 14 (15), S. 9029. DOI: 10.3390/su14159029.

(Boehnke et al. 2021): Boehnke, Denise; Volk, Rebekka; Lützkendorf, Thomas; Naber, Elias; Krehl, Alice; Becker, Ronja; Norra, Stefan (2021): Grünbestände in privaten Innenhöfen und deren Ökosystemleistungen im Stadtquartier – Erkenntnisse einer quartiersweiten Erhebung in Karlsruhe. In: Gotthard Meinel, Tobias Krüger und Denise Ehrhardt (Hg.): Flächennutzungsmonitoring XIII. Flächenpolitik - Konzepte - Analysen - Tools. Berlin: Rhombos-Verlag (IÖR-Schriften, Band 79), S. 149–157.

(Naber et al. 2022): Naber, Elias; Volk, Rebekka; Mörmann, Kai; Boehnke, Denise; Lützkendorf, Thomas; Schultmann, Frank (2022): Namares—A Surface Inventory and Intervention Assessment Model for Urban Resource Management. In: Sustainability 14 (14), S. 8485. DOI: 10.3390/su14148485.

(Volk et al. 2021): Volk, Rebekka; Naber, Elias; Lützkendorf, Thomas; Böhnke, Denise; Mörmann, Kai; Schultmann, Frank; Norra, Stefan (2021): Identifikation und Bewertung von Entsiegelungspotenzialen als Beitrag zur nachhaltigen Quartiersentwicklung - Zwischenergebnisse aus NaMaRes. In: Gotthard Meinel, Tobias Krüger und Denise Ehrhardt (Hg.): Flächennutzungsmonitoring XIII. Flächenpolitik - Konzepte - Analysen - Tools. Berlin: Rhombos-Verlag (IÖR-Schriften, Band 79), S. 209–219.

1 Das Untersuchungsgebiet

Im städtischen Bestandsquartier Innenstadt-Ost in zentraler Karlsruher Lage (Abbildung 1 und Abbildung 2) sind als Projekt- und Anwendungsgebiet sehr günstige Voraussetzungen gegeben. Das Untersuchungsgebiet innerhalb dieses Stadtteils wird nach Westen durch den Marktplatz, nach Osten durch das Durlacher Tor und im Süden durch die Kapellenstraße und Kriegsstraße abgegrenzt. Die nördliche Abgrenzung erfolgt durch die Kaiserstraße, Waldhornstraße und den Schlossplatz. Das Quartier (160 ha, 5.900 Einwohner/-innen) mit Gebäuden in privater, gewerblicher und öffentlicher Hand (Streubesitz) besteht im ältesten Teil aus einigen Bauten aus den Gründerjahren der Stadt (Altstadt um 1717). Im Zuge einer umfassenden Sanierung in den 1970er Jahren blieb von der ursprünglichen Bausubstanz des „Dörfle“ nur wenig erhalten. Das Untersuchungsgebiet weist überwiegend Blockrandbebauungen als Stadtraumtyp auf. „Bildungseinrichtungen [des KIT Campus] entlang des nördlichen Quartierendes sowie Behördenbauten prägen weitgehend das Erscheinungsbild“ (Stadt Karlsruhe 2020). Motivations- und Aktionsrahmenbedingungen der Akteure sind nicht ausreichend bekannt. Volkswohnung, Haus & Grund, KIT Zukunftscampus, Karlsruhe Klima und Energie Agentur (KEK), die Stadtwerke und der Bürgerverein Altstadt (BVA e. V.) sind wesentliche Akteure in dem Gebiet und im Rahmen des Projektes als assoziierte Partner eingebunden worden.



Abbildung 1 Stadt Karlsruhe und Lage der Innenstadt-Ost in rot.(Steadfast 2009)

Es besteht Handlungsbedarf und -bereitschaft seitens der kommunalen Entscheider/-innen und der lokalen Akteur/-innen hinsichtlich der Bewertung und Optimierung der Flächennutzung, der Sanierung von Gebäuden und Infrastrukturen (Energie, Wasser und Stoffströme) und speziell der Abfallentsorgung (in Form einer existierenden und sanierungsbedürftigen, alten pneumatischen Müllentsorgungsanlage, PME) als Teil der Stoffstrombetrachtung. Die zuständigen Ämter der Stadt haben großes Interesse an nachhaltiger Stadtentwicklung und deren Verstetigung.

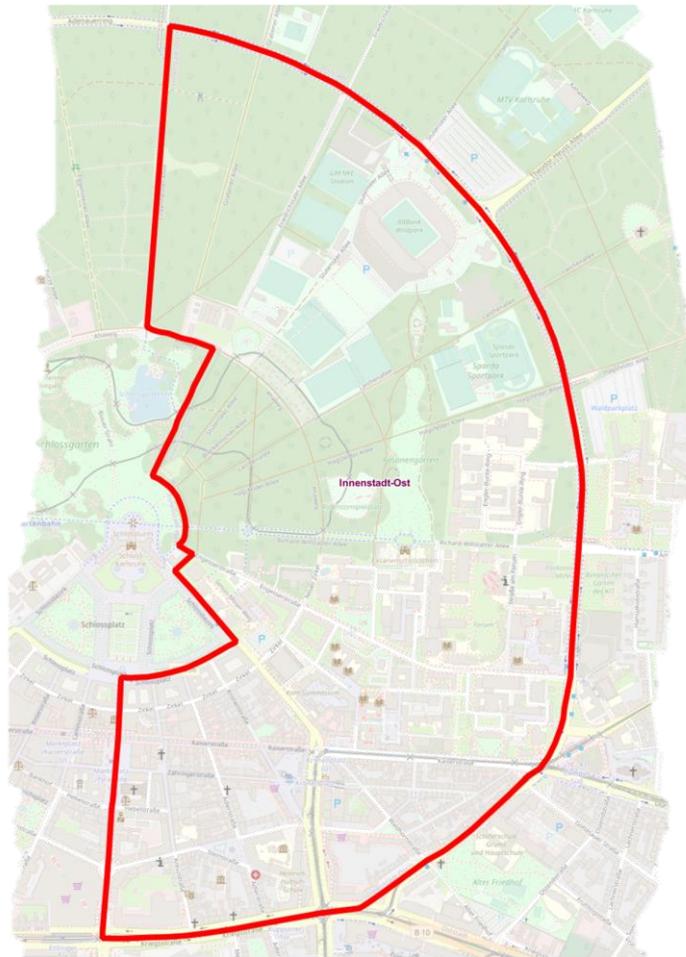


Abbildung 2 Übersicht des Stadtteils Innenstadt-Ost Kartengrundlagen (Liegenschaftsamt Karlsruhe und Tiefbauamt Karlsruhe 2019; OpenStreetMap contributors 2022)

Das Quartier Karlsruhe Innenstadt-Ost wird daher als städtebauliches Sanierungsgebiet entwickelt, für das durch die Stadt Karlsruhe bereits eine umfangreiche Datenerhebung stattgefunden hat und das Synergieeffekte mit dem Forschungsprojekt ermöglichte. Gebietspezifisch ist hier die Mischung der Nutzungen mit Gewerbe und Dienstleistungen in den Erdgeschoss und ersten Obergeschoss sowie Wohnnutzung in den oberen Geschossen. Die zuständigen Ämter der Stadt Karlsruhe haben im Herbst 2017 beim Land Baden-Württemberg einen Antrag zur Aufnahme in ein städtebauliches Erneuerungsprogramm für das Quartier Innenstadt-Ost gestellt. Dieser Antrag wurde im Oktober 2017 auf Basis des Ergebnisses der vorbereitenden Untersuchungen (gem. § 141 BauGB) gestellt. Am 20. März 2018 hat der Gemeinderat das Sanierungsgebiet Innenstadt-Ost förmlich festgelegt und als Satzung beschlossen. Das Gebiet mit öffentlicher Förderung umfasst circa 30,4 Hektar (Abbildung 3).

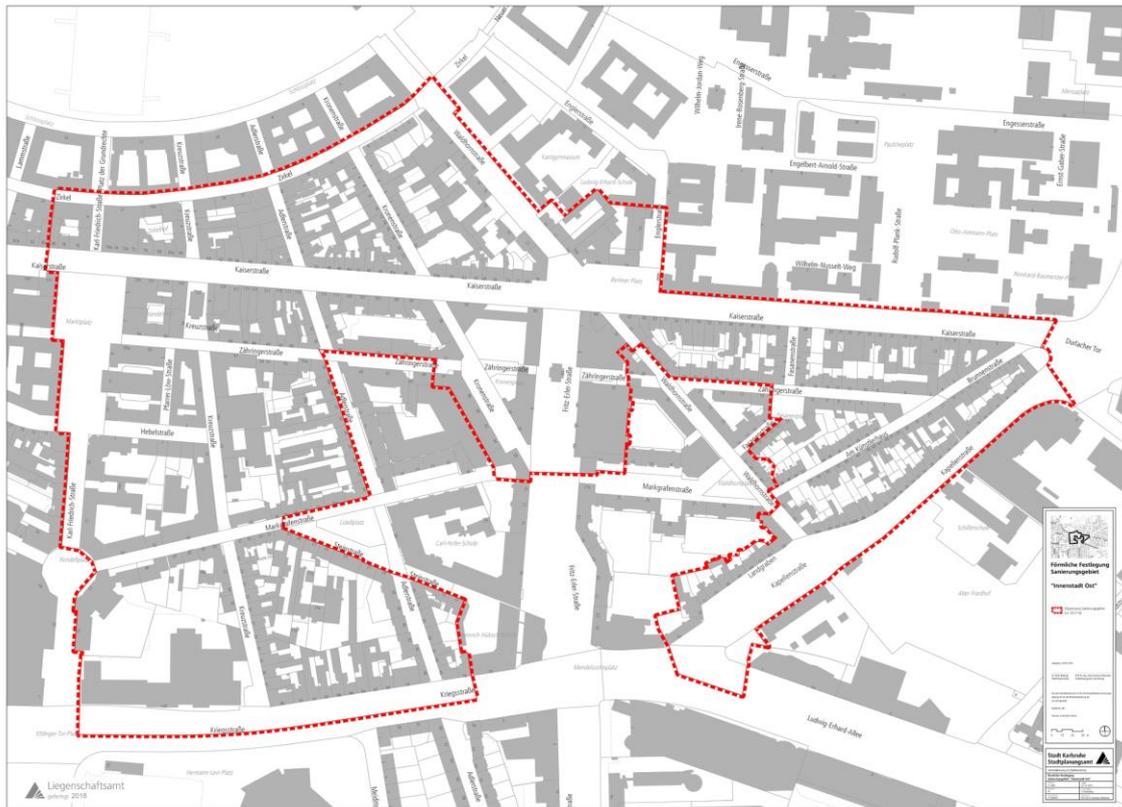


Abbildung 3 Abgrenzung des Sanierungsgebiets Innenstadt-Ost. Kartengrundlage (Liegenschaftsamt Karlsruhe und Tiefbauamt Karlsruhe 2019)

Aus diesem Grund und aufgrund der Tatsache, dass das vorliegende Quartier ein zentrales Quartier in einer Wachstumsregion ist, eignet sich das Untersuchungsgebiet des Projektes Namares daher sehr gut für die Erprobung von Ressourceneffizienzmaßnahmen und deren Management. Ähnliche, dicht bebaute städtische Bestandsquartiere könnten von den Ergebnissen profitieren.

1.1 Wissenschaftliche Untersuchungsgebiete

Als Arbeitsgrundlage wurden ergänzende Gebietsabgrenzungen gewählt. Diese waren für die Erhebungsplanungen notwendig. Das gewählte Bearbeitungsrastrer entsprach dem der Flurstücke. Besondere Erhebungen waren für die Klassifizierung von Gebäuden, die vollständige Kartierung von Biotopen und die Untersuchung des PME-Gebiets notwendig. Im Gegensatz zum eng gefassten Sanierungsgebiet, umfassen die wissenschaftlichen Untersuchungsgebiete eine größere Ausdehnung (vgl. Abbildung 4).

1.1.1 Primäres Untersuchungsgebiet: Gebäude und Flurstücke

Hauptziel für das Untersuchungsgebiet der Gebäude und Flurstücke war die Erstellung eines vollständigen Flächeninventars. Dieses Inventar bildete die weitere Hauptdatengrundlage für die

digitale, zentrale Datenbank, sowie für das webfähige Entscheidungsunterstützungswerkzeug. Die Erhebung der Gebäude umfasste alle Gebäude des Sanierungsgebiets und darüber hinaus die Gebäude innerhalb des oben beschriebenen Bereichs und ist in Abbildung 4 dargestellt. Dieser maskierte Bereich umfasst eine Fläche von ca. 42 ha.

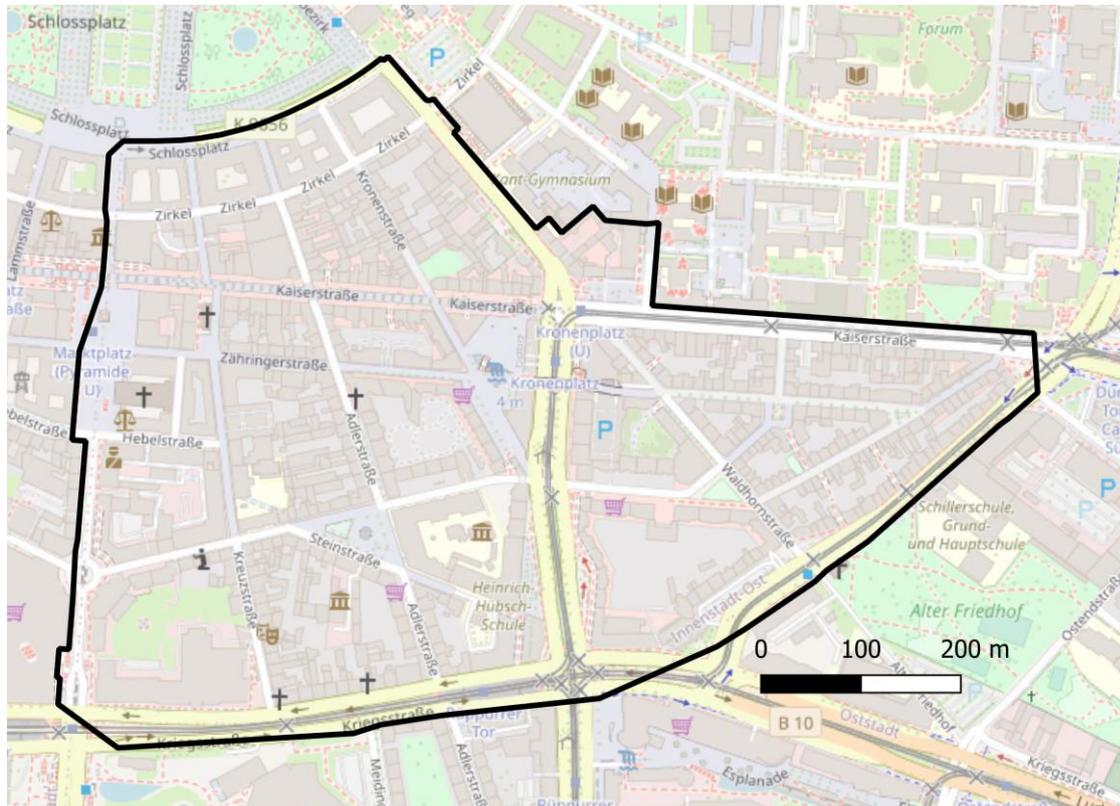


Abbildung 4 NaMaRes-Untersuchungsgebiet Flurstücke und Gebäude. Kartengrundlage (OpenStreetMap contributors 2022)

Folgende Daten mit den wichtigsten Attributen/Attributfamilien wurden zusammengetragen oder erhoben, und hier beschrieben:

- Liegenschaftsdaten aus dem Amtlichen Liegenschaftskataster (ALKIS®)
 - Flurstücks-, Gebäude- und Bauwerksgeometrien (*.shp)
 - Beinhalten die Geometrieinformationen, Georeferenzierung, ALKIS® Angaben zur Nutzung.
- CityGML 3D Gebäudemodell in Level of Detail (LOD) 2 (*.gml)
 - Standardisierte 3D Repräsentation der Detailstufe 2 (Kubatur mit Dachform)
 - Die Geometrien sind georeferenziert und ermöglichen die Bestimmung der oberirdischen Flächen von Fassaden und Dächern, der Orientierung der Flächen und das durch die Flächen umschlossene oberirdische Volumen.
- Befestigungsdaten und Oberflächendaten aus den Daten zur gesplitteten Abwassergebühr (*.shp)
 - Erhebungsdaten für die Abwasser-/Entwässerungsgebühren der Stadt Karlsruhe in verschiedenen Klassen (keine Befestigung, Rasengittersteine, Betonplatten, Asphaltiert). Damit wird die Reduktion der Abwassergebühren anhand der

Abflusswirksamkeit der Oberflächen bestimmt. Diese Oberflächendaten liegen als Geometrien vor.

- Luftbilder und Orthofotos
 - Farbfotografien aus der Fernerkundung mittels Flugzeugs mit hinreichend hoher Auflösung.
- Laserscan-Daten aus den Laserscanbefliegungen
 - Laserpunktwolken mit Informationen über Höhe und Art der Reflexion.
- Baum- und Grünflächenkataster
 - Punktdaten zu den öffentlichen Bäumen im Quartier und Geometriedaten zu Grünflächen, z. B. zu Dachbegrünungen.
- Statistische Baublockkarte und dazugehörige Erhebungsdaten
 - Grundlegende Bevölkerungsdaten auf Baublockebene (statistische Einheit) aus dem Zensus 2011, teilweise mit Fortschreibungen.
- Eigentumsdifferenzierung für die Gebäude (öffentlich/privat)
 - Klassifizierung der Liegenschaften nach Eigentumsverhältnis in 2 Klassen (öffentlich oder privat)
- Denkmalschutzdaten
 - Gebäude, Flurstücke, Bauwerke
 - Punkt, Linien und Geometriedaten zur Schutzwürdigkeit von Liegenschaften
- Topografiekarten
 - Geländeinformationen
- Digitales Geländemodell
 - Geländeinformationen
- Erhebung der Gebäude
 - Informationen zu den Gebäudetypen, -alter und -nutzungen für jedes einzelne Gebäude.
 - Erhebung im Rahmen des Projekts, da die Daten nicht vollständig oder verarbeitbar vorlagen.
- Erhebung der Anzahl von Wohneinheiten
 - Information der Anzahl von Wohneinheiten in Wohngebäuden (“Klingelschildzählung”).
 - Erhebung im Rahmen des Projekts, da die Daten nicht vollständig oder verarbeitbar vorlagen.

Ein ausführlicher Vergleich von vollständig öffentlich erhältlichen Daten mit der für das Projekt verwendeten Datenbasis wurde in der Studie “Identifikation und Bewertung von Entsiegelungspotenzialen als Beitrag zur nachhaltigen Quartiersentwicklung” (Volk et al. 2021) durchgeführt. Erwähnenswerte Besonderheiten zum Untersuchungsgebiet und den verwendeten Daten zu Gebäuden und Flurstücken werden im Folgenden kurz beschrieben. Hauptkenntnisse waren die notwendige Nutzung von kommunalen Datenbeständen, um amtliche, räumliche Abgrenzungen und die Bearbeitungsraster in der Stadtentwicklung (z. B. flurstücksscharf) berücksichtigen zu können, und die gute Datenverfügbarkeit und -qualität von kommunalen Daten, welche aktuell mit offenen Daten nicht erreicht werden kann.

Die Daten zur Nutzung von Gebäuden und Flurstücken war wie erwartet nicht auf dem aktuellsten Stand, da die Aktualisierungen nicht regelmäßig stattfinden. Die eigenen Erhebungen zeigten Abweichungen von der amtlich erfassten Nutzungsart. Dieses hatte jedoch keinen negativen Einfluss auf die weiteren Analysen, da die Details zur Nutzungsart letztlich nicht direkt verwendet wurden.

Die Angaben zu den Gebäudetypen und -altersklassen waren nicht digital verfügbar oder hinreichend dokumentiert (z. B. nur die Denkmaldatenbank gab die Baujahre von ausgewählten Gebäuden an). Daher wurden in einer separaten Erhebung die Baujahre und der Gebäudetyp erhoben. Die Erhebung fand in Form einer Begehung aus dem öffentlichen Raum statt. Von der Straße oder öffentlichen Bereichen aus nicht sichtbare Gebäude wurden mittels Fernerkundungsdaten nacherhoben. Die Klassifizierung erfolgte nach den Tabula-Gebäudetypklassen für Wohngebäude (Loga et al. 2015). Nichtwohngebäude wurden nach der Art der Nutzung erhoben. Auch die Anzahl der Wohneinheiten wurde in der Erhebung mittels einer Klingelschildzählung ermittelt. Zusätzlich wurde versucht, die Fassaden der Gebäude näher zu erfassen, was sich für die ausgewählte Erhebungsmethode als zu aufwändig und unzuverlässig herausgestellt hat. Zweck der Fassadenerhebung war die Ergänzung der 3D-LOD2 Gebäudemodelle, welche nur die Geometrie der Fläche bestimmt, aber keine Öffnungen oder auskragende Elemente einer Fassade beinhaltet.

Das Baum- und Grünflächenkataster gibt nur für öffentliche Flächen einen hinreichend guten Einblick, weshalb die Biotopkartierung insbesondere der privaten Flächen als Notwendigkeit erachtet wurde. Alternative Datenquellen waren nicht verfügbar.

Die Denkmalschutzdaten wurden aus mehreren Quellen zusammengetragen. Zum einen aus der Online-Denkmal-Datenbank der Stadt Karlsruhe und zum anderen aus den Daten des Landesamt für Denkmalpflege (Landesamt für Denkmalpflege (LAD) 2018; Stadt Karlsruhe Stadtkonservator/Denkmalschutz 2020). Die Datensätze ergänzten sich gegenseitig.

1.1.2 Primäres Untersuchungsgebiet: Biotopkartierung und Aufenthaltsqualität

Für eine möglichst genaue Erfassung der Ökosystemleistungen im Quartier musste eine Biotopkartierung insbesondere der privaten Flächen durchgeführt werden. Des Weiteren war mit den vorhandenen Daten kein Vergleich zwischen öffentlichen und privaten Grünbeständen möglich. Das städtische Baumkataster und die Informationen zu den städtischen Grünanlagen erreichten keine ausreichende Abdeckung des Sanierungsgebiets, u. a. da dieses durch die private Eigentümerstruktur dominiert ist und private grüne Infrastruktur nicht nach Biotopen differenziert erfasst und kartiert ist.

Ziel der Biotopkartierung war die mikroskalige systematische quantitative Erhebung der Begrünung im Untersuchungsquartier. Diese neue Datengrundlage ermöglichte eine quantitative und möglichst umfassende Bewertung der Ökosystemleistungen. Bezüglich der urbanen Hitzebelastung wurde auch die Aufenthaltsqualität mittels Temperaturmesskampagnen bestimmt. Neben der Messung wurde das Untersuchungsgebiet in ENVI-met nachmodelliert, um Temperaturverläufe tags und nachts zu simulieren und mit den Messdaten abzugleichen. Diese Kartierungen, Messungen und ENVI-met Modellierung wurden im Untersuchungsgebiet in Abbildung 5 durchgeführt.

Folgende Aufzählung fasst die durchgeführten Erhebungen und Messung zusammen:

- Biotoptypenkartierungen für den öffentlich und privat zugänglichen Bereich (Warszaha et al. 2018; Becker et al. 2020; Krehl 2019)
- Baumkartierungen für den öffentlich und privat zugänglichen Bereich (Becker et al. 2020; Kircher et al. 2021)
- Mobile Messungen mit dem Klimamessfahrrad zur Temperatur, Luftfeuchte und Globalstrahlung (Bach 2020; Brand et al. 2021; Dicks et al. 2021; Knetig et al. 2021)
- Stationäre Messungen der Temperatur und Luftfeuchte (Dicks et al. 2021; Knetig et al. 2021)
- Aufenthaltsqualität von Stadtplätzen (Jerutka 2020; Boehnke und Jerutka 2020)
- Hitzebelastung von Stadtplätzen (Bach 2020)
- Innenstadt-Ost als Untersuchungsgebiet (Mandler 2020)
- KIT Campus Süd mit Innenstadt-Ost als angrenzendes Gebiet (Geiger 2019)

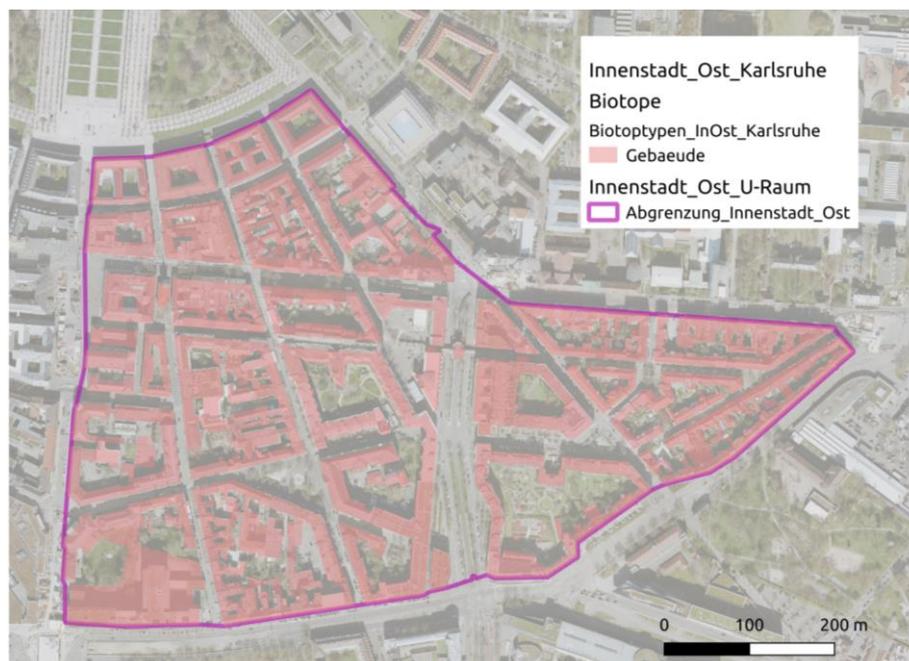


Abbildung 5 Untersuchungsgebiet der Biotopkartierung und Temperaturmessungen. Kartengrundlage (Liegenschaftsamt Karlsruhe und Tiefbauamt Karlsruhe 2019)

1.1.3 Primäres Untersuchungsgebiet: Pneumatische Müllentsorgung (PME)

Das Untersuchungsgebiet mit der Abfallentsorgung mittels pneumatischer Müllentsorgung (PME) umfasste nur ein Teilgebiet des Sanierungsgebiets. Dieses wird in Abbildung 6 dargestellt. Für diese Besonderheit des Quartiers lagen ausreichende Grundlagendaten seitens des Amts für Abfallwirtschaft Karlsruhe vor. Jedoch mussten vor Ort Besichtigungen für die Untersuchung der Umstellung des zentralen Abfallbeseitigungssystems durch die PME auf ein Abfallbehältersammelsystem durchgeführt werden. Diese Besichtigungen dienten der Beurteilung der Einrichtung von Behälterabstellflächen. Abbildung 6 zeigt die Ausdehnung der Untersuchungsgebiete und die Einteilung in Teilgebiete zur Untersuchung der Abfallwirtschaft.

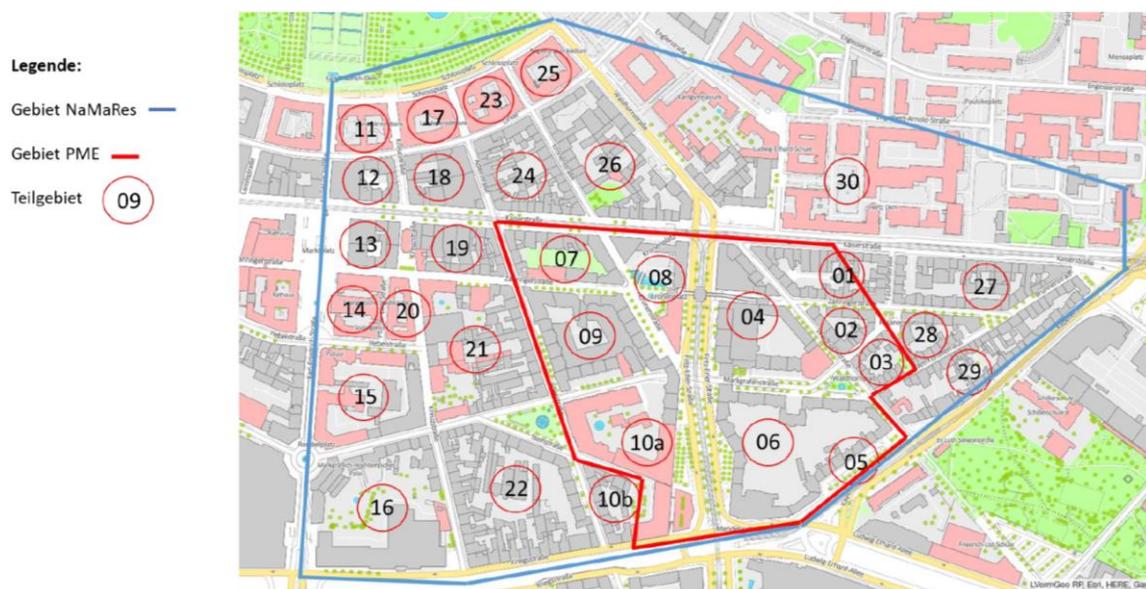


Abbildung 6 Untersuchungsgebiet der Abfallwirtschaft. Kartengrundlage (Liegenschaftsamt Karlsruhe und Tiefbauamt Karlsruhe 2019)

2 Betrachte Ressourcen, Szenarienziele und Bestandsaufnahme

2.1 Untersuchte Ressourcen

An Orten hoher Besiedlungsdichte erhalten Versorgungs- und Entsorgungsstrukturen eine verstärkte und wesentliche Bedeutung. Dabei sind nicht ausschließlich anthropogene Strukturen wie die leitungsgebundene Wasserversorgung und -entsorgung gemeint, sondern auch das Gewährleisten von intakten natürlichen Kreisläufen und Ökosystemleistungen.

Entsprechend der Zielstellung des Projekts, wurden die Ressourcen Fläche, Stoffe und Wasser untersucht. Im Projekt wurde zusätzlich festgestellt, dass die Ressource Ökosystemleistungen separat als Ressource betrachtet werden muss. Für die Ressource Fläche wurde ebenso bestimmt, dass Energieressourcen hierunter eingeordnet werden können und mitbetrachtet werden sollten. Der Hintergrund für diese Entscheidung liegt einerseits an der stetigen Integration von Energiefragestellung bei der Betrachtung von Flächen und der Stadtentwicklung (z. B. durch informelle Energieleit- oder Energienutzungspläne). Andererseits ist die energetische Nutzung von Flächen mittels Maßnahmen zur Ausnutzung erneuerbarer Energien ein wichtiges Maßnahmenbündel zur Steigerung der Nachhaltigkeit. Abgrenzungen mussten in den Themen Stoffe und Wasser getroffen werden. Im Bereich Stoffe wurde ein Schwerpunkt auf die Abfallwirtschaft gelegt. Hintergrund ist die PME-Sanierung und Umstellung des Abfallentsorgungssystems im Untersuchungsgebiet. Für die Ressource Wasser wurden Schwerpunkte bezüglich des Abflusses von Niederschlagswasser und Verdunstung gelegt, da diese für die Betrachtung der Klimaresilienz des Quartiers wichtige Aspekte abdeckt.

Als Arbeitsgrundlage wurde ein vollständiges und georeferenziertes Flächeninventar gewählt. Somit wird die Ressource Fläche als Hauptgrundlage für die Nachhaltigkeitsbewertung herangezogen, wobei die Ressourcen Wasser, Stoffe, Ökosystemleistungen und erneuerbare Energien auf dieser Grundlage basierend bewertet werden. Neben der so möglichen quantitativen und georeferenzierten Bewertung der Verfügbarkeit von Leistungen und Ressourcen konnten zusätzlich auch die qualitativen Eigenschaften berücksichtigt werden.

2.1.1 Flächen

Die Ausbreitung städtischer Lebensformen ist mit einer gravierenden Umgestaltung von Natur und Landschaft verbunden. Meistens führt diese Umgestaltung zu einer Versiegelung von natürlichen Oberflächen, z. B. um die Befahrbarkeit zu gewährleisten. Dieses Vorhandensein von Flächen mit speziellen Eigenschaften ist ausschlaggebend für die Sicherung von Daseinsgrundfunktionen (Wohnen, Arbeiten, Ver- und Entsorgung, Bildung, Erholung, Mobilität). Die Sicherstellung einer adäquaten Grundversorgung mit flächenbezogenen Ressourcen ist eine zentrale Aufgabe der Raum- und Stadtplanung. Oftmals wird dabei der

Verlust der natürlichen und wertvollen Bodenfunktionen in Kauf genommen. Durch die gravierenden Einflüsse der Urbanisierung ist das Handlungsfeld „Flächen“ von elementarer Bedeutung für die Hauptziele des Naturschutzes, des Klimaschutzes und der Klimaanpassung. Der Handlungsdruck ist hoch.

Flächen können anhand der physischen Beschaffenheit kategorisiert werden. Hierzu existiert eine redundanzfreie und vollständige Klassifizierung des Leibnitz-Instituts für ökologische Raumentwicklung (IÖR) (Abbildung 7). Hinter den einzelnen Kategorien stecken weitere Unterscheidungsmöglichkeiten, wie beispielsweise anhand des anthropogenen Nutzungsprofils mittels Stadtraumtypen für Siedlungsflächen oder anhand der natürlichen Funktionen von naturbelassenen Flächen. Des Weiteren gehören Gebäudeoberflächen (Dächer und Fassaden) ebenso zur Ressource Fläche.

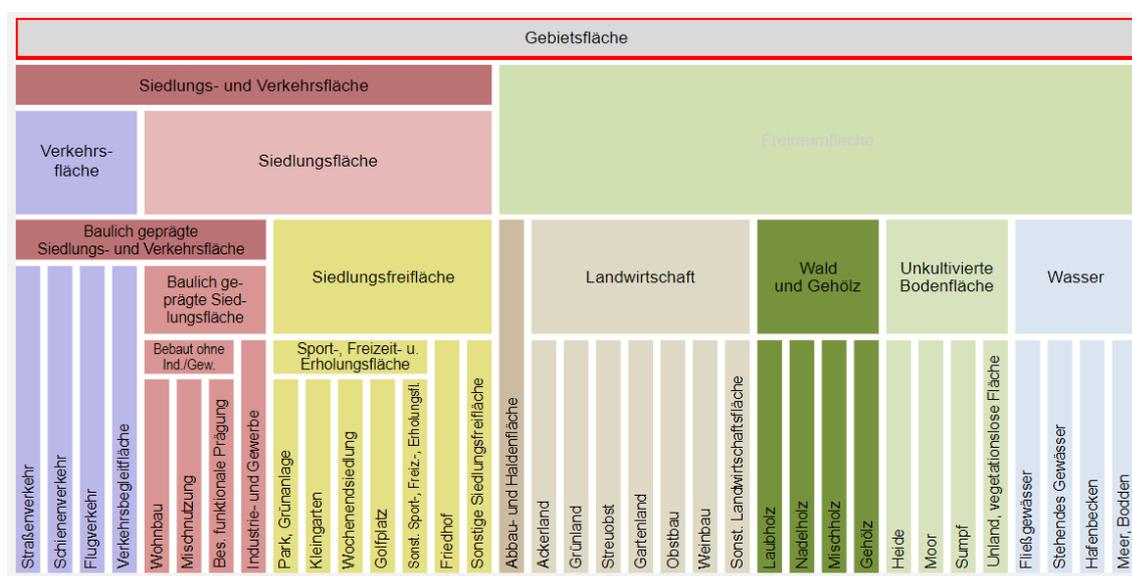


Abbildung 7 Flächenschema des IÖR-Monitors. (Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung 2022)

Seit dem Jahr 2002 ist der „Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche in Hektar pro Tag“ als ein Nachhaltigkeitsindikator in der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie verankert. Bis zum Jahr 2030 soll dieser Anstieg auf durchschnittlich unter 30 Hektar pro Tag begrenzt werden (Die Bundesregierung 2021). Das integrierte Umweltprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz schlug für das Jahr 2030 das strengere Ziel von 20 Hektar pro Tag vor (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) 2016). Dieses ambitioniertere Ziel unterstützt den Pfad der Ressourcenstrategie der Europäischen Union und den Klimaschutzplan der Bundesregierung zu einer Flächenkreislaufwirtschaft (Netto-Null-Ziel). Nach dem Klimaschutzplan der Bundesregierung soll der Flächenverbrauch bis 2050 auf Netto-Null reduziert und somit der Übergang in eine Flächenkreislaufwirtschaft vollzogen sein.

Basierend auf der Hierarchie der Flächeninanspruchnahme der Bodenstrategie der Europäischen Union 2030, des Gesetzes über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz - BNatSchG), dem Instrument der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) und den Konzepten aus der Kreislaufwirtschaft nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) wurde im Projekt eine

fünfstufige Hierarchie (Abbildung 8) als Leitfaden für eine flächensensible Stadtentwicklung entwickelt. Dementsprechend bedeutet die Anwendung dieser Hierarchie, dass zusätzliche Flächennutzung so weit wie möglich vermieden und der Verlust von Ökosystemleistungen minimiert werden muss, wenn eine Flächennutzung unvermeidbar ist.

Die Priorisierung von Strategien zur Erfüllung der Vision des Leitbildes einer „Flächensensiblen Stadt“ folgen einer 5-stufigen Hierarchie: (1) Vermeidung von zusätzlichem Flächenverbrauch oder Schaffung unversiegelter Flächen (2) In Anspruch genommene und nicht mehr genutzte Flächen naturnah wiederherstellen (3) In Anspruch genommene Flächen effizienter nutzen und „im Kreislauf nutzen“ (4) Auswirkungen durch den Flächenverbrauch minimieren (5) Unvermeidbaren Flächenverbrauch an anderer Stelle kompensieren.

In diesem Bericht werden insbesondere die Potenziale für Entsiegelungs- und Ausgleichsmaßnahmen für beanspruchte Flächen betrachtet.

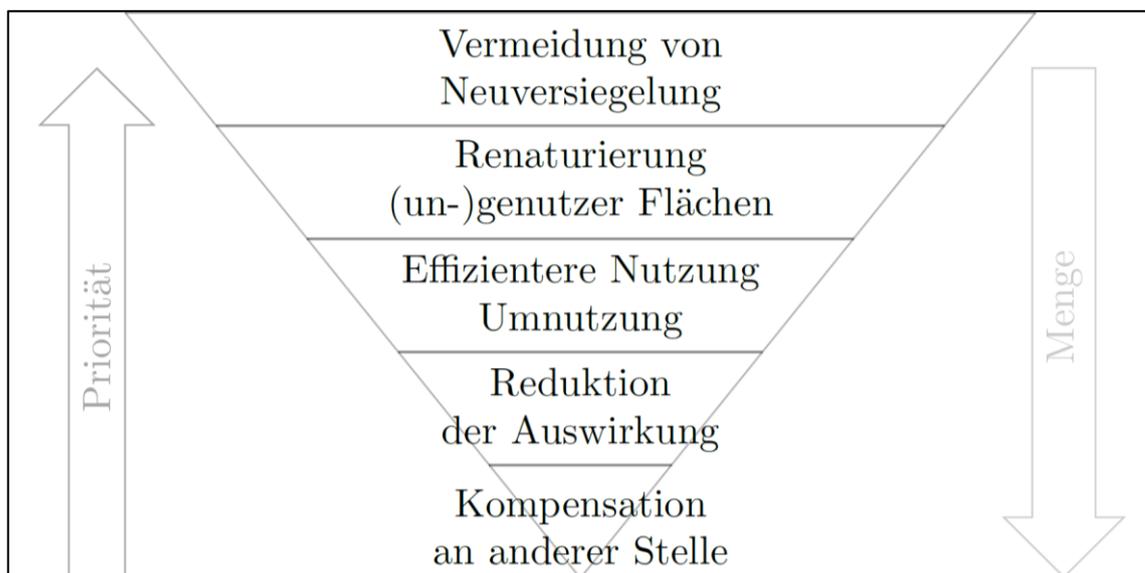


Abbildung 8 Leitbild einer „Flächensensiblen Stadt“

2.1.2 Ökosystemleistungen

Stadt und Natur werden nicht als getrennte, sondern miteinander vereinbare Elemente betrachtet (Böhm et al. 2016). Städte zeigen aufgrund von Gärten und Grünflächen neben Auenlandschaften eine hohe Biodiversität, weshalb dieser Lebensraum besonders geschützt werden sollte. Grünflächen in Städten sind Lebensraum für Pflanzen und Tiere. Neben dieser Habitatfunktion als Ökosystemleistung, stellen Grünflächen in Städten noch weitere Ökosystemleistungen zur Verfügung. Dies sind zum Beispiel die kühlende Wirkung von Grünflächen auf das umliegende Mikroklima, die Fähigkeit Regenwasser auf unversiegelten Flächen zu versickern oder die Erholungsleistung für den Menschen (Kowarik et al. 2017).

Im Untersuchungsgebiet wurde als Ökosystemleistung insbesondere der Kühlungseffekt betrachtet. Wenn ausreichend Grünflächen mit unversiegeltem Boden und Vegetationsbewuchs innerhalb eines Stadtquartiers vorhanden sind, wirkt sich dies unmittelbar positiv auf das Mikroklima und die direkte Umgebung dieser Grünflächen aus. Durch die Evapotranspiration der

Vegetation kann der Wärmeinseleffekt abgemildert werden und die Grünflächen zeigen einen direkten Kühlungseffekt auf die Umgebung (Kowarik et al. 2017; Mathey 2011).

Eine weitere besonders positive Auswirkung haben ältere Baumbestände, da diese zum Beispiel deutlich mehr Schatten spenden können als ein frisch angepflanzter Jungbaum mit einem geringeren Kronendurchmesser. Beschattete Bereiche unterhalb von Bäumen sind deutlich kühler als unbeschattete Bereiche im Stadtquartier. Je nach Wahl der Baumart unterscheidet sich die Wuchsform und somit kann die maximal mögliche beschattete Fläche variieren (Fryd et al. 2011).

2.1.3 Abfallwirtschaft

Im Untersuchungsgebiet werden zwei unterschiedliche Abfallentsorgungssysteme betrieben. Diese haben verschiedene Auswirkungen auf die Abfalltrennung, die Kreislaufwirtschaft und auf die Flächenanforderungen im Quartier.

Zum einen existiert eine getrennte Abfallsammlung in Behältern nach dem üblichen Stand der Technik und zum anderen existiert eine in den 1980ern installierte pneumatische Müllentsorgung (PME) welche die Abfallwirtschaft aus dem Stadtbild verbirgt. Der beschlossene Rückbau der PME-Anlage führt zu einer Umstellung auf die übliche getrennte Abfallsammlung in Behältern. Diese Umstellung führt zu mehreren städtebaulichen Herausforderungen. Eine große Herausforderung ist die Schaffung und das Vorsehen von Abstellflächen für Abfallbehälter für die verschiedenen Abfallfraktionen in einem hoch verdichten Bestandsquartier. Weitere Herausforderungen liegen in der Erhaltung und Verbesserung der Aufenthaltsqualität in der Nähe der Aufstellungsorte der Abfallbehälter. Weitere Herausforderungen der Umstellung liegen in der Akzeptanz und der Verhaltensänderung der Abfallverursacher/-innen, da die PME keine Trennung von Abfallfraktionen vorsah und diese nach der Umstellung durch die Abfallverursacher/-innen erfolgen muss. Dieses Konfliktfeld wird näher beleuchtet und entsprechende Handlungsempfehlungen werden formuliert.

2.2 Szenarienziele

Das Ziel der Szenarien in diesem Bericht ist es, mögliche Konzeptvarianten abhängig von der gegenwärtigen Ausgangslage aufzuzeigen. Auf Basis der zur Verfügung gestellten Informationen konnten keine belastbaren Szenarien für die zukünftige demografische oder bauliche Entwicklung erstellt werden (räumlich aufgelöste Daten wurden aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht für entsprechende Analysen freigegeben oder zur Verfügung gestellt). Auf Basis der Angaben des Statistikatlas Karlsruhe mit verschiedenen Angaben zur Bevölkerung (siehe z. B. Abbildung 9), Altersstruktur, Bevölkerungsbewegung, Haushalten, Gebäuden und Wohnungen konnten keine historisch ableitbaren Trends identifiziert werden. Hinsichtlich der Population des Quartiers kann lediglich festgestellt werden, dass nach einer Phase verlangsamten Wachstums der Personenanzahl mit Hauptwohnsitz, eine Abnahme für die Jahre 2019–2021 erfolgte. Daher wird davon ausgegangen, dass die Personenanzahl mit Hauptwohnsitz sich bei ca. 6.500 einpendelt (ungefährer Wert für 2020).

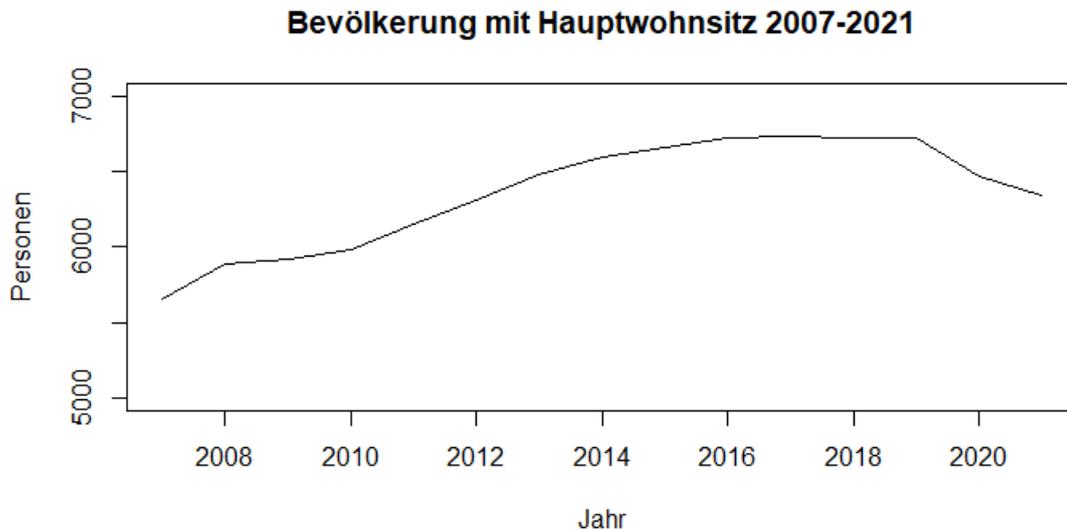


Abbildung 9 Historische Entwicklung der Bevölkerung mit Hauptwohnsitz in der Innenstadt-Ost in Karlsruhe. (Amt für Stadtentwicklung - Statistikstelle 2022)

Hinsichtlich der politischen Rahmenbedingungen wurden die Förderziele und der Förderrahmen des Sanierungsgebiets adaptiert und in den Berechnungen möglichst exakt abgebildet. Da das Sanierungsgebiet bis 2030 gefördert wird und erfahrungsgemäß die Inanspruchnahme von Fördermitteln nicht vorhersagbar ist, wird eine statische Betrachtung der möglichen Konzeptvarianten gewählt. Des Weiteren wurde davon ausgegangen, dass keine Neubaumaßnahmen „auf der grünen Wiese“ stattfinden werden.

Einzelne identifizierte Handlungsschwerpunkte wurden im Detail betrachtet. Im Wesentlichen wurden nach Absprache mit den interessierten Akteur/-innen die Maßnahmen als Szenarien definiert. Folgende Szenarien und Konzeptvarianten wurden untersucht:

- Theoretische Potenziale der Entsiegelung und Begrünung
 - o Umsetzung auf allen Flächen ohne die Berücksichtigung von technischen oder soziokulturellen Einschränkungen (z. B. durch den Denkmalschutz)
- Maßnahme „Extensive Dachbegrünung“ (*erg*)
 - o Auf Flächen mit einer privaten Eigentümerstruktur
 - o Dachbegrünung mit 10 cm Substratstärke, kurzem Gras oder Sedum-Pflanzen
 - o Auswahllogik: Bearbeitungsraster je Gebäude und je identifizierte Dachteilfläche, Dachteilflächen mit mindestens 10 m² Fläche, Dachteilflächenneigung von unter 45°, keine vorhandene Begrünung und keine Einschränkungen durch Denkmalschutz oder ähnliches.
- Maßnahme „Intensive Dachbegrünung“ (*irg*)
 - o Auf Flächen mit einer privaten Eigentümerstruktur
 - o Bodennahe Begrünung mit > 25 cm Substratdicke, Kurzgras und krautigen Pflanzen (im Verhältnis 1:1)
 - o Auswahllogik: Bearbeitungsraster je Gebäude und je identifizierte Dachteilfläche, Dachteilflächen mit mindestens 10 m² Fläche, Dachteilflächenneigung von unter 5°, keine vorhandene Begrünung und keine Einschränkungen durch Denkmalschutz oder ähnliches.

- Maßnahme „Tiefgaragendachbegrünung“ (*uprg*)
 - Auf Flächen mit einer privaten Eigentümerstruktur
 - Dachbegrünung mit > 35 cm Substratdicke, Kurzgras, krautigen Pflanzen und kleinen Laubbäumen (im Verhältnis 2:1:1)
 - Auswahllogik: Bearbeitungsraster je Flurstück und je identifizierte Dachteilfläche auf Bodenebene, Dachteilflächen mit mindestens 5 m² Fläche, keine vorhandene Begrünung und keine Einschränkungen durch Denkmalschutz oder ähnliches.
- Maßnahme „Photovoltaikdach“ (*rmpv*)
 - Auf Flächen mit einer privaten Eigentümerstruktur
 - Installation von monokristallinen Photovoltaik-(PV)-Modulen auf Dächern
 - Auswahllogik: Bearbeitungsraster je Gebäude und je identifizierter Dachteilfläche, unterschiedliche Logik für Flach- und Schrägdachflächen. Dachteilflächen mit mindestens 25 m² (flach, Neigung unter 5°) oder 10 m² (schräg, Neigung über 5°) Fläche, keine vorhandene Begrünung und keine Einschränkungen durch Denkmalschutz oder ähnliches.
- Maßnahme „Photovoltaik und Dachbegrünung“ (*pvrgr*)
 - Auf Flächen mit einer privaten Eigentümerstruktur
 - Installation von monokristallinen Solarmodulen und Dachbegrünung mit 10 cm Substratstärke, kurzem Gras oder Sedum
 - Auswahllogik: Bearbeitungsraster je Gebäude und je identifizierte Dachteilfläche, Dachteilflächen mit mindestens 25 m² Fläche, Dachneigung unter 5°, keine vorhandene Begrünung und keine Einschränkungen durch Denkmalschutz oder ähnliches.
- Maßnahme „Bodengebundene Fassadenbegrünung“ (*gbfg*)
 - Auf Flächen mit einer privaten Eigentümerstruktur
 - Pflanzung von Kletterpflanzen, Pflanzen mit und ohne Kletterhilfe
 - Auswahllogik: Bearbeitungsraster je Gebäude und je identifizierter Fassadenteilfläche, Fassadenteilfläche mit mindestens 10 m² Fläche, Fassadenteilfläche mit Bodenanschluss, nur Außenfassadenteilflächen (keine Zwischenwände) und keine Einschränkungen durch Denkmalschutz oder ähnliches.
- Maßnahme „Wandgebundene Fassadenbegrünung“ (*wbfg*)
 - Auf Flächen mit einer privaten Eigentümerstruktur
 - Vorgefertigte Vegetationselemente/Matten, kurzes Gras oder krautige Pflanzen
 - Auswahllogik: Bearbeitungsraster je Gebäude und je identifizierter Fassadenteilfläche, Fassadenteilfläche mit mindestens 10 m² Fläche, Fassadenteilfläche ohne Bodenanschluss, nur Außenfassadenteilflächen (keine Zwischenwände) und keine Einschränkungen durch Denkmalschutz oder ähnliches.
- Maßnahme „Photovoltaik an Fassaden“ (*fmpv*)
 - Auf Flächen mit einer privaten Eigentümerstruktur
 - Installation von monokristallinen PV-Modulen an Fassaden

- Auswahllogik: Bearbeitungsraster je Gebäude und je identifizierter Fassadenteilfläche, Fassadenteilfläche mit mindestens 10 m² Fläche, nur Außenfassadenteilflächen (keine Zwischenwände) und keine Einschränkungen durch Denkmalschutz oder ähnliches.
- Maßnahme „Bodenentsiegelung/Hausgarten“ (*sdg*)
 - Auf Flächen mit einer privaten Eigentümerstruktur
 - Entsiegelung und grundstücksspezifische Mehrfachnutzung von durchlässigem Pflaster, teilweise begrünten Gittern (im Verhältnis 1:1 Kurzrasen, undurchlässig) und Hausgartenflächen (im Verhältnis 1:1:1 Kurzrasen, Stauden und Laubbäume) auf einem Grundstück
 - Auswahllogik: Bearbeitungsraster je Flurstück und je identifizierte „Hoffläche“, Teilflächen mit mindestens 1 m² Fläche, Teilflächen ohne Unter- oder Überbauung, keine Begrünung und keine Einschränkungen durch Denkmalschutz oder ähnliches.
- Förderung von Entsiegelungsaktivitäten gemäß dem Förderprogramm im Sanierungsgebiet Innenstadt-Ost Karlsruhe, mit folgenden Eckpunkten zu zwei vorhandenen Förderlinien:
 - Mit dem ersten Förderprogramm werden Entsiegelungsmaßnahmen finanziert, wobei die (teilweisen) Entsiegelungskosten (CAPEX) zu 100 % mit maximal 15.000 € pro Grundstück bezuschusst werden können (Stadtplanungsamt Karlsruhe 2019a).
 - Das zweite Förderprogramm finanziert Begrünungsmaßnahmen mit bis zu 1/3 der pauschalen Fertigstellungskosten und ist auf 4.000 € pro Grundstück/Eigentum/Gebäude begrenzt (Gartenbauamt Karlsruhe 2019).
 - Da die Eigentumsverhältnisse in den verfügbaren Daten jedoch nicht aufgeschlüsselt sind, wird eine Obergrenze für die Begrünung auf Gebäudeebene für Dach- und Fassadenmaßnahmen festgelegt. Für beide Förderregelungen gelten besondere Bedingungen, die gemäß (Gartenbauamt Karlsruhe 2019; Stadtplanungsamt Karlsruhe 2019a) modelliert wurden.
 - Die Förderung von Maßnahmen ist nur auf Flächen mit einer privaten Eigentümerstruktur anwendbar.
 - Für „Neu“-Begrünung durch Bäume wurden [(Begrünungsfläche)/(100 m²)] Bäume pro Grundstück festgelegt.
- Mikroskalige dreidimensionale Modellierung und Simulation des Stadtklimas
 - Mit der Software ENVI-met, einem vollständigen dreidimensionalen Atmosphärenmodell, das klimatische Effekte von Bau- und Begrünungsmaßnahmen in Städten simulieren kann (Bruse und Bruse 2022) wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:
 - Kaltluftströme und die urbane Wärmeinsel im Quartier
 - Stadtklimatischen Auswirkungen des KIT Campus Süd auf angrenzende Stadtgebiete (die Innenstadt-Ost)
- Aufwertung von Grünflächen
 - Bilanzierung nach Feinmodul der Ökokontoverordnung
- Auswahl von Stadtbaumarten

- Zukünftige Stadtbaumarten nach GALK (Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz)
- Umstellung des Abfallsystems in dem PME-Gebiet auf ein abfallbehälterbasiertes System
 - Vergleich der Abfallfraktion nach Aufkommen
 - Implikationen auf die Flächenbedarfe im Quartier
 - Mögliche Nutzungsszenarien zu den Aufstellungsorten der Abfallbehälter

Bei den Maßnahmen werden die ermittelten technischen Potenziale weiter verfeinert (z. B. nach dem Azimut der Teilfläche für Dächer und Fassaden). Jeweilige Bedingungen und Annahmen zur Ableitung der Ergebnisse und Bewertungen können im entsprechenden Kapitel oder den angegebenen Quellen (Naber et al. 2022; Volk et al. 2021; Boehnke et al. 2021; Boehnke et al. 2022) nachgelesen werden.

2.3 Bestandsaufnahme und Status quo

In diesem Abschnitt werden die Ausgangslage und der Ist-Zustand des Quartiers in den Jahren 2019 bis 2021 beschrieben. Dabei wird im Detail auf das Flächeninventar, die weiteren wissenschaftlichen Untersuchungen und wesentliche historische Entwicklungen eingegangen.

2.3.1 Flächeninventar

Die eingehende Beschreibung der Methodik kann in “NaMaRes—A Surface Inventory and Intervention Assessment Model for Urban Resource Management” (Naber et al. 2022) nachgelesen werden. Im Wesentlichen entstand das Flächeninventar aus der Kombination und Verschneidung der in Kapitel 1.1.1 angegebenen Datengrundlagen.

Das in Abbildung 10 dargestellte und in Kapitel 1.1.1 beschriebene Untersuchungsgebiet umfasst 448 Flurstücke, 700 Gebäude, 11.140 Fassadenflächen und 5.474 Gebäudedachflächen. Die Art der Oberflächen ist nur für Grundstücke/Bodenflächen und Dachflächen verfügbar. Die weitere oberflächentreue Einteilung nach Art der Oberfläche erzeugt letztendlich 13.996 eindeutige Oberflächenelemente mit Informationen zur Art der Oberflächenbedeckung. Die Datenlage für die Fassaden erlaubte keine Oberflächenklassifizierung. Anhand der Lage und der 3D-Gebäudedaten konnten die Fassaden hinsichtlich ihrer Funktion/Zugänglichkeit eingeteilt werden (Außenwand, Trennwand oder andere unzugängliche Wand). Somit sind in der Datenbank 25.136 einzigartige Oberflächenelemente gespeichert. Tabelle 1 fasst das Inventar der Flächen zusammen.

Für die Analyse des Flächeninventars, sowie große Teile der Potenzialanalyse stehen die Flächen mit privater Eigentümerstruktur im Vordergrund. Abbildung 11 visualisiert das hauptsächlich berücksichtigte Oberflächeninventar und die ausgeschlossenen Flächen öffentlichen Eigentums.



Abbildung 10 Ausschnitt des Untersuchungsgebiets in der Innenstadt-Ost von Karlsruhe und die resultierende 2D Darstellung des Flächeninventars. Kartengrundlage (OpenStreetMap contributors 2022; Liegenschaftsamt Karlsruhe und Tiefbauamt Karlsruhe 2019), übersetzt aus (Naber et al. 2022).



Abbildung 11 Inventar der Oberflächen in Privatbesitz. Kartengrundlage (Liegenschaftsamt Karlsruhe und Tiefbauamt Karlsruhe 2019; OpenStreetMap contributors 2022), übersetzt aus (Naber et al. 2022).

Tabelle 1 Inventar der Flächen in Privatbesitz im Untersuchungsgebiet. Die Werte sind gerundet und stellen Aggregate auf Grundstücksebene dar. Übersetzt aus (Naber et al. 2022).

Oberflächenart	Anzahl Flurstücke	Gesamt Fläche [ha]	Median [m ²]	Mittelwert [m ²]	Gesamt begrünt [ha]	Anzahl begrünzte Flurstücke	Median [m ²]	Mittelwert [m ²]	% von Gesamtfläche
Boden ⁱ	372	19,5 ⁱⁱ	304	524	2,9	–	–	–	15 %
' Innenhof '	330	5,4	87	165	2,2	166	46,4	130,9	40 %
unterbaut	43	1,6	42	364	0,7	14	254	493	43 %
Dach	350	14,2	177	237	0,98	–	–	–	7 %
Flach	264	5,4	65	203	0,82	23	144	358	15 %
Schräg	320	8,8	204	277	0,16	14	65	113	0,02 %
Wand	350	51,3	1062	1466	NA ⁱⁱⁱ	–	–	–	–
Fassade	350	28,3	528	810	NA ⁱⁱⁱ	–	–	–	–
Zwischenwand	350	21,2	452	605	NA ⁱⁱⁱ	–	–	–	–
Andere	135	1,8	73	131	NA ⁱⁱⁱ	–	–	–	–
Summe		72,51 (21,2) ^{iv}			(3,9)				5% ⁱⁱⁱ (18%)

ⁱ Gesamte Bodenebene, einschließlich Unter- und Oberbauten. ⁱⁱ Stellt die Grundfläche aller Unter-, Überbau- und Bodenflächen dar. ⁱⁱⁱ Keine detaillierten Angaben zur Art der Oberflächenbedeckung verfügbar. Bei stichprobenartigen Vor-Ort-Inspektionen wurde teilweise Vegetation festgestellt, aber es konnte keine weit verbreitete Vegetation an Fassaden festgestellt werden. ^{iv} Ohne vertikale Flächen.

2.3.1.1 Bodenoberflächen

Im Untersuchungsgebiet befinden sich 372 Grundstücke in Privatbesitz. Diese umfassen etwa 19,5 ha der Gesamtfläche (Tabelle 1). Die durchschnittliche Grundstücksfläche dieser Privatgrundstücke beträgt 524 m². Die unter- und überbauungsfreien Flächen betragen durchschnittlich 165 m². Zweiundvierzig Grundstücke sind vollständig durch einen Über- oder Unterbau versiegelt, und die übrigen Grundstücke haben Innenhöfe mit unterschiedlichen Oberflächenbelägen. 166 Grundstücke (fast 45 %) verfügen über begrünte Hofflächen. Etwa 11 % der gesamten Bodenfläche der Grundstücke sind begrünt, ohne Berücksichtigung der begrünten Dächer der Unterbauten, da der eigentliche Boden versiegelt bleibt. Daraus lässt sich für das Untersuchungsgebiet und die Flurstücke mit privater Eigentümerstruktur eine Gesamtbodenversiegelung von über 89 % ableiten. Für die Bewertung des Gesamtabflusses des Niederschlags nach (DIN 1986-100) mussten auch die Dachflächen berücksichtigt werden (siehe auch Abschnitt 2.3.1.3). Demnach liegen die Spitzen- und Mittelwerte des Abflusses bei 84 % und 69,6 %.

Die Differenz zwischen der gesamten Bodenfläche und der Fläche der Aufbauten ergibt die Innenhoffläche. Vierzig Prozent dieser Differenz haben eine Art von Vegetation in Form von Grünflächen, Rasengittersteinen oder anderer Begrünung auf undurchlässigen Flächen. Reine Grünflächen belaufen sich auf etwa 2 ha (10,3 %), und nur diese Flächen können als unversiegelt betrachtet werden. Umgekehrt sind 3,2 ha das theoretische Entsiegelungspotenzial. Im Vergleich dazu bieten ebenerdige Dachflächen von Unterbauten (z. B. Tiefgaragen) nur 1,6 ha Gesamtfläche im Fallstudiengebiet, bei einem ähnlich hohen Vegetationsanteil wie die Hofflächen. Diese Fläche kann jedoch nur entsiegelt werden, wenn die Unterkonstruktion außer Betrieb genommen und rückgebaut wird.

2.3.1.2 Wandoberflächen

Insgesamt konnten 8.833 Wandoberflächen mit 51,3 ha Fläche auf Gebäuden privater Eigentümer/-innen identifiziert werden (Tabelle 1). Allerdings sind nur 55 % dieser Fläche als Fassaden, also als von außen zugänglichen Wänden, beschreibbar. Der Rest sind Zwischenwände oder andere Wände, die nicht zugänglich sind. Nur die verfügbare Fläche kann bei der Bewertung berücksichtigt werden. Demnach bieten 28,3 ha Fassadenfläche ein theoretisches Potenzial für die Entwicklung nachhaltiger Interventionsmaßnahmen. Die Verteilung dieser Fläche und die Normalen (Ausrichtung) der Fassadenelemente sind in Abbildung 12 dargestellt. Man sieht deutliche Spitzen bei Flächen in Nord- und Südausrichtung. Darüber hinaus stehen im Durchschnitt 810 m² Fassadenfläche pro Grundstück zur Verfügung. Allerdings gelten für 40 % der zugänglichen Fassadenfläche im Fallstudiengebiet Schutz- und Erhaltungsaufgaben. Da nicht begrünte Fassaden im ursprünglichen Zustand angenommen werden, stellen die verfügbaren Flächen einen potenziellen Lebensraum für etwa 170 T Individuen dar (siehe Indikator Biodiversität in (Naber et al. 2022; Pfoser 2016)).

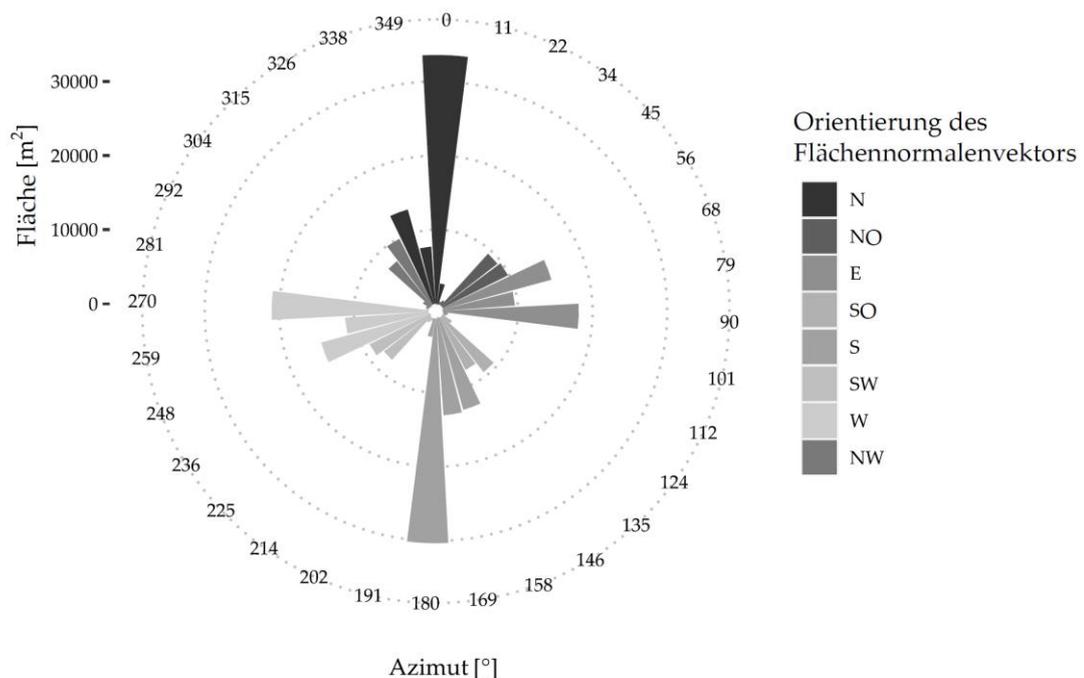


Abbildung 12 Zugängliche Fassadenfläche und Orientierung des Normalenvektors. Norden liegt bei 0°. Übersetzt aus (Naber et al. 2022).

2.3.1.3 Dachoberflächen

Insgesamt sind fast 1 ha (7 %) der 14,2 ha Dachflächen in Privatbesitz bereits begrünt (Tabelle 1). Der größte Teil der Fläche entfällt auf unbegrünte Schrägdächer. Im Durchschnitt hat jedes Grundstück 277 m² Schrägdachfläche. Die Fläche der privaten Flachdächer beträgt etwa 5,4 ha, mit einer durchschnittlichen Fläche von 203 m² pro Grundstück.

Aufgrund des geringen Anteils an vorhandenen begrünten Dachflächen wurden nur geringe positive Effekte festgestellt. Für den Indikator Spitzenabfluss liegt der Wert bei 96,4 % und der durchschnittliche Abfluss liegt bei 79,8 %. Im Vergleich dazu ist 1 ha (20 %) von 5 ha

Dachflächen in öffentlichem Eigentum begrünt. Das ist fast das Dreifache des Anteils (7 % vs. 20 %). Das Gesamtpotenzial für eine nachhaltigere und vorteilhaftere Nutzung bleibt also auf privaten Dächern weitgehend ungenutzt.

Die Eigenschaften von Azimut und Neigung der Dachflächen bestimmen die möglichen Alternativen der Nutzung. Abbildung 13 veranschaulicht die Verteilung von Dachfläche, Azimut und Neigung der Dächer. Die meisten Dächer folgen der Fassadenausrichtung nach Norden und Süden, aber auch viele Dächer sind nach Osten und Westen ausgerichtet. Der Interquartilsbereich der Neigung liegt zwischen 27° und 44°.

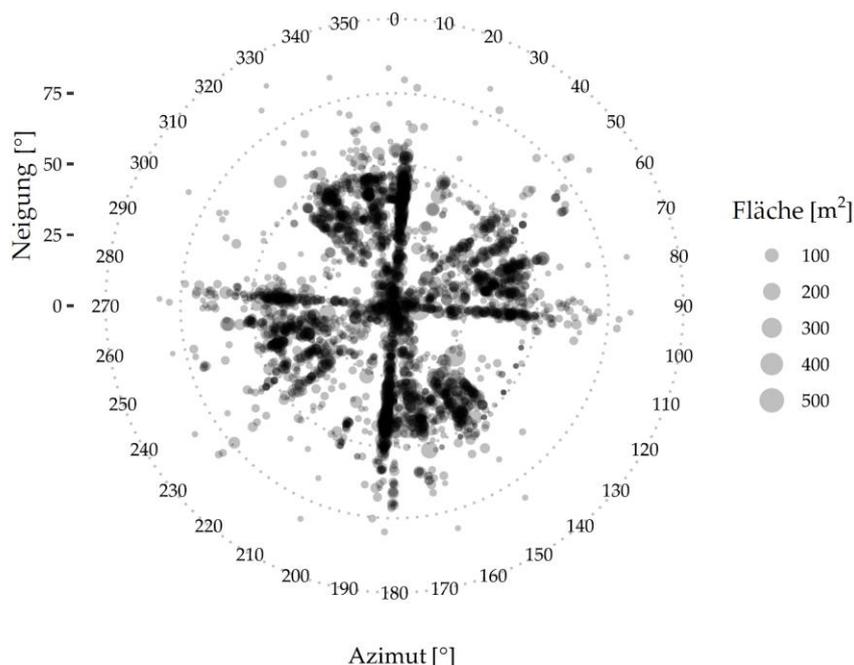


Abbildung 13 Flächen, Neigung und Azimut der Schrägdächer. Norden liegt bei 0°. Übersetzt aus (Naber et al. 2022).

2.3.2 Kartierungen

Die Biotoptypenkartierung in der Innenstadt-Ost wurde mithilfe des Kartierschlüssels der Landesanstalt für Umwelt in Baden-Württemberg (LUBW) und mithilfe eines verfeinerten Kartierschlüssels für die Stadtbioptypenkartierung durchgeführt (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) 2018; Breunig 2017). In den Kartierschlüsseln werden Biotoptypennummern nach einem eindeutigen Schema verwendet, z. B. 60.10 für „von Bauwerken bestandene Flächen“ oder 44.30 für „Heckenzaun“. Im Anschluss wurden die kartierten Biotoptypen in einem Geoinformationssystem (GIS) digitalisiert, um eine erweiterte Auswertung und einfache Datenübertragung der erhobenen Daten zu ermöglichen. Neben der Information über die vorliegenden Biotoptypen wird in einem GIS auch die räumliche Position dargestellt. Über die Attributtabelle der kartierten Biotoptypen wurden den Flächen weitere Eigenschaften zugeordnet (Tabelle 2). Somit waren auch räumliche Analysen möglich und Einzelflächen und deren zugeordnete Werte konnten eindeutig selektiert und angezeigt werden. Der digitalisierte Datensatz als Ergebnis der Biotoptypenkartierung für die Innenstadt-Ost in Karlsruhe erfüllt die Kriterien des Open Geospatial Consortium (OGC).

Im Rahmen des Stadtökologischen Praktikums am KIT wurden die Daten zur Biotoptypenkartierung in den öffentlich zugänglichen und privat zugänglichen Bereichen erhoben (Abbildung 14). Erstmals lag der Fokus der Kartierungen im Sommersemester 2020 auf den Hinterhöfen in der Innenstadt-Ost (Becker et al. 2020) und wurde durch bereits kartierte Flächen im öffentlich zugänglichen Bereich aus den Vorjahren ergänzt (Warshagha et al. 2018; Krehl 2019). Die Dokumentation der Ergebnisse der Kartierungen (Biotoptypen, Bäume) erfolgte in Form von Kartendarstellungen in einem Geoinformationssystem (Warshagha et al. 2018; Becker et al. 2020).

Tabelle 2 Bewertungsschema Biotope. (vers.= versiegelt, ÖP = Ökopunkte ; Grundlage: (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) 2018; Breunig 2017; Liegenschaftsamt Karlsruhe und Tiefbauamt Karlsruhe 2019)), entnommen aus (Boehnke et al. 2021)

ID	Biotoptyp	ÖP/m ²	Versiegelung	Verdunstung
13.92	Kleingewässer (Brunnen/Teich)	1/4	vollvers.	hoch
23.51	Verfugte Mauer / Natursteinmauer	1/8	vollvers.	keine
33.71	Trittrassen	4	unvers.	mittel
33.72	Lückiger Trittpflanzenbestand	4	unvers.	gering
33.80	Zierrasen	4 o. 6	unvers.	mittel
35.61	Annuelle Ruderalvegetation	1	unvers.	gering
35.64	Ausdauernde Ruderalvegetation	9	unvers.	mittel
43.11	Brombeer-Gestrüpp	9	unvers.	mittel
44.22	Hecke	6	unvers.	mittel
44.30	Heckenzaun	4-6	unvers.	mittel
45.20	Baumgruppe	6	unvers.	mittel
60.10	Gebäude	1	vollvers.	keine
60.21	Völlig versiegelte Straße o. Platz	1	vollvers.	keine
60.22	Gepflasterte Straße oder Platz	1 o. 2	vollvers.	keine
60.23	Weg/Platz mit Kies, Schotter	2-4	teilvers.	keine o. gering
60.24	Unbefestigter Weg oder Platz	3	teilvers.	keine o. gering
60.51	Blumenbeet oder Rabatte	4-7	unvers.	mittel
60.53	Bodendecker-Anpflanzung	4 o. 7	unvers.	mittel
60.61	Nutzgarten	6	teilvers.	mittel
60.62	Ziergarten	6	teilvers.	mittel
60.63	Mischtyp von Nutz- und Ziergarten	6	teilvers.	mittel
unbest.	unbestimmt	1	-	-



Abbildung 14 Beispielhafte Kartierung eines Innenhofs. Quelle (KIT/AGW)

Im Beitrag „Grünbestände in privaten Innenhöfen und deren Ökosystemleistungen im Stadtquartier – Erkenntnisse einer quartiersweiten Erhebung in Karlsruhe“ (Boehnke et al. 2021) wurde die Kartierungsmethode genauer erläutert und Vergleiche von öffentlichen und privaten Grünbestände im Quartier angestellt. Die folgenden Erkenntnisse können im Detail in dieser Publikation nachgelesen werden. Auf eine explizite Darstellung der einzelnen Kartierungsergebnisse wird hier verzichtet, da der im entwickelten Software-Werkzeug aufgebaute Kartendienst eine dynamische und vollständige Sichtung der Ergebnisse erlaubt. Des Weiteren könnten die sehr granular kartierten Biotope nur aggregiert oder unvollständig in diesem Bericht dargestellt werden. Der Mehrwert in diesem Bericht besteht in der Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse. Daher werden hier nur beispielhafte Übersichtskarten präsentiert. Das Verhältnis von öffentlichen und privaten nicht überbauten Flächen im Untersuchungsgebiet der Kartierung ist ungefähr vergleichbar. Somit konnte die Auswertung als eine direkte Gegenüberstellung in der Innenstadt-Ost durchgeführt werden. Von den über 100 Biotoptypen und Untertypen des LUBW-Schlüssels (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) 2018) wurden insgesamt 11 im öffentlichen Bereich und 21 in den privaten Innenhöfen kartiert. Von über 100 als Höfen bezeichnete Einheiten waren nur etwa 20 % frei zugänglich und der Zutritt bei etwa 80 % musste über Klingeln und Erfragen erarbeitet werden. Nicht kartiert werden konnten 1,2 % der Innenhofflächen. Vergleicht man die Innenhöfe untereinander rein nach der Art ihrer Bodenbedeckung, so sind bereits große Unterschiede feststellbar. Die Innenhöfe variierten von weitgehend (>50 %) unversiegelt und begrünt (4 von 28 Baublöcken) bis zu vollständig versiegelt oder stark nachverdichtet (min. 11 von 28 Baublöcken).

Die Biotopklassifizierung umfasste qualitative Einteilungen des jeweiligen Biotops hinsichtlich der Verdunstungsfähigkeit (keine oder gering, gering, mittel, hoch) und Versiegelungsklasse (Vollversiegelung, teilversiegelt, unversiegelt). Die Übersichtskarten in Abbildung 15 zeigen diese beiden qualitativen Einteilungen für alle nicht durch Gebäudegrundrisse überbauten Flächen. Im öffentlichen Straßenraumbereich sind 3,6 % der Fläche begrünt (unter Berücksichtigung der Baumscheiben etwa 6,1 %) und 95,7 % voll versiegelt. In den Innenhöfen sind hingegen 37,2 % begrünt, aber noch 55,9 % voll versiegelt (Abbildung 16). In beiden Abbildungen ist klar erkennbar, dass sich fast der gesamte Grünbestand (ohne Bäume) auf die Innenhofbereiche konzentriert und damit auch deren Ökosystemleistungen, wie Versickerung (Bezug: Starkregenvorsorge, Grundwassererneuerung), Verdunstungskühle (Bezug: Mikroklima), Lebensraum für Tiere und Pflanzen (Bezug: Biodiversität) und die positive Beeinflussung des Wohlbefindens der Anwohner in direkter Weise (durch Beschattung) und indirekter Weise (Bezug: Ästhetik, Gesundheit) (Breuste 2019; Hansen et al. 2017).

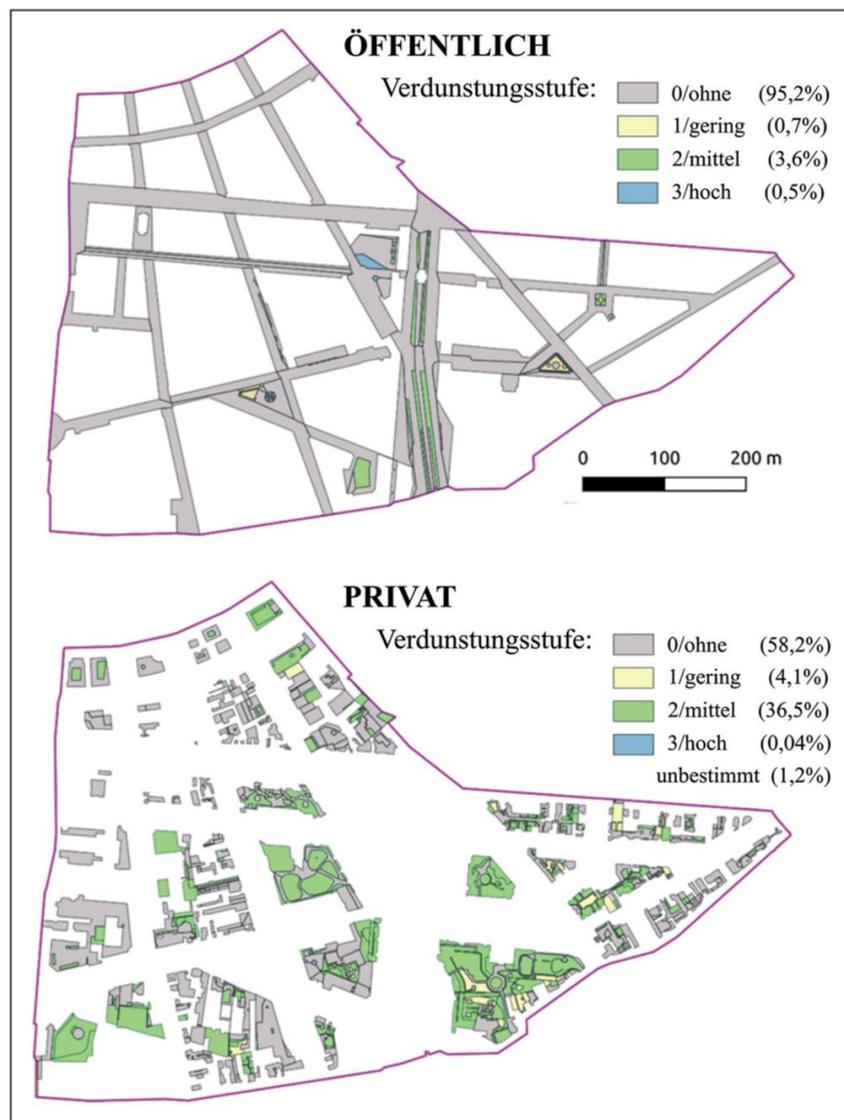


Abbildung 15 Qualitative Bewertung der Verdunstungsleistung im Stadtquartier. Flächenanteile pro Verdunstungsstufe in [%]. Kartengrundlagen: (Liegenschaftsamt Karlsruhe und Tiefbauamt Karlsruhe 2019), Biotopkartierung (Boehnke et al. 2021).

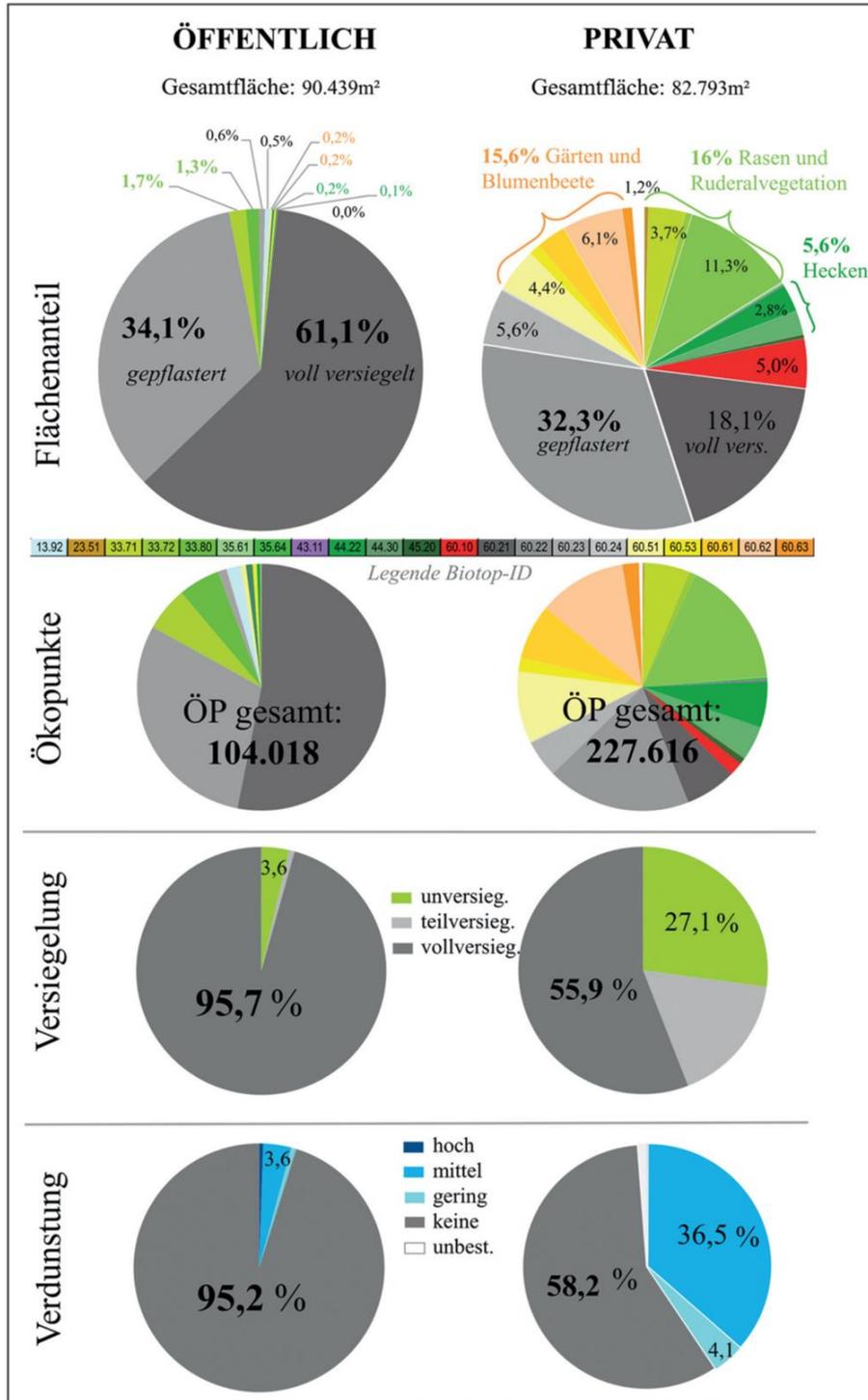


Abbildung 16 Zustands- und ÖSL-Indikatoren berechnet anhand der Biotopkartierung. (Boehnke et al. 2021)

Diese Ergebnisse zeigen, dass die Innenhöfe eine tragende Rolle als Refugium für unterschiedlichste Formen von Stadtgrün, damit verbundener mikroklimatischer Vielfalt und Verringerung des Wärmeinseleffektes durch Verschattung und Erhalt der Biodiversität spielen. Erklärt werden kann dies durch öffentliche Flächenzwänge und generell unterschiedliche Grund- und Rahmenbedingungen der beiden Bereiche. Es ergibt sich daher unweigerlich die Frage, ob wir uns eine weitere Nachverdichtung im privaten Bereich auf Kosten wertvoller Grünbestände klimatisch sowie bezüglich der Wohn- und Aufenthaltsqualität noch weiter leisten können.

Zur Erfassung des Baumbestandes in der Innenstadt-Ost in Karlsruhe wurde das Baumkataster der Stadt Karlsruhe genutzt und durch eine Baumkartierung der privaten Hinterhöfe ergänzt. Bei der Baumkartierung wurden die folgenden Parameter erfasst:

- Baumart
- Brusthöhendurchmesser (BHD)
- Baumhöhe
- Kronendurchmesser

Die Auswahl der erfassten Parameter zur Erfassung eines Baumbestandes wurde mithilfe des Leitfadens zur Verkehrssicherung getroffen (Ministerium für Finanzen Baden-Württemberg 2018). Zur eindeutigen Kennzeichnung der erfassten Bäume wurden diese bei der Kartierung fortlaufend nummeriert. Diese Nummern wurden auch als ID für die Digitalisierung der Einzelbäume genutzt. Die Baumart wurde mithilfe der Artenkenntnis innerhalb der Kartiergruppe, Bestimmungsliteratur spezifisch für Baumarten und einer Pflanzenbestimmungssapp bestimmt (Nitsch 2020; Bosch 2017; plantnet-project.org 2020).

Der BHD wurde mithilfe eines Maßbandes auf der Höhe von 1,30 Meter gemessen. Zur Bestimmung der Baumhöhe wurde das Abstandsmessgerät Vertex IV und der Transponder T3 eingesetzt. Über eine Winkel- und Abstandsmessung kann mithilfe des Vertex die Baumhöhe bestimmt werden. Die Angaben wurden auf ganze Meter gerundet. Eine höhere Genauigkeit wurde nicht als sinnvoll erachtet, da zum Beispiel bedingt durch die unterschiedlichen Auswüchse der Baumkrone die Baumhöhen nicht detaillierter als mit 1-Meter-Schritten bestimmt werden können (Haglöf Sweden 2007). Um den Baumkronendurchmesser zu bestimmen, wurden die Ausmaße der Baumkrone in zwei orthogonal zueinander liegenden Richtungen bestimmt. Im Anschluss wurde der Mittelwert der beiden erfassten Werte bestimmt.

Die öffentlich zugänglichen Bereiche wurden durch eine Gruppe im Sommersemester 2020 erfasst, beziehungsweise das vorliegende Baumkataster der Stadt Karlsruhe auf seine Aktualität überprüft (Kircher et al. 2021). Die privat zugänglichen Bereiche wurden durch eine weitere Gruppe zusammen mit der Biotoptypenkartierung in den Hinterhöfen erfasst (Becker et al. 2020). Alle Parameter sind in der Attributtabelle zu den Einzelbäumen im Geoinformationssystem (GIS) hinterlegt und können dort entweder direkt über die Tabelle oder über die Kartendarstellung abgerufen werden (Becker et al. 2020; Kircher et al. 2021). Abbildung 17 und Abbildung 18 geben einen Einblick in die Ergebnisse zu den erhobenen Daten und z. B. die Bewertung der Bäume hinsichtlich der CO₂-Bindung. Zur Bewertung der Kohlenstoffdioxidspeicherkapazität werden die Zuordnungstabellen für die Baumarten Buche, Eiche, Kiefer, Fichte aus dem "LWF-Merkblatt Nr. 27 – Kohlenstoffspeicherung von Bäumen" genutzt (LWF, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft - 2011). Zur Einordnung aller vorkommenden Baumarten aus dem Untersuchungsgebiet wird die von (media4nature GmbH 2019) erstellte

Einordnung weiterer Baumarten zu den vier Zuordnungstabellen angewendet. Pro Baum kann nun eine minimale und eine maximale CO₂-Einheit zugeordnet werden. Im Anschluss wird daraus der Mittelwert für die zugeordnete farblich gekennzeichnete CO₂-Kategorie für jeden Einzelbaum berechnet. Die Bäume brauchen einen minimalen Brusthöhendurchmesser von 0,07 m und eine minimale Höhe von 6 m, um in den Zuordnungstabellen zur Bestimmung der Kohlenstoffdioxidspeicherkapazität berücksichtigt werden zu können.

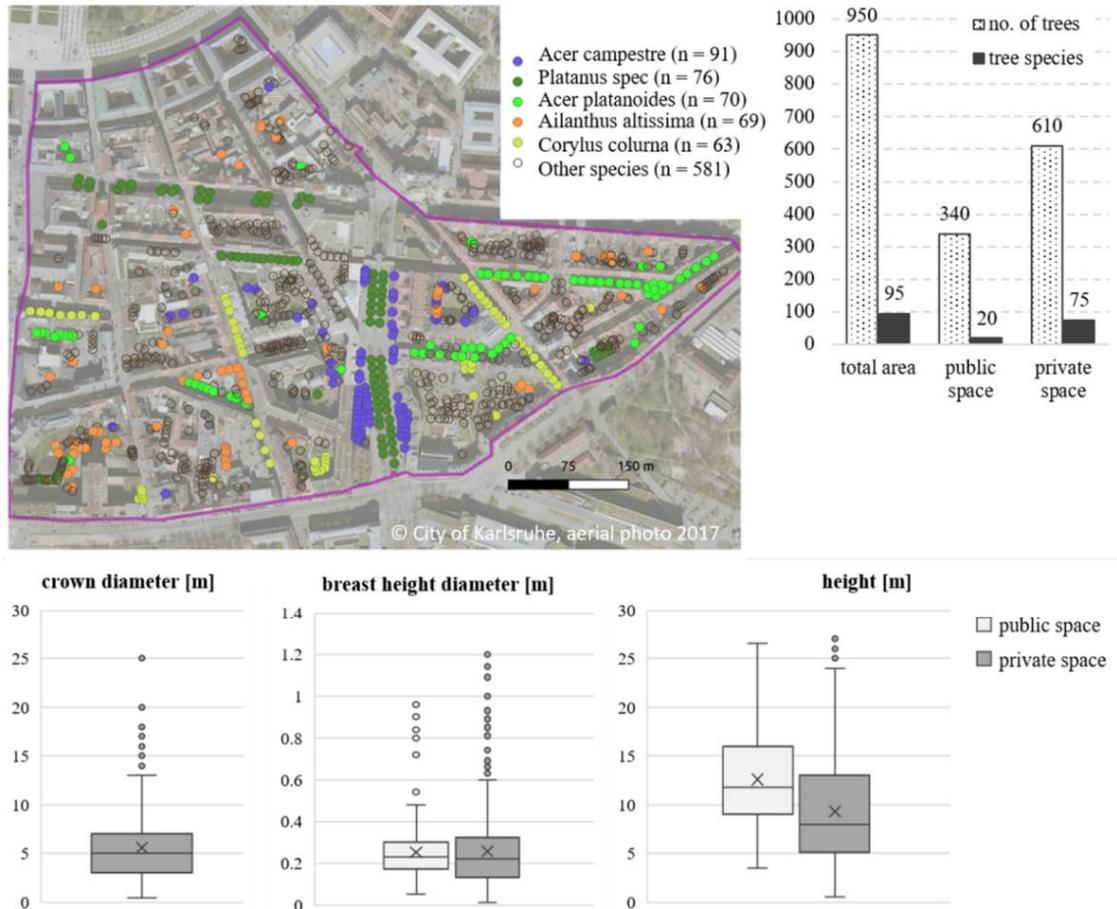


Abbildung 17 Übersicht über die Standorte (Karte) und Anzahl (Karte und Säulendiagramm) der Stadtbäume in dem Untersuchungsgebiet. Darüber hinaus wird die Verteilung der Wachstumsparameter Kronendurchmesser, BHD und Höhe dargestellt, getrennt nach dem Standort des Baumes im öffentlichen oder privaten Bereich (Boxplots). Lila Linie = Grenze des Untersuchungsgebiets; Boxplots: x = mittlerer Wert; ° = statistische Ausreißer. Kartengrundlage (Liegenschaftsamt Karlsruhe und Tiefbauamt Karlsruhe 2019), Quelle (Boehnke et al. 2022)



Abbildung 18 CO₂-Speicherung durch Bäume in Innenhöfen und privaten Flächen. (Quelle: AGW, Kartengrundlage: (Liegenschaftsamt Karlsruhe und Tiefbauamt Karlsruhe 2019))

2.3.3 Messungen

Die mobilen Klimamessungen in der Innenstadt-Ost in Karlsruhe wurden auf einer vorher festgelegten Route durch das Untersuchungsgebiet am Tag und in der Nacht durchgeführt. Zur Durchführung wurde ein Klimamessfahrrad eingesetzt. Das Klimamessfahrrad umfasste die folgenden Messgeräte: ein GPS-Gerät, einen Temperatur- und Feuchtesensor, ein Pyranometer, ein Aspirationspsychrometer und einen Datenlogger (Brand et al. 2021; Knetig et al. 2021). Gemessen wurden auf der gesamten Fahrtstrecke die Temperatur, die Luftfeuchte und die Globalstrahlung. Die Ergebnisse wurden in einer Kartendarstellung in einem GIS zusammengefasst dargestellt (Abbildungen 19–25). Die Temperaturwerte zwischen den einzelnen Messpunkten wurden durch Interpolation bestimmt, um eine flächendeckende Temperaturkarte zu erhalten. Zusätzlich zu den mobilen Messungen wurden auch stationäre Messungen (Abbildung 26 und Abbildung 27) an vorher ausgewählten repräsentativen Standpunkten im Stadtquartier durchgeführt (Dicks et al. 2021; Knetig et al. 2021).

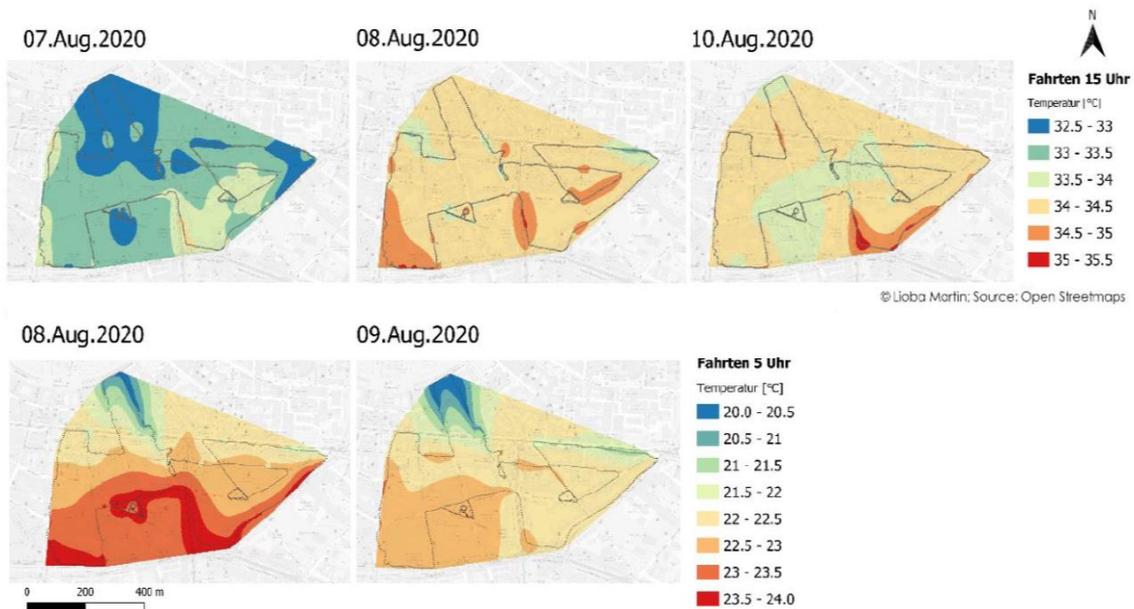


Abbildung 19 Messung der urbanen Wärmeinseln und Temperatur in °C. Kartengrundlage (OpenStreetMap contributors 2022)

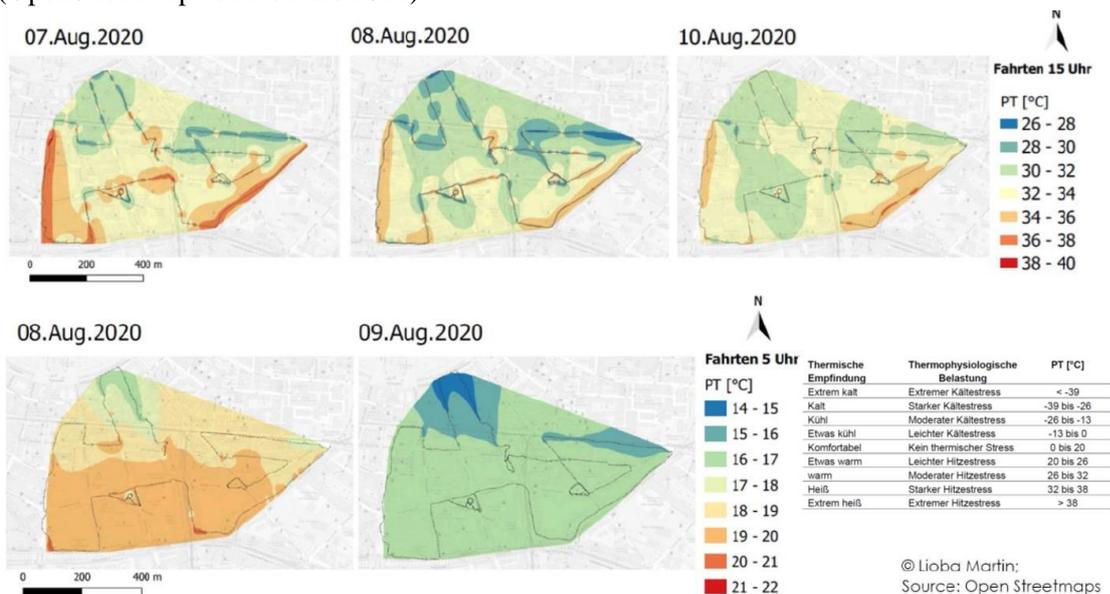


Abbildung 20 Messung der urbanen Wärmeinseln und gefühlte Temperatur in °C. Kartengrundlage (OpenStreetMap contributors 2022)

07.Aug.2020



Abbildung 21 Messung der globalen Strahlung und Beschattung. Messung am 07.08.2020 um 15 Uhr. Kartengrundlage (OpenStreetMap contributors 2022)

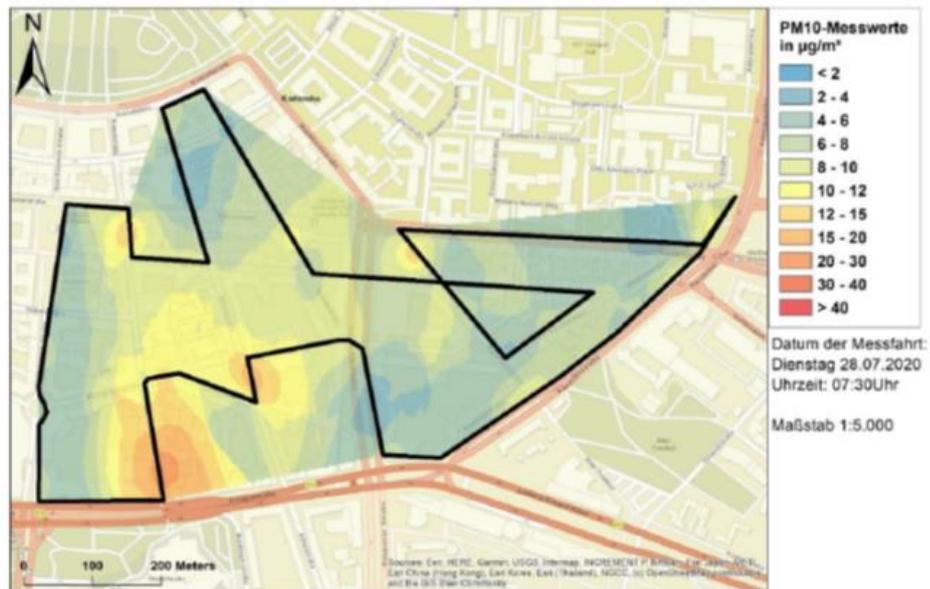


Abbildung 22 Messung des Urban Aerosol Plumes am Vormittag eines Dienstags. Messung vom 28.07.2020 um 07:30 Uhr. Kartengrundlage (OpenStreetMap contributors 2022)

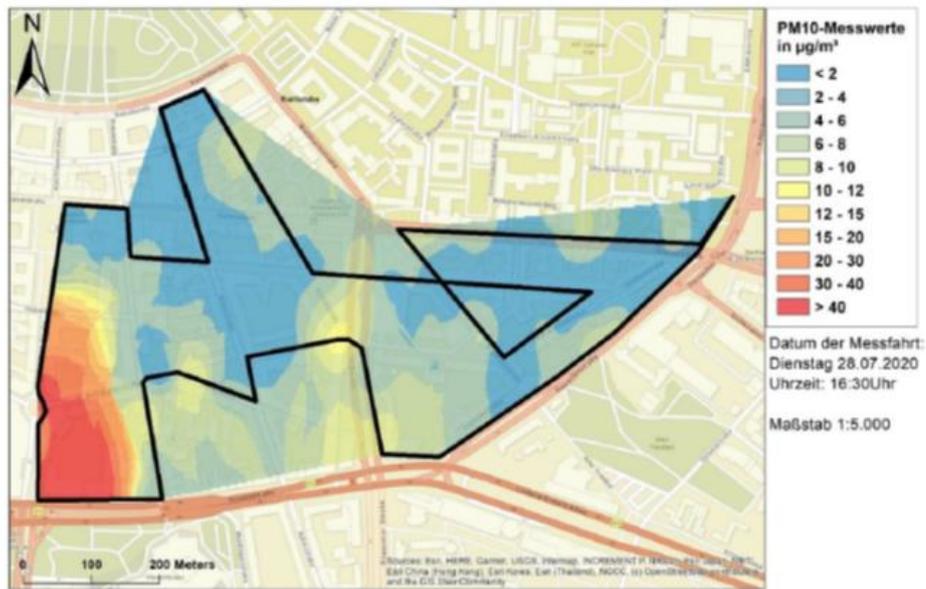


Abbildung 23 Messung des Urban Aerosol Plumes am Nachmittag eines Dienstags. Messung vom 28.07.2020 um 16:30 Uhr. Kartengrundlage (OpenStreetMap contributors 2022)

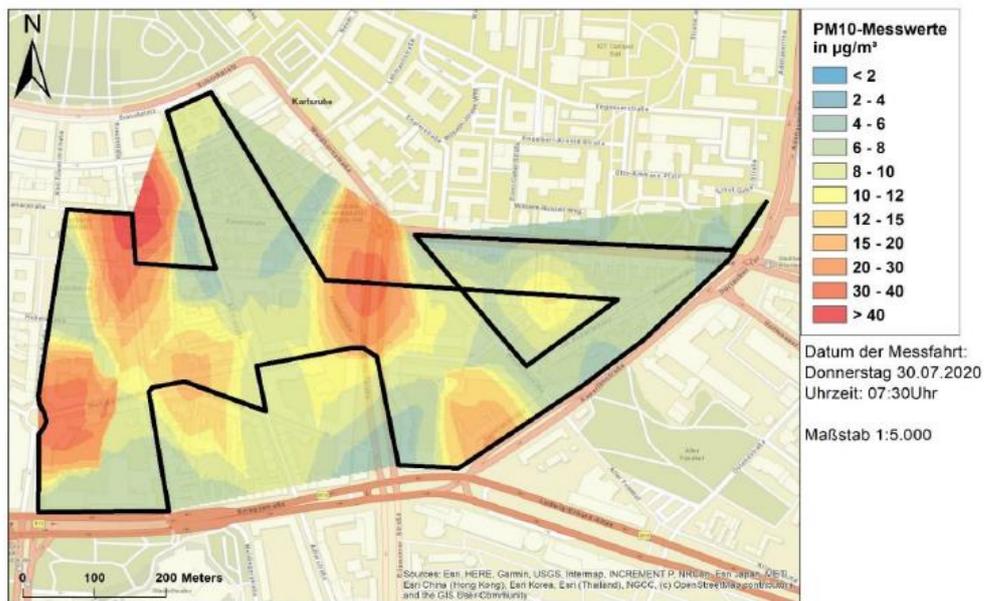


Abbildung 24 Messung des Urban Aerosol Plumes am Vormittag eines Donnerstags. Messung vom 30.07.2020 um 07:30 Uhr. Kartengrundlage (OpenStreetMap contributors 2022)

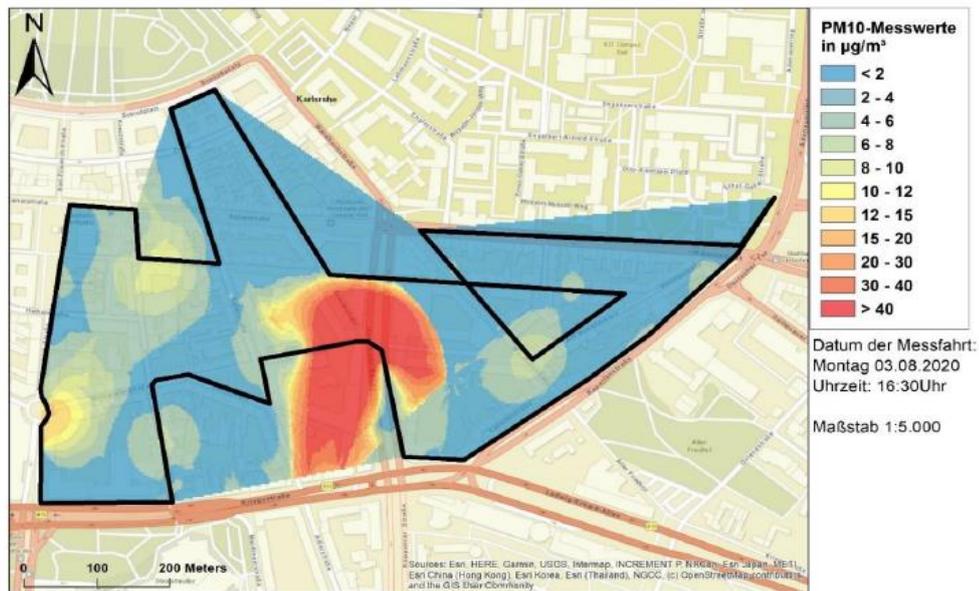


Abbildung 25 Messung des Urban Aerosol Plumes am Nachmittag eines Donnerstags. Messung vom 30.07.2020 um 16:30 Uhr. Kartengrundlage (OpenStreetMap contributors 2022)

Die Aufenthaltsqualität der drei Stadtplätze Lidellplatz, Waldhornplatz und Fasanenplatz wurden detailliert untersucht und analysiert. Hierzu wurden die Funktionen und die Ausstattung der Plätze mit zusätzlichen Elementen erfasst. Zur Erfassung der Funktionen unterschiedlicher Teilflächen der Stadtplätze in der Innenstadt-Ost in Karlsruhe wurden die folgenden Funktionen unterschieden: Transitfläche, Grünfläche, Erholungsfläche, Parkfläche, Wasserfläche, Gastronomie & Gewerbefläche, Grüne Erholungsfläche und Spielfläche. Es wurden zwei Inventory Concepts zur Erfassung entwickelt und angewendet, um die Ausstattung der Stadtplätze anhand eines Punktesystems bewerten zu können. Bei der Verwendung des Inventory Concepts 1 wurden die vier Dimensionen biotische Faktoren, abiotische Faktoren, Infrastruktur und Umgebung bei der detaillierteren Betrachtung unterschieden. In jeder der Dimensionen wurden ausgewählte Kategorien und darin spezifische Elemente betrachtet, die in den Erfassungsbogen aufgenommen wurden. Im Erfassungsbogen des Inventory Concepts 1 sind einzelne Felder mit einem Lineal gekennzeichnet, bei denen eine Messung bei der Ortsbegehung notwendig ist. Andere Felder im Erfassungsbogen waren mit einem Taschenrechner gekennzeichnet, was darauf hinweist, dass weitere Berechnungen notwendig sind, bevor eine finale Punktvergabe stattfinden kann. Als Zielwert ergibt sich eine Gesamtsumme (total score) bei der Bewertung des betrachteten Stadtplatzes. Zur Einordnung des Zielwertes wurden die folgenden vier Kategorien genutzt: unter 75 Punkte sind eine eher schlechte Bewertung, 76–125 Punkte bilden eine mittlere Bewertung, 126–175 Punkte bilden eine gute Bewertung und mehr als 175 Punkte zeigen eine exzellente Bewertung des Stadtplatzes an. In einer Weiterentwicklung des Inventory Concepts 1, wurde das Inventory Concept 2 entwickelt, dass besser auf Veränderungen in der Kategorie „active recreation“ angepasst ist (Jerutka 2020).

Die Bewertung und Gegenüberstellung der Funktionen d.h. Nutzungen der verschiedenen Teilflächen, des Versiegelungsgrades und der minimalen Beschattungsfläche durch Bäume der drei Stadtplätze (Lidellplatz, Waldhornplatz und Fasanenplatz) wurden aus Jerutka (2020)

ausgewählt und als Veröffentlichung zur Bewertung der Aufenthaltsqualität von urbanen Räumen mit dem Betrachtungsschwerpunkt auf die Stadtplätze publiziert (Boehnke und Jerutka 2020).

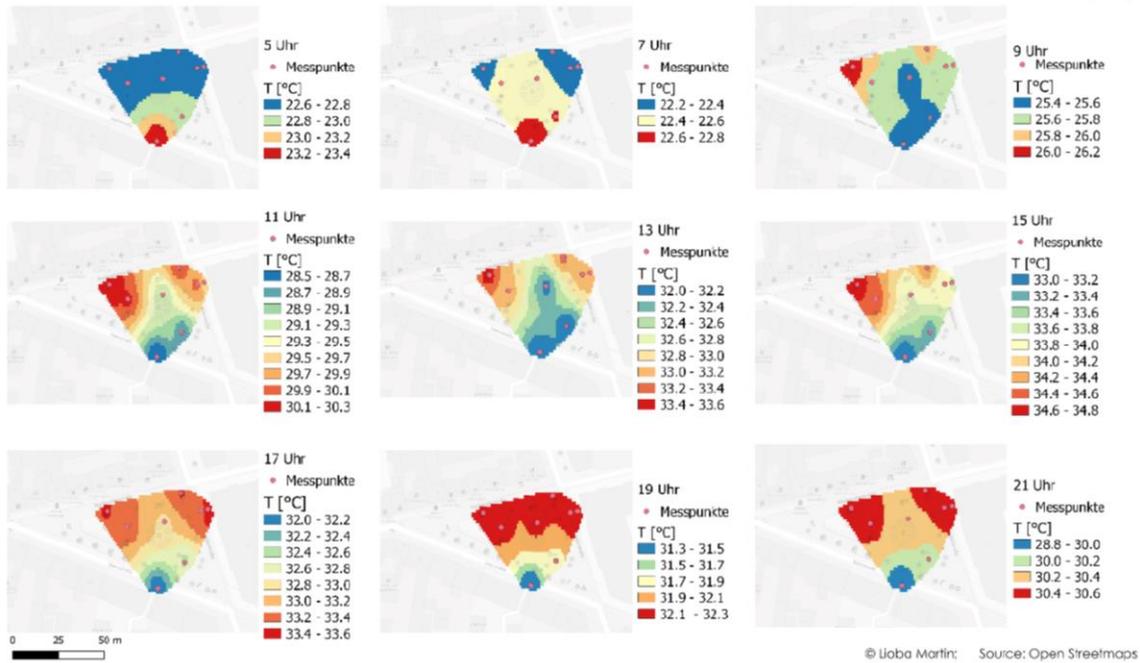


Abbildung 26 Urbane Wärmeinsel Lidellplatz am 21.8.2020. Kartengrundlage (OpenStreetMap contributors 2022)

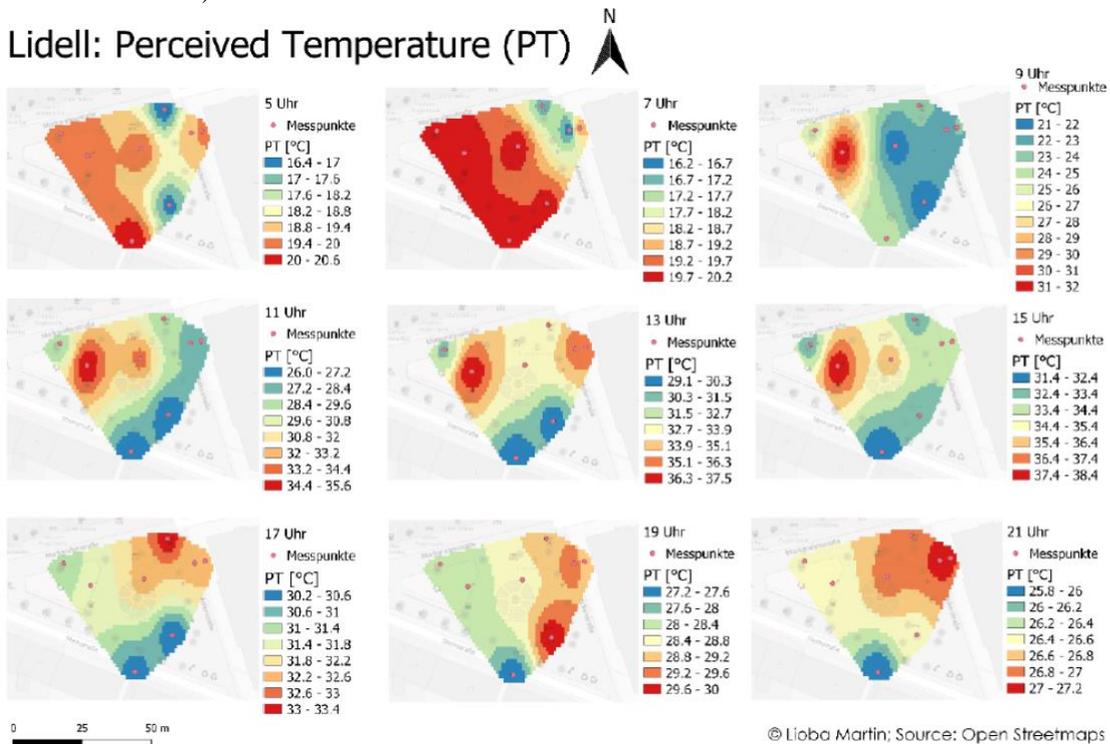


Abbildung 27 Urbane Wärmeinsel/gefühlte Temperatur auf dem Lidellplatz am 21.8.2020. Kartengrundlage (OpenStreetMap contributors 2022)

Die klimatische Belastungssituation des Lidellplatzes wurde zusätzlich analysiert und mithilfe zweier thermischer Indizes, der gefühlten Temperatur (PT) und dem Predicted Mean Vote (PMV), bewertet. Durch mobile Messungen der Lufttemperatur, der Luftfeuchte und der Globalstrahlung vor Ort konnte gezeigt werden, dass sich die unterschiedlichen Bereiche des Lidellplatzes unterschiedlich stark aufheizen. Hierzu wurde der Lidellplatz in sechs unterschiedliche Zonen je nach Sonneneinstrahlung eingeteilt, um Messpunkte an möglichst aussagekräftigen und unterschiedlichen Stellen dieses Platzes zu haben. Im Fokus der Untersuchung stand die gefühlte Temperatur (PT) und der PMV (Predicted Mean Vote), die als thermische Indizes mithilfe der Software RayMan Pro bestimmt wurden. Die Benennung der Software ermöglicht eine punktuelle Simulation des thermischen Komforts. Als meteorologische Eingabeparameter wurden die Lufttemperatur, die relative Feuchte, die Globalstrahlung und die Windgeschwindigkeit eingetragen. Als Referenzpersonen wurden der Klima-Michel und ein Kinder-Klima-Michel im gehenden und im sitzenden Zustand verwendet. Mit der Erweiterung Bioklim konnte in ENVI-met eine Vergleichssimulation durchgeführt werden, um den berechneten PMV der beiden Modelle gegenüberstellen zu können (Bach 2020).

2.3.4 Simulationen mit ENVI-met

In zwei Modellierungen mit der Softwareanwendung ENVI-met wurden Simulationen zur klimatischen Wärmebelastung in der Innenstadt-Ost durchgeführt (Geiger 2019; Mandler 2020). In diesen beiden Arbeiten wurden auch verschiedene Szenarien entwickelt und im Anschluss miteinander verglichen. Bei Mandler war die Innenstadt-Ost in Karlsruhe das Untersuchungsgebiet, wohingegen sich Geiger auf den KIT Campus Süd und die Auswirkungen auf angrenzende Stadtquartiere fokussierte (Geiger 2019; Mandler 2020).

Der Ausgangszustand der Oberflächentemperatur wird als Szenario 1 im Juli um 14 Uhr in Abbildung 28 dargestellt. Weitere simulierte Szenarien sind im nächsten Kapitel zu finden.

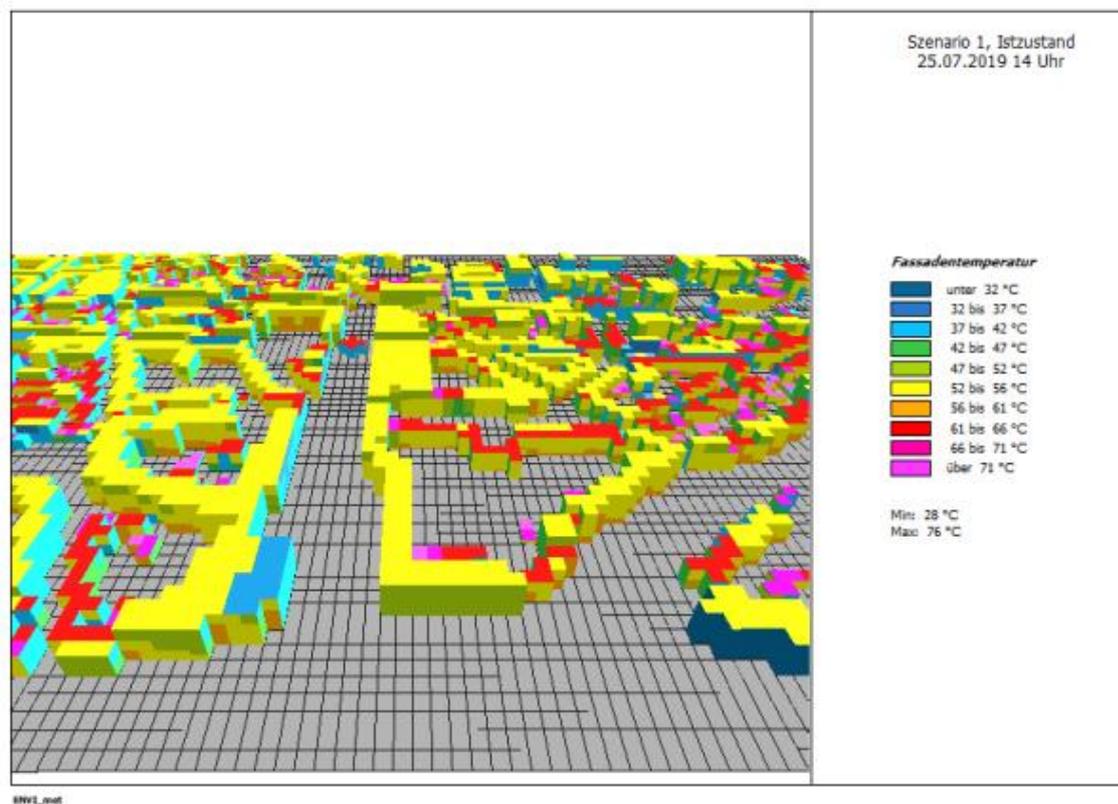


Abbildung 28 Fassadentemperaturen Ist-Zustand Innenstadt-Ost. (entnommen aus Mandler 2020)

2.3.5 Abfallsysteme und Abfallwirtschaft

Für die Bewertung der abfallwirtschaftlichen Einrichtungen ist es notwendig, zum Beispiel aus der Installation der Infrastruktur entstehende Konflikte mit anderen Nutzungen zu identifizieren. Dazu wurde die Entwicklung der Abfallwirtschaft im untersuchten Quartier und in der Stadt Karlsruhe beleuchtet.

Im Projekt sollten auf Quartiersebene die Stoffströme, hier „dynamische Ressourcen“ genannt, betrachtet werden. Im Gegensatz zu den „festen“ oder „statischen Ressourcen“ (beispielsweise Gebäudebestand, Infrastruktur und evtl. Bodenschätze) bezeichnen die „dynamischen Ressourcen“ den Güterumschlag, die Life-Cycle-Aufwendungen für Gebäude und Infrastruktur, aber auch Ressourcen, die extern zugeführt werden, wie z. B. Niederschlag und Sonneneinstrahlung. Der Güterumschlag führt unweigerlich zu Resten und Reststoffen (organisch und anorganisch), die das Quartier verlassen werden und verlassen müssen (u. a. aus hygienischen Gründen). Hier setzt die Abfallwirtschaft an, die ein benutzerorientiertes, aber auch an den gesetzlichen Randbedingungen orientiertes Sammel- und Abholungssystem anbietet. Die Abfallwirtschaft wird in Deutschland i. d. R. kommunal organisiert, wobei sich die Kommunen beauftragter Dritter bedienen können.

Bis in die 60er Jahre:

Abbildung 29 Abfallsammlung bis in die 60er Jahre in Karlsruhe. Links, die Größe der Abfallbehälter ist gut sichtbar. Rechts, die Abfallbehälter wurden von der Wohnung direkt an den Straßenrand bereitgestellt.

Der Müllbehälter stand in jeder Wohnung und wurde am Abholtag am Straßenrand bereitgestellt. Es waren keine Behälterstandplätze notwendig. Abfalltrennung erfolgte über separate Sammlung von sog. Lumpen- und Alteisensammlern. Die Arbeit war körperlich belastend, die Behälter nicht genormt, und mit 30 bis 40 Liter Inhalt, hauptsächlich Küchenabfälle und Aschen, waren die Behälter schwer. Konflikte mit anderen Nutzungen waren nur am Abholtag sichtbar. Eindrücke dieser Ära sind in Abbildung 29 festgehalten.

In den 60/70er Jahren:

Abbildung 30 Abfallsammlung in den 60er/70er Jahren in Karlsruhe. Links, ab den 60er Jahren wurden größere und einheitliche Abfallbehälter eingesetzt. Rechts, die Abfallbehälter wurden außerhalb der Wohnung untergebracht.

Einführung eines genormten Abfallbehälters (i. d. R. 110-Liter Tonne aus Metall). Hierfür wurden Behälterstandplätze notwendig, da diese Behälter nicht mehr in den Wohnungen unterzubringen waren. Die Anzahl der Behälter war noch relativ gering. Aufgestellt wurden sie meist im Hausflur. Abbildung 30 zeigt Abholung und Aufstellort der größeren und einheitlichen Abfallbehälter.

In den 70/80er Jahren:

Mit der steigenden Abfallmenge wurden mehr Abfallbehälter notwendig. Diese wurden in sog. Boxen, meist aus Waschbeton-Fertigteilen, auf dem Grundstück untergebracht. Mit Erlass der europäischen Lasthebe-Verordnung musste zum Arbeitsschutz das „Fahrbare System“ eingeführt werden. Parallel wurde Mitte der 80er-Jahre die getrennte Abfallsammlung Standard. Es wurden mehr und größere Behälter notwendig – damit stieg auch der Platzbedarf. Die pneumatische Müllentsorgung (PME) war eine Möglichkeit, die Abfallwirtschaft aus dem Stadtbild verschwinden zu lassen.



Abbildung 31 Station der pneumatischen Müllentsorgung im untersuchten Quartier.

Heute:

Heute werden in urbanen Gebieten Großbehälter (1.100 Liter) für die verschiedenen Abfallfraktionen eingesetzt. Die Zukunft der Abfallsammlung wird voraussichtlich Behälterstandplätze bringen, die neben einer wirtschaftlichen Entsorgung auch die klimarelevanten Kriterien berücksichtigen werden, z. B. Begrünung, Einhausung mit Anlagen zur Gewinnung regenerativer Energien, Speicherung von Regenwasser. Abbildung 32 zeigt zwei derzeit vorfindbare Zustände. Die linke Darstellung zeigt den Platzbedarf für die Abfallentsorgung in einem Bestandsquartier ohne Einhausung. Rechts ist eine architektonische und städtebauliche Integration der Abfallbehälterunterbringung abgebildet.



Abbildung 32 Abfallsammlung heute in Karlsruhe.

2.3.5.1 Rahmenbedingungen der Abfallwirtschaft im Quartier und in Karlsruhe

Die Rahmenbedingungen und die organisatorische Ebene der Abfallwirtschaft können in einer morphologischen Analyse wie folgt allgemein ausgeprägt sein. Für das Untersuchungsgebiet in Karlsruhe sind die entsprechenden Ausprägungen im Folgenden ebenfalls angegeben:

Abfallgebühren – Behältermaßstab oder Abholmaßstab. In Karlsruhe wird der Behältermaßstab genutzt.

Aufteilung der Abfallarten auf Sammeleinrichtungen – z. B. grundstücksbezogene Erfassung – Holsystem – des Restmülls, der Bioabfälle, der Verpackungsabfälle und von Papier/Pappe/Karton und grundstücksferne Erfassung – Bringsystem – von Altglas, Alttextilien, Garten- und Grünabfälle, etc. In Karlsruhe wird das 4-Behältersystem im Holsystem für Restmüll, Bioabfall, Wertstoffe und Papier/Pappe/Karton praktiziert (Abbildung 33). Im Bringsystem und mittels Depotcontainer sind farbsortiertes Altglas sowie Altkleider organisiert. Des Weiteren existieren Wertstoffstationen für alle Wert- und Schadstoffe und dezentrale Grünabfallcontainer im Bringsystem.

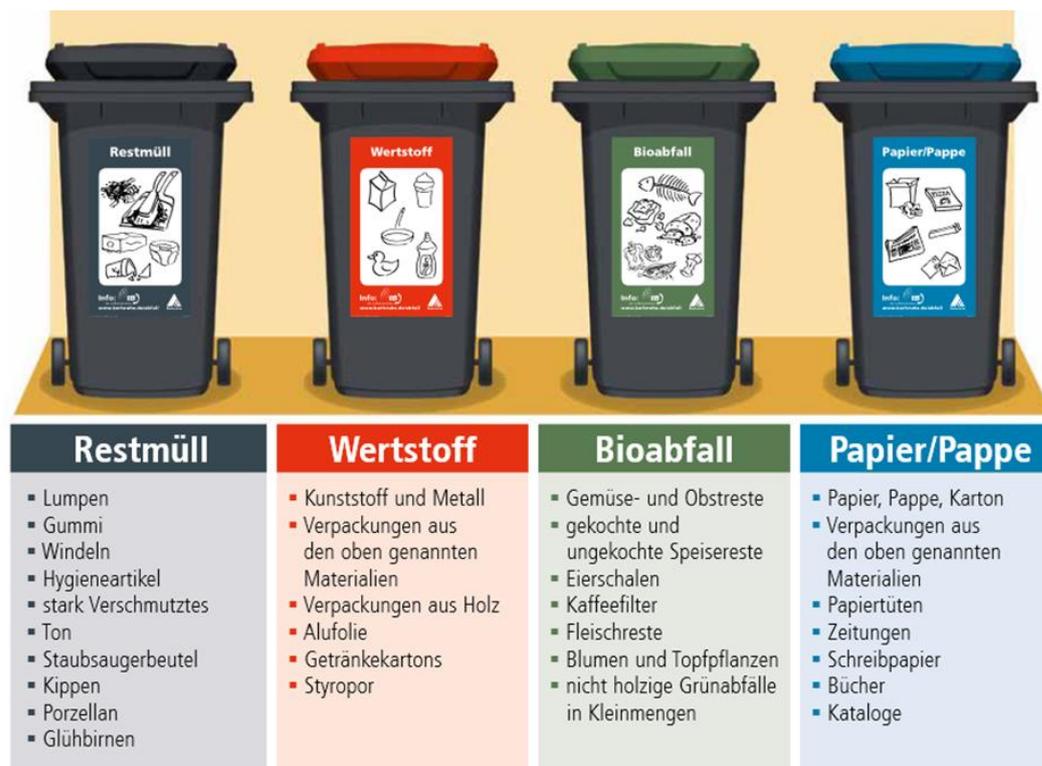


Abbildung 33 4-Behälter im Holsystem in Karlsruhe.

Festlegung der separat erfassten Abfallsorten – sortenreine Abfuhr mit anschließender Qualitäts-Sortierung oder gemischte Abfuhr mit anschließender Stoff-/Qualitäts-Sortierung), standardmäßig Restabfälle in separater Abfuhr. In Karlsruhe werden Bioabfall und Papier/Pappe/Karton in sortenreiner Abfuhr und Wertstoffe in gemischter Abfuhr abgeholt. Festlegung des Abholservice – Voll-, Teil- oder Nullservice:

- Vollservice: Abfallbehälter werden vom kommunalen Träger am Standplatz abgeholt, geleert und wieder zurückgebracht (in Karlsruhe in den verdichteten Stadtgebieten).
- Teilservice: Bereitstellung oder Rücktransport übernimmt der Nutzende.
- Nullservice: Sowohl Bereitstellung, wie auch Rückholung leistet der Nutzende (in Karlsruhe in den Stadtteilen mit aufgelockerter Bebauung, z. B. Neureut).

Festlegung des Abholturnus – feste Abholzeiten (festgelegt im Voraus im Abfallkalender); festgelegter Abholturnus je Abfallsorte (wöchentlich, 14-täglich, anderer Turnus); Abholung auf Anforderung; Festlegung von Mindestleerungsanzahl, etc.

In Karlsruhe werden aktuell der Restmüll und die Wertstoffe 14-täglich, der Bioabfall wöchentlich sowie Papier/Pappe/Karton 4-wöchentlich abgeholt.

Festlegung der Behältergrößen – Einheitssystem (einheitliche Behälter für alle Abfallsorten) oder differenziertes System (Behälterart und -größe spezifisch je Abfallsorte). In Karlsruhe existiert ein differenziertes System, das jedoch konform zu den arbeitsmedizinischen und arbeitsrechtlichen Vorgaben ist, d. h. ein sog. „vollfahrbares System“.

Festlegung in der Satzung, was u. a. „Fehlbefüllungen“ sind und Sanktionsmaßnahmen – (z. B. zusätzliche Gebühren für zusätzlichen Aufwand), dazu politische Entscheidungen, ob Fehlbefüllungen kontrolliert werden sollen (Abfall-Sheriffs). In Karlsruhe sind Fehlbefüllungen (z. B. organische Abfälle in der Restmülltonne) und Sanktionsmaßnahmen (Kosten von Maßnahmen, wie separate Abholung) satzungsmäßig definiert und es wurde die Vorgabe der extensiven Kontrolle beschlossen. Die folgenden Festlegungen/Maßnahmen sind begleitend zur satzungsmäßigen Abfallwirtschaft sinnvoll, haben jedoch nur unterstützenden Charakter:

- Festlegung von Maßnahmen zur Müllvermeidung: Hier können lokale Initiativen und Geschäftsmodelle zur Reduzierung/Vermeidung von Verpackungen sowie zur Reduzierung des Abfallaufkommens unterstützt werden. Beispiele sind „UNVERPACKT“-Geschäfte sowie Spenden von Lebensmitteln an Einrichtungen wie die „Tafel“ und Spenden von Einrichtungsgegenständen an die Arbeitsförderbetriebe sowie das Secondhandkaufhaus „KASHKA“ und andere soziale Kaufhäuser des Diakonischen Werks. Auch der „Karlsruher Becher“ soll unterstützen, To-Go-Becher einzusparen.
- Organisatorische Maßnahmen zur Verlängerung der Lebens-/Nutzungsdauer: Eine Möglichkeit zur Reduzierung von Energie- und Stoffströmen sowie der unerwünschten Wirkungen auf die lokale Umwelt ist die Verlängerung der Lebens- und Nutzungsdauer von Gütern. Mögliche Maßnahmen reichen von Tauschbörsen über Einrichtungen für kostenfreie Überlassung bis hin zu Reparaturstationen. Ein Beispiel dazu sind die Arbeitsförderbetriebe Karlsruhe (afka), die neben einer Fahrradwerkstätte auch ein Möbelhaus für gebrauchte Möbel betreiben.
- Organisatorische Maßnahmen für die Mehrfachnutzung (Sharing-Modelle): Bekannte Modelle z. B. zum Car-Sharing (für Karlsruhe „Stadtmobil“, „Carl und Carla“ sowie „Flinkster“) lassen sich auf Quartiersebene auf weitere Anwendungsbereiche übertragen. Beispiele reichen von Werkzeugen und Lastenfahrrädern bis hin zu Gästewohnungen in Mehrfamilienhäusern mit optimierten Wohnungsgrundrissen.

2.3.5.2 Flächenbedarfe für die abfallwirtschaftliche Infrastruktur

Anhand des umfangreichen Datenbestands der kommunalen Träger der Entsorgung konnte der Ist-Zustand der abfallwirtschaftlichen Infrastruktur aufbereitet werden. Im Folgenden werden der Ist-Zustand allgemein und das Untersuchungsgebiet betreffend dargestellt und die identifizierten Handlungsbedarfe vorgestellt. Diese aggregierten Werte ermöglichen die Identifizierung von unmittelbarem Handlungsbedarf aufgrund von hohen oder ansteigenden Fehlwurfquoten in Sammelbehältern, geringen spezifischen Erfassungsmengen, geringen Trennquoten, etc. Entsprechende Vergleichszahlen lassen sich entweder durch Vergleich mit allgemeinen zugänglichen statistischen Werten der statistischen Ämter oder des Umweltbundesamts gewinnen oder durch kommunale Vergleichswerte (strukturtypische Daten aus statistischen Ämtern oder eigens erhobene Daten aus vergleichbar strukturierten Sammelgebieten).

Tabelle 3 stellt das spezifische Abfallaufkommen pro Einwohner/-in (EW) in Karlsruhe und im PME-Gebiet dar. Zu sehen ist ein erhöhtes Abfallaufkommen pro EW aus der PME-Anlage. Das Aufkommen an Restmüll in Gebieten mit erschwerter Abfalltrennung (z. B. Müllschlucker oder pneumatische Müllentsorgung) ist ein Hinweis für einen Handlungsbedarf. Die Werte zeigen, dass z. B. das Restmüllaufkommen im Karlsruher PME-Gebiet nahezu doppelt so hoch ist (198,41 kg/EW*a), wie im restlichen Stadtgebiet (105,12 kg/EW*a), welches mit den

Standardbehältern entsorgt wird. Dieses führt auch zu wesentlich höheren spezifischen Abholvolumina je EW. Diese Erkenntnis, dass hohe verfügbare Ressourcen zu höherem Bedarf bzw. Verbräuchen führt, ist auch aus anderen Bereichen bekannt (Verkehr, Konsum).

Tabelle 3 Spezifisches Abfallaufkommen in Karlsruhe und im PME Untersuchungsgebiet (gelb).

Lf.-Nr.	Bezeichnung	Rhythmus	spez. Werte [305.000 EW ohne Gewerbe]			
			Beh./EW	l/EW x Abh.	m ³ /EW x a	kg/EW x a
1	Restmüll	14-tägig	0,16	39,81	1,03	105,12
2	PME (2.520 EW)	14-tägig	0,60	72,19	1,88	198,41
3	Wertstoffe	14-tägig	0,18	50,25	1,31	68,34
4	Bioabfall	07-tägig	0,10	9,94	0,52	46,81
5	Papier/Pappe	28-tägig	0,10	41,67	0,54	29,84
6	Gesamt		0,54	142,27	3,42	251,75

Diese Beobachtungen unterstützt auch das Vorhaben des Rückbaus der PME Anlage. Damit werden Abfalleinrichtungen, die die gesetzlichen Vorgaben (optimale Abfalltrennung, Anreize zur Abfallverminderung) nicht erfüllen können, angepasst oder auch neu geordnet. Daher hat z. B. der Karlsruher Gemeinderat auf Vorschlag der Verwaltung beschlossen, die pneumatische Abfallsammlung zu schließen und die behältergebundene Abfallsammlung einzuführen. Ebenfalls kann es auf Basis des Verpackungsgesetzes notwendig werden, gemischte Wertstofftonnen in reine Sammeltonnen für Verpackungsabfälle umzuwandeln („Gelbe Tonne“ oder „Gelber Sack“) und für die „stoffgleichen Nichtverpackungen“ (Metallgeschirr, Kunststoffe, etc.) separate Entsorgungsmöglichkeiten anzubieten. Diese strategischen Maßnahmen bedürfen genügend Vorlauf und einen transparenten Entscheidungsprozess, da die gesamte Bürgerschaft mitgenommen werden muss.

Speziell im verdichteten Bereich von Siedlungen sind die für die Abfallwirtschaft notwendigen kommunalen und privaten Flächen im Konflikt mit alternativen Nutzungen. Für die behältergebundene Abfallwirtschaft konnten die folgenden Konflikte identifiziert werden:

- Zusätzliche Versiegelung für Abfallbehälterstandplätze (Konflikt zu Biodiversität, Stadtbild, Stadtklima, etc.)
- Zusätzliche Versiegelung für Bereitstellungswege (Konflikt zu Biodiversität, Stadtbild, Stadtklima, etc.)
- Einschränkung von weiteren Nutzungen (Konflikt zu Spielplatz, Erholung, Außenbewirtung, Stadtbild, Begrünung und Biodiversität, Maßnahmen gegen Wärmeinseln, Mikroklima, etc.)

Keine Einschränkung bzw. Konflikte bestehen hingegen für Dach- und Fassadenflächen (Konflikt zu Begrünung, Photovoltaik, Stadtbild, etc.). Die Größe der Konflikte lässt sich über den Flächenbedarf für die Abfallwirtschaft abschätzen. In Tabelle 4 sind die in Karlsruhe vorhandenen abfallwirtschaftlichen Einrichtungen dargestellt. Erkennbar ist, dass ca. die Hälfte der

spezifischen Fläche für die Bereitstellung der Abfallbehälter benötigt wird (ca. 1,5 m²/EW, siehe Zeile 1). Hier ist zu unterscheiden, ob die Abfallbehälter zusätzliche Transportwege benötigen oder vorhandene Transportwege mitbenutzt werden können.

Tabelle 4 Inventar und Flächenbedarfe der abfallwirtschaftlichen Infrastruktur in Karlsruhe.

Abfallwirtschaftliche Infrastruktur in Karlsruhe (Stand 2021)						
Lf.-Nr.	Einrichtung	Anzahl	spez. Fläche	notwendige Verkehrsfläche	Gesamtfläche	Fläche je Einwohner
		[Stück]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]
1	Abfallbehälter 80 - 1.100 Liter	165.200	1,0	1,5	413.000	1,354
2	Altglascontainer	320	20,0	0,0	6.400	0,021
3	Altkleidercontainer	210	10,0	0,0	2.100	0,007
4	Batteriesammelbehälter	260	0,1	0,1	52	0,000
5	Betreute Wertstoff-Stationen	9	1.000,0	500,0	13.500	0,044
6	Umladestation	1	10.000,0	5.000,0	15.000	0,049
7	Kompostplatz	2	15.000,0	5.000,0	40.000	0,131
8	Grüngut-Container	30	25,0	100,0	3.750	0,012
9	Fuhrpark, Garagen, Sozialgebä	1	30.000,0	5.000,0	35.000	0,115
10	Deponien	2	330.000,0	10.000,0	340.000	1,115
11	Insgesamt				868.802	2,849

Die Qualität der abfallwirtschaftlichen Infrastruktur kann anhand von Indikatoren und Benchmarks nur unzureichend bewertet werden. So sind z. B. die Sozialstruktur eines Quartiers, die Art und Dichte der Bebauung, was sich teilweise in der Sozialstruktur widerspiegelt, und das Vorhandensein von Handel und Gewerbe maßgebliche Einflussfaktoren für die Erfolge von Maßnahmen. Zahlreiche Modellversuche der Stadt Karlsruhe u. a. zur Verbesserung der Trennqualität der häuslichen Abfälle in die bereitgestellten Abfallbehälter bestätigen die Erkenntnis. Um die Varianz von spezifischen Beurteilungsdaten abzuschätzen, wurden die folgenden Gebietscharakteristika untersucht:

- Abfallwirtschaft in Karlsruhe gesamt
- Abfallwirtschaft im untersuchten Quartier (verdichteter Bereich der Innenstadt-Ost mit Handel und Gewerbe)
- Abfallwirtschaft in einem abgeschlossenen Vorort (Stupferich) mit geringer Bevölkerungsdichte und hohem Anteil von Ein- und Zweifamilienhäusern

Dabei ergaben sich die folgenden spezifischen Daten:

Tabelle 5 Basisdaten der Datenanalyse der Abfallwirtschaft in Karlsruhe.

Bezeichnung	Stupferich	Karlsruhe	Innenstadt-Ost
Einwohner	2.975	313.092	6.542
EW/km ²	457,46	1.805,40	4.088,75
F [ha]	650,33	17.342,00	160,00

Tabelle 6 Datenanalyse der Abfallbehälter in Karlsruhe, Stupferich und Innenstadt-Ost.

Behältervolumen [m²]	Stupferich	Karlsruhe	Innenstadt-Ost
Restmüll	110,66	12.140,60	357,60
Wertstoffe	159,49	15.327,10	344,40
Papier/Pappe/Karton	126,90	12.708,90	209,30
Bioabfall	42,70	3.033,20	30,60
gesamt	439,75	43.209,80	941,90
spez. Werte [L/EW]			
Restmüll	37,20	38,78	54,66
Wertstoffe	53,61	48,95	52,64
Papier/Pappe/Karton	42,66	40,59	31,99
Bioabfall	14,35	9,69	4,68
gesamt	147,82	138,01	143,98

Auffallend sind die hohen Volumina für Restmüll in der Innenstadt-Ost und die geringen Volumina für die Bioabfälle. Die Daten für Stupferich weichen insgesamt nur im Bereich von 10 % von den städtischen Werten ab, außer bei Bioabfällen, von denen in Stupferich 50 % höhere Volumen bereitgestellt werden. Als Indikator für die Flächenkonkurrenz wird u. a. die Anzahl der Behälter je Einwohner herangezogen. Die stellt sich wie folgt dar (Tabelle 7)

Tabelle 7 Abfallfraktionen und spezifische Abfallbehälterbedarfe für Karlsruhe, Stupferich und die Innenstadt-Ost.

spez. Werte [Beh./EW]	Stupferich	Karlsruhe	Innenstadt-Ost
Restmüll	0,29	0,16	0,30
Wertstoffe	0,31	0,17	0,11
Papier/Pappe/Karton	0,18	0,10	0,07
Bioabfall	0,16	0,10	0,04
gesamt	0,94	0,53	0,51

Hier ist die hohe Quote für Wertstoffe und Papier/Pappe/Karton in Stupferich auffallend. Auch die Bioabfälle liegen um den Faktor 4 höher als in der Innenstadt-Ost. Daraus ist zum einen zu schließen, dass in dem verdichteten Bereich vermehrt größere Behälter angefordert werden, was den spezifischen Platzbedarf verringert. Die tatsächliche Konzentration der Abfallbehälter zeigt sich in Darstellung der Behälteranzahl je Flächeneinheit (Tabelle 8).

Tabelle 8 Behälteranzahl je Hektar für die Abfallfraktionen und für Karlsruhe, Stupferich und die Innenstadt-Ost.

Behälter [Stück/ha]	Stupferich	Karlsruhe	Innenstadt-Ost
Restmüll	1,35	2,85	12,26
Wertstoffe	1,41	3,09	4,35
Papier/Pappe/Karton	0,84	1,84	2,75
Bioabfall	0,72	1,74	1,46
gesamt	4,31	9,53	20,83

Trotz der vermehrt größeren Behälter im verdichteten Bereich ergibt sich aufgrund der hohen Bevölkerungsdichte eine um den Faktor 10 höhere Abfallbehälterdichte für Restmüll und um den Faktor 5 höhere Abfallbehälterdichte über das gesamte Behältersystem. Das ist umso mehr bemerkenswert, da im verdichteten Bereich die Flächenkonkurrenz zu alternativen Nutzungen intensiver ist.

3 Potenzialanalysen

Basierend auf den in den Kapiteln 1.1, 2.1, 2.2 und 2.3 beschriebenen Untersuchungsgebieten, Ist-Zuständen und definierten Szenarien, werden im Folgenden die berechneten Potenziale von Maßnahmen und Maßnahmenbündeln sowie Analysen möglicher zukünftiger Veränderungen im Untersuchungsgebiet dargestellt.

3.1 Potenziale und Maßnahmen

In den folgenden Unterkapiteln werden die technischen Potenziale gezeigt, die sich aus der Berücksichtigung maßnahmenspezifischer Randbedingungen und technischer Anforderungen ergeben. Dazu hinaus wurden alle Ergebnisse auf Teilflächenebene berechnet, um Umsetzungsskalen zu berücksichtigen. Anschließend wurden zur Abschätzung der Gesamtwirkungen die Ergebnisse aggregiert. Diese elementweise Bewertung folgte der Auswahllogik, den technischen Anforderungen für jede Maßnahme und dem Bewertungsansatz in (Naber et al. 2022). In der Analyse haben bauliche und denkmalpflegerische Zwänge die realisierbaren Potenziale erheblich beeinträchtigt und erfordern eine Einzelfallprüfung. Daher wurden in den dargestellten Ergebnissen die betroffenen Flächenelemente aus den technischen Potenzialen herausgenommen. Diese Flächenelemente können jedoch bei Bedarf „aktiviert“ werden. Die dargestellten Potenziale bilden also nicht nur die technischen Potenziale, sondern auch die kulturellen (gesellschaftlich akzeptierten) Potenziale ab.

Tabelle 9 Maßnahmenpotenziale im Untersuchungsgebiet und Bewertung der Auswirkungen. Die Werte stellen Aggregate für jede Maßnahme und die Wirkung/Veränderung (Δ) gegenüber dem Ausgangszustand für die Potenzialfläche dar. Die Spalte „Initial“ stellt den Ausgangszustand in absoluten Werten dar. pp: Prozentpunkte

Kategorie	<i>sdg</i>	<i>uprg</i>	<i>erg</i>	<i>irg</i>	<i>rmpv</i>	<i>porg</i>	<i>gbfg</i>	<i>wbfg</i>	<i>fmpv</i>	Initial ⁱ
Effektive Fläche ⁱⁱ [ha]	3,35	0,8	4	2,2	1,2 ⁱⁱⁱ	2 ^{iv}	8,5	8,6	1,4	–
Selektierte Fläche ^v [ha]	5,4	1,6	6,68	6,2	5,1	3,4	16,6	16,7	6,2	49,51 ^{vi}
Albedo [-]	0,03	0,01	-0,03	-0,03	-0,01	-0,03	-0,02	0	0	0,211
Abfluss peak [pp]	-40	-39	-24	-46	0	-29	0	0	0	84
Abfluss mw [pp]	-37	-37	-30	-47	1	-35	0	0	0	69,6
Versiegelung [pp]	-35	0	0	0	0	0	0	0	0	89
CAPEX [m€]	5,6	0,55	2,2	2,4	3,5	3,2	2,7	27	6,8	–
OPEX $\left[\frac{\text{m€}}{\text{a}}\right]$	0,137	0,008	0,05	0,05	0,08	0,07	1,2	3,3	0,14	–
Einsparung $\left[\frac{\text{k€}}{\text{a}}\right]$	6,6	2	9	11	242	148	0	0	194	–
Erlöse $\left[\frac{\text{k€}}{\text{a}}\right]$	0	0	0	0	107	63	0	0	85	–
Lokale Förderung [m€]	1,12	0,064	0,73	0,52	0	0,37	0,42	0,51	0	–
Grünschnitt $\left[\frac{\text{t}}{\text{a}}\right]$	37	10,7	4	9,8	0	2	25,5	12,9	0	44,5
Evapotrans. $\left[\times 10^6 \frac{\text{l}}{\text{a}}\right]$	7,4	3,2	10,1	8,2	0	5,2	42,5	25,7	0	38,3
Wert der Evapotrans. $\left[\frac{\text{m€}}{\text{a}}\right]$	1,8	0,77	2,5	2	0	1,3	10	6,2	0	9,3
$CO_{2,eq}^{fix}$ [t]	40,5	19	32	53,4	0	16,5	102	103	0	6,8
$CO_{2,eq}^{mit}$ $\left[\frac{\text{t}}{\text{a}}\right]$	3,86	0	0	0	986	585	0	0	790	–
Biodiversität [k n]	220	90	400	250	0	200	1.100	860	0	661
NO_2^{mit} $\left[\frac{\text{kg}}{\text{a}}\right]$	52,01	22,2	93	59	0	48	304	200	0	88,3
SO_2^{mit} $\left[\frac{\text{kg}}{\text{a}}\right]$	14,65	6,23	26	18	0,23	13,5	86	56	0,18	24
O_3^{mit} $\left[\frac{\text{kg}}{\text{a}}\right]$	102,3	43,6	180	114	0	92	610	385	0	173,8
PM_{10} $\left[\frac{\text{kg}}{\text{a}}\right]$	38,26	10,9	41	27	0	21	175	87	0	90,8
<i>Ecoscore</i> [pkt.]	85.517	39.690	120.263	88.936	0	61.724	253.069	255.234	0	620.513

i Alle Werte sind absolut und fassen die Boden-, Fassaden- und Dachflächen zusammen. Es ist zu beachten, dass der Status der Fassadenbegrünung unbekannt ist. ii Potentielle Fläche iii Flächenbedarf für PV-Module iv Flächenbedarf für die Begrünung mit PV-Paneeelen. Somit ist die Begrünungsfläche \neq PV-Modulfläche. v Fläche nach Erfüllung der Bedingungen vi Vereinigung selektierbarer Flächen

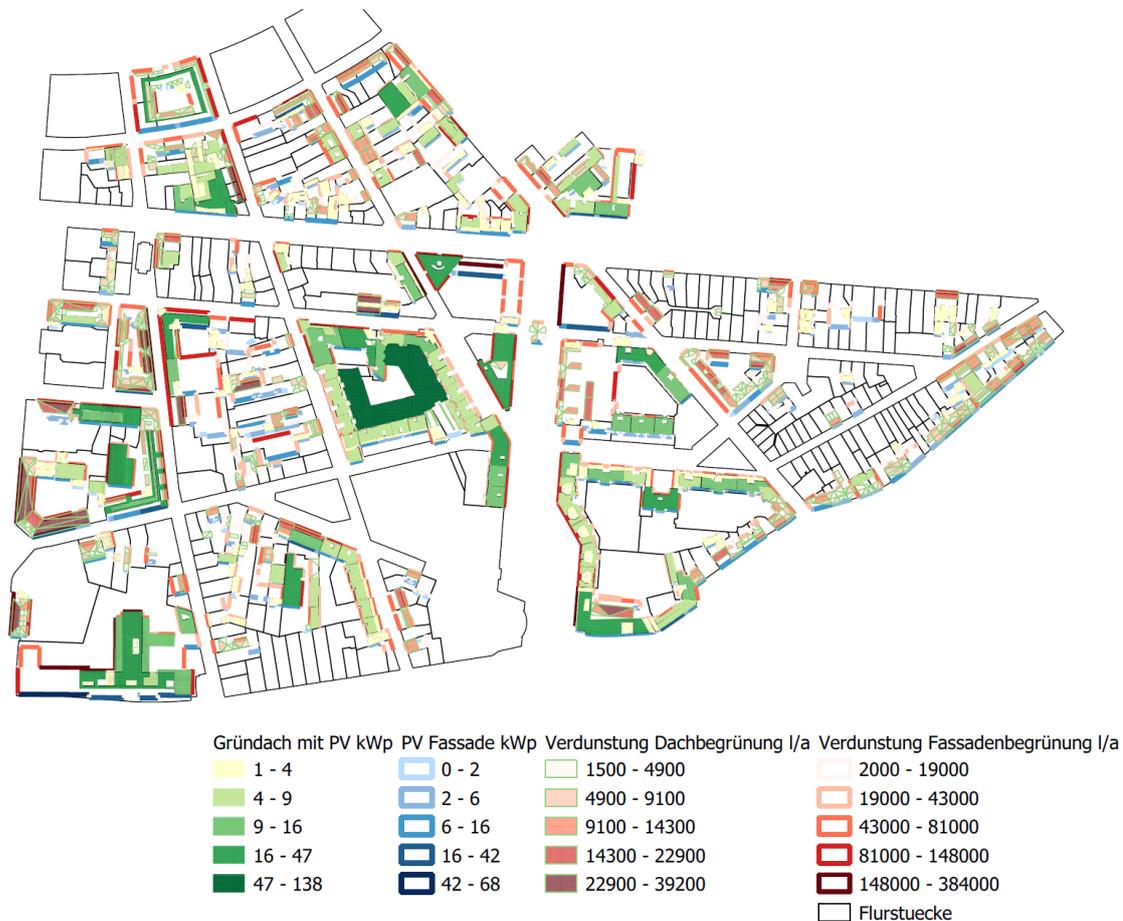


Abbildung 34 Szenario mit größter möglicher Ausschöpfung der Maßnahmenpotenziale. Kartengrundlagen (Liegenschaftsamt Karlsruhe und Tiefbauamt Karlsruhe 2019)

3.1.1 Potenziale der Bodenflächen

Undurchlässige Flächen mit privater Eigentumsstruktur, die nicht durch einen Ober- oder Unterbau versiegelt sind, wurden in den durchgeführten Potenzialanalysen mit der Maßnahme *sdg* behandelt. Ebenerdige Flächen, die durch einen Unterbau versiegelt sind, wurden mit der Maßnahme *upgr* behandelt. Die Maßnahme *sdg* umfasst den Aufbruch von versiegelten Flächen und die Herstellung verschiedener durchlässigerer Flächentypen oder von Flächen die die Wirkung von Pflasterungen abmildern, ohne die Funktionalitäten zu beeinträchtigen – etwa bege- und befahrbare Flächen für Abfallbehälter oder Parkplätze. Wenn beispielsweise der Bedarf an Parkplätzen nach vorgegebenem Stellplatzschlüssel pro Wohneinheit die verfügbare Fläche übersteigt, wird die einzelne Parzelle so gestaltet, dass die verfügbare Fläche maximal dem Bedarf an Parkplätzen entspricht. Insgesamt sind 0,78 ha durchlässiges Betonpflaster, 0,85 ha Rasenpflaster und 1,9 ha neue urbane Gärten und Grünflächen mit einer Konfiguration von 1:1:1 aus kurzem Gras, Stauden und Laubbäumen im Untersuchungsgebiet möglich. Abbildung 35 veranschaulicht den potenziellen Endzustand der Entsiegelung von undurchlässigen Bodenflächen (*sdg*). Für die Maßnahme *upgr* kann eine zusätzliche intensive Unterbaudachbegrünung von 0,8 ha erreicht werden.

Die Auswirkungen der Maßnahmen *sdg* und *upgr* sind in Tabelle 9 zusammengefasst. Bei den ökonomischen Indikatoren sind die Kosten für den Unterhalt/Betrieb (OPEX) der neuen Grün-/Durchlässigkeitsfläche deutlich höher als die kalkulierte reduzierte Niederschlagswassergebühr. Somit haben die reduzierten Gebühren nur einen geringen Anreizeffekt. Die jährlichen Kosten (OPEX) werden jedoch kompensiert, wenn der jährliche und flächenspezifische Wert der Evapotranspiration (53,3 €/m² a) oder andere Ökodienstleistungen wirtschaftlich bewertet und berücksichtigt werden.



Abbildung 35 Überblick über den möglichen Zustand der Entwicklung der Potenziale für die Maßnahme *sdg* im Untersuchungsgebiet

Das Förderprogramm im Fallstudiengebiet konzentriert sich auf die Entsiegelung von undurchlässigen Flächen. Daher sind die möglichen Zuschüsse der Kommune für die Maßnahme *sdg* am höchsten. Details dazu finden sich in Kapitel 3.1.6.

3.1.2 Potenziale der Fassadenflächen

Für die nachhaltigere Gestaltung von Fassadenflächen stehen drei Alternativen (*gbfg*, *wbfg* und *fmpv*) zur Auswahl. Die beiden Begrünungsmaßnahmen (*gbfg* und *wbfg*) können sich ergänzen, wenn die bodengebundene Begrünung auf Fassadenelemente mit Bodenanschluss (*gbfg*) und die wandgebundene Begrünung auf solche ohne Bodenanschluss (*wbfg*) angewendet wird. Daher sind die Flächenpotenziale von *wbfg* und *gbfg* U *wbfg* identisch. Die Alternativen *gbfg* und *wbfg* haben keine Auswirkungen auf das abfließende Regenwasser, da sie vertikal verlaufen und daher kaum direkten Niederschlag aufnehmen. Außerdem hängt die Rückhaltewirkung des Regenwassers von der Art der Bewässerung ab, die in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt wurde (z. B. passive Bewässerung über die Dachrinne). Durch die große verfügbare Fläche an den Fassaden im Untersuchungsgebiet könnten große Potenziale aktiviert werden. Insgesamt hat *wbfg* die größte Wirkfläche der betrachteten Maßnahmen, dicht gefolgt von *gbfg*. Jede dieser Alternativen hat

mehr als die doppelte Wirkfläche der Maßnahmen auf Dächern oder am Boden. Dies ist insbesondere für die Evapotranspiration von Bedeutung. Die Energiegewinnung durch fassadenmontierte PV (*fmpv*) wurde als Alternative zur Begrünung von Fassadenelementen bewertet. Die mittleren Stromgestehungskosten (LCOE) von *fmpv* liegen bei 0,26 €/kWh.

Bei der Bewertung von *gbfg* wurde davon ausgegangen, dass die Kletterpflanzen die ausgewählte Fläche vollständig bedecken. Um dies zu erreichen, liegt die Wachstumszeit jedoch zwischen 2,4 und 22,5 Jahren, mit einem Mittelwert von 9,6 Jahren. Die anderen berechneten Maßnahmen deckten die gesamte Fläche von Anfang an ab. Die absoluten und spezifischen Investitionen (CAPEX) sind bei *gbfg* und *fmpv* am höchsten (Tabelle 9). Das Gleiche gilt für die Wartungs- und Betriebskosten (OPEX). Aufgrund der großen Nutzfläche bieten *gbfg* und *wbfg* ein großes Potenzial für die Evapotranspiration und die Minderung von Luftschadstoffen. Ein wesentlicher Unterschied hinsichtlich der Evapotranspiration ergibt sich aus der Wasserquelle. Die bodengebundene Fassadenbegrünung (*gbfg*) ist oft nicht von einem Bewässerungssystem abhängig, welches hingegen für die wandgebundenen Fassadenbegrünung erforderlich ist.

3.1.3 Potenziale der Dachflächen

Vier Maßnahmen stehen für Dachflächen (*erg*, *irg*, *rmpv* und *pvr*) zur Auswahl. Die Anforderungen an die Maßnahmen unterscheiden sich erheblich, sodass je nach den Eigenschaften des Oberflächenelements unterschiedliche Gruppen von Flächenelementen berücksichtigt wurden. Im Allgemeinen weist die extensive Dachbegrünung (*erg*) die größte Menge an möglichen förderfähigen Dachelementen auf, während die Kombination aus PV und Begrünung (*pvr*) die kleinste Menge aufweist. Insgesamt hat die extensive Dachbegrünung fast die gleiche potenzielle Fläche wie die Bodenmaßnahmen *sdg* und *uprg*, ist aber weniger teuer (Tabelle 9). Außerdem kann die extensive Dachbegrünung mit Photovoltaik kombiniert werden (Maßnahme *pvr*). Beide Maßnahmen, *irg* und *pvr*, erfordern Flachdächer. Im Vergleich dazu ist *pvr* teurer, hat aber den Vorteil eines viel höheren CO₂-Minderungspotenzials. Die Kombination aus Einsparungen, Erträgen und geringen Kosten dieser Alternative scheint attraktiver zu sein als alle anderen Begrünungsoptionen. Bei der Energiegewinnung erreicht *pvr* einen mittleren LCOE (Stromgestehungskosten) von 0,165 €/kWh, während nur PV-Anlagen auf Dächern einen mittleren LCOE von 0,11 €/kWh erreichen. Bei allen Maßnahmen auf horizontalen Dachflächen wirkt sich *rmpv* nicht positiv auf den Regenwasserabfluss aus, sondern könnte ihn sogar verschlechtern.

3.1.4 Überblick über die technische, wirtschaftliche und ökologische Bewertung

Tabelle 9 fasst die Ergebnisse aller betrachteten Maßnahmen für das Untersuchungsgebiet zusammen. Diese Einzelpotenziale können für die verschiedenen Oberflächentypen zu einem übergreifenden theoretischen Potenzial zusammengefasst werden. So könnten z. B. das Maßnahmenbündel *sdg* \wedge *uprg* \wedge *erg* \wedge *gbfg* für ca. 11 Mio. € umgesetzt werden, wobei sich die Gemeinde nach aktuellen Förderkriterien mit ca. 2,3 Mio. € in Form von Zuschüssen beteiligen würde. Die berechneten Veränderungen in Tabelle 9 lassen sich für diese Maßnahmen entsprechend summieren und ergeben in allen Kategorien einen hohen Nutzen. Bei der Kategorie

Niederschlagswasserabfluss muss die jeweilige Veränderung flächengewichtet werden, um das endgültige Reduktionspotenzial zu erhalten. Der Anteil der undurchlässigen Flächen kann jedoch nicht unter das Potenzial von *sdg* gesenkt werden. Durch die Hinzunahme der Nutzung erneuerbarer Energien in Form von *pvr* verbessern sich die finanziellen Erträge weiter.

Bei der Interpretation der Ergebnisse müssen die sich überschneidenden Flächenelemente im Hinblick auf die verschiedenen Alternativen für einen einzelnen Flächentyp berücksichtigt werden. So führt die Aggregation von Alternativen für einen bestimmten Flächentyp theoretisch zu technisch nicht möglichen Mehrfachnutzungen desselben Flächenelements. Für die Erarbeitung von Stadtentwicklungsstrategien müssen verschiedene Szenarien (alternative Kombinationen) von Flächennutzungen/Maßnahmen ausgewählt und miteinander verglichen werden (z. B. wie in Abbildung 34).

3.1.5 Bereitstellung von Grünflächen

Auf der Grundlage von Bewertungsdaten aus verschiedenen Städten (Böhm et al. 2016) wurde der direkte Zugang der Bevölkerung im Untersuchungsgebiet zu Grünflächen innerhalb ihrer Wohnblöcke bewertet (Abbildung 36). 7 m² Grünfläche pro Kopf wurde als Vergleichswert für den direkten Zugang gewählt (ebenda.). Nur ein Gebäudeblock (grün, Abbildung 36 links) erfüllte den Vergleichswert im Ausgangszustand. Eine deutliche Verbesserung ist erkennbar (Abbildung 36 rechts), wenn alle *sdg*-Potenziale umgesetzt werden. Gleichzeitig konnten sich aber viele Randblöcke nicht ausreichend verbessern. Das Beispiel zeigt also, dass weitere Maßnahmen ergriffen werden müssten, um eine gleichmäßige Versorgung und den direkten Zugang zu Grünflächen zu ermöglichen, z. B. über Dachgärten oder öffentliche Flächen.

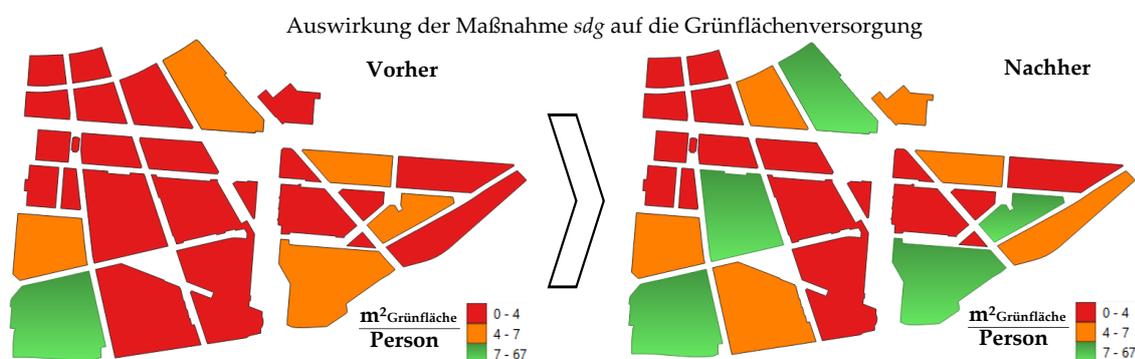


Abbildung 36 Auswirkung der Maßnahme *sdg* auf die Grünflächenversorgung im Untersuchungsgebiet. Kartengrundlage (Liegenschaftsamt Karlsruhe und Tiefbauamt Karlsruhe 2019)

3.1.6 Förderung und Förderdesign

Wie in Abschnitt 1 vorgestellt, unterliegt das Untersuchungsgebiet einem Sanierungsprogramm mit entsprechenden Subventionsregelungen. Für die folgende Analyse wurden alle Flurstücke innerhalb des wissenschaftlichen Untersuchungsgebiets nach Abschnitt 1.1.1 mit Berücksichtigung der lokalen Förderprogramme analysiert. In diesen Programmen liegt der Schwerpunkt auf der Bodenentsiegelung, d.h. der Beseitigung von undurchlässigen Flächen,

Ordnungsmaßnahmen/Gebäudeabbrüche zur Entsiegelung privater Hofflächen und für Ersatzneubauten (Stadtplanungsamt Karlsruhe 2019a). Bodenentsiegelung findet nur in der Maßnahme *sdg* statt. Außerdem hängt der Umfang bzw. Grad der Entsiegelung vom Bedarf an befahrbaren Flächen für Abfallbehälter oder Parkplätze ab. Daher kann die theoretische Maximalfläche auf den meisten Grundstücken nicht vollständig entsiegelt werden. Die Förderprogramme konzentrieren sich auf zwei Teile: zum einen auf die Beseitigung der Bodenversiegelung und zum anderen auf die Schaffung von Grünflächen (*sdg*). Bei der Anwendung der Förderbedingungen nach (Gartenbauamt Karlsruhe 2019; Stadtplanungsamt Karlsruhe 2019a, 2019b) ergaben sich die in Abbildung 37 und Tabelle 10 zusammengefassten möglichen Ergebnisse. Dargestellt sind die mögliche Bodenentsiegelung je Flurstück (farbiger Punkt) und die dafür notwendige Eigenkapitalquote.

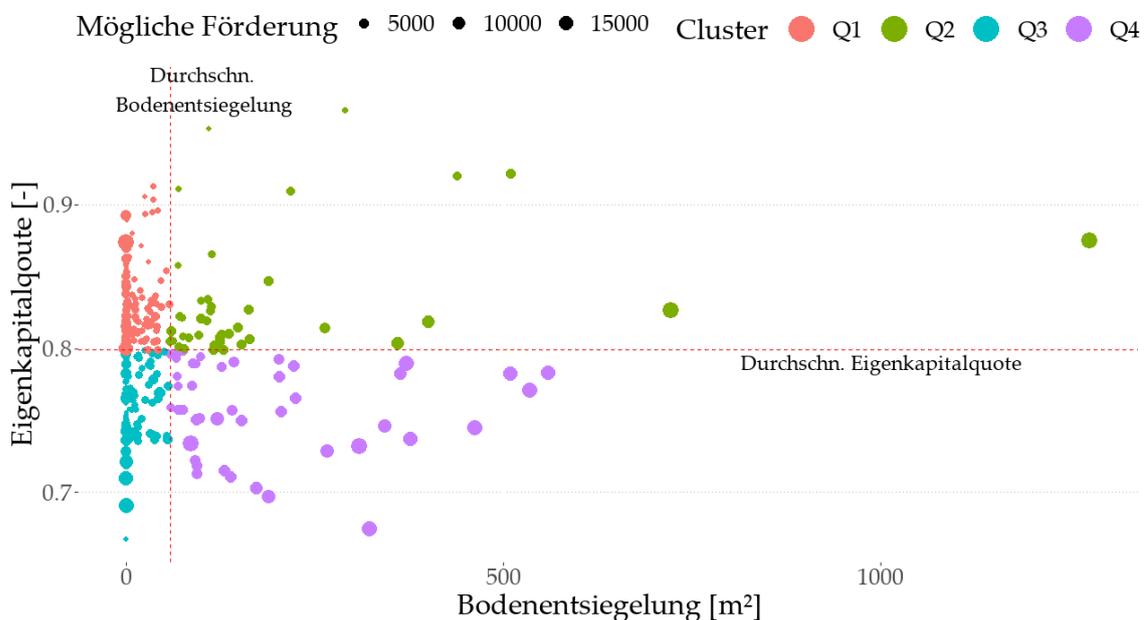


Abbildung 37 Analyse des Förderprogramms im Fallstudiengebiet mit Schwerpunkt auf der Entsiegelung von undurchlässigen Flächen. Die Mittelwerte der x-Achse und der y-Achse unterteilen das Diagramm in vier Quadranten. Die jeweiligen Potenziale wurden entsprechend vier Clustern zugeordnet.

Abbildung 37 zeigt die Unterteilung aller Flurstücke in vier Quadranten, die durch den Mittelwert der Eigenkapitalquote und den Mittelwert der Bodenentsiegelung unterteilt sind. Die Eigenkapitalquote gibt Auskunft über den Beitrag der Eigentümer zur Investition: je höher die Quote, desto höher der erforderliche finanzielle Beitrag des Eigentümers. Die Blasengröße gibt den geschätzten Subventionsbetrag an. Die Bodenentsiegelung stellt die potenzielle Entsiegelung pro berechneter Interventionsmaßnahme dar. Ein Eigentümer im Cluster Q1 (rot) würde für eine unterdurchschnittliche Bodenentsiegelung relativ geringe Subventionen erhalten. Da die Bodenentsiegelung ein Hauptziel des Förderprogramms ist, erscheint dies angemessen. Ein Eigentümer in Cluster Q3 (türkis) würde jedoch hohe Zuschüsse für unterdurchschnittliche Bodenentsiegelung erhalten, was eine Überfinanzierung dieser Maßnahmen zu sein scheint, da andere teilweise versiegelnde Begrünungen (z. B. Rasengittersteine für Parkplätze) gefördert

werden. Die Eigentümer/-innen der Flurstücke in den Clustern Q2 (grün) und Q4 (violett) tragen flächenmäßig bei einer Realisierung der untersuchten Maßnahmen am meisten zur Bodenentsiegelung bei.

Tabelle 10 Lokale Förderprogrammanalyse zur Bodenentsiegelung durch die Maßnahme *sdg*.

Quadrant	Unterdurchschnittliche Bodenentsiegelung	Überdurchschnittliche Bodenentsiegelung
Überdurchschnittliche Eigenkapitalquote	Q1: 259 T€ Förderung für 1487 m ² _{Entsiegl.} $\left(\frac{174,4\text{€}}{\text{m}^2_{\text{Entsiegl.}}}\right)$	Q2: 204 T€ Förderung für 8013 m ² _{Entsiegl.} $\left(\frac{25,5\text{€}}{\text{m}^2_{\text{Entsiegl.}}}\right)$
Unterdurchschnittliche Eigenkapitalquote	Q3: 283 T€ Förderung für 1167 m ² _{Entsiegl.} $\left(\frac{242,2\text{€}}{\text{m}^2_{\text{Entsiegl.}}}\right)$	Q4: 383 T€ Förderung für 8382 m ² _{Entsiegl.} $\left(\frac{45,6\text{€}}{\text{m}^2_{\text{Entsiegl.}}}\right)$

Das Ausmaß der Subventionsvergabe sowie die Subventionen pro entsiegelter Quadratmeter Boden ist in Tabelle 10 dargestellt. Der höchste Zuschuss wird dem höchsten Bodenentsiegelungspotenzial zugewiesen, was auf ein gut formuliertes Finanzierungssystem hindeutet. Allerdings erhalten Q1 und Q3 mehr als das Doppelte der Mittel für ein Viertel des Potenzials von Q2, sodass es eine Verzerrung zugunsten kleiner Flächen und Projekte gibt. Daraus lässt sich schließen, dass eine Überarbeitung des Finanzierungssystems oder ein Überdenken der Zielvorgaben, Anreize insbesondere für Flächen mit hohen Entsiegelungspotenzialen schaffen sollte. Zum Beispiel könnte eine Kappung der Förderung für die reale Entsiegelung auf 175 €/m²_{Entsiegl.} und eine Mindestförderung von 45 €/m²_{Entsiegl.} in die Förderlogik eingebaut werden um einer Fehlförderung vorzubeugen. Schließlich kann die Festlegung von Prioritäten für bestimmte Grundstücke oder Gebäudeblöcke auf der Grundlage einer solchen Analyse zur gezielten Verbreitung von Informationen und zur gezielten Ansprache der Eigentümer beitragen.

3.2 Simulationen

Für die Analyse der Wärmeineffekte wurden klimatische Simulationen für das Untersuchungsgebiet in der Software ENVI-met durchgeführt. Einzelne Szenarien aus den Modellierungen in ENVI-met werden hier exemplarisch vorgestellt. Für eine detaillierte Ausführung der unterschiedlichen Szenarien, Vorgehensweise und Ergebnisse siehe (Geiger 2019, 2019; Mandler 2020).

Mandler (2020) analysierte die Kaltluftströme und die urbane Wärmeinsel am Beispiel der Innenstadt-Ost Karlsruhe (Mandler 2020). Dazu wurden insgesamt fünf Szenarien entwickelt, wobei eines davon den Ist-Zustand in der Innenstadt-Ost in Karlsruhe als Vergleichs-Szenario darstellt. Folgende weitere Szenarien wurden in ENVI-met simuliert:

- Ist-Zustand in der Innenstadt-Ost und am Alten Friedhof, Windrichtung Südost
- Einfache Fassadenbegrünung (Abbildung 38)
- Fassadenbegrünung mit Substrat
- Grünfläche „Alter Friedhof“

- Wind aus Südwestlicher Richtung

Für die einzelnen Szenarien wurden die Parameter Lufttemperatur, Oberflächentemperatur, PMV (Predicted Mean Vote) und Windgeschwindigkeit in einer Simulation von 48 h betrachtet. Simuliert wurde zum kühlssten Zeitpunkt (5 Uhr morgens) und zum heißesten Zeitpunkt (14 Uhr mittags), um diese beiden Extrema für die einzelnen Szenarien mit dem Ist-Zustand vergleichen zu können.

Für den Ist-Zustand konnte gezeigt werden, dass sich asphaltierte Oberflächen deutlich stärker aufheizen als Bereiche mit Vegetation. Es zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen der Simulation morgens um 5 Uhr und mittags um 14 Uhr. Bei der Simulation um 5 Uhr morgens ist der PMV flächendeckend neutral, wohingegen der PMV bei der Simulation mittags um 14 Uhr flächendeckend hoch ist (Mandler 2020).

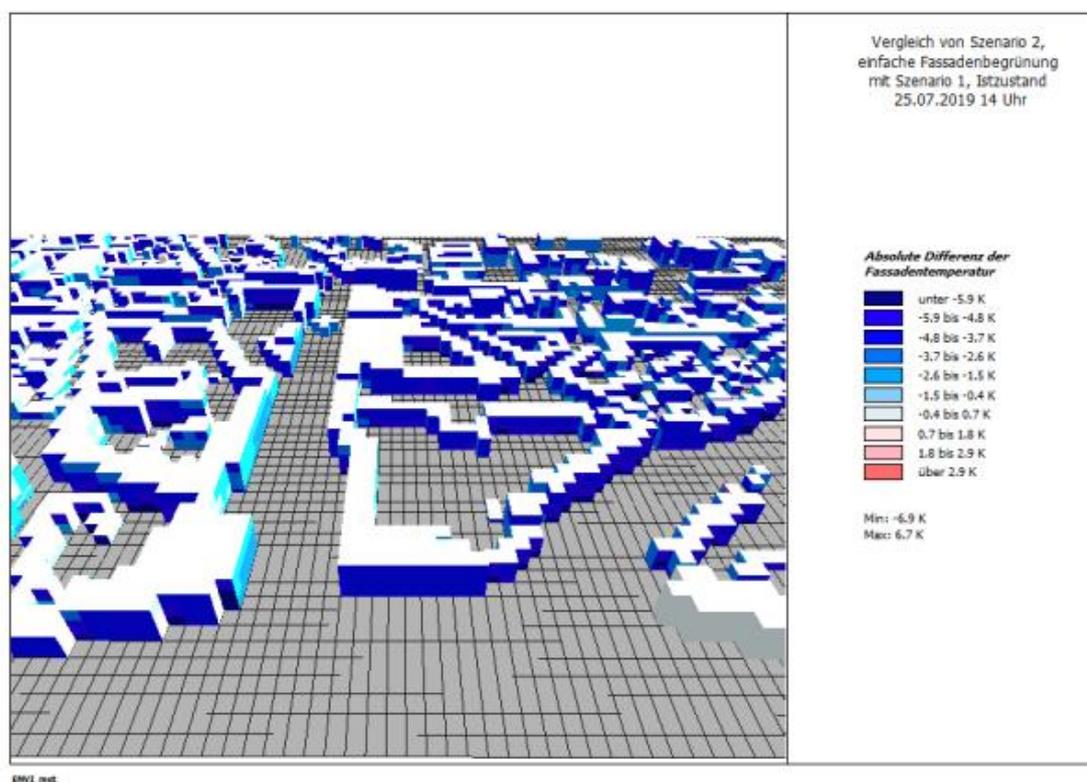


Abbildung 38 Wirkung auf die Fassadentemperatur durch eine Fassadenbegrünung in der Innenstadt-Ost. (entnommen aus Mandler 2020)

Geiger (2019) untersuchte die stadtklimatischen Auswirkungen des KIT Campus Süd auf angrenzende Stadtgebiete. Die Innenstadt-Ost in Karlsruhe grenzt im Süden an die Flächen des KIT Campus Süd. Bei Geiger (2019) lautet die Hypothese: „Bebauungsmaßnahmen am Campus Süd haben Auswirkungen auf die Ausprägung der Wärmeinsel in benachbarten Stadtquartieren“ (Geiger 2019). Daher wurde ein Szenario zu den Auswirkungen von Dachbegrünung auf dem Gelände des KIT Campus Süd auf die unmittelbar angrenzende Innenstadt-Ost mit ENVI-met modelliert. In den Szenarien wurde der Fokus auf die Lufttemperaturen gelegt. Der absolute Unterschied der Lufttemperatur im südlichen Bereich des KIT Campus Süd zwischen einer Bebauung ohne Neubauten, aber mit Dachbegrünung ist in Abbildung 39 dargestellt. Die

Simulation zeigte, dass die Effekte von Neubau-Baumaßnahmen auf die Lufttemperaturen umliegender Stadtteile als gering eingestuft werden. Begrünungsmaßnahmen in Form von Dachbegrünung wirken sich positiv auf die unmittelbare Umgebung, aber nicht zwangsläufig auf die angrenzenden Stadtquartiere aus (Geiger 2019).

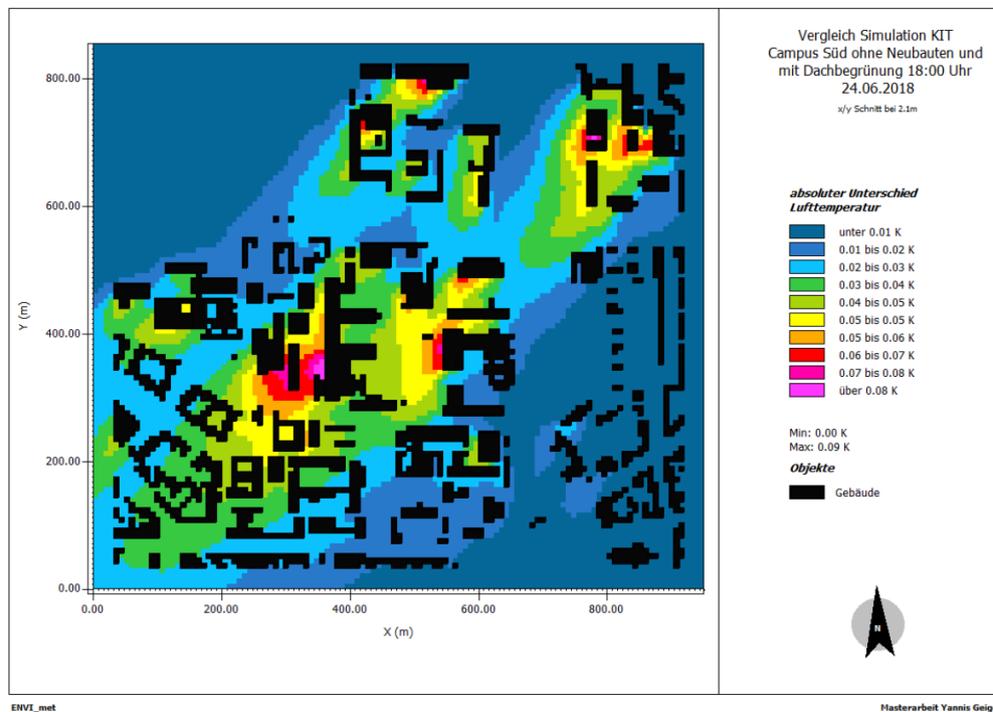


Abbildung 39 Kühlungseffekt auf die angrenzende Innenstadt-Ost durch Dachbegrünung am KIT Campus Süd. (entnommen aus Geiger 2019)

3.3 Aufwertung von Grünflächen durch Feinmodul der Ökokontoverordnung

Zur Biotoptypenkartierung im Stadtgebiet können der Kartierschlüssel der LUBW (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) 2018) oder der angepasste Kartierschlüssel nach Breunig (2017) für das Stadtgebiet angewendet werden. Da es sich bei dem Kartierschlüssel von Breunig um eine Verfeinerung des LUBW-Kartierschlüssels handelt, werden dieselben Biotopbeschreibungen und Biotopnummern angewendet. Diese sind kompatibel zur Ökokontoverordnung (ÖKVO) in Baden-Württemberg (LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz 2010).

Mithilfe der ÖKVO können jedem Biotoptyp über die Biotoptypennummern Wertpunkte zugeordnet werden (LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz 2010). Hierfür wurde das Feinmodul der ÖKVO verwendet, das mit einer Wertpunktspanne, je nach Ausprägung des Biotoptyps arbeitet. Dies findet zum Beispiel häufig beim Biotoptyp "Beet und Rabatte" mit der Biotopnummer 60.51 Anwendung, da hier in sehr artenreich, mittlere Artausstattung und artenarm unterschieden werden kann dann die entsprechende Anzahl an Wertpunkten aus der Wertpunktspanne zugeordnet werden. Im Allgemeinen und innerhalb dieser Wertpunktspanne pro Biotoptyp ist der Grundwert des Biotoptyps zu finden. Dieser Grundwert

wird standardmäßig vergeben, wenn der vorliegende Biotoptyp weder eine unter- noch eine überdurchschnittliche Ausprägung zeigt. Die Wertpunktvergabe erfolgt nach dem Prinzip, je mehr, desto besser und somit auch ökologisch wertvoller. Um dies besser zu veranschaulichen, hier ein kurzes Beispiel: Dem Biotoptyp 60.21 „Völlig versiegelte Fläche oder Platz“ wird der Wertpunkt 1 zugeordnet. Hingegen besitzen „grünere“ Biotoptypen mehr Spielraum in der Wertpunktspanne, die diesem Biotoptyp zugeordnet werden können. So besitzt der Biotoptyp 33.80 „Zierrasen“ den Grundwert 4 und eine Wertpunktspanne von 4 bis 12, die diesem Biotoptyp zugeordnet werden können. Das Kriterium für eine Aufwertung eines Biotoptyps ist eine überdurchschnittliche Artausstattung einer Fläche gegenüber des Ausgangszustandes dieser Fläche (Altrock et al. 2019; Heise und Hallermayr 2022; LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz 2010).

Zur Aufwertung von Grünflächen hinsichtlich ihres Beitrags zur Biodiversität in Städten kann genau an diesem Punkt angesetzt werden. An einzelnen Grünflächen im öffentlich zugänglichen Bereich der Innenstadt-Ost stellte sich die Frage, ob diese mit einem geringeren Pflegeaufwand eventuell einen höheren Beitrag zur Biodiversität in der Stadt liefern können. Das Potenzial einer solchen Aufwertung soll exemplarisch anhand einer Zierrasenfläche, die mithilfe eines Blühstreifens aufgewertet werden könnte, verdeutlicht werden. Diese Fläche im öffentlich zugänglichen Bereich der Innenstadt-Ost wurde deshalb als Beispiel gewählt, da es sich um eine zusammenhängende Grünfläche handelt, die in diesem Fall den Straßenraum und den Platz vor einem Schulgebäude samt Bürgersteig voneinander abtrennt (siehe rot umrandete Fläche in Abbildung 40).

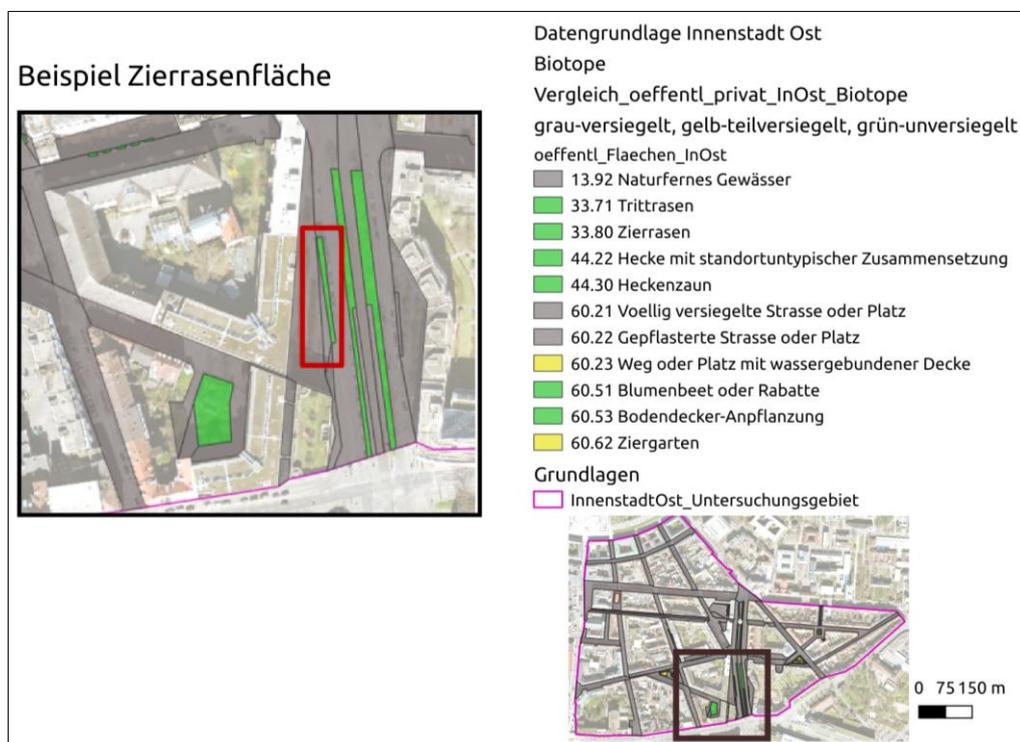


Abbildung 40 Beispiel einer potentiellen Flächenaufwertung einer Zierrasenfläche durch Erhöhung der Artenvielfalt Kartengrundlage (Liegenschaftsamt Karlsruhe und Tiefbauamt Karlsruhe 2019; OpenStreetMap contributors 2022)

Wie Tabelle 11 zeigt, gibt es zwei mögliche Ansätze für eine Aufwertung der Fläche: entweder wird nur ein Teil der Zierrasenfläche mit einem Blühstreifen bestückt oder die gesamte Fläche wird bepflanzt. Wenn aber die gesamte Fläche bepflanzt wird, handelt es sich nicht mehr um den Biotoptyp „Zierrasen“, da dann keine Rasenflächen im eigentlichen Sinne mehr vorhanden sind. Wird ein Teil der Fläche durch einen Blühstreifen aufgewertet, ist ein Großteil der Fläche immer noch dem Biotoptyp Zierrasen zuzuordnen. Hierfür können als Wertpunkte dann zum Beispiel 6 Punkte statt 4 Punkte vergeben werden.

Tabelle 11 Beispielhafte Aufwertung einer Zierrasenfläche – Berechnung der potenziell möglichen Ökopunkte.

<i>Zustand</i>	<i>Biotoptyp</i>	<i>BiotopNr</i>	<i>Bemerkung</i>	<i>Fläche in m²</i>	<i>Wertpunkte aus ÖKVO</i>	<i>Ökopunkte</i>
<i>IST-Zustand</i>	Zierrasen	33.80	Grundwert kann zugeordnet werden	151	4	604
<i>Potential (Ansatz 1)</i>	Zierrasen (nach LUBW)	33.80	aufgewertet durch Anteil an Blühstreifen, dadurch höhere Artenvielfalt	151	6	906
<i>Potential (Ansatz 2)</i>	Blumenbeet oder Rabatte (nach Breunig)	60.51	aufgewertet durch Umgestalten der gesamten Fläche in anderen Biotoptyp	151	8	1208

3.4 Auswahl von zukunftsfähigen Stadtbaumarten

Die Städte heizen sich besonders an heißen Sommertagen auf. Dieses Phänomen ist unter „Wärmeinsel“ oder „urban heat island“ bekannt. In den nächsten Jahren wird die Anzahl an Hitzetagen in Städten voraussichtlich weiter ansteigen (Cheela et al. 2021; Yao et al. 2020). Die aktuell vorhandenen Stadtbaumarten und deren Verteilung im Stadtgebiet können aus den Daten des Baumkatasters der Innenstadt-Ost in Karlsruhe und den Ergebnissen der Baumkartierung der Hinterhöfe im Stadtquartier entnommen werden. Abbildung 41 zeigt eine Kartendarstellung zur räumlichen Verteilung und zum Vorkommen der drei häufigsten Baumarten im öffentlich zugänglichen Bereich sowie in den Hinterhöfen der Innenstadt-Ost.

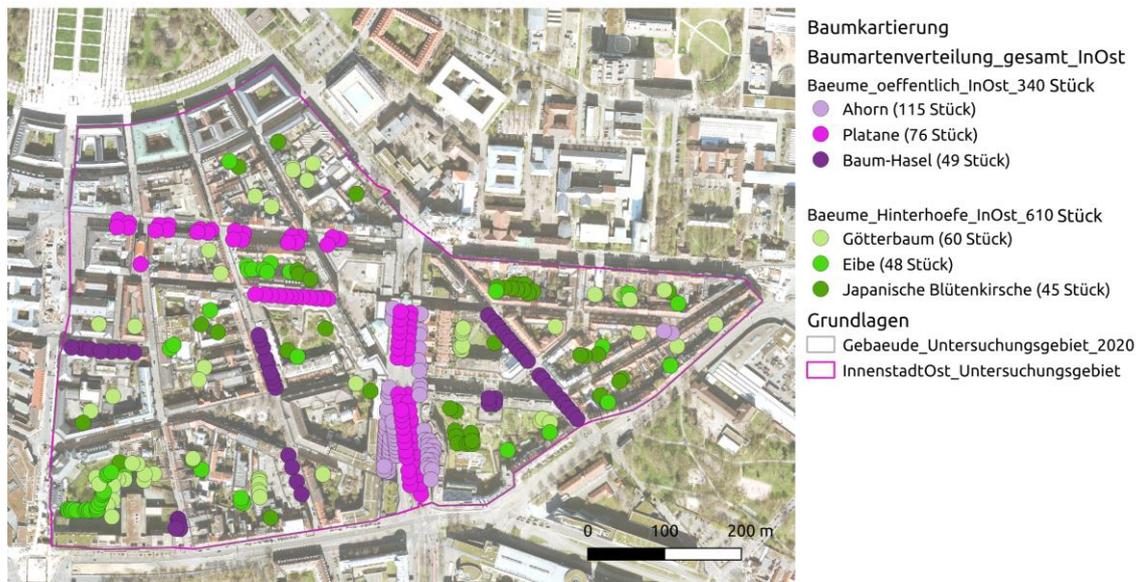


Abbildung 41 Baumartenverteilung der häufigsten Baumarten im öffentlichen und privaten Bereich in der Innenstadt-Ost in Karlsruhe Kartengrundlage (Liegenschaftsamt Karlsruhe und Tiefbauamt Karlsruhe 2019)

In Zukunft sollten Stadtbaumarten an Hitzebelastung angepasst sein (TU Dresden, Professur für Forstbotanik 2015; Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz (GALK) 2022). Es erscheint sinnvoll, dieses Kriterium bei der Wahl zukünftiger Stadtbaumarten zu berücksichtigen. Hierfür kann zum Beispiel die Liste der Eigenschaften verschiedener Stadtbaumarten der GALK verwendet werden. Eine Einschätzung zur Eignung der aktuell vorhandenen Stadtbäume nach der GALK-Liste ist in Tabelle 12 zu finden.

Wie Tabelle 12 zu entnehmen ist, sind die aktuell vorhandenen häufigsten drei Baumarten für die öffentlich zugänglichen Flächen in der Innenstadt-Ost als zukünftige Stadtbäume geeignet. Dies ist ein positives Fazit, da ein bereits bestehender Baumbestand mehr Ökosystemleistungen zur Verfügung stellen kann als ein frisch gepflanzter Baum. Somit kann der Bestand an bereits vorhanden Baumarten auf den öffentlichen Flächen des Untersuchungsgebiets als zukunftsfähig gesehen werden. Der Götterbaum als invasive Art wird als „nicht geeignet“ eingestuft, zur Eibe wurden keine Angaben in der GALK-Liste hinterlegt und die Japanische Blütenkirsche kann als zukünftiger Stadtbaum eingestuft werden (Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz (GALK) 2022). Auch in der Untersuchung zur Hitzebelastung von Stadtplätzen wurde zur Auswahl einer geeigneten Baumart für die Simulation der klimatischen Auswirkungen auf die direkte Umgebung die GALK-Straßenbaumliste genutzt (Bach 2020).

Tabelle 12 Eignung als Stadtbaum nach GALK-Liste für die häufigsten Baumarten in der Innenstadt-Ost (Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz (GALK) 2022)

Öffentliche Flächen	GALK Einschätzung zur Eignung	GALK Bemerkung	GALK Hitzetoleranz	Urteil	zur Potenzial als zukünftiger Stadtbaum
<i>Ahorn (Feldahorn)</i>	geeignet	Im Straßenbaumtest seit 2007/08 berücksichtigt	Keine Angabe		ja
<i>Platane</i>	geeignet mit Einschränkungen	Wurzelhebungen häufig, Befall durch Schadorganismen, hat zugenommen	stadtklimafest		ja
<i>Baum-Hasel</i>	geeignet mit Einschränkungen	anspruchlos	stadtklimafest		ja
<i>Hinterhöfe Götterbaum</i>	nicht geeignet	sehr schnellwüchsig, starke Ausbreitung	Sehr trockenheitsverträglich, wärmeliebend, besonders stadtklimafest		nein, invasive Art
<i>Eibe</i>	nicht enthalten	Keine Angabe	Keine Angabe		Keine Angabe
<i>Japanische Blütenkirsche</i>	geeignet mit Einschränkungen	Besonderes Kennzeichen ist ihre Blüte, für Container und Kübel geeignet	Keine Angabe		ja

3.5 Bewertungsszenarien für den Flächenbedarf von Abfallbehältern

Aus den Daten der Tabelle 4 wird der Eingriff z. B. bei der Umstellung der pneumatischen Abfallsammlung (PME) auf behältergebundene Abfallsammlung quantifizierbar. Während der Betriebszeit der PME werden für die Abfallbehälter in den Höfen keine Flächen gebraucht, da die Abwurfshächte für die Abfälle in den jeweiligen Treppenhäusern oder Fluren integriert sind. Bei der behältergebundenen Abfallsammlung werden bei 2.520 zu entsorgenden Einwohnern ca. 3.800 m² für zusätzliche Stellfläche auf den privaten Flächen für die Abfallbehälter erforderlich. Die damit zusammenhängenden Konflikte wurden in Kapitel beschrieben.

Neben der in Kapitel 3.1.1 beschriebenen und kalkulierten Maßnahme *sdg*, welche Abstellflächen für Abfallbehälter vorsieht, wurden verschiedene multifunktionale Nutzungen exemplarisch beleuchtet. Diese Alternativen hängen stark von der umsetzenden Seite ab, womit eine allgemein gültige Prognose von Aufstellorten nicht als zielführend eingeschätzt wurde.



Abbildung 42 Mitnutzung bereits befestigter Oberflächen als Abstellfläche für Abfallbehälter.

Mitnutzung der Feuerwehrezufahrt als Aufstellfläche für Abfallbehälter. Diese können, da mobil, im Brandfall einfach entfernt werden. Der zusätzliche versiegelte Flächenbedarf ist gering, jedoch der Konflikt mit z. B. dem Stadtbild deutlich sichtbar (Abbildung 42).



Abbildung 43 Schaffung von Abstellflächen für Abfallbehälter.

Hier wurde für die Abfallbehälter ein eigener Standplatz hergestellt, also zusätzliche Fläche versiegelt. Um den Eingriff zu minimieren, wurde eine Begrünung um den Standplatz angelegt (Abbildung 43).



Abbildung 44 Bauwerkintegrierte Aufstellfläche für Abfallbehälter

Einbau der Abfallbehälter in eine Mauer mit extensiver Begrünung auf dem Dach. Der ohnehin vorhandene Gehweg dient als Transportweg, die Aufstellung wurde zwar versiegelt, doch durch Begrünung wurde der Eingriff minimiert (Abbildung 44).

4 Handlungsempfehlungen und Abschlussbetrachtungen

Es besteht Handlungsbedarf, um Grünflächen in Städten zu optimieren und zu vergrößern. Dadurch können Ökosystemleistungen erhalten oder ausgeweitet werden. Ökosystemleistungen, wie zum Beispiel die Kühlung oder Verdunstung können sich auf die direkte Umgebung auswirken. Somit sollten Grünflächen in Städten stärker gefördert werden.

Die Behandlung von Oberflächen und insbesondere urbanen Oberflächen als knappes und wertvolles Gut jenseits von Immobilien und deren proaktives Management in dicht bebauten städtischen Gebieten ist ein entscheidender Faktor für eine nachhaltige, gesunde und widerstandsfähige Stadtentwicklung. Diese Aufgabe ist eine gesellschaftliche Herausforderung, wobei die Bereitschaft zum Handeln in Bezug auf Privateigentum von den jeweiligen Bürger/-innen und Einzelpersonen in allen Städten abhängt und ggf. zusätzlicher Informationen und Anreize bedarf.

4.1 Ressourcenmanagement

Gemäß der abgeleiteten und angenommenen fünfstufigen Hierarchie (Abbildung 8) hat die vorliegende Untersuchung gezeigt, dass Strategien, die sich auf die beiden höchsten Ebenen konzentrieren, nämlich (1) die Vermeidung von zusätzlichem Flächenverbrauch/undurchlässigen Flächen und (2) die Wiederherstellung von genutzten und nicht mehr genutzten Flächen in ihren natürlichen Zustand, in bestehenden Stadtvierteln begrenzt sind. Abgesehen von der Maßnahme *sdg* kann keine dieser Maßnahmen diese Werte erfüllen. Allerdings können Begrünungsmaßnahmen die Auswirkungen von undurchlässigen Flächen (Stufen 3 und 4) abmildern. Im engeren Sinne sind alle vorgeschlagenen Maßnahmen Erscheinungsformen der bebauten Umwelt (Morel et al. 2015; Eggermont et al. 2015). Trotzdem sind die Potenziale und Vorteile der urbanen grünen Infrastruktur groß. Vor allem die Berücksichtigung der vertikalen und horizontalen Flächenpotenziale in diesem Szenarienpool gibt Aufschluss über die Nutzung von Synergien und die Minderung von Zielkonflikten. Darüber hinaus ermöglicht ein räumlich expliziter und detaillierter, datenbasierter Ansatz die Planung städtischer grüner Infrastrukturen in der Planungsphase und erlaubt die gezielte Einrichtung von Grünkorridoren (Beninde et al. 2015) oder den Abbau sozialer Ungleichheiten oder die Verfolgung anderer städtischer Ziele. Entsprechend wiesen Lundholm und Richardson (Lundholm und Richardson 2010) auf die Möglichkeit hin, Maßnahmen durch ökologisches Engineering zu verändern, um Maßnahmeneffekte zu kontrollieren. Dies wird in dem hier entwickelten Instrument bislang noch nicht genutzt.

Die derzeit implementierten Maßnahmenberechnungen basieren auf Daten zu generischen Maßnahmen. Die Ergebnisse zeigen jedoch sehr positive Auswirkungen der Abschwächungs- und Ausgleichsmaßnahmen auf die nachteiligen Effekte von stark undurchlässigen Oberflächen.

Die Bewertungsergebnisse des entwickelten Instruments können als Input-Informationen für formale Planungsinstrumente verwendet werden, wie z. B. die Flächennutzungs-, Bebauungs-

oder Masterpläne, die die strategische Managementebene darstellen. Darüber hinaus kann das vorgestellte Instrument die operative und taktische Entscheidungsfindung bei der Entwicklung von Subventionsprogrammen, Vorbereitungen von städtebaulichen Verträgen, oder der Bewertung von Prioritäten (bspw. bezüglich der Ansprache von Eigentümern) unterstützen.

Im Rahmen unserer Untersuchung wurde ein aktualisierbares Datenmodell für das Untersuchungsgebiet erstellt. Mit diesem Ansatz können auch Veränderungen in der Flächennutzung über die Zeit verfolgt und bewertet werden. Darüber hinaus verbessert die vorgestellte Bewertung von neun verschiedenen Interventionsmaßnahmen das Verständnis für die Wirkung der Maßnahmen und die Wirtschaftlichkeit von Investitions- und Förderbudgets zur Aktivierung von identifizierten Potenzialen. Separate Simulationen des Mikroklimas konnten auch die dynamischen Effekte berücksichtigen. Die Biotopkartierung ermöglicht den Aufbau einer sehr fundierten Entscheidungsgrundlage für die Bewertung und Qualifizierung urbanen Grüns.

Die Subventionen im Untersuchungsgebiet können erheblich zu Investitionen (CAPEX) beitragen. Die Attraktivität der Subventionsregelungen wird jedoch durch zusätzliche Bedingungen gemindert, die in unserer Untersuchung nicht modelliert werden konnten, wie z. B. Verpflichtungen zur Begrenzung der Mieterhöhung oder zusätzlicher organisatorischer Aufwand. Um die Eigentümer/-innen zur Durchführung von Begrünungsmaßnahmen zu bewegen, ist also zusätzliche Überzeugungsarbeit und ggf. Unterstützung erforderlich. Neben der Verringerung der Verpflichtungen könnte eine Neugestaltung der Subventionen mit dem entwickelten Modell und Webtool geprüft und bewertet werden. Die Betriebskosten können nicht durch die reduzierten und niedrigen Entwässerungsgebühren ausgeglichen werden, da die Einsparungen zu geringen sind und nur geringe Anreize bietet.

Alle berechneten Maßnahmen mindern wirksam die Luftschadstoffe und bringen (im Vergleich zum Ausgangszustand) erhebliche Vorteile mit sich. Jones et al. (2019), Chen et al. (2019), Hirschfeld et al. (2019), und Stinner et al. (2021) haben jedoch gezeigt, dass es viele zusätzliche Dimensionen gibt, wie z. B. gesundheitliche und weniger greifbare kulturelle Vorteile, welche die wirtschaftliche Bewertung oder die Zahlungsbereitschaft für erbrachte Dienstleistungen erheblich beeinflussen können. Diese wurden bei der vorliegenden Bewertung nicht berücksichtigt. Unannehmlichkeiten wie der Pflegeaufwand sind nur monetär bewertet, aber nicht darüber hinaus (z. B. durch herabfallendes Laub, Gerüche, etc.).

Auch wenn die möglichen Maßnahmen in der Fallstudie den Ausgangszustand des Untersuchungsgebiets erheblich verbessern können, sind die Entsiegelungspotenziale begrenzt und sollten ausgeschöpft werden. Um die besten Ergebnisse zu erzielen, muss eine Ergänzung der entsiegelten Bodenflächen durch begrünte Dächer und Fassaden in Betracht gezogen werden. Insbesondere für das Potenzial zur Erhöhung der Biodiversität sind die Flächengrößen im Vergleich zu den gewünschten Größen von mehreren Hektar sehr klein (Beninde et al. 2015). Nach Wooster et al. (2022) und Pfoser et al. (2013) können jedoch auch relativ kleine begrünte Gebäudeflächen die städtische Fauna erheblich unterstützen. Einschränkungen ergeben sich bei Maßnahmen, die PV einschließen. Bei diesen ist die Emissionsminderung indirekt, da sie umweltschädliche Technologien an anderer Stelle und nicht unbedingt im betrachteten Gebiet ersetzen. Außerdem wird die Luftschadstoffminderung durch PV aufgrund der laufenden Dekarbonisierung und Energiewende geringer ausfallen. Daher wird die Lücke zwischen der derzeitigen Minderung durch erneuerbare Energien und den natürlichen Stoffwechsel- und Ablagerungsmechanismen bei der Einführung von PV schrumpfen. Die Regenwasserrückhaltung

ist ein wesentlicher Vorteil, den Fassadenbegrünung und PV-Optionen nicht direkt bieten können. In Gebieten mit hohen Versiegelungs- und Abflusskoeffizienten wie dem Untersuchungsgebiet werden in zukünftigen Wetterszenarien stärkere Niederschläge vorhergesagt, was den Handlungsdruck erhöht. Die Energiegewinnung auf genutzten Flächen sollte jedoch immer gefördert und, wo immer möglich, mit Begrünung kombiniert werden.

Prognosen des Weltklimarats (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) gehen von häufigeren extremen Hitzeereignissen in Zukunft aus. Evapotranspiration und Beschattung durch grüne Infrastrukturen versprechen, für Abkühlung zu sorgen und eine Überhitzung der Stadtzentren zu verhindern. Im Untersuchungsgebiet liefert die bodengebundene Fassadenbegrünung beides in hohem Maße. Bei der Untersuchung wurden zusätzliche Vorteile nicht berücksichtigt, wie z. B. die schützende Wirkung (Pfoser et al. 2013; Pfoser 2016; Koch et al. 2020) auf Bauprodukte durch Beschattung und Verringerung der Witterungseinflüsse. Diese Effekte könnten die Betriebskosten ausgleichen und die Einführung von Fassaden- oder Dachbegrünungen fördern. Allerdings wird der Wasserverbrauch durch Bewässerung im Modell nicht berücksichtigt, ebenso wenig wie die Wasserverfügbarkeit in heißen Monaten oder das Funktionieren des städtischen Grüns in dieser Zeit. Künftige Modelle sollten derartige Simulationen zusammen mit der Regenwassernutzung einbeziehen, um die Bewässerung und Evapotranspiration von städtischem Grün das ganze Jahr über sicherzustellen.

4.2 Erhalt und Bereitstellung von Ökosystemleistungen in der Innenstadt-Ost in Karlsruhe

Die Handlungsempfehlungen konnten mithilfe der Ergebnisse aus der Bestimmung der sieben Ökosystemleistungsindikatoren (siehe (Krehl et al. 2023)), den oben aufgeführten Klimamessungen im Untersuchungsgebiet (Dicks et al. 2021; Knietig et al. 2021) und mithilfe der Ergebnisse aus den Modellierungen in ENVI-met (Geiger 2019; Mandler 2020) entwickelt werden.

Grünflächen in der Stadt sollten gefördert werden, da diese einen positiven Einfluss auf die direkte Umgebung zeigen. Zudem haben öffentlich zugängliche Grünflächen eine Erholungsfunktion für die Stadtbewohnenden. Dies kann zum Beispiel mithilfe eines festgelegten prozentualen Anteils an unversiegelten Flächen für eine Stadt erfolgen. Eine Möglichkeit ist die Festlegung einer Grünflächenzahl als Vergleichswert, um eine Verbesserung der Situation überprüfen zu können. Mit dem Aufstellungsbeschluss vom 20.05.2021 wird in Karlsruhe ein Bebauungsplan „Grünordnung und Klimaanpassung in der Innenstadt-Ost und Innenstadt-West“ erstellt, in dem für Neubauvorhaben bzw. u. a. auch umfassende Gebäudeerneuerungen Festsetzungen für Fassaden-Dachbegrünungen, Begrünungs- und Pflanzgebote u. a. zur Klimaanpassung und zur Verbesserung Aufenthaltsqualität getroffen werden. Eine weitere Handlungsempfehlung ist, die Anreize zur Entsiegelung und Begrünung zu überprüfen und ggf. anzupassen. Weiterhin ist es sinnvoll, eine datengestützte Analyse durchzuführen, um die Flurstücke, Teilflächen und Eigentümer/-innen zu identifizieren, bei denen das größte Verbesserungspotential besteht. Diese könnten dann gezielt angesprochen und motiviert werden, sich aktiv an der urbanen Transformation zu beteiligen.

Ein hoher Anteil der Flächen innerhalb von Städten ist vollversiegelt, was sich negativ auf die Hitzebelastung dieser Bereiche auswirkt. Vor allem in den Sommermonaten werden voll versiegelte Flächen durch die Sonneneinstrahlung deutlich stärker aufgeheizt als teilversiegelte oder unversiegelte Flächen. Unter diesem Gesichtspunkt sollten mehr Entsiegelungen in Städten durchgeführt werden. Nicht alle Flächen müssen vollversiegelt sein, um ihre Funktion zu erfüllen. So ist es zum Beispiel möglich, die Stellflächen für Müllbehälter und Abstellflächen für Fahrräder in Hinterhöfen zu entsiegeln und nur partiell zu verdichten oder zu versiegeln. Genutzt werden können beispielsweise Rasengittersteine.

Umweltgerechtigkeit in Städten sollte Beachtung finden. Zur Bestimmung der Umweltgerechtigkeit können die Umwelt- und Lebensverhältnisse unterschiedlicher sozialer Schichten analysiert werden. Es gibt einen Zusammenhang zwischen der sozialen Situation, dem Einkommen, der Bildung, der Gesundheit und den Umweltbelastungen für Menschen. Je besser die soziale Situation, desto geringer fallen meist die Umweltbelastungen aus. Bei der näheren Betrachtung von Grünflächen in Städten ist ein Aspekt der Umweltgerechtigkeit die Zugänglichkeit von privaten und öffentlichen Grünflächen. Nur wenn Grünflächen den Stadtbewohnenden auch zugänglich sind, können diese zur Erholung genutzt werden. Besonders öffentliche Grünflächen sollten ohne Einschränkungen oder abgeschlossene Tore zugänglich sein. Wie bei der Biotoptypenkartierung und Baumkartierung in den privaten Hinterhöfen der Innenstadt-Ost in Karlsruhe gezeigt werden konnte, handelt es sich bei zahlreichen Grünflächen mit höherwertiger Artausprägung um ausschließlich privat zugängliche Grünflächen. Diese Unterteilung in private und öffentlich zugängliche Grünflächen hat Vor- und Nachteile.

Die Beschattung öffentlicher Spielplätze sollte gefördert werden. Hierfür könnten die Gestaltungskonzepte der öffentlich zugänglichen Plätze im Detail betrachtet werden und eventuell die Anordnung der Spielplatzelemente so angepasst werden, dass diese Bereiche nicht direkt über einen längeren Zeitraum von der Sonne beschienen werden. Eine direkte Sonneneinstrahlung über einen längeren Zeitraum wirkt sich negativ auf die Gesundheit aus. Durch eine angepasste Beschattung durch Stadtbäume und weitere Beschattungselemente, wie zum Beispiel Sonnensegel, kann die klimatische Belastungssituation durch die direkte Sonneneinstrahlung verringert werden.

Als Abkühlungsmöglichkeit kann Wasser in Brunnen und Wasserinstallationen in Städten genutzt werden. Durch den kühlenden Effekt des Wassers ist es in der direkten Umgebung kühler als in Bereichen ohne Wasserinstallationen.

Bei der Neuanpflanzung von Stadtbäumen sollte darauf geachtet werden, dass diese mit den klimatischen Verhältnissen in Städten zurechtkommen. So sollten hitzeangepasste Baumarten bevorzugt genutzt werden.

In Städten sollten höherwertige Biotoptypen gefördert werden. So ist zum Beispiel eine unversiegelte Fläche, auf der sich ein Beet oder eine Rabatte mit hoher Artenvielfalt befindet, einer versiegelten Fläche vorzuziehen. Alle unversiegelten Flächen können mehr Ökosystemleistungen als versiegelte Flächen zur Verfügung stellen. Zur Einschätzung der Wertigkeit der unterschiedlichen Biotoptypen und deren Ausprägung kann die ÖKVO aus Baden-Württemberg angewendet werden. In der ÖKVO werden über die Biotoptypennummern Wertpunkte für die einzelnen Biotoptypen vergeben, die zusammen mit der Flächengröße für eine Berechnung der Anzahl an Ökopunkten erforderlich sind. Somit zeigt eine größere Anzahl an Ökopunkten einen höherwertigen Biotoptyp an.

4.3 Abfallwirtschaft

Im vorliegenden konkreten Fall wurde vom Gemeinderat der Stadt Karlsruhe auf Vorlage der Verwaltung beschlossen, die pneumatische Müllentsorgung (PME) zu schließen. Neben monetären Gründen wie der zusätzliche Investitionsbedarf in die Anlagentechnik der PME und die Infrastruktureinrichtung (z. B. Transportleitungen, Ventilräume) war ein entscheidendes Argument, dass mit der PME eine moderne, den gesetzlichen Anforderungen entsprechende Abfallwirtschaft nicht gewährleistet werden kann. Eine Trennung der Abfälle auf dem Grundstück ist effektiv nur über Abfallbehälter darzustellen. Mit dieser Vorgabe war es auch der Auftrag an die Verwaltung, bei der Schließung der PME baublockscharf vorzugehen und die Bevölkerung intensiv mitzunehmen und zu informieren. Zudem sind für Infrastrukturmaßnahmen, welche die Grundstücksbesitzer gebaut haben, Entschädigungen zu leisten und Zuschüsse zu evtl. erforderlichen Neuanlagen für die Abfallbehälter-Standplätze oder Transportwege zu leisten.

Aus den Untersuchungen wurde der Eingriff z. B. bei der Umstellung der PME auf behältergebundene Abfallsammlung quantifizierbar. Während der Betriebszeit der PME werden für die Abfallbehälter keine Flächen gebraucht, da die Abwurfschächte für die Abfälle in den jeweiligen Treppenhäusern oder Fluren integriert sind. Bei der behältergebundenen Abfallsammlung werden bei 2.520 Einwohnern ca. 3.800 m² für zusätzliche Stellfläche für die Abfallbehälter erforderlich. Mittels z. B. Ökopunkten lassen sich die notwendigen Flächen gegenüber alternativen Nutzungen bewerten.

Zur Beeinflussung von Stoffströmen sowohl auf der Input- als auch auf der Outputseite und darüber hinaus existieren verschiedene Handlungsmöglichkeiten, die in technische, organisatorische und sonstige Maßnahmen überführt werden können. Dazu gehören:

- Vermeidung/Reduzierung des Bedarfs an Gütern (Suffizienz, Mehrfachnutzung / Sharing Economy / „Nutzen statt Besitzen“)
- Ressourceneffizienz (Konstruktionsoptimierung/Leichtbau)
- Verlängerung der Lebens-/Nutzungsdauer (Anpassbarkeit, Reparierbarkeit)
- Abfallvermeidung
- Abfallsammlung / Abfalltrennung
- Abfallaufbereitung

Auf der Ebene eines städtischen Quartiers ergeben sich jedoch für die Mehrzahl der genannten Punkte nur begrenzte Handlungsmöglichkeiten. Als möglich erscheinen u. a. folgende Aktivitäten und Maßnahmen:

- Einflussnahme auf das Verhalten von Unternehmen aller Art
- Einflussnahme auf Handel, Gastronomie, Dienstleistungen
- Einflussnahme auf die Bürgerschaft
- Angebote für Ausleihe, Gebrauchtwarenmärkte und Tausch
- Angebote für Reparaturmöglichkeiten
- Einrichtungen zur Abfallsammlung und Abfalltrennung und unter günstigsten Voraussetzungen Schließung von Stoffkreisläufen z.B. beim (Rück-)Bauen

5 Literaturverzeichnis

- Altrock, Uwe; Kurth, Detlef; Kunze, Ronald; Schmidt, Holger; Schmitt, Gisela (2019): Programmatik der Stadterneuerung. Jahrbuch Stadterneuerung 2019. Wiesbaden: Springer Vieweg. in Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH (Jahrbuch Stadterneuerung).
- Amt für Stadtentwicklung - Statistikstelle (2022): Statistikatlas Karlsruhe. Hg. v. Stadt Karlsruhe. Online verfügbar unter <https://web6.karlsruhe.de/Stadtentwicklung/statistik/atlas/>.
- Bach, J. (2020): Die Hitzebelastung und Auswirkungen der Umgebungsparameter des Lidellplatzes in der Karlsruher Innenstadt auf das Bioklima des Menschen. Masterarbeit. Karlsruhe Institut of Technology (KIT), Karlsruhe. Institut für Geographie und Geoökologie (IfGG).
- Becker, R.; Lamneck, N.; Krehl, A.; Mischka, D.; Petridis, Z. (2020): Kartierung der Biotope, Bäume, Nutzung und Dächer in der Karlsruher Innenstadt-Ost. Institut für Geographie und Geoökologie. Karlsruhe.
- Beninde, Joscha; Veith, Michael; Hochkirch, Axel (2015): Biodiversity in cities needs space. A meta-analysis of factors determining intra-urban biodiversity variation. In: *Ecology letters* 18 (6), S. 581–592. DOI: 10.1111/ele.12427.
- Boehnke, D.; Jerutka, K. (2020): Stadtplätze. Zur Bewertung der Aufenthaltsqualität von urbanen Räumen. In: *Stadt und Raum* (6), S. 330. Online verfügbar unter <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000138784>.
- Boehnke, Denise; Krehl, Alice; Mörmann, Kai; Volk, Rebekka; Lützkendorf, Thomas; Naber, Elias et al. (2022): Mapping Urban Green and Its Ecosystem Services at Microscale—A Methodological Approach for Climate Adaptation and Biodiversity. In: *Sustainability* 14 (15), S. 9029. DOI: 10.3390/su14159029.
- Boehnke, Denise; Volk, Rebekka; Lützkendorf, Thomas; Naber, Elias; Krehl, Alice; Becker, Ronja; Norra, Stefan (2021): Grünbestände in privaten Innenhöfen und deren Ökosystemleistungen im Stadtquartier – Erkenntnisse einer quartiersweiten Erhebung in Karlsruhe. In: Gotthard Meinel, Tobias Krüger und Denise Ehrhardt (Hg.): Flächennutzungsmonitoring XIII. Flächenpolitik - Konzepte - Analysen - Tools. Berlin: Rhombos-Verlag (IÖR-Schriften, Band 79), S. 149–157. DOI: 10.26084/13dfns-p014.
- Böhm, Jutta; Böhme, Christa; Bunzel, Arno; Kühnau, Christina; Reinke, Markus (2016): Urbanes Grün in der doppelten Innenentwicklung. Abschlussbericht zum F+E-Vorhaben Entwicklung von naturschutzfachlichen Zielen und Orientierungswerten für die planerische Umsetzung der doppelten Innenentwicklung sowie als Grundlage für ein entsprechendes Flächenmanagement (FKZ 3513 82 0500). Bonn - Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz (BfN-Skripten, 444).
- Bosch, Meike (2017): Bäume am Blatt erkennen. 64 Laub- und Nadelbäume. [1. Auflage]. Stuttgart: Kosmos.

Brand, J.; Koitzsch, A.; Herbertz, L.; Reichert, C. (2021): Stadtökologie - Ein Film im Rahmen des Stadtökologischen Praktikums am KIT. mp4-Filmaufnahme; Youtube. Karlsruhe. Online verfügbar unter https://www.youtube.com/watch?v=eoRC_LvNxi0.

Breunig, Thomas (2017): Verfeinertes Biotopbewertungsverfahren der Stadt Karlsruhe.

Breuste, Jürgen (2019): Die grüne Stadt. Stadtnatur als Ideal, Leistungsträger und Konzept für Stadtgestaltung. Berlin, Germany: Springer Spektrum.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2016): Den ökologischen Wandel gestalten. Integriertes Umweltprogramm 2030. Berlin:

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB).

Cheela, V. R. Sankar; John, Michele; Biswas, Wahidul; Sarker, Prabir (2021): Combating Urban Heat Island Effect—A Review of Reflective Pavements and Tree Shading Strategies. In: *Buildings* 11 (3), S. 93. DOI: 10.3390/buildings11030093.

Chen, Xianwen; Vries, Sjerp de; Assmuth, Timo; Dick, Jan; Hermans, Tia; Hertel, Ole et al. (2019): Research challenges for cultural ecosystem services and public health in (peri-)urban environments. In: *Science of The Total Environment* 651 (2 // Pt 2), S. 2118–2129. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.030.

Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz (GALK) (2022): GALK-Strassenbaumliste.

Straßenbaumliste mit Einschätzung zur Verwendbarkeit, Webtool mit Baumdatenbank. Hg. v.

Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz (GALK). Online verfügbar unter

<https://www.galk.de/arbeitskreise/stadtbaeume/themenuebersicht/strassenbaumliste/galk-strassenbaumliste>, zuletzt geprüft am 20.12.2022.

Dicks, S.; Glaß, J.; Schlottke, J.; Schmidt-Riese, E. (2021): Stadtklimatologische Untersuchung der Karlsruher Innenstadt-Ost mithilfe eines Klimamessfahrrads. Abschlussbericht am Institut für Geographie und Geoökologie (IfGG) für das Stadtökologische Praktikum im Sommersemester 2021. Karlsruhe.

Die Bundesregierung (2021): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Weiterentwicklung 2021.

Kurzfassung. Berlin: Die Bundesregierung.

DIN 1986-100, 2016: Drainage systems on private ground – Part 100: Specifications in relation to DIN EN 752 and DIN EN 12056, zuletzt geprüft am 01.04.2022.

Eggermont, Hilde; Balian, Estelle; Azevedo, José Manuel N.; Beumer, Victor; Brodin, Tomas; Claudet, Joachim et al. (2015): Nature-based Solutions. New Influence for Environmental Management and Research in Europe. In: *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society* 24 (4), S. 243–248. DOI: 10.14512/gaia.24.4.9.

Fryd, O.; Pauleit, S.; Bühler, O. (2011): The role of urban green space and trees in relation to climate change. In: *CAB Reviews*. Online verfügbar unter <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=GB2018800147>.

Gartenbauamt Karlsruhe (2019): Förderprogramm zur Begrünung von Höfen, Dächern und

Fassaden. Hg. v. Gartenbauamt Karlsruhe. Karlsruhe. Online verfügbar unter

https://www.karlsruhe.de/b3/freizeit/gruenflaechen/hdf/HF_sections/content/ZZjX4eDHKAkwkA/ZZkvk5N7QOf5zr/2019-foerderprogramm-hoefe_19-0437.pdf.

- Geiger, Y. (2019): Modellierung stadtklimatischer Auswirkungen von Bebauungsmaßnahmen am Campus Süd des KIT auf angrenzende Stadtgebiete. Karlsruhe Institut of Technology (KIT), Karlsruhe.
- Haglöf Sweden (2007): Vertex IV und Transponder T3 Bedienanleitung V.1.0l. German.
- Hansen, Rieke; Rolf, Werner; Pauleit, Stephan; Born, Dennis; Bartz, Robert; Kowarik, Ingo et al. (2017): URBANE GRÜNE INFRASTRUKTUR. Grundlage für attraktive und zukunftsfähige Städte. Hinweise für die kommunale Praxis. Hg. v. Bundesamt für Naturschutz (BFN). Berlin.
- Heise, Pamela; Hallermayr, Silja (2022): Grüne Stadt - Gesunder Mensch. Herausforderungen, Lösungsansätze und Handlungsfelder. 1st ed. 2022. Berlin, Heidelberg, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; Springer Spektrum (essentials).
- Hirschfeld, Jesko; Mohaupt, Franziska; Müller, Ria; Klein, Miriam; Riouset, Pauline; Welling, Malte (2019): Stadtgrün wert schätzen! Städte können vom Ausbau der Grünflächen ökologisch, ökonomisch und sozial profitieren. In: *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society* 28 (4), S. 392–393. DOI: 10.14512/gaia.28.4.14.
- Jerutka, K. (2020): Structural and functional diversity of city squares – an assessment concept. Bachelor Thesis. Karlsruhe Institut of Technology (KIT), Karlsruhe.
- Jones, Laurence; Vieno, Massimo; Fitch, Alice; Carnell, Edward; Steadman, Claudia; Cryle, Philip et al. (2019): Urban natural capital accounts. Developing a novel approach to quantify air pollution removal by vegetation. In: *Journal of Environmental Economics and Policy* 8 (4), S. 413–428. DOI: 10.1080/21606544.2019.1597772.
- Kircher, S.; Oloth, M.; Sobnin, A.; Töpfer, P. (2021): Bewertung von Stadtplätzen & CO₂-Speicherung durch die Bäume im öffentlichen Raum der Karlsruher Innenstadt-Ost. Karlsruhe.
- Knietig, S.; Martin, L.; Hubmann, T.; Floßmann, S.; Leszinski, K. (2021): Stadtklimatologische Untersuchungen in der Karlsruher Innenstadt-Ost. Karlsruhe.
- Koch, Kyra; Ysebaert, Tess; Denys, Siegfried; Samson, Roeland (2020): Urban heat stress mitigation potential of green walls. A review. In: *Urban Forestry & Urban Greening* 55 (4), S. 126843. DOI: 10.1016/j.ufug.2020.126843.
- Kowarik, Ingo; Bartz, Robert; Brenck, Miriam; Hansjürgens, Bernd (2017): Ökosystemleistungen in der Stadt. Gesundheit schützen und Lebensqualität erhöhen : Kurzbericht für Entscheidungsträger. Berlin, Berlin, Leipzig: Technische Universität; Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung-UFZ.
- Krehl, Alice (2019): Bestandserfassung von Ökosystemdienstleistungen in der Innenstadt Ost in Karlsruhe. (unveröffentlicht). Bachelorarbeit. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe. Institut für Geographie und Geoökologie (IfGG).
- Krehl, Alice; Boehnke, Denise; Norra, Stefan; Lützkendorf, Thomas; Mörmann, Kai (2023): NaMaRes Leitfaden - Ressourceneffizienz in der Quartiersentwicklung. Handlungsfeld Ökosystemleistungen. Karlsruher Institut für Technologie (KIT). DOI: 10.5445/IR/1000158354.

Landesamt für Denkmalpflege (LAD) (2018): ADABweb. Hg. v. Landesamte für Denkmalpflege im Regierungspräsidium Stuttgart. Esslingen am Neckar. Online verfügbar unter <https://www.denkmalpflege-bw.de/denkmaledatenbanken/adabweb>, zuletzt aktualisiert am 13.12.2021, zuletzt geprüft am 13.12.2021.

Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) (2018): Arten, Biotope, Landschaft. Schlüssel zum Erfassen, Beschreiben, Bewerten. Unter Mitarbeit von Thomas Breunig, Siegfried Demuth, Annegret Wahl, Herbert Gerstner, Jochen Dümas und Julia Schwandner. Karlsruhe.

Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (2022): Monitor der Siedlungs- und Freiraumentwicklung (IÖR-Monitor). Flächenschema. Hg. v. Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung. Online verfügbar unter https://www.ioer-monitor.de/fileadmin/user_upload/monitor/pdf/flaechenschema_01_2018.pdf.

Liegenschaftsamt Karlsruhe; Tiefbauamt Karlsruhe (2019): Basisdaten wurden von der Stadt Karlsruhe bereitgestellt; Kartengrundlage Stadt Karlsruhe. ©Stadt Karlsruhe. Karlsruhe: Stadt Karlsruhe. Online verfügbar unter <https://www.karlsruhe.de/b3/bauen/geodaten/geoshop.de>.

Loga, Tobias; Stein, Britta; Diefenbach, Nikolaus; Born, Rolf (2015): Deutsche Wohngebäudetypologie. – zweite erweiterte Auflage –. Unter Mitarbeit von Tobias Loga, Britta Stein, Nikolaus Diefenbach und Rolf Born. neue Ausg. Darmstadt: Wohnen und Umwelt.

LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (2010): Verordnung des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Verkehr über die Anerkennung und Anrechnung vorzeitig durchgeführter Maßnahmen zur Kompensation von Eingriffsfolgen (Ökokonto-Verordnung – ÖKVO).

Lundholm, Jeremy T.; Richardson, Paul J. (2010): MINI-REVIEW. Habitat analogues for reconciliation ecology in urban and industrial environments. In: *Journal of Applied Ecology* 47 (5), S. 966–975. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2010.01857.x.

Lützkendorf, Thomas; Mörmann, Kai (2023a): NaMaRes Leitfaden - Ressourceneffizienz in der Quartiersentwicklung. Grundlagen. Karlsruher Institut für Technologie (KIT). DOI: 10.5445/IR/1000158350.

Lützkendorf, Thomas; Mörmann, Kai (2023b): NaMaRes Leitfaden - Ressourceneffizienz in der Quartiersentwicklung. Handlungsfeld Wasser. Karlsruher Institut für Technologie (KIT). DOI: 10.5445/IR/1000158361.

Lützkendorf, Thomas; Mörmann, Kai; Ehbrecht, Anke; Schuhmann, Rainer (2023): NaMaRes Leitfaden - Ressourceneffizienz in der Quartiersentwicklung. Handlungsfeld Stoffe. Karlsruher Institut für Technologie (KIT). DOI: 10.5445/IR/1000158357.

LWF, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft - (2011): LWF-Merkblatt Nr. 27 – Kohlenstoffspeicherung von Bäumen. Online verfügbar unter <https://www.waldwissen.net/de/lebensraum-wald/klima-und-umwelt/klimawandel-und-co2/kohlenstoffspeicher-baum>, zuletzt aktualisiert am 04.05.2023, zuletzt geprüft am 04.05.2023.

- Mandler, R. (2020): Aufbau eines stadtklimatologischen Modells zur Analyse von Kaltluftströmen und der urbanen Wärmeinsel am Beispiel der Innenstadt-Ost in Karlsruhe. Masterarbeit. Karlsruhe Institut of Technology (KIT), Karlsruhe.
- Mathey, Juliane (2011): Noch wärmer, noch trockener? Stadtnatur und Freiraumstrukturen im Klimawandel ; Abschlussbericht zum F+E-Vorhaben (FKZ 3508821800). Bonn- Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz (Naturschutz und Biologische Vielfalt, 111).
- media4nature GmbH (2019): Baum pflanzen, CO2-Abdruck reduzieren – welcher Baum bewirkt am meisten? In: *media4nature GmbH*, 21.05.2019. Online verfügbar unter <https://media4nature.de/welcher-baum-reduziert-co2-fussabdruck-am-meisten>, zuletzt geprüft am 04.05.2023.
- Ministerium für Finanzen Baden-Württemberg (2018): Leitfaden zur Verkehrssicherheit – Baumkontrolle –. Anforderungen an die Überprüfung der Verkehrssicherheit der von Vermögen und Bau Baden-Württemberg betreuten Liegenschaften des Landes. Unter Mitarbeit von Bertram Till und Silvia Berg. Hg. v. Ministerium für Finanzen Baden-Württemberg. Stuttgart.
- Morel, Jean Louis; Chenu, Claire; Lorenz, Klaus (2015): Ecosystem services provided by soils of urban, industrial, traffic, mining, and military areas (SUITMAs). In: *J Soils Sediments* 15 (8), S. 1659–1666. DOI: 10.1007/s11368-014-0926-0.
- Naber, Elias; Volk, Rebekka; Lützkendorf, Thomas; Mörmann, Kai (2023): NaMaRes Leitfaden – Ressourceneffizienz in der Quartiersentwicklung. Handlungsfeld Fläche. Karlsruher Institut für Technologie (KIT). DOI: 10.5445/IR/1000158352.
- Naber, Elias; Volk, Rebekka; Mörmann, Kai; Boehnke, Denise; Lützkendorf, Thomas; Schultmann, Frank (2022): Namas—A Surface Inventory and Intervention Assessment Model for Urban Resource Management. In: *Sustainability* 14 (14), S. 8485. DOI: 10.3390/su14148485.
- Nitsch, Xavier (2020): Bäume - 70 Arten entdecken und bestimmen. Unter Mitarbeit von Felix Mayer. Köln: Anaconda (Anaconda Taschenführer).
- OpenStreetMap contributors (2022): Karlsruhe. Cambridge: OpenStreetMap. Online verfügbar unter OpenStreetMap.
- Pfoser, Nicole (2016): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung. Dissertation. Technischen Universität Darmstadt, Darmstadt. Fachgebiet Entwerfen und Freiraumplanung.
- Pfoser, Nicole; Jenner, Nathalie; Henrich, Johanna; Heusinger, Jannik; Weber, Stephan; Schreiner, Johannes; Unten Kanashiro, Carlos (2013): Gebäude Begrünung Energie. Potenziale und Wechselwirkungen. Abschlussbericht. Hg. v. Technische Universität Darmstadt. Darmstadt. Online verfügbar unter <http://www.irbnet.de/daten/rswb/13109006683.pdf>.
- plantnet-project.org (2020): PlantNet Pflanzenbestimmung. App. Version. Paris: plantnet-project.org.
- Stadt Karlsruhe (2020): Innenstadt-Ost. Hg. v. Stadt Karlsruhe. Online verfügbar unter <https://www.karlsruhe.de/stadt-rathaus/stadtteile-ortsverwaltungen/karlsruher-stadtteile>, zuletzt aktualisiert am 2020.

- Stadt Karlsruhe Stadtkonservator/Denkmalerschutz (2020): Datenbank der Kulturdenkmale. Hg. v. Stadt Karlsruhe Stadtkonservator / Denkmalerschutz. Karlsruhe. Online verfügbar unter <https://web1.karlsruhe.de/db/kulturdenkmale/>.
- Stadtplanungsamt Karlsruhe (2019a): Private Modernisierungen. Förderrichtlinien in den Sanierungsgebieten. Hg. v. Stadtplanungsamt Karlsruhe. Karlsruhe. Online verfügbar unter https://www.karlsruhe.de/b3/bauen/sanierung/innenstadt_ost/HF_sections/content/ZZozicVbkXqWxc/1587023455660/F%C3%B6rderrichtlinien.pdf.
- Stadtplanungsamt Karlsruhe (2019b): Private Modernisierungen Kurzübersicht. Hg. v. Stadtplanungsamt Karlsruhe. Karlsruhe. Online verfügbar unter https://www.karlsruhe.de/b3/bauen/sanierung/innenstadt_ost/HF_sections/content/ZZozicVbkXqWxc/1587023455667/Kurz%C3%BCbersicht.pdf.
- Steadfast (2009): File:Locator map Innenstadt-Ost in Karlsruhe.svg. CC BY-SA 3.0. Wikipedia. Hg. v. Wikipedia. Online verfügbar unter <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7031879>.
- Stinner, Sven; Bürgow, Grit; Franck, Vivien; Hirschfeld, Jesko; Janson, Paul; Kliem, Lea et al. (2021): Den multidimensionalen Wert urbanen Grüns erfassen. In: *Stadtforschung und Statistik : Zeitschrift des Verbandes Deutscher Städtestatistiker* 34 (2), S. 24–32. Online verfügbar unter https://www.ssoar.info/ssoar/bitstream/document/75075/1/ssoar-stadtfstatistik-2021-2-stinner_et_al-Den_multidimensionalen_Wert_urbanen_Grüns.pdf.
- TU Dresden, Professur für Forstbotanik (2015): citree - Gehölze für urbane Räume. TU Dresden, Professur für Forstbotanik. Online verfügbar unter <https://citree.de/index.php?language=de>, zuletzt geprüft am 14.11.2022.
- Volk, Rebekka; Naber, Elias; Lützkendorf, Thomas; Böhnke, Denise; Mörmann, Kai; Schultmann, Frank; Norra, Stefan (2021): Identifikation und Bewertung von Entsiegelungspotenzialen als Beitrag zur nachhaltigen Quartiersentwicklung - Zwischenergebnisse aus NaMaRes. In: Gotthard Meinel, Tobias Krüger und Denise Ehrhardt (Hg.): *Flächennutzungsmonitoring XIII. Flächenpolitik - Konzepte - Analysen - Tools*. Berlin: Rhombos-Verlag (IÖR-Schriften, Band 79), S. 209–219. DOI: 10.26084/13dfns-p019.
- Warshagha, A.; Bierer, A.; Wolz, K.; Vitzthum, L. (2018): Kartierung der Biotoptypen in der Karlsruher Innenstadt-Ost im Stadtökologie Praktikum. Institut für Geographie und Geoökologie. Karlsruhe.
- Wooster, E.I.F.; Fleck, R.; Torpy, F.; Ramp, D.; Irga, P. J. (2022): Urban green roofs promote metropolitan biodiversity. A comparative case study. In: *Building and Environment* 207 (40), S. 108458. DOI: 10.1016/j.buildenv.2021.108458.
- Yao, Lei; Li, Tong; Xu, Mingxue; Xu, Ying (2020): How the landscape features of urban green space impact seasonal land surface temperatures at a city-block-scale. An urban heat island study in Beijing, China. In: *Urban Forestry & Urban Greening* 52, S. 126704. DOI: 10.1016/j.ufug.2020.126704.