

**Ressourceneffizienz
in der Quartiersentwicklung**

**Handlungsfeld
Fläche**



Diesen Leitfaden erarbeiteten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) als ein Teilergebnis des Projektes „Ressourcenmanagement im Quartier im Kontext nachhaltiger Stadtentwicklung“ im Rahmen der Forschungsinitiative RES:Z.

Projektleitung

Rebekka Volk (KIT)
Elias Naber (KIT)

Autorenteam

Elias Naber (KIT)
Rebekka Volk (KIT)

unter Mitwirkung von

Thomas Lützkendorf (KIT)
Kai Mörmann (KIT)
Laura Müller (KIT)
Susannah König (KIT)
Nick Tunder (KIT)

Gestaltung

Kerstin Schalling
(Lange & Schalling GbR)



Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und von der DECHEMA e. V. als Projektträger koordiniert. Die Fördermaßnahme ist Teil der „FONA-Strategie“.



Mit der Maßnahme RES:Z wurden 12 inter- und transdisziplinäre Vorhaben unter Beteiligung von über 20 Modellkommunen gefördert, in denen umsetzungsorientierte Konzepte für Wasserwirtschaft, Flächennutzung und Stoffstrommanagement als Grundlage für eine nachhaltige Entwicklung von Stadtquartieren erforscht, entwickelt und erprobt wurden.

DOI:

10.5445/IR/1000158352

Stand 06/2022

Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren. Eine Gewähr für die Inhalte wird nicht übernommen und jede Form der Haftung ausgeschlossen.

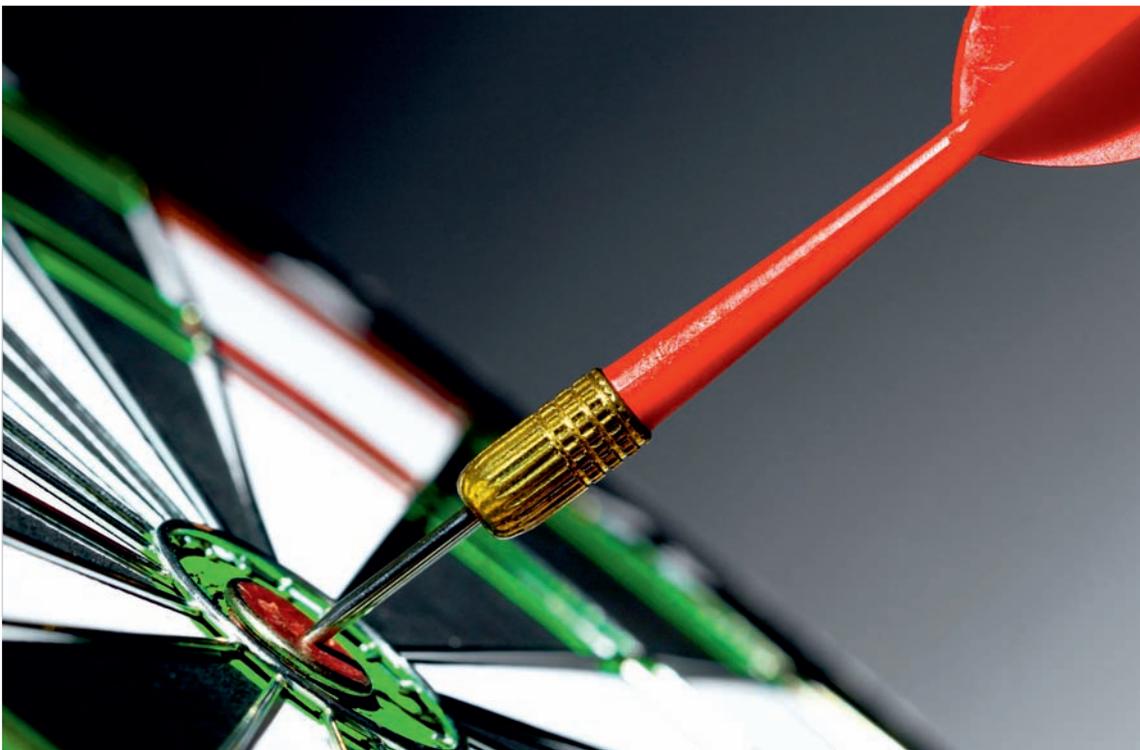
Die Gestaltung des Leitfadens ist für das Lesen am Bildschirm optimiert.

Inhaltsübersicht

Kontext und Ziele	5
Einordnung	6
Ziele	8
Zielgruppen	9
Handlungsfeld Fläche	10
1 Handlungsfeld Fläche	12
1.1 Übersicht und Handlungsempfehlungen – Zusammenfassung	12
1.2 Einordnung und Ziele	12
1.3 Kennwerte und Ziele auf spezifischen Handlungsebenen	14
2 Flächen und Böden als Ressourcen	18
2.1 Grundlagen	18
2.2 Flächen aus Sicht des Ressourcenmanagements	20
2.2.1 Managementaufgaben	20
2.2.2 Ziele einer flächensensiblen Stadtentwicklung	21
3 Relevante Teilthemen im Handlungsfeld Fläche	24
4 Quantitative Kennwerte und Statistiken zum Handlungsfeld Fläche	29
5 Rechtliche Grundlagen und Rahmenbedingungen	34
6 Leitbild für das Handlungsfeld Fläche	41
7 Wechselwirkungen, Nutzungskonflikte, Synergien und Zusammenhänge ...	44
7.1 Grundlagen	44
7.2 Zielkonflikte und Synergien der übergeordneten Ziele	47
7.3 Zusammenhänge der Ressource Fläche mit anderen Bereichen	48
8 Hintergrundinformationen und Indikatoren	50
8.1 Hintergrundinformationen	50
8.2 Indikatoren	50

9	Kennwerte für Analysen und Zielfindung	52
10	Hilfsmittel	55
10.1	EDV-Anwendungen	55
10.2	Flächeninventar und Flächenanalyse	55
11	Analysebeispiel „NaMaRes“	56
12	Involvierte Akteursgruppen	62
13	Maßnahmen und Möglichkeiten ihrer Bewertung	64
13.1	Grundlagen	64
13.2	Steckbriefe für Maßnahmen	68
13.3	Weiterführende Literatur	78
	Literaturverzeichnis	79
	Bildnachweise	93

Kontext und Ziele



Einordnung

Städte befinden sich in einem permanenten Wandel und müssen an neue, derzeit bereits erkennbare künftige Herausforderungen angepasst werden. Gegenwärtig befinden sie sich als Reaktion auf Megatrends wie Klimawandel, Ressourcenverknappung, demografischer Wandel, Globalisierung und Wertewandel in der Gesellschaft (vgl. Göll 2020; Braun, Loew und Clausen 2008) in einem Transformationsprozess. Dieser Transformationsprozess in Richtung inklusiver, sicherer, widerstandsfähiger und nachhaltiger Städte wie er u. a. im Nachhaltigkeitsziel SDG 11 „*Nachhaltige Städte und Gemeinden*“ beschrieben wird, muss unter Einbeziehung der Vertreterinnen und Vertreter der Zivilgesellschaft und weiterer relevanter Akteursgruppen gesteuert und gestaltet werden. Der Beitrag von Städten zu einer nachhaltigen Entwicklung ist damit u. a. eine komplexe Managementaufgabe.

Städte werden zunehmend als Orte, Handlungsebene und Akteure identifiziert, die unverzichtbare Beiträge für die gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung innerhalb planetarer Grenzen und damit im Einklang mit den Zielen des Umweltschutzes leisten müssen und können.

Städte sind sowohl Wohn- als auch Produktionsstandorte, die Qualität von Gebäuden und städtebauliche Strukturen beeinflusst das soziale Zusammenleben, die Gesundheit und das Wohlbefinden sowie die Leistungsfähigkeit ihrer Bewohner. Sie sind Orte der Wertschöpfung sowie des Handels und von Dienstleistungen. Städte sind in der Folge davon auch Orte erheblicher Energie- und Stoffströme sowie unerwünschter Wirkungen auf die lokale und globale Umwelt und weisen gleichzeitig erhebliche Minderungspotenziale auf. Dies ist unabhängig davon der Fall, ob eine Analyse von Energie- und Stoffströmen, Wirkungen oder Minderungspotenzialen nach dem Produktions- bzw. Quellprinzip, dem Territorialprinzip oder dem Verursacherprinzip erfolgt (vgl. Balouktsi 2020). Städte sind zusätzlich von den Folgen des bereits einsetzenden Klimawandels betroffen und müssen durch die Verbesserung der Widerstandsfähigkeit ihrer Bauten und Strukturen an diesen angepasst werden. Bereits diese wenigen Hinweise unterstreichen die Bedeutung der sich in Wechselwirkung befindlichen ökonomischen, gesellschaftlichen und ökologischen Aspekte einer nachhaltigen Stadtentwicklung.

In der Wissenschaft haben sich Städte und ihre Entwicklung zu einem eigenständigen Forschungsgebiet entwickelt – Städte werden damit zunächst zum Betrachtungsgegenstand. Sie sind gleichzeitig aber auch Handlungsebene und Handlungsfeld. Städte eignen sich insbesondere für sektorübergreifende Maßnahmen und ergänzen so sektorspezifische Aktivitäten in der Industrie oder der Energiewirtschaft. Sie haben einen großen direkten und indirekten Einfluss auf Handlungsfelder wie u. a. Gebäude und Verkehr bzw. Bedürfnisfelder wie u. a. Wohnen und Mobilität. Über die Stadtverwaltungen sind Städte relevante Akteure mit großem Gestaltungsspielraum und Einfluss. Zahlreiche kommunale Initiativen in Richtung klimaneutraler Städte zeigen, dass sie teilweise schneller und zielorientierter handeln als es z. B. über nationale Gesetzgebungsinitiativen möglich ist.

In der internationalen Agenda 2030 ist die Stadtentwicklung ein wichtiges Nachhaltigkeitsziel. Als SDG 11 steht es in enger Wechselbeziehung zu den übrigen Zielen, Themen und Indikatoren. Nicht nur deshalb steht in Deutschland die nachhaltige und integrierte Stadtentwicklung im Zentrum der Regierungspolitik.

Nachhaltigkeit bzw. nachhaltige Entwicklung ist eine komplexe Thematik. Sie muss an den konkreten Betrachtungsgegenstand angepasst, in Planungs- und Entscheidungsabläufe integriert, hinsichtlich Aufwand und Nutzen bewertbar gestaltet und mit den individuellen und institutionellen Wertvorstellungen, Motiven, Handlungsmöglichkeiten und Handlungszielen relevanter Akteursgruppen abgeglichen werden.

Konzentrierten sich bisherige Anstrengungen häufiger auf Themen wie Verlangsamung bzw. Begrenzung des Klimawandels, Anpassung an die lokalen Folgen des Klimawandels (inkl. Wärmeinseleffekte), Energieeinsparung, Sicherung bezahlbaren Wohnraums und/oder Begrenzung der täglichen Zunahme an Siedlungs- und Verkehrsfläche sowie Gestal-

tion von zukunftsfähigen Mobilitätskonzepten, wird in der derzeitigen Debatte die Palette von Themen nochmals erweitert. Nicht alle Themen sind neu, sie werden jedoch im Kontext einer nachhaltigen Stadtentwicklung stärker betont. Hierzu zählen die Einbeziehung der Zivilgesellschaft in Zielentwicklung und Umsetzungsstrategien (Partizipation), die Verbesserung der Effizienz bei der Nutzung natürlicher Ressourcen, Wasser- und Abwassermanagement, Zugang zu Grünflächen, Umgang mit Abfallaufkommen und Abfallbehandlung oder auch Qualität der Außenluft. Im Kontext der Themen *green deal* (vgl. EU-Kommission o. J.) und *circular economy* (vgl. EU-Kommission 2020) bildet sich erkennbar ein neuer Themenschwerpunkt in den Bereichen Ressourcenmanagement und Ressourceneffizienz heraus. Damit stellt sich u. a. die Frage, wie Städte mit diesem Thema umgehen sollen und können.

Mit Stadtquartieren bildet sich für Maßnahmen zur effizienten Nutzung von natürlichen Ressourcen eine wichtige Handlungsebene heraus. Da sich lokale Akteure, die unverzichtbar für die Realisierung entsprechender Maßnahmen sind, häufig im Quartier engagieren und aktiv zu einer Verbesserung der Situation beitragen möchten, liefert es einen geeigneten Rahmen für eine umsetzungsorientierte Vorgehensweise.

Im Zuge des vom BMBF geförderten Projektverbundes RES:Z „Ressourceneffiziente Stadtquartiere“¹ entstanden im Projekt namens „Ressourcenmanagement im Quartier im Kontext einer nachhaltigen Stadtentwicklung“ Grundlagen und Hilfsmittel. Diese wurden gemeinsam mit der Stadt Karlsruhe und weiteren Projektpartnern am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) erarbeitet. Dazu zählen auch Grundlagen für die Erfassung, Bewertung und gezielte Beeinflussung der Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen auf der Ebene von Stadtquartieren.

In einer Reihe von fünf thematischen Leitfäden werden die Grundlagen für die Beurteilung und Beeinflussung der Ressourceneffizienz sowie die Unterstützung des Ressourcenmanagements in Stadtquartieren vorgestellt und durch Hinweise auf verfügbare Literatur und Praxisbeispiele ergänzt. Diese Leitfäden behandeln die Themen

Grundlagen, Stoffe, Wasser, Fläche und Ökosystemleistungen.



¹RES:Z (Ressourceneffiziente Stadtquartiere) ist eine Fördermaßnahme des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, mit der 12 inter- und transdisziplinäre Vorhaben bezüglich umsetzungsorientierter Konzepte für Wasserwirtschaft, Flächennutzung und Stoffstrommanagement unter Beteiligung von über 20 Modellkommunen gefördert werden. Darüber hinaus wird die inhaltliche Vernetzung der Vorhaben, die Kommunikation nach außen und der Transfer in die kommunale Praxis durch Querschnittsprojekte unterstützt.

Ziele

Die Schonung der natürlichen Ressourcen ist ein wesentliches Anliegen einer nachhaltigen Entwicklung im Bereich der ökologischen Dimension. Dieses Anliegen ist eng verbunden mit den zentralen Zielen Generationengerechtigkeit, Energieeinsparung, Klima- und Umweltschutz sowie der Verminderung unerwünschter Wirkungen auf die globale und lokale Umwelt insbesondere im Zusammenhang mit der Gewinnung primärer Rohstoffe, der Einsparung von Kosten sowie der Reduzierung negativer externer Effekte. Die Zielsetzung der Schonung primärer Rohstoffe stellt eine Reaktion auf den Megatrend der Ressourcenverknappung dar.

Mit den Ansätzen und Prinzipien der Suffizienz, der Effizienz sowie der hauptsächlichen Nutzung erneuerbarer Energien, nachwachsender Rohstoffe und von Sekundärmaterialien existieren unterschiedliche Strategien zur Schonung natürlicher Ressourcen. Diese lassen sich auf unterschiedlichen Handlungsebenen umsetzen.

Im Kontext des Nachhaltigkeitsziels SDG 11 werden Städte zu Betrachtungsgegenstand, Handlungsebene und Akteuren einer nachhaltigen Entwicklung. Die Auseinandersetzung mit Fragen der Erfassung, Bewertung und Beeinflussung der Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen wird damit zu einem aktuellen Thema. Die bisher weit verbreitete Befassung mit dem Aufwand an „Primärenergie, nicht erneuerbar“ im Sinne einer Inanspruchnahme von fossilen Energieträgern als Teil der natürlichen Ressourcen reicht jedoch nicht aus, um alle Effekte der Inanspruchnahme von Ressourcen abzudecken.

Wichtig ist es, einerseits fossile Energieträger als eine von mehreren Kategorien primärer Rohstoffe und damit als natürliche Ressource zu interpretieren und andererseits das Spektrum relevanter Kategorien deutlich zu erweitern. Dies betrifft u. a.

- Wasser
- Fläche
- Primäre (Roh-)Stoffe
- Ökosystemleistungen/Biodiversität

Um die Komplexität der Auseinandersetzung mit dem Metabolismus kompletter Städte zu reduzieren, wird die Handlungsebene der nachhaltigen Quartiersentwicklung gewählt. Dies erleichtert die Identifikation und Einbeziehung involvierter Akteursgruppen. Der Zugang zum Thema der Erfassung, Bewertung und gezielten Beeinflussung einer Inanspruchnahme ausgewählter natürlicher Ressourcen erfolgt aus verschiedenen Perspektiven. Unterschieden werden Bewertungs- und Managementaufgabe, die ineinander übergehen.

a) Bewertungsaufgabe

Im Vordergrund der Bewertung der Ressourceneffizienz steht die Gegenüberstellung eines Nutzens und die zu dessen Generierung erforderliche bzw. erfolgte Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen. Stößt die Erfassung der Ressourceninanspruchnahme auf Datenprobleme, ist die Erfassung eines Nutzens auf Quartiersebene mit methodischen Fragen verbunden. Zusätzlich müssen die Auswirkungen von Maßnahmen zur Verbesserung der Ressourceneffizienz, hier zur Reduzierung der Inanspruchnahme primärer Ressourcen unter Beachtung planetarer Grenzen und lokaler Verfügbarkeit, der Suffizienz (Hinterfragen des Bedarfs/gewünschten Nutzens) sowie der Nutzung erneuerbarer Energie, nachwachsender Rohstoffe und von Sekundärmaterialien, auf Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft im Kontext einer Nachhaltigkeitsbewertung analysiert werden.

b) Managementaufgabe

Nicht bei allen Akteuren stehen Kategorien eines Nutzens im Vordergrund. Sie befassen sich unmittelbar mit der Erfassung, Bewertung und Beeinflussung der Ressourceninanspruchnahme, unabhängig von direkten Effizienzüberlegungen. Diese Perspektive wird hier als Managementaufgabe in die Betrachtungen aufgenommen. Teilaspekte sind die Sicherung der Rohstoffversorgung, die Erfassung und Steuerung von Stoffströmen und die entsprechende Berichterstattung.

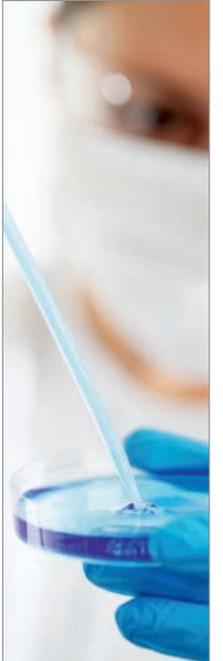
Zielgruppen

Die Leitfäden richten sich an alle Akteursgruppen, die direkt und indirekt an einer nachhaltigen Quartiersentwicklung beteiligt sind und Einfluss auf die Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen haben bzw. von der Inanspruchnahme und ihren Folgen und/oder von Maßnahmen zu ihrer Reduzierung einschließlich der Neben- und Auswirkungen betroffen sind.

Zielgruppen für den Leitfaden und damit potenzielle Anwender sind

<p>Kommunale Verwaltungs-/ und Planungs- einrichtungen</p> 	<p>Planungs- büros</p> 	<p>Ver- und Entsorgungs- unternehmen</p> 	<p>Wohnungs- und Gebäudeeigentümer und deren Interessenvertretungen</p> 
<p>Quartiersmanager</p> 	<p>Unternehmen und Betriebe</p> 	<p>Bürgerinitiativen</p> 	<p>Haushalte</p> 

Mit den methodischen Grundlagen werden zusätzlich angesprochen die Vertreterinnen und Vertreter der

<p>Politik</p> 	<p>Wissenschaft</p> 	<p>Bildung</p> 	<p>Medien</p> 	<p>Zivilgesellschaft</p> 
---	--	---	---	---

Handlungsfeld Fläche



Mit dem Teil „**Fläche**“ wird eine Ressource behandelt, die sich nicht vermehren lässt. Sie bildet eine enge Einheit mit den Böden. Auf das Leitbild einer flächensensiblen Stadt wird ebenso eingegangen wie auf Indikatoren und Handlungsmöglichkeiten. Auf Quartiersebene geht es u. a. darum, Entsiegelungspotenziale auszuschöpfen und Flächen an bzw. auf Gebäuden als zusätzliche Ressource wahrzunehmen und zu nutzen.

Der hier vorliegende Teil einer Reihe von Leitfäden enthält Hinweise zum Umgang mit der Ressource Fläche, u. a. in Form von Arbeitsblättern. Behandelt werden beispielsweise Themen des kommunalen Flächenmanagements, Zielkonflikte in der Nutzung von Flächen und zur Begrünung. Es werden Zusammenhänge zu den Handlungsfeldern Stoffe, Wasser sowie Ökosystemleistungen vorgestellt und erläutert.

1 Handlungsfeld Fläche

1.1 Übersicht und Handlungsempfehlungen – Zusammenfassung

Flächen – hier im Sinne von Oberflächen in der Natur – und Böden stellen eine nicht erneuerbare und damit begrenzte Ressource dar. Als Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung ist die Flächeninanspruchnahme, die mit einer die ökologische Qualität mindernden Landnutzungsänderung verbunden ist, zu minimieren oder umzukehren. Der Umgang mit Flächen bzw. Böden ist in qualitativer und quantitativer Hinsicht so zu gestalten, dass zukünftigen Generationen Handlungsoptionen für deren Nutzung verbleiben.

Angelehnt an die Bodenstrategie der Europäischen Union 2030 (Europäische Kommission 2021), die Gesetze über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz – BNatSchG) und das Instrument der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) ergeben sich im Kontext des Leitbildes einer „Flächensensiblen Stadt“ für den Schutz des Bodens und die Schonung von Flächen fünf wesentliche Anforderungen:

- (1) Vermeidung von zusätzlichem Flächenverbrauch
- (2) In Anspruch genommene und nicht mehr genutzte Flächen naturnah wiederherstellen
- (3) In Anspruch genommene Flächen effizienter und „im Kreislauf“ nutzen
- (4) Auswirkungen durch den Flächenverbrauch minimiere
- (5) Unvermeidbaren Flächenverbrauch an anderer Stelle kompensieren

Für die Erfüllung der genannten Anforderungen werden folgende Empfehlungen gegeben:

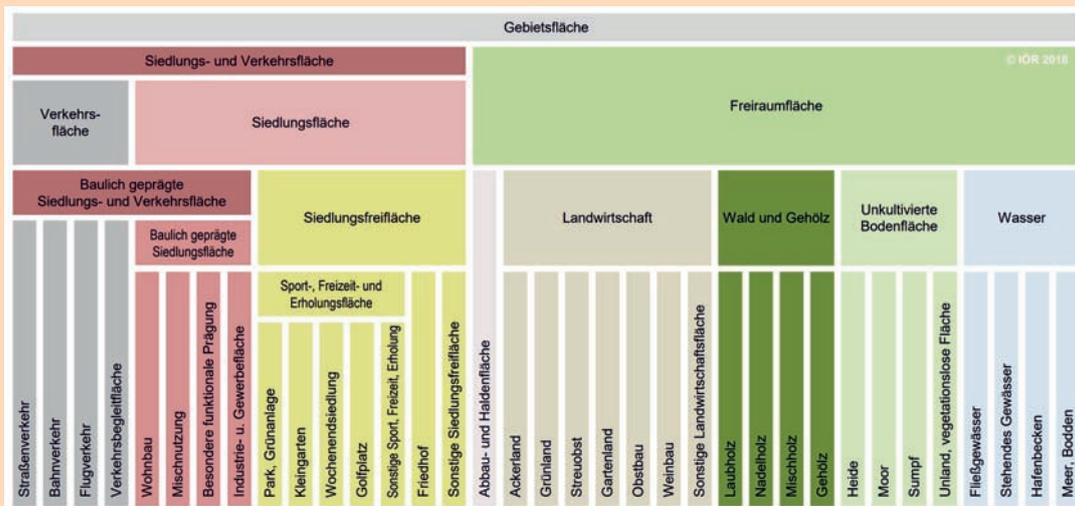
- Mit einem vollständigen Flächenkataster/Oberflächeninventar mit Angaben zu (Teil-)Entsiegelungspotenzialen für private und öffentliche Flächen eine Informationsgrundlage schaffen
- Bodenfunktionen sollen bei Planungsentscheidungen berücksichtigt werden
- Neben dem etablierten Flächenmanagement (Baulücken, untergenutzten Flächen, Neubauflächen, Brachen und Umnutzungsflächen) bietet die Erfassung und das Monitoring einer Nutzung von Flächen an und auf Gebäuden ein Instrument zur Erschließung von Potenzialen
- Städtebauliche Verträge mit Vorgaben für Anteile von Grün-Blauen-Flächen
- Möglichkeiten in der Freiflächengestaltungssatzung nutzen, um vernetzte Grün-Blaue Korridore zu schaffen
- Maßnahmen auf öffentlichem Eigentum vorziehen, da potenziell weniger Kompromisse eingegangen werden müssen und mehr Vorbildwirkung entstehen kann
- Instrumentarium der Gesetzgebung/Verordnungen z. B. des Baugesetzbuches ausschöpfen und Fördermittel zielgerichtet einsetzen
- Kommunales Satzungsrecht nutzen
- Durch Abgaben und Befreiungen attraktive Rahmenbedingungen schaffen.
- In den Verwaltungen geeignete, ämterübergreifende Organisationsstrukturen schaffen, „Flächen gemeinsam beplanen“
- Öffentlichkeitsarbeit verbessern und Problembewusstsein schaffen

1.2 Einordnung und Ziele

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. in der Form von Siedlungs- und Verkehrsflächen. Deren bedarfsgerechte und angemessene Bereitstellung ist einerseits die Voraussetzung für eine gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung. Jedoch wird andererseits hierfür oftmals der Verlust der natürlichen Bodenfunktionen in Kauf genommen. Es ergeben sich Zielkonflikte und Konkurrenzen bei der Nutzung von Flächen.

Flächen können anhand ihrer Beschaffenheit, der Art der Bodenbedeckung oder Nutzung kategorisiert werden. Hierzu existiert u. a. eine Klassifizierung des Leibnitz-Institutes für ökologische Raumentwicklung (s. Abbildung 1).

Abbildung 1: Flächenschema des IÖR-Monitors: Vollständige und redundanzfreie Beschreibung der Erdoberfläche durch Flächenkategorien, abgeleitet aus dem ATKIS Basis-DLM (nach AAA-Modell)



Quelle: Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung 2022a

Im Rahmen des Projektes „NaMaRes“ werden zusätzlich die Flächen an Gebäuden (Dächer und Fassaden) als nutzbare Ressourcen betrachtet. Auch diese können für spezifische Anwendungen herangezogen werden und im Bedarfsfall zur Entlastung natürlicher Flächen führen (beispielsweise durch die gebäudeintegrierte solare Stromerzeugung über Dach- und/oder Fassadenflächen).

Seit dem Jahr 2002 ist der „Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche in Hektar pro Tag“ als ein Indikator in der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie verankert. Dieser Indikator ist eine aus amtlichen Flächenstatistiken ermittelte Maßzahl, die als gleitender 4-Jahres-Mittelwert berechnet wird. Bis zum Jahr 2030 soll der 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 schärfere Ziel unterstützt die Ressourcenstrategie der Europäischen Union und den Klimaschutzplan der Bundesregierung hin zu einer Flächenkreislaufwirtschaft (Netto-Null-Ziel). Die Zwischenziele für die Jahre 2025, 2030, 2035, 2040, 2045 und 2050 fasst Tabelle 1 zusammen.

Tabelle 1: Zwischenziele für die Flächenneuinanspruchnahme (Umweltbundesamt 2022d)

	Ziele	2025	2030*	2035	2040	2045	2050**
Angestrebter Flächenverbrauch (in ha pro Tag)	Vorschlag UBA	25		15	10	5	
	IUP 2030		20				
	Klimaschutzplan 2050/Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie		< 30				0

* Ziele 2030: Integriertes Umweltprogramm/Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie, Neuaufl. 2016

** Ziele 2050: Ressourcenstrategie Europäischen Union, Klimaschutzplan Bundesregierung
Übrige Zwischenziele: Vorschlag Umweltbundesamt für Pfand zum 0-Hektar-Ziel

Gemäß Klimaschutzprogramm der Bundesregierung soll der Flächenverbrauch bis 2050 auf Netto-Null reduziert und somit der Übergang in eine Flächenkreislaufwirtschaft vollzogen werden (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2016). Da dieser Indikator die Nutzung von Flächen in einem bundesweiten Maßstab betrachtet, müssen im Handlungsfeld Fläche auf Quartiersebene weitere qualitative und quantitative Informationen genutzt werden, um auf regionaler und kommunaler Ebene handlungsleitende Ziele und Strategien zu formulieren – siehe hierzu Kapitel 8.

Ziele, die mit Maßnahmen im Handlungsfeld Fläche unterstützt werden können, z. B. durch die (Wieder-)Begrünung von urbanen Flächen, sind u. a. die Förderung von Gesundheit und Lebensqualität, Anpassung an den Klimawandel und Stärkung der Resilienz, der Schutz und das Erleben von biologischer Vielfalt, die Förderung des sozialen Zusammenhalts und der gesellschaftlichen Teilhabe (Hansen et al. 2017).

Zusätzliche direkte und indirekte Zusammenhänge zu den Nachhaltigkeitszielen anderer Schwerpunkte können anhand der Ziele der Vereinten Nationen für eine nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals – SDGs) aufgezeigt werden.

Ein bundespolitisches Instrument zur Unterstützung des Erreichens entsprechender Ziele wurde im Jahr 2013 mit dem Gesetz zur Stärkung der städtebaulichen Innenentwicklung geschaffen (Bundestag 2013).

1.3 Kennwerte und Ziele auf spezifischen Handlungsebenen

Eine historische Betrachtung der Entwicklung der Flächeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrszwecke in Deutschland zeigt einen rückläufigen Trend, jedoch ist der Wert auf einem noch hohen Niveau und verfehlt die gesetzten Ziele bisher deutlich (Abbildung 2). Hervorzuheben ist, dass es hier nicht um eine Entsiegelung und/oder Renaturierung geht, sondern primär um die Begrenzung der täglichen Zunahme der Landnutzungsänderung in Richtung Siedlungs- und Verkehrsfläche. Bisher wurde damit die weitere Umwandlung von Flächen in Siedlungs- und Verkehrsflächen zwar verlangsamt, aber noch nicht gestoppt.

Abbildung 2: Trend der Siedlungs- und Verkehrsfläche*

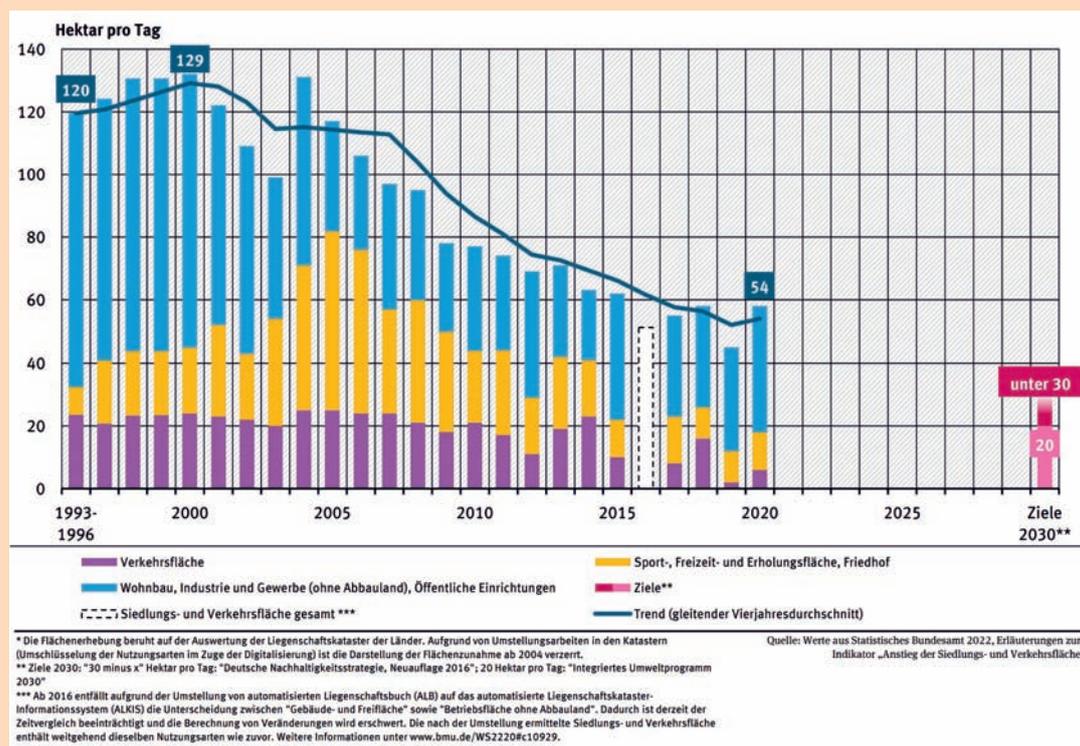


Tabelle 2 Bundeslandspezifische Ziele zu Flächenverbrauch und -inanspruchnahme
(Basis Länderinitiative Kernindikatoren – LiKi 2022 – ergänzt durch eigene Recherchen)

<p>Baden-Württemberg</p>	<p>Koalitionsvertrag 2021 (BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN und CDU Baden-Württemberg 2021) strebt eine bedarfsgerechte Flächenausweisung und effiziente Flächennutzung an. Vor der Neuausweisung soll vorrangig der Innenbereich – Flächen innerhalb bestehender Siedlungs- und Verkehrsflächen – entwickelt werden. Bestehende und nicht mehr benötigte Infrastruktur soll rückgebaut werden. Ziel: max. 2,5 Hektar pro Tag; bis 2035 Netto-Null</p>
<p>Bayern</p>	<p>Flächen sollen effizienter genutzt werden, bevorzugte Innenentwicklung und finanzielle Förderung mit einer Entsiegelungsprämie (Koalitionsvertrag 2018 – CSU und FREIE WÄHLER, 2018). Landesplanungsgesetz 2020 (Landtag des Freistaates Bayern 2020): Richtgröße von 5 Hektar pro Tag bis 2030</p>
<p>Berlin</p>	<p>Die Entwicklung einer eigenen Bodenschutzkonzeption und eines Entsiegelungsprogrammes sind geplant. Neben einer Reduzierung der Neuversiegelung auf das baurechtlich notwendige Maß soll der Flächenversiegelung durch gezielte Entsiegelung entgegengewirkt werden wie z. B. durch die dauerhafte Zuführung von Flächen zum Naturhaushalt sowie die Wiederherstellung der Bodenfunktionen und durch Renaturierung. Ab spätestens 2030 soll eine „Netto-Null-Versiegelung“ erreicht werden (Koalitionsvertrag 2021 – SPD, Landesverband Berlin und BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, Landesverband Berlin und DIE LINKE 2021)</p>
<p>Brandenburg</p>	<p>Entwicklung einer Entsiegelungsstrategie (Koalitionsvertrag 2019 (SPD, CDU, BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN). Nachhaltigkeitsstrategie für das Land Brandenburg – Fortschreibung 2019 (Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz 2019): Verringerung der Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr</p>
<p>Bremen</p>	<p>Strategische Ziele des SUBV (2013): Verminderung des Flächenverbrauchs durch Flächenrecycling, die Nutzung von Brachflächen und Baulücken sowie ein insgesamt schonender Umgang mit Grund und Boden durch Vorrang für eine Innenentwicklung (Länderinitiative Kernindikatoren – LiKi 2022)</p>
<p>Hamburg</p>	<p>Erhöhung der Flächeneffizienz, Erstellung eines aus Entwässerungsgebühren finanziertes Entsiegelungsprogramm (Koalitionsvertrag 2021 SPD 2020). Umweltprogramm Freie und Hansestadt Hamburg 2012: Möglichst sparsamer Umgang mit Flächen und Flächenrecycling für neue Nutzung (z. B. Umwandlung alter Gewerbeflächen zu Wohnbauzwecken)</p>
<p>Hessen</p>	<p>Innenentwicklungspotenziale sollen stärker genutzt und der Einsatz von Flächen im Außenbereich minimiert werden (Kleine Anfrage Hessischer Landtag 2022 (Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz 2017)) Die Flächeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrsflächen soll auf 2,5 ha pro Tag reduziert werden, um Flächen für Landwirtschaft, Naturschutz, Landschaftspflege und Erholung zu sichern.</p>
<p>Mecklenburg-Vorpommern</p>	<p>Vorrangige Nachverdichtungen und Nutzung bereits vorbelasteter Flächen. Reduzierung der Flächeninanspruchnahme (Koalitionsvertrag 2021 – SPD und DIE LINKE 2021)</p>

Nieder-sachsen	Gesetz zur Umsetzung des Niedersächsischen Weges im Naturschutz-, Gewässerschutz- und Waldrecht (Niedersächsischer Landtag 2020): Verringerung der Neuversiegelung von Böden bis 2030 auf unter 3 ha pro Tag und bis 2050 keine Neuversiegelung
Nordrhein-Westfalen	Koalitionsvertrag 2022 (CDU und BÜNDNIS90/DIE GRÜNEN 2022b): Flächenverbrauch zeitnah auf 5 Hektar pro Tag und 2099 perspektivisch weitergehend durch konkrete Maßnahmen reduzieren Nachhaltigkeitsstrategie NRW 2020 (Nordrhein-westfälische Landesregierung 2020): Angemessener Beitrag zur Erreichung des Bundeszieles zur Senkung der neuen Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr auf unter 30 ha pro Tag bis 2030
Rheinland-Pfalz	Koalitionsvertrag 2021–2026 (SPD, BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN und FDP 2021): Tägliche Neuinanspruchnahme dauerhaft unter einem Hektar; Flächenverbrauch von Netto-Null bis 2050
Saarland	Wahl/Regierungsprogramm 2022 (SPD 2022): Ziel des „Netto-Nullverbrauchs“ schon vor 2050 erfüllen und in den nächsten zehn Jahren den Flächenverbrauch halbieren
Sachsen	Koalitionvertrag 2019 (CDU, BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN und SPD 2019): 2 ha/Tag bis 2030
Sachsen-Anhalt	Koalitionsvertrag 2021 (SPD, CDU und FDP 2021): Begrenzung der Flächenversiegelung in Anlehnung an das bundesweite Ziel
Schleswig-Holstein	Nachhaltigkeitsbericht Schleswig-Holstein 2020 (CDU und BÜNDNIS90/DIE GRÜNEN 2022a): Bis 2030 maximale Flächeninanspruchnahme von unter 1,3 ha/Tag (Koalitionsvertrag 2022: Flächenverbräuche, die der Transformation zur Klimaneutralität dienen, werden temporär nicht auf das 1,3 Hektar Ziel angerechnet)
Thüringen	Nachhaltige Entwicklung in Thüringen 2020 (Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz 2020): Möglichst ausgeglichene Bilanz zwischen Neuinanspruchnahme und Rückwidmung für natürliche und naturnahe Zwecke

Eine Übersetzung der SDG-Ziele auf die regionale und kommunale Ebene wurde im Zusammenhang mit dem Vorhaben „SDG-Indikatoren für Kommunen“ (Assmann, Honold, Grabow und Roose 2018; Bertelsmann Stiftung et al. 2022) vorgestellt. Damit lassen sich Zustände beschreiben und Ziele bestimmen, welche die nationalen Ziele unterstützen sollen. Ein darauf ausgerichtetes online Informationsportal bewertet Kommunen ab 5.000 Einwohnerinnen und Einwohner und lässt kommunale Vergleiche der vorgeschlagenen Indikatoren zu (<https://sdg-portal.de/de/>).

Für die Ressource Fläche werden die Indikatoren Flächeninanspruchnahme, Flächenneuanspruchnahme, Flächennutzungsintensität und Naherholungsflächen sowie weitere indirekte zusammenhängende Indikatoren beschrieben. Zusammenhänge zu den SDGs und verschiedene Methoden zur Berechnungsweise und Datenquellen für Eingangsdaten werden übersichtlich zusammengefasst. Insgesamt können für die Operationalisierung des Ressourcenmanagements der Ressource Fläche eines Quartiers diese Indikatoren wertvolle Einblicke liefern, jedoch reicht die Auflösung für die Quartiersebene nicht aus und die vorgeschlagenen Methoden müssen an Quartiersgröße/-grenzen angepasst werden, um ein noch feineres Bearbeitungsrastraster nutzen zu können.

Die Ziele des Bundes und der Länder sind ambitioniert. Um diese ansatzweise zu erreichen, ist eine effiziente und nachhaltigere Nutzung von Flächen notwendig. Dies ist mit Zielkonflikten und Nutzungskonkurrenzen verbunden. Sie entstehen u. a. im Prozess einer weiteren Urbanisierung. Forderungen nach zusätzlichem Wohnraum oder verbesserter Verkehrsanbindung lassen sich selten ohne den Verbrauch von Flächen erfüllen. Auch bei einer Innenentwicklungsstrategie müssen z. T. Kompromisse gesucht und eingegangen werden, um Wohnraum zu schaffen, ohne Freiflächen zu versiegeln oder Luftschneisen zu verlieren. Erfahrungen mit Maßnahmen aus der Praxis zeigen Möglichkeiten und Strategien, die Zielkonflikte abzumildern oder zu lösen und zeitgleich die Ressource Fläche nachhaltig zu verwalten und zu nutzen. Einige Strategien werden bereits in die allgemeine Planungspraxis integriert, beispielsweise mit der Einführung und Anwendung des Planungsgrundsatzes der doppelten Innenentwicklung. Das Leitbild der doppelten Innenentwicklung sieht eine simultane bauliche Verdichtung und Weiterentwicklung des urbanen Grüns vor. Hinweise können der nachstehenden INFOBOX entnommen werden.

„Das Leitbild der doppelten Innenentwicklung verfolgt das Ziel, Flächenreserven im Bestand baulich sinnvoll zu nutzen, gleichzeitig aber auch urbanes Grün zu entwickeln, zu vernetzen und qualitativ aufzuwerten. Zielkonflikte zwischen baulicher und freiraumbezogener Entwicklung sind dabei nicht immer vermeidbar, nicht selten gehen aber diese Konflikte zu Lasten städtischer Frei- und Grünräume. Das Bundesamt für Naturschutz hat dazu Handlungsempfehlungen für die Entwicklung innerstädtischer Flächenreserven erarbeitet, die den Städten und Gemeinden den verantwortungsvollen Umgang mit urbanem Grün bei der städtebaulichen Innenentwicklung erleichtern und eine qualifizierte doppelte Innenentwicklung befördern.“

BMUV o. J.

Empfehlungen für Kommunen sowie eine Sammlung von Praxisbeispielen sind zugänglich unter

https://www.bfn.de/sites/default/files/BfN/planung/siedlung/Dokumente/dopi_brosch.pdf

Ein besonderer Fokus liegt in der Erfassung und Bewertung von Flächenpotenzialen für die urbane Begrünung. Des Weiteren werden Hinweise zur Planung und Entwicklung, Finanzierung und Prozessgestaltung der doppelten Innenentwicklung für Kommunen gegeben.



2 Flächen und Böden als Ressourcen

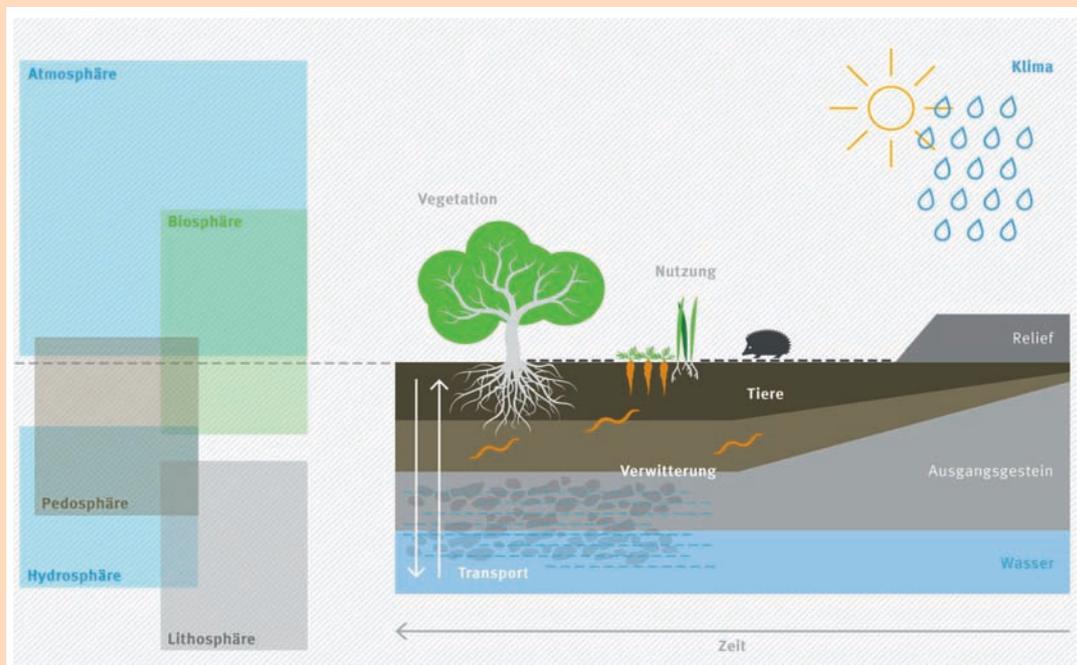
2.1 Grundlagen

Aus Sicht der Betrachtung von natürlichen Ressourcen ist der Übergang zwischen Flächen und Böden fließend. Fläche wird hier zunächst als Oberfläche interpretiert, der Boden als oberflächennahe Schicht. Das Umweltbundesamt in Deutschland betrachtet sowohl die Fläche als auch den Boden als eine Ressource. Beide stehen in einer engen Wechselwirkung. Die Nutzung von Flächen im Kontext einer gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklung führt zu einer Landnutzungsänderung. Diese kann hinsichtlich Intensität und Richtung beschrieben und bewertet werden. Eine Landnutzungsänderung wirkt sich auf die Qualität und Nutzbarkeit des Bodens aus – z. B. führt die Nutzung für Verkehrs- und Siedlungszwecke z. T. zu einer Bodenversiegelung. Hieraus ergeben sich Folgewirkungen. Die nachstehende INFOBOX sowie Abbildung 3 erläutern die Zusammenhänge.

„Die Pedosphäre (von griechisch πῆδον pedon „Boden“ oder „Erde“ und σφαῖρα sphaira „Kugel“) ist die Grundlage des terrestrischen Lebens auf der Erde. Sie ist die äußerste Schicht der Erde, die aus Boden besteht und Bodenbildungsprozessen unterliegt. Sie befindet sich an der Schnittstelle von Lithosphäre, Atmosphäre, Hydrosphäre und Biosphäre. Diese „Haut“ entsteht erst durch eine dynamische Wechselwirkung zwischen Atmosphäre (Luft im und über dem Boden), Biosphäre (lebende Organismen), Lithosphäre (unverfestigtes Regolith und verfestigtes Grundgestein) und Hydrosphäre (Wasser im, auf und unter dem Boden).“

Landscape 2000–2002; Nasa 2012 (zusammengefasst)

Abbildung 3: Pedosphäre und die Schnittstellen zu anderen Sphären der Erde



Quelle: Marahrens et al. 2015

Flächen lassen sich nicht vermehren. Ihre Nutzung im Kontext einer gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklung kann zu unerwünschten Wirkungen auf das Kleinklima, zur Verringerung der Wasserversickerung, zu einer Beeinträchtigung des Landschaftsbildes und zum Verlust an Lebensräumen für Pflanzen und Tiere führen sowie zur „Zerschneidung“ von Ökosystemen führen.

Flächen lassen sich bezogen auf Art und Umfang der menschlichen Eingriffe, der Bodenbedeckung sowie der geplanten und/oder realen Nutzung beurteilen. Sie erfüllen unterschiedlichste Funktionen für Land- und Forstwirtschaft, Siedlungszwecke, Verkehr, Sport, Freizeit, Erholung, Industrie und Gewerbe, Rohstoffabbau/-gewinnung und naturnahe Landflächen. Letztere gewinnen für Klimaschutz (CO₂-Speicherung) und Klimawandel an Bedeutung. Flächen werden nicht „verbraucht“, sondern beansprucht und ggf. einer Nutzungsänderung unterzogen. Ihre Inanspruchnahme geht nicht automatisch mit einer Versiegelung einher.

Anthropogene vertikale und horizontale Flächen – z. B. auf/an Bauwerken oder sonstigen Infrastrukturen – stellen eine Ressource im Handlungsfeld Fläche dar. Auch diese Flächen bieten Raum für Flora, Fauna und die Energiegewinnung oder werden im Regenwassermanagement eingesetzt. Es wird empfohlen, diese Flächen in ein erweitertes Flächenmanagement einzubeziehen und zur Entlastung natürlicher Flächen und Böden zu nutzen. In der Literatur wird u. a. der Begriff der „urbanen Flächen“ verwendet. Dieser umschreibt Verkehrsflächen sowie Flächen an Fassaden und auf Dächern, z. T. aber auch Grünflächen. Hier ist der Übergang zwischen natürlichen und anthropogenen Flächen fließend. Auch der Boden kann im Handlungsfeld Fläche als Ressource gelten. Es ist u. U. sinnvoll, vom Handlungsfeld „Flächen und Böden“ zu sprechen. Dabei erfüllt der Boden verschiedene Funktionen, die u. a. im Bundesbodenschutzgesetz beschrieben werden – siehe Tabelle 3.

Tabelle 3: Bodenfunktionen (Bug, Engel, Gehrt und Krüger 2019)

Natürliche Boden- und Archivfunktionen (vgl. § 2 BBodenSchG)	Bodenfunktionen
Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen	Lebensgrundlage/-raum für Menschen
	Lebensgrundlage/-raum für Tiere und Pflanzen
	Lebensgrundlage/-raum für Bodenorganismen
Bestandteil des Naturhaushalts, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen	Bestandteil des standörtlichen Wasserkreislaufes
	Bestandteil des Landschaftswasserkreislaufes
	Bestandteil des Nährstoffkreislaufes
Abbau-, Ausgleichs- und Aufbau-medium für stoffliche Einwirkungen auf Grund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers	Filter und Puffer für anorganische Schadstoffe
	Filter und Puffer für organische Schadstoffe



2.2 Flächen aus Sicht des Ressourcenmanagements

2.2.1 Managementaufgaben

Fläche ist eine Ressource, die effektiv und schonend genutzt werden muss. Es besteht das Ziel, speziell im Rahmen einer Quartiersentwicklung, die Nutzung zusätzlicher Flächen für Siedlung und Verkehr zu vermeiden bzw. zu begrenzen sowie bereits für diese Zwecke beanspruchte Flächen optimal zu nutzen und ökologisch aufzuwerten. Es ergeben sich im Kontext u. a. der Bewirtschaftung, Verteilung/Verwendung, Aufwertung bzw. Renaturierung Aufgaben für ein Ressourcenmanagement, die auf nachhaltige Entwicklungsprinzipien abzielen. Die Aufgaben zur nachhaltigen Flächenversorgung und -nutzung bestehen in*:

- (1) Reduzierung der Flächeninanspruchnahme
- (2) Erhaltung der Produktivität und wirtschaftliche Leistung von Flächen
- (3) Erhalt von Lebensqualität und Natur

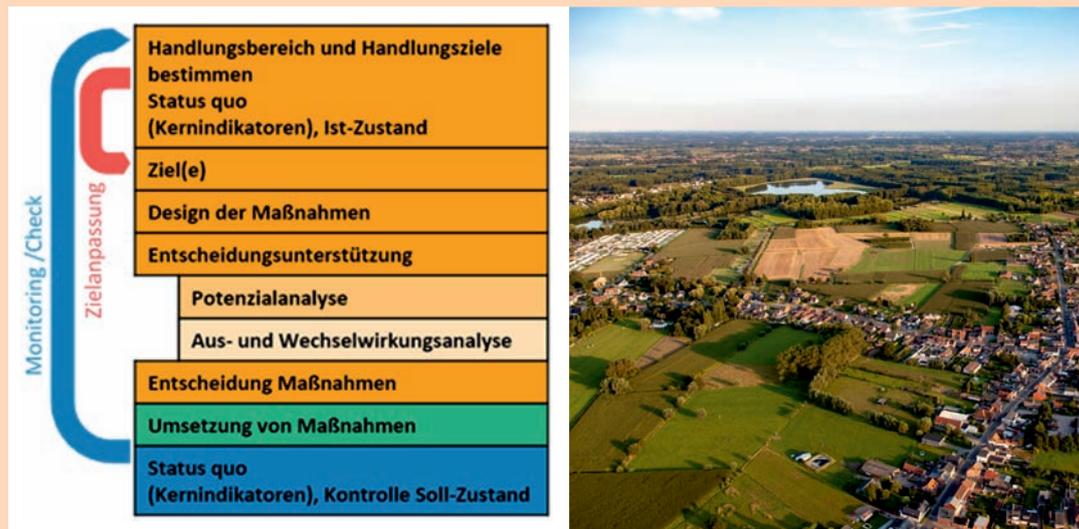
*Basierend auf Europäische Kommission 2021

Wesentlichen Schritte für ein entsprechendes Management sind:

1. Gebiet und Ziele festlegen
 - a. Raumbezogene Bestimmung des Handlungsgebietes
 - b. Festlegung von Zielen mittels verortbarer/georeferenzierter Indikatoren
2. IST- und SOLL-Zustand anhand der Ziele und des Indikatorensystems beschreiben
 - a. Raumbezogene Datenverarbeitung:
 - i. Schaffung von Datengrundlagen
 - ii. Bestimmung des Bearbeitungsrasters (z. B. flurstückbasiert, nach Stadtraumtypen, Baublöcke etc.)
 - b. relevanten Akteursgruppen identifizieren und beteiligen
 - c. Kriterien, Vergleichswerte, Grenzwerte festlegen und anwenden
 - i. Identifizierung von Handlungsschwerpunkten
 - d. Gegebenenfalls Ziellanpassung
3. Handlungsschwerpunkte beschreiben und bewerten
 - a. Analyse der Ausgangssituation
 - b. Mögliche Maßnahmen identifizieren oder entwerfen
4. Potenzial- und Maßnahmenanalyse
 - a. Theoretische, technische und wirtschaftliche Analyse
 - b. Wechselwirkungen abschätzen
5. Lösungsansätze konkretisieren, Lösungsideen priorisieren
 - a. Entscheidung vorbereiten, Alternativen und Maßnahmen bewerten
 - b. Verfügbare finanzielle und personelle Kapazitäten berücksichtigen
 - c. Zeitstrahl oder Umsetzungshorizont ableiten
6. Konzeptentwurf und -präsentation
 - a. Aktive Einbindung von relevanten Akteursgruppen
 - b. Entscheidung treffen und kommunizieren
7. Maßnahmen festlegen und Allokation notwendiger Mittel
 - a. Nutzung verschiedener rechtlicher, ökonomischer und suasorischer Instrumente, um eine Umsetzung zu erreichen
8. Maßnahmen umsetzen
 - a. Berichtswesen einrichten
 - b. Dokumentation der Umsetzung
9. Erfolg kontrollieren
 - a. Monitoringsystem implementieren
 - b. Evaluation des Zielerreichungsgrads
10. Kontinuität sichern
 - a. Verbesserungsprozess beginnen

Ein nachhaltigkeitsorientiertes Management der Ressource Fläche folgt dabei dem Prinzip eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (Abbildung 4).

Abbildung 4: Darstellung des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP)



Quelle: KIT, NaMaRes 2021

Städten und Gemeinden stehen formelle und informelle Instrumente zur Verfügung (Bauleit-/Landschaftsplanungen, Umweltprüfungen, Satzungen, städtebauliche Verträge, Einzelvorhabengenehmigungen etc.). Daneben kann im Ressourcenmanagement u. a. auch Einfluss auf die eigentliche Flächenentwicklung und -erschließung, die Bodenvorratshaltung und den Bodenmarkt genommen werden. Diese Instrumente schaffen insbesondere geeignete Rahmenbedingung und sind eher vorbereitender Natur. Für die eigentliche Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen in Kombination mit der Mobilisierung involvierter Akteure müssen Handlungserfordernisse und -möglichkeiten analysiert, Ziele definiert und ein Flächenmonitoring aufgebaut werden. Für ein erfolgreiches Ressourcenmanagement von Flächen müssen daher unterschiedliche Ressorts und Disziplinen fachlich und administrativ zusammenarbeiten. Eine Gesamtkoordination von Einzelmaßnahmen ist notwendig.

2.2.2 Ziele einer flächensensiblen Stadtentwicklung

Eine gemeinwohlorientierte Stadtentwicklung zeichnet aus, dass alle von der Kommune zur Verfügung gestellten Dienstleistungen und Infrastrukturen „inklusiv, bezahlbar, sicher und für alle verfügbar“ sind (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung – BBSR 2021). Dies beinhaltet u. a. den Zugang zu öffentlichen Räumen sowie grüner und blauer Infrastruktur. Die Gewährleistung der kommunalen Versorgung mit Grün- und Freiflächen ist z. B. Teil der Dimension der Grünen Stadt in der neuen Leipzig-Charta (BBSR 2021). Da diese Flächen neben direkten Vorteilen für Anwohner (Ode Sang, Knez, Gunnarsson and Hedblom 2016) zu Klimaschutz und -anpassung beitragen (Coutts and Hahn, 2015), ergibt sich ein entscheidendes Ziel in der Stadt- und Quartiersentwicklung: der Erhalt und Ausbau von, sowie gerechte Zugang zu öffentlichen Grünflächen (Trapp und Winker 2020).

Ein weiterer Schwerpunkt der Stadtgestaltung sind Wasserwirtschaft und Wasserhaushalt. Neben der Abminderung der Umweltbelastungen durch Oberflächengewässer und Grundwasser sowie der Hitzevorsorge durch Kühlung, steht aufgrund zunehmender Starkregenereignisse insbesondere die Überflutungsvorsorge im Vordergrund (Dickhaut, Knoop und Richter 2020). Im Leitbild der Schwammstadt zielen Maßnahmen auf die Verringerung des Regenwasserabflusses und die Verdunstung von Wasser durch Vegetation (Becker, Hübner, Krüger und Kreutz 2019; Ballinas and Barradas 2016). Dieser Umgang mit der Ressource Wasser beeinflusst die Gestaltung und Nutzung von Flächen. Die Regenwasserrückhaltefunktion des Bodens wird durch anthropogene Einflüsse wie die Versiegelung erheblich beeinträchtigt (McGrane 2016). Handlungsleitendes Ziel ist es, einen möglichst naturnahen hydrologischen Kreislauf zu erhalten (Freie und Hansestadt Hamburg 2015). Daraus ergibt sich ein weiteres Ziel, der Erhalt des natürlichen Wasserkreislaufs.

Neben Überschwemmungen durch Starkregenereignisse sind jedoch als Folge der Klimaerwärmung auch längere Trocken- und Dürreperioden zu erwarten, welche ebenfalls als Extremwetterereignisse gelten. Daher ist das dritte zu betrachtende Ziel der Schutz vor Extremwetterereignissen. Geeignete Flächen können hier zur Verbesserung des lokalen Kleinklimas beitragen und Verdunstungskühle schaffen.

Der Temperaturanstieg aufgrund des anthropogenen Klimawandels hat nicht nur gesundheitliche, sondern viele weitere Auswirkungen. Ein durch die Urbanisierung und Flächenversiegelung zunehmend auftretendes Phänomen ist die Entstehung urbaner Hitzeinseln (UHI), wobei die urbane Temperatur signifikant höher als im Umland ist (Voogt und Oke 2003; Zhou, Huang and Cadenasso 2011). Auch das Aufheizen urbaner Oberflächen wie Baumaterialien, welche die Wärme speichern und nachts abgeben, trägt hierzu bei (Libbe, Köhler und Beckmann 2010). Das Ersetzen natürlicher Flächen durch anthropogene Materialien werden natürliche Faktoren wie Strahlung, Thermik und Aerodynamik maßgeblich beeinflusst (Libbe, Köhler und Beckmann 2010). Gemäß Intergouvernemental Panel on Climate Change (IPCC – Fan, Myint and Zheng 2015) begünstigt die Urbanisierung, in Verbindung mit der Erderwärmung in Folge des anthropogenen Klimawandels, schwere Hitzeperioden. Da in den vergangenen Jahrzehnten eine Zunahme sommerlicher Hitzeperioden in urbanen Räumen zu beobachten war (Umweltbundesamt 2020), ist das fünfte Ziel die Verringerung des lokalen Temperaturanstiegs.

Im Luftreinhalteprogramm der Bundesrepublik Deutschland (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit – BMU 2019) wird beschrieben, wie die Emissionsminderungsverpflichtungen erfüllt werden sollen. Da auch im Koalitionsvertrag der Regierungsparteien die Reduktion der Luftbelastung zum Schutz von Mensch und Umwelt verankert ist (SPD, BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN und FDP 2021), ist das sechste Ziel die Verringerung der Emission von Luftschadstoffen. Geeignete Flächen für Stadtgrün tragen zur Bindung von Staub und Schadstoffen bei.

Daneben tragen Faktoren wie die Urbanisierung und die damit einhergehende Flächenversiegelung zu einer Reduzierung der Biodiversität bei (BBSR 2021), was dem im BauGB (2017) geforderten Erhalt der biologischen Vielfalt widerspricht. Dies bedeutet neben der Verringerung von Vegetationsflächen z. B. eine Verknappung natürlicher Nist- und Nahrungsplätze für Vögel oder Insekten. Eine naturnahe und artenreiche Gestaltung von Gärten und öffentlichen kommunalen Flächen kann dennoch durch die Schaffung von Lebensräumen für beispielsweise Insekten zum Schutz von Flora und Fauna beitragen (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2019). Laut Haase et al. 2014, korreliert eine hohe Biodiversität mit einer hohen Resilienz des Ökosystems, beispielsweise gegenüber Klimafolgen. Daher ist das siebte Ziel der Erhalt und die Verbesserung der Biodiversität.



Zusätzlich zu den sieben genannten Zielen gibt es weitere Themen, welche zielübergreifend betrachtet werden müssen. Hierzu zählen beispielsweise Ressourceneffizienz, lokale Wertschöpfung und Sicherheit (Breuer 2013). Auch Inklusion und Barrierefreiheit gehören zu den wichtigen Faktoren für eine sozial nachhaltige sowie gemeinwohlorientierte kommunale Entwicklung, die nicht nur für den Zugang zu Grünflächen (siehe Ziel 1) beachtet werden müssen. Die Dimension der gerechten Stadt in der neuen Leipzig-Charta umfasst zudem „Chancengleichheit und Umweltgerechtigkeit für alle, unabhängig von Geschlecht, sozioökonomischem Status, Alter und Herkunft“ (BBSR 2021). Dies ist wichtig, da insbesondere Quartiere, in denen bereits sozialstrukturelle und städtebauliche Missstände identifiziert wurden, verstärkt von Umweltbelastungen wie Lärm oder dem mangelnden Zugang zu Grün- und Freiflächen betroffen sind (Planergemeinschaft Kohlbrenner eG 2016). Die nachstehende Tabelle 4 liefert einen zusammenfassenden Überblick.

Tabelle 4: Teilziele einer flächensensiblen Stadt

Ziel-Nr.	Bezeichnung
1	Erhalt und Ausbau von, sowie gerechter Zugang zu öffentlichen Grünflächen
2	Erhalt des natürlichen Wasserkreislaufes
3	Schutz vor Extremwetterereignissen
4	Reduktion gesundheitlicher Belastungen
5	Verringerung des Temperaturanstieges in Quartieren
6	Verringerung der Emission von Luftschadstoffen
7	Erhalt und Verbesserung der Biodiversität



3 Relevante Teilthemen im Handlungsfeld Fläche

Die für das Handlungsfeld Fläche ableitbaren Ziele lassen sich in Teilthemen und -bereiche gliedern, die sich inhaltlich, aber auch anhand der damit verbundenen Herausforderungen und Problemstellungen sowie hinsichtlich der jeweiligen Indikatoren und Lösungsstrategien unterscheiden. Gleichzeitig sind alle Teilthemen eng miteinander verbunden, bieten Synergiepotenziale in der Umsetzung und weisen i. d. R. positive Wirkungszusammenhänge auf. Aus Sicht einer Interpretation als Ressource können im Handlungsfeld Fläche und die damit zusammenhängenden Ziele einer nachhaltigen Stadtentwicklung folgende Teilthemen identifiziert und mit der Ressource Fläche in Relation gesetzt werden.

Standortfaktor Fläche

Für die lokale Ebene sind der Vollzug von Maßnahmen zur nachhaltigen Entwicklung zu entscheidenden Standortfaktoren zur Ansiedlung von Gewerbe, Handwerk, Industrie und Haushalten geworden. Eine zentrale Anforderung ist die Sicherung innerstädtischer Wirtschaftsstandorte und die Schaffung wohngebietsverträglicher Arbeitsplätze. Das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung geht auf diese Punkte ein, gibt Hinweise für entsprechende Strategien und vergleicht diese auf europäischer Ebene (BBSR 2020; Gödecke-Stellmann 2011; Weidner, Gerhardt und Scheurer 2021). Beispielhafte Maßnahmen zur Steigerung der Nutzungseffizienz von Flächen in urbanen Gebieten sind:

- Wirtschaftsförderung arbeitsintensiver Unternehmen (hohe Arbeitsplatzdichte)
- infrastrukturelle Vorkehrungen zur Erhöhung der Arbeitsplatzdichte
- Verkauf kommunaler Grundstücke gegen Arbeitsplatz Garantien
- Standortsicherung und Anwerbung im Rahmen stadtreionaler Handlungskonzepte
- Ausweisung "interkommunale" Gewerbegebiete
- flexibler Umgang mit der Zweckentfremdung von Wohnungen
- Dezentralisierung kommunaler Dienststellen
- Änderung von Bebauungsplänen mit Festsetzungen "Reines Wohngebiet"
- Schaffung von Entwicklungsräumen für Existenzgründer
- stadtreionale Kooperationen
- Einrichtung von Stadtforen
- Förderung bürgerschaftlicher Initiativen restriktive Behandlung von großflächigen Einzelhandelszentren auf der grünen Wiese
- Einrichtung einer Baulandbörse
- Mitwirkung eines Umweltbeauftragten bei der Baulandvergabe
- Bonus bei der Vergabe von Bauland
- Einrichtung einer Beratungsstelle in der kommunalen Wirtschaftsförderung
- Organisation kommunaler Unternehmen nach Öko-Audit-Kriterien
- Übernahme der Öko-Audit-Kriterien für die Kommunalverwaltung



Urbane Naturräume

Urbanes Grün, Naturräume und Schutzgebiete sind zu schützen und zu schonen (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung 2021; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit – BMUB 2015). Freiraumkonzepte und formelle Planungsinstrumente der Stadtplanung regeln den Umgang mit Flächen und deren Nutzung. Hierbei kann über die rechtlichen Mindestanforderungen hinaus der Naturschutz betrieben werden. Je nach Bundesland existieren allgemeine oder spezifische Leitfäden (Bläser et al. 2012; Böhm, Böhme, Bunzel, Kühnau und Reinke 2016; Hansen et al. 2017; Technische Universität München – TUM 2017). Der Wasserzugang von urbaner Vegetation ist durch das Verdunstungs-, Versickerungs- und Abflussverhalten der Niederschläge eingeschränkt. Somit ist diese Vegetation anfälliger für Trockenheit. Beispielhafte Maßnahmen sind:

- Leitbilder formulieren
- formelle Planungsinstrumente offensiv nutzen (Flächennutzungs-, Bebauungs- und Landschaftspläne, Grünordnungen)
- Fachrechte einsetzen (z. B. Bauordnungs- und Naturrecht)
- Einfluss nehmen durch Satzungen (z. B. Baumschutz- und Freiflächengestaltungssatzungen)
- Städtebaurecht einsetzen (Stadtsanierung, Stadtentwicklung, Stadtumbau)
- städtebauliche Verträge
- Pflege und Verwaltung von urbaner Vegetation aktiv planen

Stadtklima

Flächen beeinflussen das Stadtklima maßgeblich durch Versiegelung, Reflexion und Wärmespeicherkapazität. Die Erhaltung vorhandener klimarelevanter Landschaftsbestandteile und aktive Flächenumgestaltung, um stadtklimadienliche Funktionen zu stärken, sind zentrale Aufgaben der Klimaanpassung, des Resilienzaufbaus und der Risikominimierung zum Schutz und der Förderung von gesellschaftlichen, gesundheitlichen und sachlichen Werten. Grüne Infrastruktur wirkt regulierend. Klimakarten liefern bis zur Mikroebene Erkenntnisse über besonders gefährdete oder betroffene Stadtteile und erlauben eine Priorisierung von Handlungsmaßnahmen (TUM 2017). Beispielhafte Maßnahmen sind:

- Klimamessungen
- Modellierung des Mikroklimas

Resilienz

Flächen beeinflussen auf verschiedene Art und Weise die Resilienz einer Stadt. So können Bodenfunktionen z. B. Quartiere vor starken und schädlichen Wetterereignisse schützen. Zudem besteht die Möglichkeit, den Einsatz von (wieder-)hergestellten Flächen gezielt zu steuern. Beispielhafte Maßnahmen sind:

- digitale Kompetenzen der Verwaltung ausbauen (bessere Kooperation und Teilhabe)
- Redundanz für gefährdete Strukturen vorsehen
- Risikostudien erstellen
- Flächenreserven vorsehen (z. B. für kritische Infrastrukturen oder als Pufferflächen)
- weitere Maßnahmen nennt das Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat
- Risikobewertung von Klimarisiken unter Nutzung der Softwarelösung „GIS-ImmoRisk Naturgefahren“ (BBSR 2018)

Gesundheit

Das Leitbild der gesunden und gesundheitsfördernden Stadt umfasst eine Vielfalt flächenbezogenen Maßnahmen. Schwerpunkte sind der Schutz und die Vorsorge vor Gefahren wie Hochwasser, Lärm oder Hitze, Schadstoffeinträge oder Bodenbelastungen und die Förderung von Gesundheit durch Multifunktionsflächen für Freizeit und Erholung. Der Leitfaden „Gesunde Stadt“ (Baumeister et al. 2016) informiert zu Leitprinzipien und Leitfragen.

Soziales/Kultur

Gerade bei öffentlichen Flächen im Quartier sind soziale und kulturelle Aspekte von großer Wichtigkeit. Menschliche und gesellschaftliche Bedürfnisse werden hier erfüllt, z. B. Freizeitmöglichkeiten, Begegnungsflächen, Wohnraum etc. Daher sind unterstützende Maßnahmen speziell mit deren Aufwertung und Pflege verortet. Beispielhafte Maßnahmen sind:

- Schaffung von öffentlichen und sicheren Flächen
- Verstetigung von Nutzung, Pflege und Absicherung von gebauter Infrastruktur und Freiflächen (Ministerium des Innern und für Sport 2006; Zentrum Nachhaltige Stadtentwicklung in Hessen – Sozialer Zusammenhalt 2020)

Bodenschutz

Flächenschonung und Bodenschutz bilden eine Einheit. Fachgesetze regeln Teile des Bodenschutzes (z. B. Bodenschutzgesetz). Beispielhafte Maßnahme sind:

- Reduktion des Versiegelungsgrads
- Bodenaustausch kontaminierter Böden
- Abtrag von technogenen Substraten wie Rückbau- und Baureststoffe
- Rekultivierung und Bodenverbesserung
- Erosionsschutz
- Pufferkapazität wiederherstellen (z. B. Kalkung)
- Immissionsschutzpflanzungen
- Grundwasserkreislauf schützen (Hepperle und Stoll 2006; Landesamt für Landwirtschaft)

Arten- und Biotopschutz

Fachgesetze regeln Teile des Arten- und Biotopschutzes (z. B. Bundesnaturschutzgesetz BGBl. I S. 2542). Dabei werden für die Erfassung und Bewertung auch Vorgaben gestellt. Flora und Fauna sollen möglichst gering belastet oder beeinträchtigt werden. Ausgleichsmaßnahmen, Wiederherstellung von Biotopen, Biotop-umwandlung, Schutzzonen etc. sind typische Maßnahmen. Beispielhafte Maßnahmen sind:

- Landschaftsplanung (Grünordnungs- und Landschaftspläne) geht auf Ebenen von Quartieren und Gemeinden ein (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg – LUBW 2018b; Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft des Landes Brandenburg 2031).

Orts- und Landschaftsbild

Insbesondere bei der Nutzung von Flächen zu Zwecken der Energiegewinnung z. B. Standorte für Windkraftenergie- oder Freiflächen-PV-Anlagen sollten bereits genutzte Flächen effizienter genutzt werden, um Eingriffe in das Landschaftsbildes zu minimieren. Auch bei der baulichen Flächennutzung in Siedlungen kann das Effizienzprinzip Anwendung finden.

Nachverdichtung

Das Fachgutachten „Städtebauliche Nachverdichtung im Klimawandel“ befasst sich intensiv mit der Nachverdichtung in deutschen Städten, wobei der Kontext zwischen Nachverdichtung und Klimawandel im Fokus steht (BBSR 2015). Insgesamt 20 Fallstudien über Nachverdichtungsprojekte in 16 Städten wurden in den Kategorien „städtebauliche Planung“, „Klimaschutz“ und „Klimaanpassung/-komfort“ analysiert. Für eine bessere Vergleichbarkeit differenziert das Gutachten zwischen verschiedenen Nachverdichtungsansätzen und Stadtquartierstypen. Jedes Projekt ist dabei genau einem Stadtquartierstyp zugeordnet, kann zugleich allerdings mehrere Nachverdichtungsansätze behandeln. Das Ergebnis des Gutachtens ist dreiteilig und umfasst die Punkte: „Stand und Perspektive der Nachverdichtung“, „Nachverdichtung klimaverträglich gestalten“ und „Handlungsempfehlung“. Thema-

anpassung, Entscheidungsgrundlagen und Steuerungsinstrumente. Die Einordnung der Nachverdichtungsansätze bezüglich ihrer Klimaverträglichkeit sowie eine Übersicht über strategische Planungs- und Förderinstrumente erfolgt gleichermaßen.

Wasser- und Gewässerschutz

Wasserschutzgebiete schränken die Flächennutzung ein, um Wasserhaushalt, Trinkwassergewinnung, Hochwasserschutz, Grundwasserbildung, Wasserqualität und Renaturierung abzusichern. Die Vermeidung bzw. Minderung der Abflüsse von versiegelten Flächen steht im Fokus der Regenwasserbewirtschaftung und hat direkte Bezüge zur Ressource Fläche. Beispielhafte Maßnahmen:

- Verringerung der baulichen Dichte
- Freihaltung von Flächen
- Förderung von Grünflächen
- Entsiegelung

Weitere Hinweise können folgenden Quellen entnommen werden: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz – StMUV 2020 und Matzinger et al. 2017

Freizeit und Erholungsvorsorge

Erholungsräume werden durch steigende Flächennutzung gefährdet oder die Nutzungsintensität steigt so sehr, dass Konflikte Schutzinteressen verletzen. Daher müssten in stark verdichteten Gebieten multifunktionale und inklusive Nutzung von Flächen für den Gemeinbedarf geschaffen werden. Ein Handlungskonzept für das Management von Bewegungsräumen in der Stadt wird in Roth, Türk, Kretschmer, Armbruster und Klos, 2008, entwickelt.

Klima- und Immissionsschutz, Luftreinhaltung (Immissionen, welche die Fruchtbarkeit von Böden, die Vegetation oder die Qualität der Gewässer beeinträchtigen)

Der schonende Umgang mit der Ressource Fläche kann zu den Schutzziele außerhalb der Pedosphäre direkte und indirekte Beiträge leisten. Eine Qualifizierung von Grün-Blauen-Grauen Infrastrukturen oder eine Flächenverwendung für die Versorgung urbaner Bedürfnisse (z. B. erneuerbare Energien) stehen stets im Fokus einer nachhaltigen Entwicklung. Vegetation oder Ablagerungen auf Flächen können den Schadstoffeintrag/-gehalt von Luft und Wasser beeinflussen. Gleiches gilt für ressourcensparendes Bauen oder die Festsetzung von Albedo-Werten. Der UBA-Klimalotse 3.0 fasst entsprechende Festsetzungsmöglichkeiten im Bebauungsplan zusammen (Umweltbundesamt 2022c). Beispielhafte Maßnahmen:

- Begrenzung der Versiegelung
- Freihaltung von Luftschneisen
- Qualifizierung grün-blauer Infrastruktur

Weiterführende Hinweise bietet die Dissertation „Stadt im Klimawandel. Klimaanpassung in der Stadtplanung : Grundlagen, Maßnahmen und Instrumente“ (Baumüller 2018).



Stoffeinträge

Abwässer von Flächen können Stoffe lösen und Ablagerung abschwemmen. Vegetation auf oder die Speicherfähigkeit von Flächen beeinflussen den Schadstoffeintrag/-gehalt von Luft und Wasser. Beispielhafte Maßnahme: Regenwasserbewirtschaftung (StMUV 2020; Matzinger et al. 2017)

Grünflächen

Die Schaffung von Grünflächen wird als „No-Regret-Maßnahme“ gesehen. Die Versorgung mit Grünflächen wird teilweise anhand eines Flächenschlüssels festgelegt. Des Weiteren werden Grünflächen in Rahmen von Prämierungen und bei der Messung der Erreichung von Nachhaltigkeitsziele als zentraler Indikator genutzt. Beispielsweise empfiehlt die Weltgesundheitsorganisation (WHO), dass Stadtbewohner im Umkreis von 300 m ihrer Unterkunft mindestens 0,5 Hektar öffentliche Grünflächen erreichen können sollten (World Health Organization 2017). Beispielhafte Maßnahmen:

- Doppelte Innenentwicklung (Bläser et al. 2012; Böhm et al. 2016)
- Qualifizierung von Grünflächen
- Entsiegelung
- Grünordnungssatzungen

Weiterführende Hinweise können der Broschüre „Schäden vorbeugen und Sicherheit von Grünflächen gewährleisten“ (Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz – GALK e. V. 2018) entnommen werden.

Gebäudeflächen

Fassaden und Dachflächen bieten vielfältige Nutzungsmöglichkeiten, die über ästhetische Effekte hinausgehen. Zu berücksichtigen sind Begrünungen und energetische Maßnahmen. Insbesondere die Intensivbegrünung (Dachgärten) bildet mit Blick auf die Nachverdichtung der Städte ein großes Potenzial als Erholungs- und Freizeitfläche (Mann, Mollenhauer und Gohlke 2021). Beispielhafte Maßnahmen:

- Erstellung spezifischer Empfehlungen und Leitfäden (Mann et al. 2021; Schröder, Jeschke, Walker und Kiehl 2020)
- Gründach-Satzung (für Sanierungsgebiete)
- finanzielle Förderprogramme



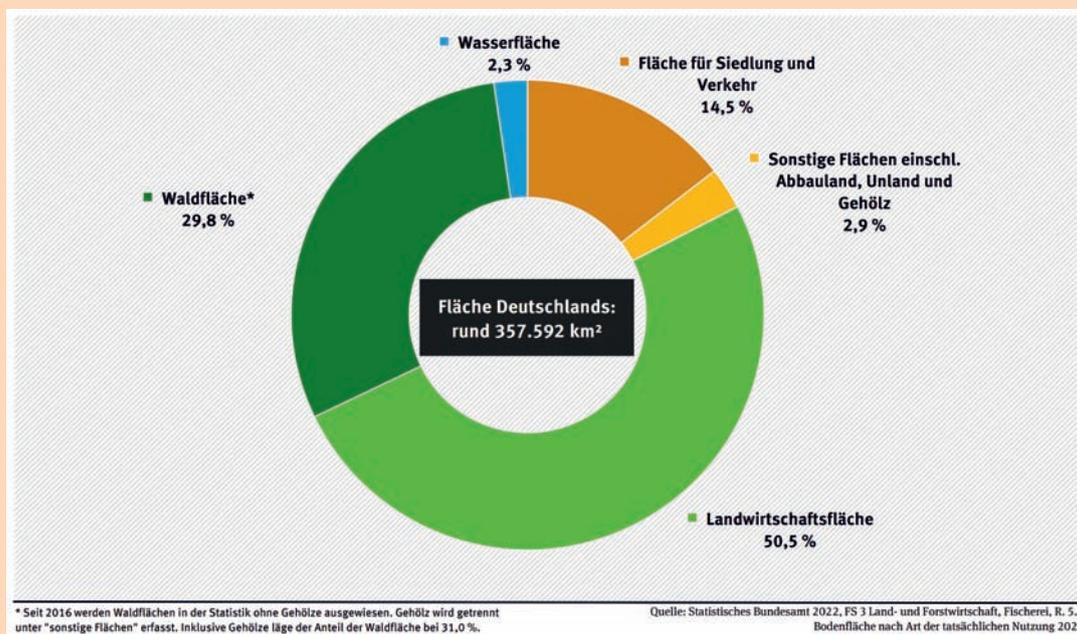
4 Quantitative Kennwerte und Statistiken zum Handlungsfeld Fläche

Die allgemeine Statistiken und Kennzahlen zu Flächen sowie zur Raumnutzung auf Ebene der territorialen Gliederung Deutschlands (z. B. NUTS-Ebenen der europäischen „Systematik der Gebietseinheiten für die Statistik“) können in den einschlägigen Datenbanken zu amtlichen Daten gefunden werden. Beispielsweise führen die statistischen Ämter des Bundes der Länder die GENESIS-basierten Datenbanken GENESIS-Online (Statistisches Bundesamt Deutschland) und die Regionaldatenbank Deutschland.

Die umweltökonomischen Gesamtrechnungen der Länder (UGRdL) aber auch das gemeinsame Statistikportal der statistischen Ämter stellen ebenso statistische Grundlagen für flächenrelevante Indikatoren bereit (Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder im Auftrag der Statistischen Ämter der Länder 2022). Ergänzend und räumlich höher auflösend ist hingegen der IÖR-Monitor (Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung 2022b). Dieses Datenportal bietet umfangreiche geografisch referenzierte Informationen zur Flächenentwicklung und bewertet diese mittels einer breiten Menge von Indikatoren (Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung 2022a).

Zusätzlich werden durch Bundesämter wie das Bundesamt für Bau-, Stadt und Raumforschung (BBSR), das Umweltbundesamt (UBA) oder auch durch Landesämter und Behörden wie die Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) regelmäßig Kennzahlen und Analysen zur Flächennutzung veröffentlicht. 2015 wurde zum internationalen Jahr des Bodens die Publikation „Bodenzustand in Deutschland“, die zahlreiche Analysen zu diesem Teilbereich der Ressource Fläche zusammenfasst, durch das Umweltbundesamt erstellt und veröffentlicht (Marahrens et al. 2015). Abbildung 5 zeigt die Nutzungsstruktur der Gesamtfläche Deutschlands. Die relevanteste Flächennutzung ist die Fläche für Siedlungs- und Verkehrszwecke.

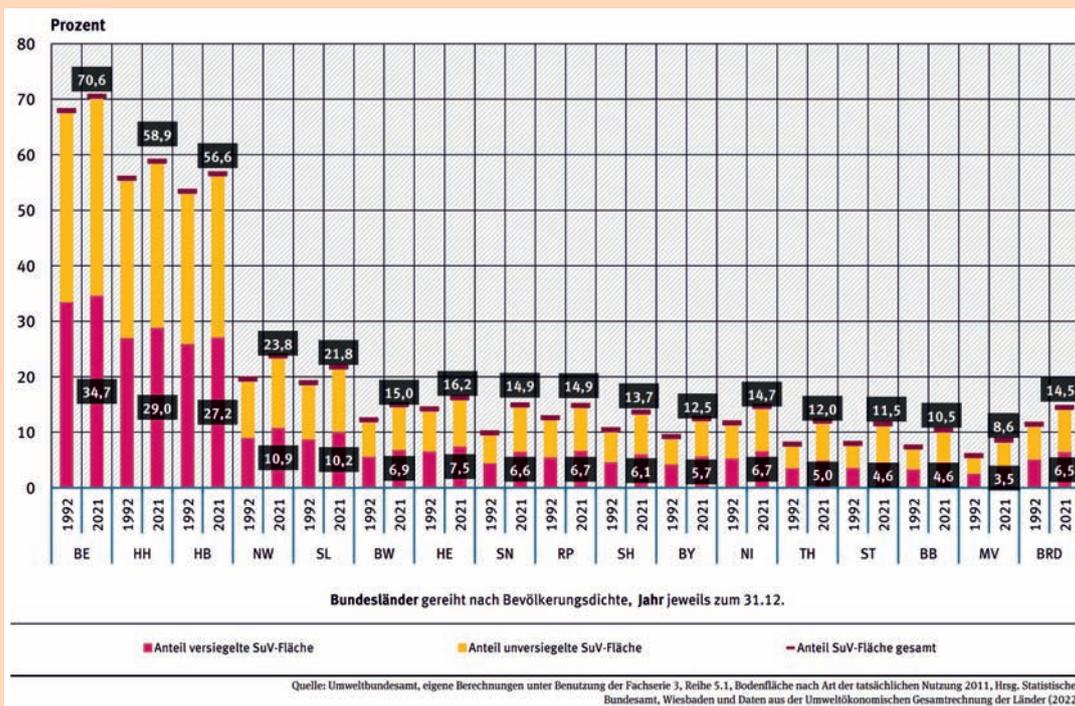
Abbildung 5: Flächennutzung in Deutschland (Stand 31.12.2021)



Quelle: Umweltbundesamt 2022b

Ein Teil der Siedlungs- und Verkehrsfläche ist versiegelt. Hinsichtlich der Versiegelungsanteile muss beachtet werden, dass die Daten mit Unsicherheiten behaftet sind. In amtlichen Statistiken werden auf Basis eines durch den Länderausschuss für Bodenschutz (LABO) erarbeiteten Rechenmodells für jedes Bundesland aus der Siedlungs- und Verkehrsfläche die versiegelten Anteile überschlägig ermittelt (Abbildung 6 und Tabelle 11). Demnach sind rund 44 % der Siedlungs- und Verkehrsflächen versiegelt.

Abbildung 6: Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche an der Gesamtfläche 2020, davon unversiegelt und versiegelt

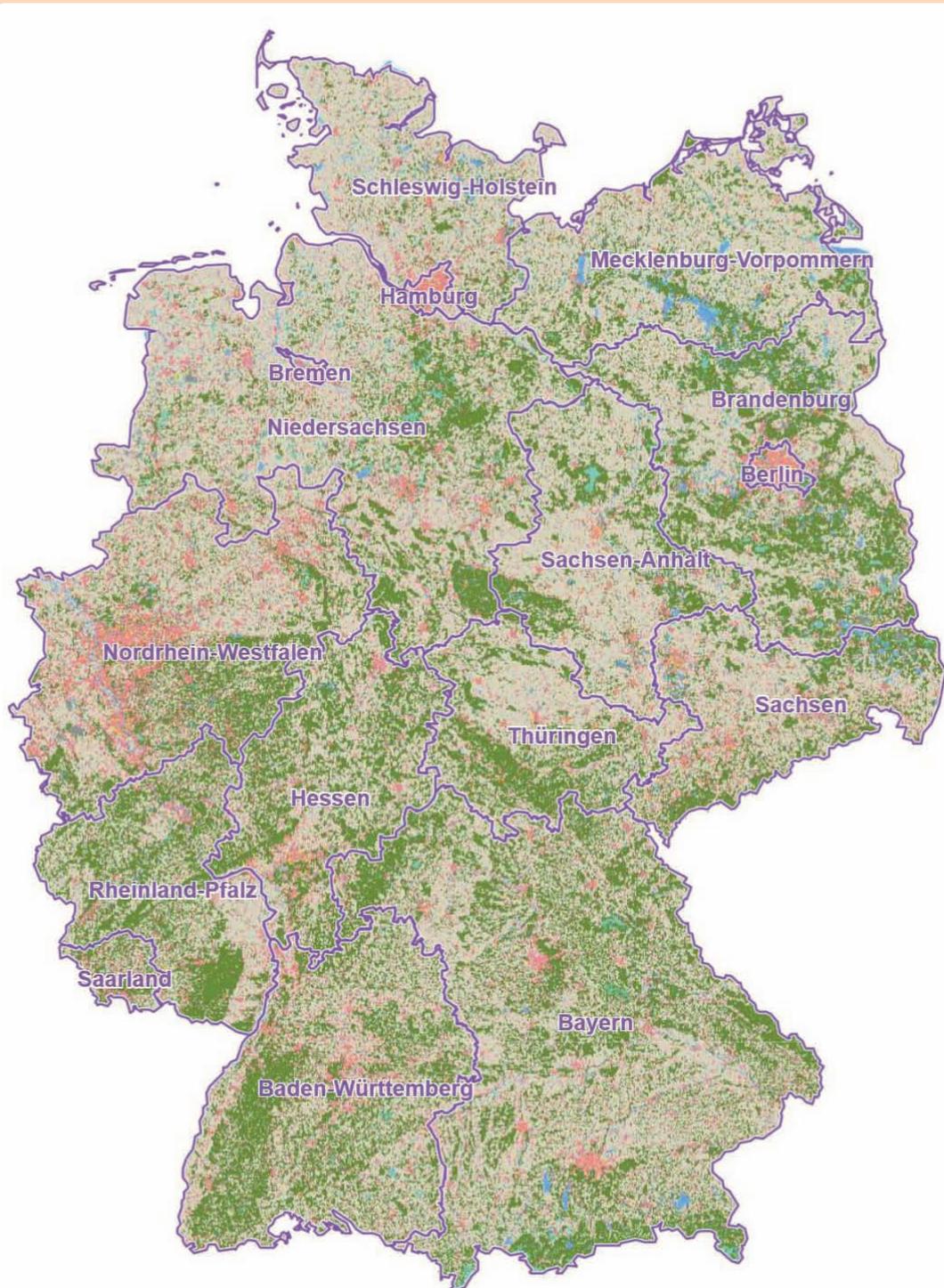


Quelle: Umweltbundesamt 2021

Einen genauen Einblick in die Flächennutzung (Abbildung 7), die Bodenversiegelung (Abbildung 8) und die Flächeninanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr (Abbildung 9) können die Karten des IÖR liefern. Diese 100 m Rasterdaten geben einen hochauflösenden Einblick in die Struktur der Bodennutzung.



Abbildung 7: Flächennutzung in Deutschland 2018



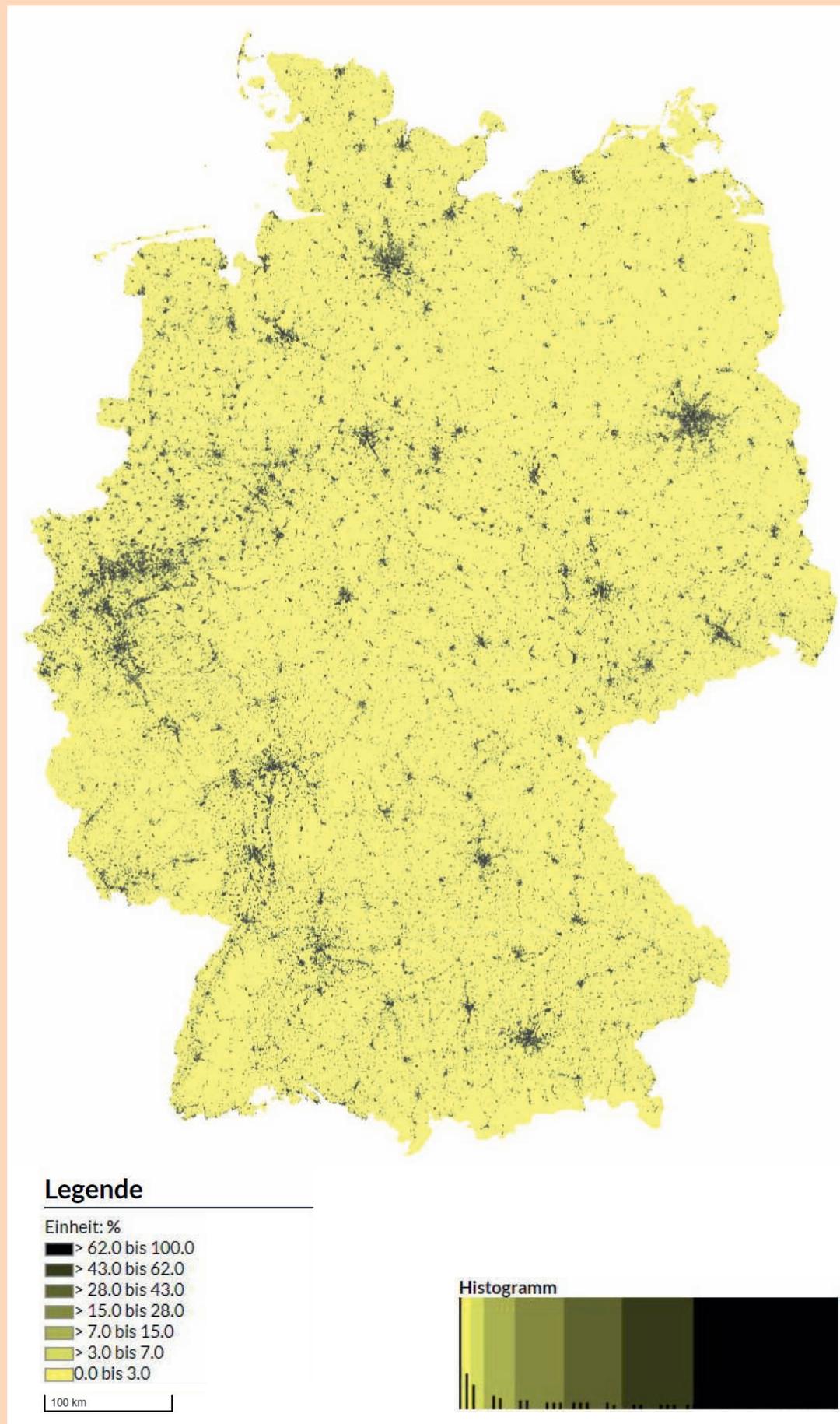
Legende

- Baulich geprägte Fläche
- Verkehrsfläche
- Siedlungsfreifläche
- Abbau- und Haldenfläche
- Landwirtschaft
- Wald und Gehölz
- Unkultivierte Bodenfläche
- Wasserfläche

100 km

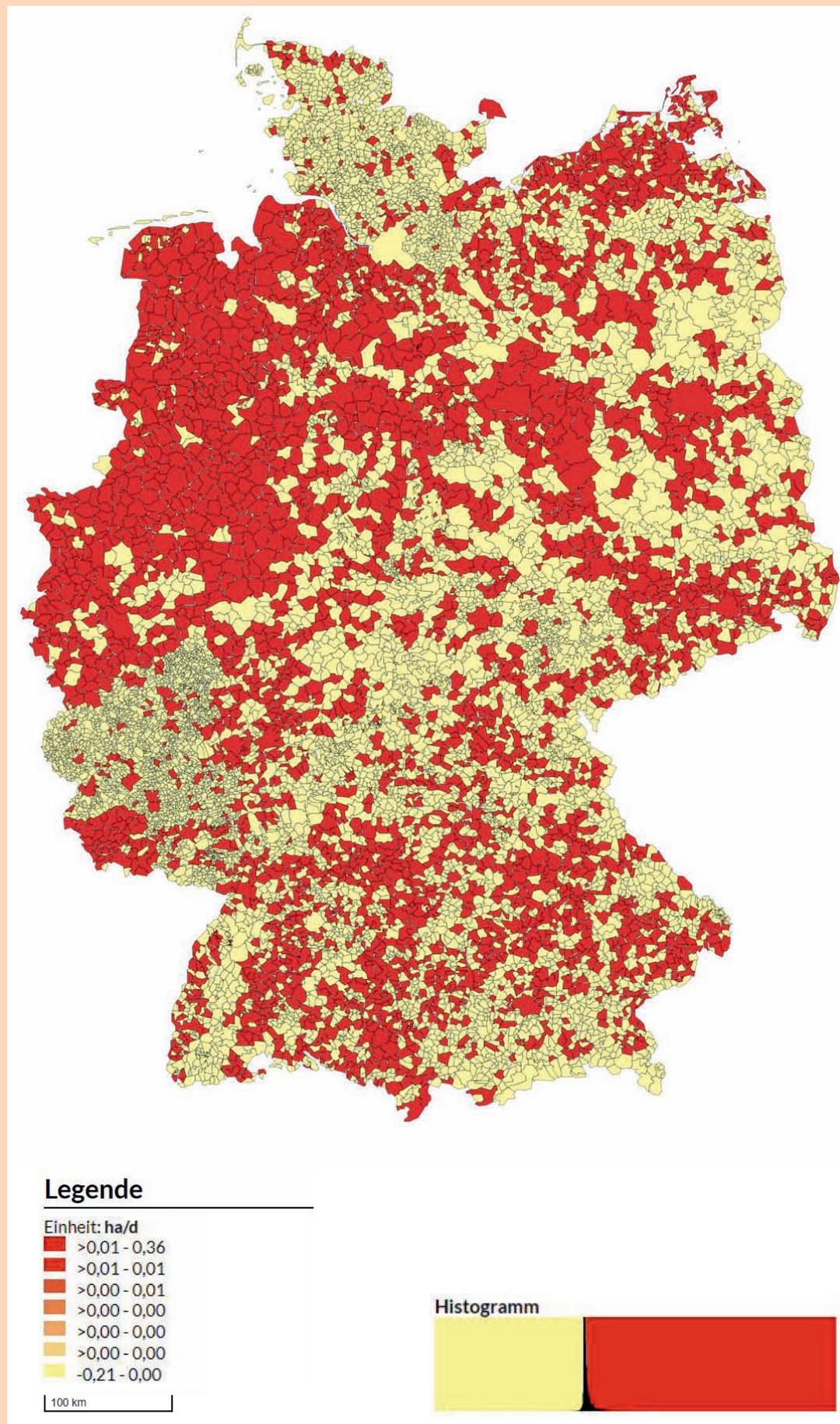
Quelle: Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung 2022b

Abbildung 8: Bodenversiegelung in Deutschland 2018



Quelle: Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung 2022b

Abbildung 9: Flächenneuanspruchnahme SuV im Fünfjahresmittel 2021



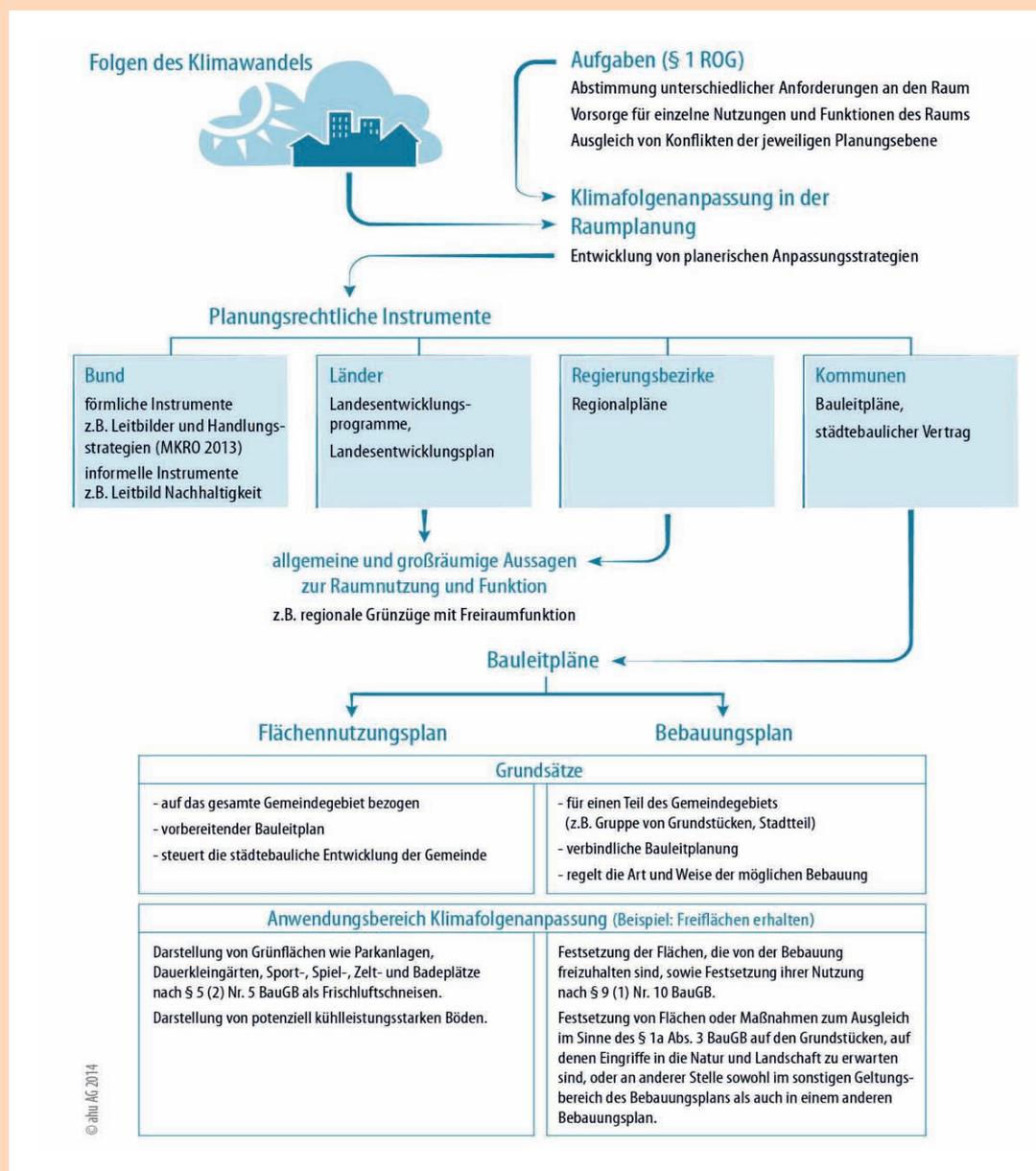
Quelle: Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung 2022b

5 Rechtliche Grundlagen und Rahmenbedingungen

Das Handlungsfeld für die Ressource Fläche weist eine erhebliche Regelungsdichte auf. Der Gesetzesrahmen umspannt eine Vielzahl von Rechtsgebieten. Die folgenden Ausführungen zeigen in Auszügen Anwendungsgebiete und aktuelle Beispiele. Die europäische Rechtsprechung wird thematisiert. Für eine rechtssichere Ableitung von Maßnahmen oder Anlehnung an Beispielen sind die lokal gültigen Rahmenbedingungen stets zu prüfen.

Ein Beispiel für die Gesetzgebungskompetenzen der nationalen Ebenen ist in Abbildung 10 dargestellt. Der Bund formuliert übergeordnete Leitbilder, aus denen die Länder und Regierungsbezirke mit steigendem Detaillierungsgrad mittel- und langfristige Ziele ableiten. Diese bilden für die Kommunen die Rahmenbedingungen bei der Erstellung der jeweiligen Bauleitpläne. Je nach Bebauungsplan finden relevante Gesetze bezüglich ausgewiesener Grünflächen, Förderung der Biodiversität und Berücksichtigung klimaorientierter Bebauung entweder vorbereitend oder verbindlich Berücksichtigung. Diese schreiben die Definition von Bebauungsvorschriften, Ausgleichsflächen und anderen Maßnahmen zum Erreichen der übergeordneten Ziele Klima- und Naturschutz vor.

Abbildung 10: Planungsrechtliche Instrumente am Beispiel der Klimafolgenanpassung



Quelle: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW 2015

Bauleitpläne regeln die Berücksichtigung und Schaffung von Grünflächen zur Verbesserung des Wohlbefindens der Anwohner (§ 5(2) Nr. 5 BauGB) inklusive Landschaftsplan (§ 9(3) Nr. 4e BNatSchG) sowie von Wasserflächen zur Regelung des Wasserabflusses (§ 5 (2) Nr. 7 BauGB). Die Auswirkungen auf Flora und Fauna (§ 1(6) Nr. 7 BauGB), die naturschutzrechtlichen Ausgleichsregelungen (§ 1a (3) BauGB) sowie artenschutzrechtliche Verbote (§ 44(1) BNatSchG) müssen in diesen Plänen gleichermaßen thematisiert werden. Im Zuge dessen wird die Anfertigung eines Umweltberichtes vorgeschrieben (§ 2(4) und § 2a BauGB). Allgemein sollen in Bauleitplänen Innenbereiche bevorzugt vor Freiflächen im Außenbereich ausgewiesen werden (§ 1(5) BNatSchG). Bebauungen selbst sind klimaorientiert zu errichten, was Vorschriften u. a. bezüglich Grundstücksmaßen (§ 9(3) BauGB), Ausrichtung (§ 9(2) BauGB), Nutzungsgrad (§ 9(1) BauGB) der Gebäude und dem Versiegelungsgrad der Böden (§ 9(10) BauGB) erforderlich macht. Zur Umsetzung dienen städtebauliche Verträge (§ 11 BauGB) bzw. Gebote (§ 178 BauGB) und Anreize wie Wettbewerbe, Förderprogramme und Auszeichnungen. Die Aufzählung zeigt, wie viele der Teilthemen und Teilziele durch den gesetzlichen und regulatorischen Rahmen adressiert werden können.

Handlungsleitende Verweise für den Erhalt und Ausbau von Grünflächen, den Erhalt und die Förderung von Biodiversität und den Schutz vor den Klimawandelfolgen nennt z. B. der Leitfaden für klimaorientierte Kommunen in Bayern (siehe Tabellen 5, 6 und 7) (TUM 2017) oder in der BBSR-Publikation „Identifikation erfolgreicher Grün- und Freiraumentwicklung in Großstadtreionen“ (BBSR 2022a). Leider ist die Anwendung formeller, rechtlicher und regulatorischer Instrumente im Bestand schwierig, dennoch zeigen die erwähnten Beispiele verschiedene Wege auf (z. B. Abbildung 11).

Abbildung 11: Kommunale Instrumente zur Förderung von Quartiersbegrünungen

Instrument		räumlicher Wirkungsbereich	Gebäude Neubau	Gebäude Bestand
Öffentlichkeitsarbeit / Stadtmarketing (Kap. 5)	Instrumente der Bauleitplanung, insbesondere Bebauungsplan (Kap. 1)	Bepanter Innenbereich	x	
	Kommunale Gründach-Satzung nach Landesbauordnung (Kap. 2)	Bepanter und nicht beplanter Innenbereich. Für den Bestand nur bei Sanierungen anwendbar. Definierung von ausgewählten Geltungsbereichen möglich.	x	(x)
	Finanzielle Förderprogramme (Kap. 3)	Je nach Intention des Programms flächendeckend oder lokal begrenzt anwendbar.	x	x
	Gesplittete Abwassergebühr (Kap. 4)	Flächendeckend	x	x

Quelle: Dickhaut et al. 2020



Tabelle 5: Beeinflussbarkeit der Bebauungsstruktur – Auswahl (TUM 2017)

Ziel	Verweis	Inhalt	
KLIMAORIENTIERTE EINFLUSSNAHME AUF DIE BEBAUUNG	Verbindliche Festsetzungen im Bebauungsplan oder im Vorhabens- und Erschließungsplan	§ 9 (1) BauGB	Art und Maß der baulichen Nutzung
		§ 9 (2) BauGB	Festsetzungen über die Bauweise und die Stellung der Baukörper
		§ 9 (3) BauGB	Mindestmaß Baugrundstücke und Höchstmaße
		§ 9 (4) BauGB	Stellplätze und Garagen außerhalb der überbauten Grundstücksfläche z. B. auch unterirdisch
		§ 9 (10) BauGB	Versiegelungsgrad: Freihaltung von Flächen und Nutzung der freizuhaltenen Flächen
		§ 9 (14) BauGB	Flächen für die Rückhaltung und Versickerung von Niederschlagswasser
		§ 16 (3) BauNVO	Grundflächenzahl oder Grundflächengöße, Geschossflächenzahl oder Geschossfläche, Baumassenzahl oder Baumasse, Zahl der Vollgeschosse, Höhe
		§ 18 BauNVO	Höhe der Bebauung
		§ 19 BauNVO	Zulässige Grundflächen, Abstandsflächen, Baulinien, Baugrenzen
		§ 20 BauNVO	Vollgeschosse, GFZ, Geschoßfläche
		§ 22 BauNVO	Offene oder geschlossene Bauweise
§ 23 BauNVO	Überbaubare Grundstücksfläche		
Städtebauliche Verträge	§ 11 BauGB	Verträge mit Vorhabenträgern oder Grundstückseigentümern z. B. zur Errichtung von geeigneten Grün- und Freiflächen zur wohnortnahen Erholung und zum kleinräumigen Klimaausgleich mit quantitativen und qualitativen Vorgaben	
Rahmenplanung und Städtebauliche Entwürfe	§ 1 (6) Nr. 11 BauGB § 140 BauGB als Rahmenplanung	Verankerung und Verzahnung strategischer klimapolitischer Ziele: Dichte, Freihalten von Flächen, Nutzungsformen, Verkehrskonzepte, Anbindung ÖPNV etc.	
Strategische Leitbilder		Leitbilder können identitätsstiftend sein. Gut durchlüftete Städte erhöhen die Lebensqualität der Bewohner bei Hitzebelastungen erheblich.	
Satzungsrecht	Art. 28 (2) GG	Gestaltungssatzung, Freiflächengestaltungssatzung (z. B. Lage, Beschaffenheit und Größe von Kinderspielplätzen)	
Vorkaufsrecht	§ 24 BauGB § 25 BauGB	Zugriff auf Flächen sichern, um im Bestand Einfluss auf klimagerechte Stadtentwicklung nehmen zu können	
Zertifizierungen und Auszeichnungen	Anreize	Qualitätssicherung z. B. durch DGNB, LEAD, Cradle2cradle, o. ä. sowie gesamtstädtische Wettbewerbe/Mitgliedschaften: Energy Award, Klimabündnis, Mayors Adapt, Städtepartnerschaften etc.	



Tabelle 6: Einflussnahme auf Grünflächen – Auswahl (TUM 2017)

Ziel	Verweis	Inhalt	
GRÜNFLÄCHEN SCHAFFEN UND ERHALTEN	Allgemeine Vorschriften BauGB	§ 1 (5) BauGB	Aufgabe der Bauleitplanung ist es, den Klimaschutz und die Klimaanpassung, insbesondere auch in der Stadtentwicklung, zu fördern
		§ 1 (6) Nr. 7 BauGB	Bei der Aufstellung der Bauleitpläne sind die Auswirkungen auf Tiere, Pflanzen, Boden, Wasser, Luft, Klima und das Wirkungsgefüge zwischen ihnen zu berücksichtigen
		§ 1a (5) BauGB	Den Erfordernissen des Klimaschutzes soll sowohl durch Maßnahmen, die dem Klimawandel entgegenwirken, als auch durch solche, die der Anpassung an den Klimawandel dienen, Rechnung getragen werden
		§ 1a (3) BauGB § 135a BauGB	Ausgleichsflächen oder Ersatzmaßnahmen auf Grundlage vom Bundesnaturschutzgesetz § 19 (2) BNatSchG
		§ 2 (4) BauGB	Forderung nach Umweltprüfung
	Vorbereitende BLP: Darstellungen im Flächennutzungsplan	§ 5 (2) Nr. 2b BauGB	Ausstattung mit Anlagen, die dem Klimawandel entgegenwirken, insbesondere Flächen für die Erzeugung von Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien
		§ 5 (2) Nr. 2c BauGB	Ausstattung mit Anlagen, Einrichtungen oder sonstigen Maßnahmen, die der Anpassung an den Klimawandel dienen
		§ 5 (2) Nr. 5 BauGB	Grünflächen wie Parkanlagen, Dauerkleingärten, Sport-, Spiel-, Zelt- und Badeplätze, Friedhöfe
		§ 5 (2) Nr. 7 BauGB	Wasserflächen, für die Wasserwirtschaft vorgesehenen Flächen sowie die Flächen, die im Interesse des Hochwasserschutzes und der Regelung des Wasserabflusses frei zu halten sind
		§ 5 (2) Nr. 9 BauGB	Flächen für Landwirtschaft und Wald
	Verbindliche BLP: Festsetzungen im Bebauungsplan oder im Vorhabens- und Erschließungsplan	§ 5 (2) Nr. 10 BauGB	Flächen für Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft
		§ 9 (1) Nr. 10 BauGB	Freihaltung von Flächen (Versiegelungsgrad) und Nutzung der freizuhaltenen Flächen, um z. B. Biotope zu erhalten und zu vernetzen
		§ 9 (1) Nr. 14 BauGB	Flächen für die Rückhaltung und Versickerung von Niederschlagswasser
		§ 9 (1) Nr. 15 BauGB	Grünflächen wie Parks, Dauerkleingärten, Sport-, Spiel-, Zelt- und Badeplätze
		§ 9 (1) Nr. 18 BauGB	Flächen für Landwirtschaft und Wald
		§ 9 (1) Nr. 20 BauGB	Flächen oder Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft
	Landschaftsplan und Grünordnung	§ 9 (1) Nr. 25a BauGB	Anpflanzen von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen
		§ 9 (1) Nr. 25b BauGB	Bindungen für Bepflanzungen und für die Erhaltung von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen sowie von Gewässern
	Bundesnaturschutz	§ 9 (3) Nr. 4e BNatSchG § 4 (2) BayNatSchG	Konkretisierung der Ziele zum Schutz, zur Qualitätsverbesserung und zur Regeneration von Böden, Gewässern, Luft und Klima. In Bayern sind Landschaftspläne Pflicht. Sie sind die wichtigste Basis für die Erfordernisse des Naturschutzes und der Landschaftspflege
		§ 1 (3) Nr. 4 BNatSchG	Luft und Klima sind zu schützen; dies gilt insbesondere für Flächen mit günstiger lufthygienischer oder klimatischer Wirkung wie Frisch- und Kaltluftentstehungsgebiete oder Luftaustauschbahnen
Städtebauliche Verträge	§ 11 BauGB	z. B. Verträge mit Investoren oder Eigentümern über Grün- und Freiflächen im Quartier zur Verbesserung des Mikroklimas und der Freiraumqualität	
Rahmenplanung und Städtebauliche Entwürfe	§ 1 (6) Nr. 11 BauGB § 140 BauGB als Rahmenplanung	Städtebauliche Entwicklungskonzepte oder eine sonstige beschlossene städtebaulichen Planung (Klimaschutzkonzepte etc.) sind bei der Bauleitplanung zu berücksichtigen. Dazu zählen z. B. auch Klimaschutz- und Anpassungskonzepte. Leitbilder untermauern die strategische Ausrichtung und können einen Beitrag zur referatsübergreifenden Zusammenarbeit leisten.	
Besonderes Städtebaurecht, Städtebauförderung und Verfügungsfonds	§ 136 BauGB § 171a, 171b BauGB Städtebauförderung § 171e BauGB (Soziale Stadt)	Stadtsanierung/Stadtumbau/Stadtentwicklung, wenn „städtebauliche Missstände“ vorliegen. Planungen, die dem städtischen Wärmeineffekt entgegenwirken, können als städtebaulicher Grund anerkannt werden. Auch solche Gebiete, in denen gegebenenfalls keine städtebaulichen, aber „energetische Missstände“ vorliegen, können im Rahmen von Stadtumbaumaßnahmen nach § 171a-d BauGB oder Gebäudemodernisierungen aufgewertet werden. Verfügungsfonds zielen darauf ab, private Finanzressourcen für die Entwicklung von Fördergebieten zu aktivieren.	
Städtebauliche Gebote	§ 178 BauGB	z. B. Pflanzgebot für private Grundstückseigentümer per Bescheid	
Satzungsrecht	Art. 28 (2) GG	Gestaltungssatzung zur Begrünung und gärtnerische Gestaltung baulicher Anlagen, Freiflächengestaltungssatzung (z. B. Lage, Beschaffenheit und Größe von Kinderspielplätzen), Baumschutzsatzung § 12 (2), § 37 (2) Nr. 3, § 45 (1) Nr. 4 BayNatSchG	
Vorkaufsrecht	§ 24 BauGB § 25 BauGB	Zugriff auf Flächen sichern, vor allem um im Bestand Einfluss auf klimagerechte Stadtentwicklung nehmen zu können	
Wettbewerbe	Anreize	Sensibilisierung, Motivation, Qualitätssicherung innerhalb von Quartieren und interkommunal	
Förderprogramme	Anreize	z. B. Fassadengestaltung, Hofbegrünungen, Dachgärten	
Gesplittete Niederschlagsgebühren	Anreize	Abkopplung des Regenwassers von der Niederschlagsgebühr. Entlastet private Haushalte und schafft Anreize für private Begrünungsmaßnahmen	

Tabelle 7: Einflussnahme auf Biodiversität – Auswahl (TUM 2017)

Ziel	Verweis	Inhalt	
BIODIVERSITÄT FÖRDERN	Allgemeine Vorschriften BauGB	§ 1a (2) BauGB	Sparsamer Umgang mit Grund und Boden, Beachtung Bodenschutzklausel
		§ 1a (3) BauGB	Naturschutzrechtliche Ausgleichsregelung muss in der Bauleitplanung abgearbeitet werden
		§ 1a (4) BauGB	Zunehmend greift EU-Recht im Bereich des Umwelt- und Naturschutzes (z. B. Vogelschutzrichtlinie und FFH-Richtlinie)
		§ 1 (6) und (7) BauGB	Biodiversität als Abwägungsbelang in der Bauleitplanung: „Integrationsansatz“ Umweltschutz im BauGB: Bei der Aufstellung der Bauleitpläne sind die Belange des Umweltschutzes zu berücksichtigen, einschließlich des Naturschutzes und der Landschaftspflege, insbesondere die Auswirkungen auf Tiere, Pflanzen, Boden, Wasser, Luft, Klima und das Wirkungsgefüge zwischen ihnen sowie die Landschaft und biologische Vielfalt sowie die Erhaltungsziele und der Schutzzweck der Natura 2000-Gebiete im Sinne des Bundesnaturschutzgesetzes
		§ 2 (4) u. § 2a BauGB	Umweltbericht als Bestandteil der Aufstellung von Bauleitplänen
	FNP	§ 5 (2) Nr. 10 BauGB	Darstellung von Flächen für Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft
	B-Plan	§ 9 (1) Nr. 20 BauGB	Festsetzung von Flächen oder Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft
	Bundesnaturschutz	§ 1 (1) Nr. 1 BNatSchG	Natur und Landschaft sind im besiedelten und unbesiedelten Bereich so zu schützen, dass die biologische Vielfalt auf Dauer gesichert ist. Der Schutz umfasst auch die Pflege, die Entwicklung und, soweit erforderlich, die Wiederherstellung von Natur und Landschaft.
		§ 1 (4) Nr. 2 BNatSchG	Zur dauerhaften Sicherung der Vielfalt sind in der freien Landschaft geeignete Flächen vor allem im besiedelten und siedlungsnahen Bereich zu schützen und zugänglich zu machen.
		§ 1 (5) BNatSchG	Unzerschnittene Landschaftsräume sind vor weiterer Zerschneidung zu bewahren. Die Inanspruchnahme im Innenbereich hat Vorrang vor der Inanspruchnahme von Freiflächen im Außenbereich. Vorhaben sollen so gebündelt werden, dass Beeinträchtigungen des Naturhaushaltes vermieden oder so gering wie möglich gehalten werden. Unvermeidbare Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft sind auszugleichen oder zu mindern.
		§ 1 (6) BNatSchG	Freiräume im besiedelten/siedlungsnahen Bereich einschließlich Parks, Grünzüge, Wälder, Bäume und Gehölzstrukturen, Fluss- und Bachläufe mit ihren Uferzonen und Auenbereichen [...], sind zu erhalten und dort, wo sie nicht in ausreichendem Maße vorhanden sind, neu zu schaffen.
		§ 7 (2) BNatSchG	Das Artenschutzrecht unterscheidet zwischen besonders geschützten Arten und streng geschützten Arten (BNatSchG § 7, Abs. 2, Nr. 13 und 14).
		§§ 14–17 BNatSchG	Eingriffsregelung: Die Gemeinden sind verpflichtet, zu prüfen, ob ein Eingriff vorliegt, ob er vermieden oder minimiert werden kann, ob ein Ausgleich erforderlich ist und ob das Vorhaben bei nicht ausgleichbaren Eingriffen an den umweltschützenden Belangen scheitert.
		§ 30 (2) BNatSchG	Biotop sind extra zu schützen
		§ 34 (2) BNatSchG	Natura 2000-Gebiete sind extra zu schützen
		§§ 39–41 BNatSchG	Allgemeiner Schutz wild lebender Tiere und Pflanzen
Landschaftsplan und Grünordnung	§ 44 (1) BNatSchG	Bei der Aufstellung von Bebauungsplänen müssen artenschutzrechtliche Verbote beachtet werden. Die Vorschriften gelten für besonders geschützte und bestimmte andere Tier- und Pflanzenarten	
	§ 4 Abs. 2 BayNatSchG	Als Grundlage der Bauleitplanung ist der Landschaftsplan in Bayern bereits seit 1982 in den Flächennutzungsplan integriert (sog. Primärintegration) und nimmt an dessen Rechtswirkung teil. Die örtlichen Erfordernisse und Maßnahmen zur Verwirklichung der Ziele des Naturschutzes und der Landschaftspflege sind in Landschaftsplänen als Bestandteile der Flächennutzungspläne darzustellen	
Städtebauliche Verträge	§ 11 BauGB	Verträge mit Vorhabenträgern oder Grundstückseigentümern z. B. zur Errichtung geeigneter Grün-/Freiflächen zur Begünstigung von Habitaten.	
Rahmenplanung und städtebauliche Entwürfe	§ 1 (6) Nr. 11 BauGB § 140 BauGB als Rahmenplanung	In der Bauleitplanung müssen städtebauliche Entwicklungskonzepte oder sonstige verabschiedete Konzepte berücksichtigt werden. Dazu können Biodiversitätsstrategien zählen.	
Strategische Leitbilder	z. B. Bekenntnisse Biodiversitätskonvention	Kommunale Leitbildersollten bei Planungsprozessen an die Förderung der Biodiversität als zwingender Bestandteil einer „klimagerechten“ Stadtentwicklung erinnern und diese Belange in den Abwägungsprozessen der Bauleitplanung umsetzen	
Satzungsrecht	Art. 28 (2) GG	Landschaftsplan/Grünordnung (§ 8–12 BNatSchG) – in Bayern Pflicht (§ 4 (2) BayNatSchG). Landschaftsplanung ist die wichtigste fachliche Basis für die sachgerechte Berücksichtigung der Erfordernisse von Naturschutz und Landschaftspflege. Gestaltungsatzung zur Begrünung und gärtnerischen Gestaltung baulicher Anlagen (Basis: Bauordnung), Baumschutzsatzung § 12 (2), § 37 (2) Nr. 3, § 45 (1) Nr. 4 BayNatSchG Biodiversitätsstrategien zählen.	
Wettbewerbe	Anreize	Sensibilisierung, Motivation, Qualitätssicherung inzwischen und innerhalb von Quartieren als auch interkommunal.	
Förderprogramme	Anreize	z. B. zur Fassadengestaltung, Hofbegrünungen, Dachgärten oder Unterstützung von Vereinen und Verbänden, Bildungsarbeit an Schulen etc.	

Besonders interessant für Regeln setzende Akteure ist der Abschlussbericht „Bessere Nutzung von Entsiegelungspotenzialen zur Wiederherstellung von Bodenfunktionen und zur Klimaanpassung“ (Pannicke-Prochnow et al. 2021), der rechtliche Rahmenbedingungen analysiert und Möglichkeiten der Gestaltung eines effektiven und rechtssicheren Handlungsrahmens für eine Entsiegelung von Flächen ausführlich darstellt.

Im Folgenden werden ausgewählte Instrumente und Grundlagen kompakt beschrieben und zusammengefasst. Wobei prinzipiell formelle und regulatorische Instrumente durch andere flankiert werden sollten (Abbildung 12)

Abbildung 12: Kombinationsmöglichkeiten von Maßnahmen



Quelle: Dickhaut et al. o. J.

Das **Baugesetzbuch (BauGB)** bestimmt als wichtiges rechtliches Regelwerk der Stadtplanung, die grundsätzliche Bebau- und Bewohnbarkeit von Grundstücken sowie Immobilien im Sinne des Städtebaus, insbesondere in Sanierungsgebieten (BauGB § 1 Abs. 6). Das darin erklärte Ziel ist eine gemeinwohlorientierte, nachhaltige städtebauliche Entwicklung, welche „die sozialen, wirtschaftlichen und umweltschützenden Anforderungen auch in Verantwortung gegenüber künftigen Generationen miteinander in Einklang bringt“ (BauGB § 1 Abs. 5). Die Beeinflussung von Fläche, Boden, Pflanzen, Tieren, Luft, Wasser, Klima und biologischer Vielfalt soll ebenso gering gehalten werden wie umweltbezogene Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit sowie Kultur- und Sachgüter (BauGB § 1 Abs. 6). Städtebauliche Sanierungsmaßnahmen sind umzusetzen, wenn dadurch im betrachteten Gebiet städtebauliche Missstände wie z. B. eine mangelnde Ausstattung mit Grün- und Freiflächen oder eine Belastung durch Lärm und Luftverschmutzung verringert oder behoben werden können (BauGB § 136 Abs. 3). Damit adressiert das BauGB bereits einige Ziele, wie die Verringerung der Luftverschmutzung oder den Zugang zu Grün- und Freiflächen.

Das **Raumordnungsgesetz (ROG)** beinhaltet Vorgaben zu Bedingungen, Aufgaben und Leitvorstellungen der Raumordnung. Es betrachtet u. a. den Wasserhaushalt, die Flora und Fauna sowie den Boden mit seinen Funktionsfähigkeiten. Die Beeinflussung dieser Ressourcen inkl. jeweiliger Wechselwirkungen, ist möglichst gering zu halten. Zudem sollte die Gestaltung des kommunalen Raums stets unter Berücksichtigung ökologischer Funktionen stattfinden und natürliche Ressourcen sparsam und schonend einsetzen (ROG 1 Abs. 6).

Ein bedeutendes Handlungsfeld der Ressource Fläche sind Böden. Deren Schutz regelt das **Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG)**. Für die nachhaltige Funktionssicherung bzw. -wiederherstellung des Bodens sollen schädliche Veränderungen abgewehrt und Beeinträchtigungen der natürlichen Funktionen vermieden werden (BBodSchG § 1). Böden erfüllen lt. BBodSchG u. a. die Funktionen der Lebensgrundlage, der Rohstofflagerstätte sowie der Siedlungsfläche und sind wichtiger Bestandteil des Wasser- und Nährstoffkreislaufs. Dieses Gesetz bildet die rechtliche Grundlage für die Entsiegelung von Bodenflächen. Auch das **Wasserhaushaltsgesetz (WHG)**, das eigentlich den Schutz der Gewässer „als Bestandteil des Naturhaushalts, als Lebensgrundlage des Menschen, als Lebensraum für Tiere und Pflanzen sowie als nutzbares Gut“ (WHG § 1) regelt, befasst sich mit Böden und ihrer regulierenden Funktionen. Nach § 55, Abs. 2 WHG soll Niederschlagswasser ortsnah versickern, verrieseln oder direkt in die Kanalisation eingeleitet werden können.

Auf andere Flächen sind weitere Gesetze wirksam, wie beispielsweise das **Bundesgleichstellungsgesetz (BGG)** für eine inklusive und barrierefreie Gestaltung öffentlicher Räume oder das **Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG)**, das ebenfalls bei der Planung und Umsetzung der Maßnahmen zu berücksichtigen ist.

Zusätzlich gibt es zahlreiche Richtlinien, welche die Flächennutzung betreffen. Darunter fallen u. a. Richtlinien der **Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (FLL)** hinsichtlich Stadtbäumen oder Bauwerksbegrünung. Auch die **Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV)** hat zahlreiche Richtlinien bezüglich wassersensibler Straßengestaltung oder auch der Straßenbepflanzung in bebauten Gebieten veröffentlicht. Die **Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft (DWA)** fokussiert in ihren Regelwerken u. a. auf die Bemessung von Regenrückhalträumen und die Überflutungsvorsorge. Diese Richtlinien und Regelwerke sind notwendig, um eine integrierte Planung sowie Umsetzung der jeweiligen Klimaschutz-, Klimaanpassungs- und Nachhaltigkeitsmaßnahmen zu gewährleisten.

In der Regel kommen jedoch weitere Bestimmungen wie **Landesbau- oder Gemeindeordnungen** hinzu, die Bundesgesetze ergänzen und ebenfalls berücksichtigt werden müssen. Zudem existieren weitere rechtliche Vorgaben wie z. B. durch den **Denkmal- und Naturschutz**, die den Umgang mit der Ressource Fläche regeln und gestalterische Aspekte sowie die Planung und Umsetzung kommunaler Klimaschutz-, Klimaanpassungs- und Nachhaltigkeitsmaßnahmen beeinflussen.



6 Leitbild für das Handlungsfeld Fläche

Für den Umgang mit der Ressource Fläche sind mit den Teilthemen und Akteuren abgestimmte Leitbilder unentbehrlich. Mit dem Ziel der verstärkten Innenentwicklung urbaner Quartiere müssen Leitbilder vielfältige Ansprüche mit der begrenzten Ressource Fläche verknüpfen. Leitbilder umfassen in der Stadtplanung übergreifende Vorstellungen der städtebaulichen Entwicklung und Bündel von politischen Stadtentwicklungszielen. Sie sollen eine Orientierungshilfe bieten und die Grundlage für eine referatsübergreifende Zusammenarbeit liefern. Des Weiteren stärken sie die öffentliche Wahrnehmung, Identifikation und Partizipation (Vallée, Engel und Vogt 2019).

Flächensparende und -effiziente Stadtentwicklung stellt eines der baupolitischen Leitbilder in Deutschland dar. Als ein zentrales und lebensqualitätssicherndes Konzept hat sich die doppelte Innenentwicklung etabliert (Böhm et al. 2016; Deutscher Rat für Landespflege 2006). Zum einen gilt es, die Innenentwicklung der Außenentwicklung vorzuziehen und zum anderen müssen Flächenreserven sinnvoll genutzt und dabei die Freiraumflächen und -versorgung erhalten oder gesteigert werden.

In Bestandsquartieren ist die Stärkung urbaner Freiraumqualitäten, besonders in verdichteten und mit Grünflächen unterversorgten Quartieren essenziell für eine nachträgliche Steigerung der Nachhaltigkeit und Zukunftssicherung. Von besonderer Bedeutung für das Handlungsfeld Flächen in der Stadt- und Quartiersentwicklung mit Bezügen zum Thema Ressourcenmanagement und Ressourceneffizienz ist das Leitbild einer **flächensensiblen Stadt**. Dieses ist von der Ausschöpfung von Synergien geprägt, die durch einen anderen Umgang mit der knappen Ressource Fläche, multifunktionale Nutzungen und Begrünung von (teil-)versiegelten Flächen erreicht werden kann.



Basierend auf der Hierarchie der Flächeninanspruchnahme der Bodenstrategie der Europäischen Union 2030 (Europäische Kommission 2021), dem Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz – BNatSchG, BGBl. I S. 2542) und dem Instrument der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) und den Konzepten aus der Kreislaufwirtschaft nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz wird eine fünfstufige Hierarchie als Leitfaden für eine flächensensible Stadtentwicklung entwickelt und in Abbildung 13 und in nachstehender Infobox präsentiert. 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.“

BMUV o. J.

Abbildung 13: Leitbild einer flächensensiblen Stadt



Quelle: KIT, NaMaRes 2021

Wichtig für die Umsetzung des Leitbildes einer flächensensiblen Stadt ist die Erfüllung folgender Anforderungen:

- Qualität genutzter Flächen verbessern (sozial, ökologisch, gestalterisch und Haltbarkeit) – betrifft alle Nutzungstypen und besonders urbane, grüne Räume
- Vernetzungen schaffen (räumlich und funktional, auf verschiedenen Ebenen) – Gestaltung von Korridoren für die urbane Flora und Fauna
- Mehrfach nutzen und Vielfalt fördern (Nutzungen überlagern, Synergien ausschöpfen, Ökosystemleistungen einbeziehen) – z. B. Parkplätze entsiegeln, Fassaden und Dächer besser nutzen
- Grün und Grau zusammenbringen (kombinierte Planung) – Konzepte der Grün-Blauen Infrastrukturen anwenden
- Kooperationen und Allianzen anregen (Inter-/Transdisziplinär denken) – lokale Akteure einbeziehen, Anreize zur Partizipation schaffen und Identifikation mit den Quartieren stärken

Für die Umsetzung des Leitbildes eignen sich folgende Instrumente, die kombinierbar sind:

- Freiraum- und Stadtentwicklungskonzepte
- Pflege- und Entwicklungspläne
- Landschafts- und Grünordnungspläne
- Kommunale Strategien
- Bauleitplanung
- Biotopverbundplanungen
- Verordnungen, Satzungen
- Sponsoring und Patenschaften
- Städtebauförderung
- Förderprogramme
- Verkehrs und Mobilitätsplanungen
- Klimaanpassungs- und Klimaschutzkonzepte

Der Bericht „Grüne Infrastruktur im urbanen Raum: Grundlagen, Planung und Umsetzung in der integrierten Stadtentwicklung“ (Hansen und Born 2018) untersucht positive Beispiele in der kommunalen Praxis und Planung von Flächen im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung und Begrünung (Tabelle 8). Beide Aspekte sind elementare Bestandteile der doppelten Entwicklungsstrategie und im Leitbild der flächensensiblen Stadt verankert.

Tabelle 8: Übersicht der 20 Beispiele guter Praxis (Hansen und Born 2018)

Stadt	Vorhanden	Fachbereich	Maßstab	Umsetzung		
				A	B	C
Berlin*	Landschaftsprogramm (2016)	Landschaftsplanung	Gesamtstadt	XX	XX	
Bremen	Landschaftsprogramm und Flächennutzungsplan (2014)	Landschaftsplanung	Gesamtstadt	XX	XX	
Norderstedt	Landschaftsplan (2008)	Landschaftsplanung	Gesamtstadt	XX	XX	XX
Frankfurt am Main*	Leitbild für den GrünGürtel (2010–2011) und Gesamtstädtische Grünstrategie („Speichen- und Strahlenplan“) (2015)	Freiraumplanung	Gesamtstadt	XX	XX	XX
Kiel*	Freiräumliches Leitbild Kiel und Umland (2006) und Integriertes Stadtentwicklungskonzept Kiel (2011)	Freiraumplanung	Stadtregion, Gesamtstadt	XX	XX	XX
Nürnberg*	Masterplan Freiraum (von 2012–2013)	Freiraumplanung	Gesamtstadt	XX	XX	XX
Wien*	STEP 2025– Fachkonzept Grünund Freiraum (2014)	Freiraumplanung	Gesamtstadt	XX	XX	XX
Saarbrücken*	Freiraumentwicklungsprogramm (2008) und Städtische Freiraumplanung als Handlungsfeld für Adaptionenmaßnahmen (2012)	Freiraumplanung, Klimaanpassung	Gesamtstadt	XX	XX	XX
Erfurt	Umsetzungsplan Biologische Vielfalt (2012)	Biodiversitätsstrategie	Gesamtstadt	XX	XX	XX
Essen	Stadtentwicklungsprozess 2015+ (2006)	Stadtentwicklung	Gesamtstadt	XX	XX	XX
Hamburg*	Gründachstrategie (seit 2013)	Freiraumplanung	Gesamtstadt	X	X	XX
Münster*	Klimaanpassungskonzept (2015) und Aasee-Leitbild (2011)	Freiraumplanung, Klimaanpassung	Gesamtstadt, Objekt	XX	X	XX
Mühlheim*	Masterplan Spielen und Bewegen (2012–2015)	Freiraumplanung	Gesamtstadt	XX	X	
Hamburg	Landschaftsachse Horner Geest (2016–2019)	Freiraumplanung	Korridor	X	XX	XX
Hamburg	Lebendige Alster (2011–2017)	Wasser/Renaturierung	Korridor	X	XX	XX
München	Isar-Plan (1995–2011)	Wasser/Renaturierung	Korridor	X	XX	XX
Hamburg*	Wilhelmsburger Inselpark (seit 2013) und Gemeinschaft ParkSportInsel (seit 2014)	Freiraumplanung	Quartier	XX	X	
München*	Zentrale Bahnflächen (seit 1997) (Stadtentwicklungsprojekt)	Stadtentwicklung	Quartier	XX	XX	
Gelsenkirchen*	Industriewald Rheinelbe (Nachnutzungskonzept Industriebrachen seit 1996)	Renaturierung	Objekt	XX	XX	
Krefeld	Rheindeich von Krefeld-Uerdingen (2014)	Wasser/Hochwasserschutz	Objekt	X	XX	XX

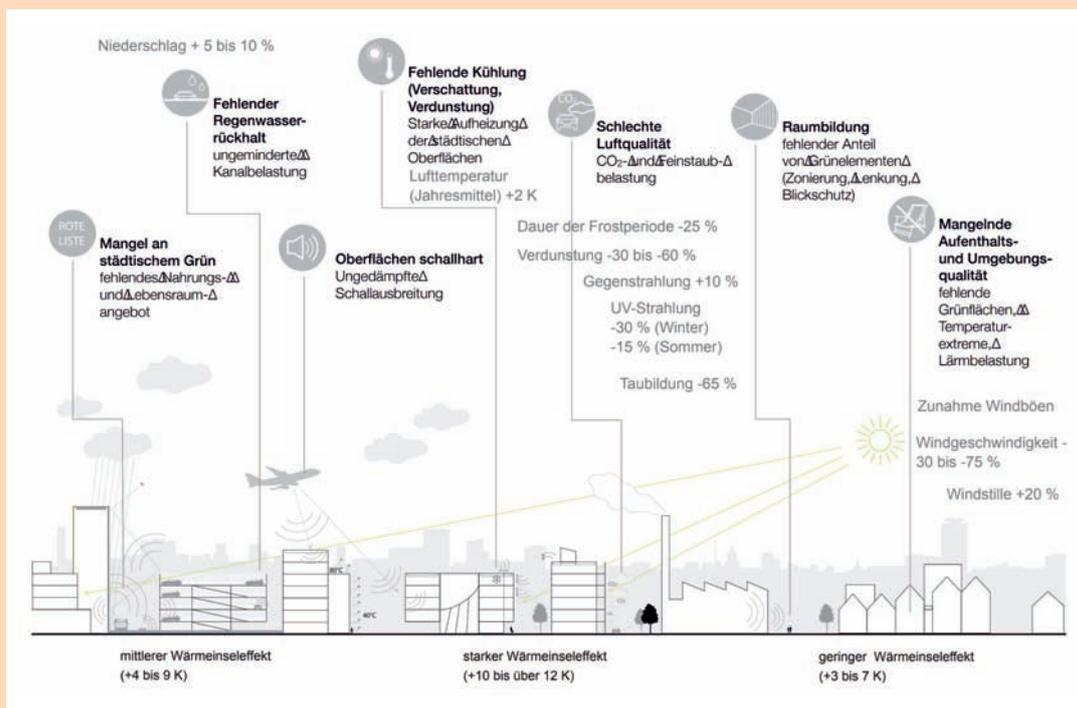
A = Grundelement, B = Verbundelement, C = Kombinierte Elemente aus grüner und grauer Infrastruktur;
 * = Diskussion im Workshop, X = relevant, XX = sehr relevant

7 Wechselwirkungen, Nutzungskonflikte, Synergien und Zusammenhänge

7.1 Grundlagen

Der Siedlungsdruck erzeugt einen meist unvermeidlichen Handlungsdruck hin zu mehr Außen- und Innenentwicklung. Bei beiden Ansätzen wird die Ressource Fläche beansprucht. Dies kann zu einem Mangel an Versickerungs- oder Vegetationsflächen (gestörter Wasserhaushalt, verringerte Ökosystemleistungen) sowie einer Zunahme von Wärmeinseleffekten führen – für weitere Beispiele siehe auch Abbildung 14. Eine Schlüsselrolle für die Abschwächung solcher Phänomene nimmt die grüne Infrastruktur ein. Sie kann Luftschadstoffe binden, Schatten spenden, das Mikroklima regulieren und bei Extremwetterereignissen schadensbegrenzend wirken.

Abbildung 14: Auswirkung der Versiegelung auf das Stadtklima

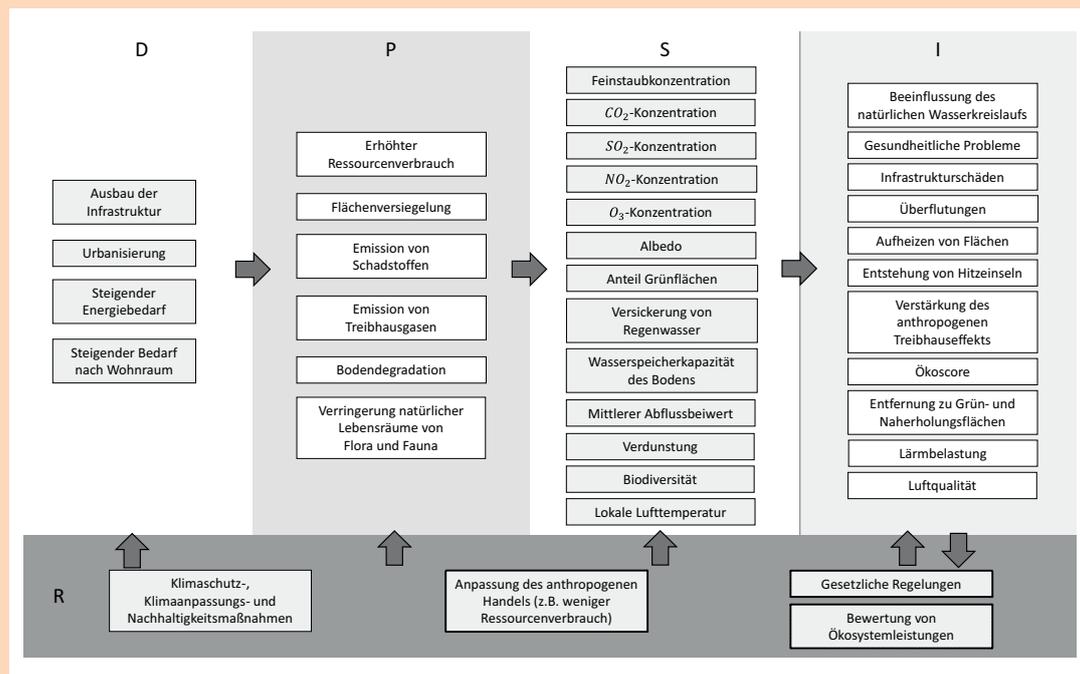


Quelle: Dettmar, Pfoser und Sieber 2016



Um die Wechselwirkungen und Zusammenhänge systematisch zu erfassen sowie die Zustände und Veränderungen messbar zu machen, werden Hintergrundinformationen, Kennwerte und geeignete Indikatoren genutzt. Das DPSIR-Modell (Driving Forces – Pressures – State – Impact – Response) der EEA bietet dafür eine geeignete Grundlage. Es zeigt die Beziehungen zwischen Ursachen und Folgen umweltbezogener Probleme auf und visualisiert eine Ursache-Wirkungskette. Zunächst werden Antriebskräfte (Driving Forces) sowie die daraus resultierenden Umweltbelastungen (Pressures) ermittelt. Anschließend werden der Zustand der Umwelt (State) sowie die Auswirkungen von Veränderungen der Umweltqualität (Impact) betrachtet und die Reaktion der Gesellschaft auf diese Umweltveränderungen erfasst (Response) (European Environment Agency, 1999). Abbildung 15 zeigt ein beispielhaftes DPSIR-Modell mit flächenrelevanten Informationen.

Abbildung 15: DPSIR-Modell mit häufig genutzten Indikatoren im Handlungsfeld Fläche



Quelle: KIT, NaMaRes 2021

Die ersten zwei Kategorien, Antriebskräfte (D – Driving Forces) und daraus resultierende Umweltbelastungen sind wichtig, um den gesamten Ursache-Wirkungszusammenhang und die Folgen deutlich zu machen. Die Antriebskräfte können u. a. durch die Antriebsindikatoren **Ausbau der Infrastruktur**, **Urbanisierung** beschrieben werden. Sie führen zu Umweltbelastungen, welche durch die Belastungsindikatoren (P – Pressures) wie erhöhtem Ressourcenverbrauch, dem **Anteil versiegelter Fläche**, die Emission von Schadstoffen und Treibhausgasen in der Umwelt, die **Degradation natürlicher Böden** sowie die Verringerung **natürlicher Lebensräume für Flora und Fauna** dargestellt werden.

Der Zustand der Umwelt wird im Nachfolgenden durch die in Abbildung 16 dargestellten Zustandsindikatoren (S – States) erfasst. Die Belastung durch Feinstaub hat zahlreiche, u. a. gesundheitliche Auswirkungen. Dieser kann durch verschiedene Maßnahmen gebunden werden. Auch die Bindung/Emission von Kohlenstoffdioxid (CO₂) wird betrachtet, um Maßnahmen miteinander vergleichen zu können. Einerseits wird hierbei das CO₂ betrachtet, das durch eine Maßnahme gebunden wird. So können z. B. **Begrünungsmaßnahmen** in unterschiedlichem Maße CO₂ in Biomasse binden. Durch andere Maßnahmen wiederum kann die Emission von CO₂ vermieden werden. Auch weitere Luftschadstoffe wie Schwefeldioxid (SO₂), Stickstoffdioxid (NO₂) und Ozon (O₃) haben Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und das Ökosystem. Somit werden die Zustandsindikatoren **Wasserspeicherung**, **Regenwasserabfluss**, **Verdunstungsleistung**, **Grünflächenanteil**, reflektierte Sonnenstrahlung, lokale Lufttemperatur, Feinstaubbelastung sowie die Emission von

CO₂, SO₂, NO₂ und O₃ intensiv betrachtet. Der Anteil der reflektierten Sonnenstrahlung, die sogenannte Albedo¹, beeinflusst das urbane Klima. Dunkle Oberflächen können tagsüber vermehrt solare Energie speichern und nachts in Form von thermischer Energie abgeben, was den UHI-Effekt² verstärkt. Anhand der reflektierten solaren Einstrahlung lässt sich also der Einfluss einer Fläche auf den UHI-Effekt sowie die vergleichbare Auswirkung der verschiedenen Maßnahmen auf die jeweilige Albedo dieser Fläche messen.

Durch den **Grünflächenanteil** kann gemessen werden, inwieweit das betrachtete Quartier bereits mit Grünflächen ausgestattet ist. Zudem lässt sich messen, wie sich der prozentuale Anteil der Grünflächen an der gesamten Quartiersfläche durch die Umsetzung verschiedener Maßnahmen auf einzelnen Flächen beeinflussen lässt. Der Grünflächenanteil hat eine Auswirkung auf die Verfügbarkeit von Grünflächen für Akteursgruppen im Quartier sowie auf das urbane Klima oder die Speicherung von Wasser im Boden. Der Einfluss einzelner, potenziell implementierbarer Maßnahmen hierauf kann gemessen oder geschätzt werden und zeigt entsprechende Veränderungen an. Anhand des Veränderungsgrades können die jeweiligen Maßnahmen miteinander verglichen werden. Analog ist der **Regenwasserabfluss** ein häufig herangezogener Indikator, der durch den mittleren oder oberen Abflussbeiwert charakterisiert wird. Ein Teil des nicht-abfließenden Wassers verdunstet, weshalb auch die Verdunstungsleistung als Indikator das Themenfeld Fläche betrifft. Beide Werte können durch die Einführung entsprechender Maßnahmen beeinflusst werden.

Die **lokale Lufttemperatur** beeinflusst neben dem urbanen Klima insbesondere das Wohlbefinden der Einwohner/-innen eines Quartiers. Zahlreiche andere Indikatoren, wie z. B. die Albedo oder auch die Verdunstung, haben Auswirkungen auf diesen Indikator. Umgekehrt verändert die lokale Lufttemperatur die Verdunstung und weitere Indikatoren. Die daraus resultierenden Folgen auf Veränderungen der Umweltqualität (Impacts) umfassen – aber sind nicht beschränkt auf – die Auswirkungsindikatoren der Beeinflussung des natürlichen Wasserkreislaufes, gesundheitliche Probleme, Infrastrukturschäden, Überflutungen, das Aufheizen von Flächen, die Entstehung von Hitzeinseln, die Verstärkung des anthropogenen Treibhauseffekts, den Ökoscore, die Lärmbelastung sowie die Luftqualität. Die Lärmbelastung hat, wie einige andere Indikatoren auch, erhebliche Auswirkungen auf das Wohlbefinden sowie die Gesundheit der Einwohner/-innen eines Quartiers. Durch verschiedene Maßnahmen werden die Lärmbelastung reduziert und das Wohlbefinden gestärkt. Auch der **ökologische Wert der Flächen**, bestimmt durch den Ökoscore, ist ein wichtiger Indikator für die Leistung und den Grad der Zielerreichung einer Maßnahme. Daher werden sowohl die Lärmbelastung als auch der ökologische Wert der Fläche im Folgenden als relevante Indikatoren betrachtet. Die Maßnahmenindikatoren (R – Responses) demonstrieren, wie und in welchem Ausmaß Politik und Gesellschaft auf die genannten Umweltauswirkungen reagieren. Neben Klimaschutz-, Klimaanpassungs- und Nachhaltigkeitsmaßnahmen sind zahlreiche weitere Reaktionen wie die Anpassung des menschlichen Handelns z. B. durch die Reduzierung des Ressourcenverbrauchs, die Beeinflussung durch gesetzliche Regelungen oder die Einführung der Bewertung von Ökosystemleistungen möglich. Es können auch wechselseitige Beziehungen zwischen verschiedenen Indikatoren auftreten. Durch die Reduktion lokaler Temperaturen und damit auch des Hitzeinseleffekts wird z. B. ebenfalls die Reduktion hitzebedingter Krankheiten und Todesfälle erzielt (Harlan and Ruddell 2011).

Erfolgreiche Nutzungskonzepte und Stadtplanungen müssen viele und konkurrierende Interessen ausgleichen sowie die Trägheit von Entscheidungen und Veränderungen in Städten mit der Dynamik der Nachfrage und der wissenschaftlichen Grundlagen schritthalten. Zum einen kann eine auf Innenentwicklung fokussierte Strategie zu einer effizienteren Verwendung bereits genutzter Ressourcen und Infrastruktur führen, zum anderen erhöht es lokal den Nutzungsdruck auf hoch beanspruchte Ressourcen oder empfindliche Gleichgewichte wie z. B. auf das Mikroklima. Die Synergien und unerwünschten Wirkungen müssen für jede Maßnahme standortspezifisch optimiert werden, um die maximalen Vorteile mit den minimalen Nachteilen auszuschöpfen.

¹ Der Albedo-Wert zeigt das Verhältnis von reflektierter zu einfallender kurzwelliger Strahlung. Je heller eine Oberfläche, desto größer ist ihre Albedo (DWD 2015, S. 8).

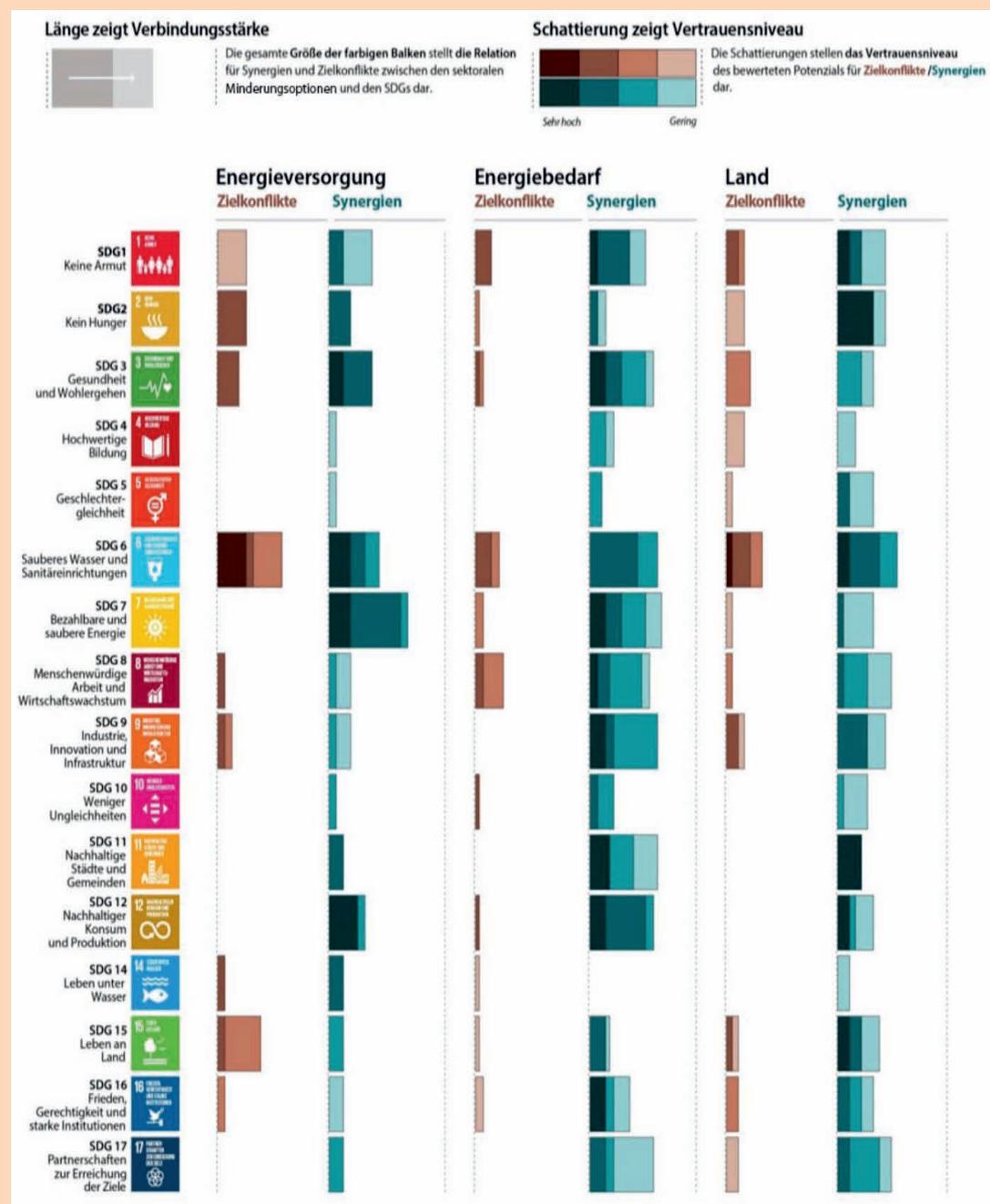
² UHI = urban heat island

7.1 Zielkonflikte und Synergien der übergeordneten Ziele

Die Studie „Rundum nachhaltig – Synergien und Zielkonflikte zwischen Klimaschutz und anderen Nachhaltigkeitszielen“ (Beuermann, Wang-Helmreich und Obergassel 2020) kartiert die Wechselwirkung zwischen den übergeordneten Klimaschutzmaßnahmen und den SDG-Zielen. Darin wird der deutsche Kontext als Ausgangslage gewählt. In den untersuchten Wirkungszusammenhängen werden die Aspekte der Flächennutzung, des Flächenverbrauchs und der Flächennutzungskonkurrenzen betrachtet. So wird beispielsweise der Flächenverbrauch als Wirkung einer CO₂-Steuer untersucht und mit den SDGs verknüpft.

Die nachfolgende Grafik setzt die SDG-Ziele in Bezug zu den Bereichen Land(-nutzung), Energiebedarf und Energieversorgung und bewertet die entstehenden Synergien und Zielkonflikte.

Abbildung 16: Verknüpfung der SDGs mit Zielkonflikten und Synergien in den Bereichen Energieversorgung, Energiebedarf und Landnutzung



Quelle: Beuermann et al. 2020

7.2 Zusammenhänge der Ressource Fläche mit anderen Bereichen

Die Ressource Fläche hängt sehr eng mit Böden zusammen, insbesondere die Flächen-/ Bodennutzung beeinflusst Regelungspotenziale, Bodenprozesse und Bodenparameter im direkten Maße. Im Fokus der folgenden Betrachtungen steht die Versiegelung, denn die (Teil-) Versiegelung von Flächen beeinflusst den Nähr-, Schadstoff- und Wasserhaushalt des Bodens. Dazu sind in den Abbildungen 17 und 18 die regulierenden Hauptprozesse illustriert. Wie die Prozesse konkret beeinflusst werden, hängt von den lokalen Gegebenheiten ab. Zum Beispiel können Böden und Flächen in urbanen Umgebungen erhöhte Immissionen von Schadstoffen durch Reifen- und Bremsabrieb erfahren und gleichzeitig begünstigt die Versiegelung das Abschwemmen dieser Schadstoffe in Wassersysteme einer Stadt. Weitere Wirkungen von Versiegelungen sind hinsichtlich der Evapotranspiration oder die Wasserspeicherkapazität bekannt. Dieses betrifft speziell die Resilienz bei extremen Wetterlagen, wie resultierende Risiken durch den Verlust von Wasserspeicherkapazitäten bei Starkregen oder Verlust von Verdunstungskühlung bei Hitzeperioden.

Abbildung 17: Schematische Darstellung der Bodenprozesse im Nähr- und Schadstoffhaushalt

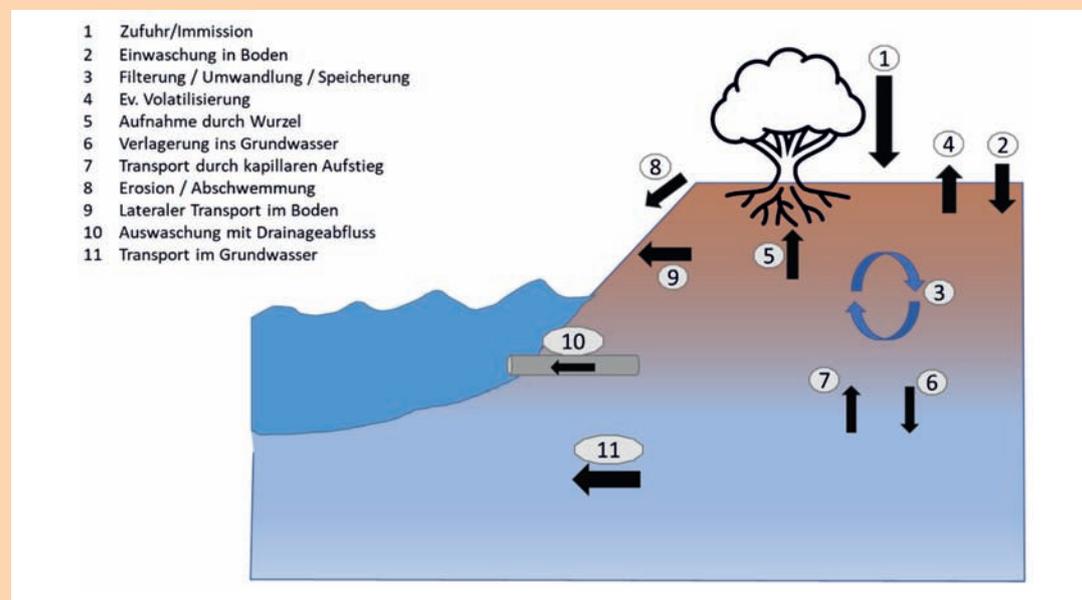
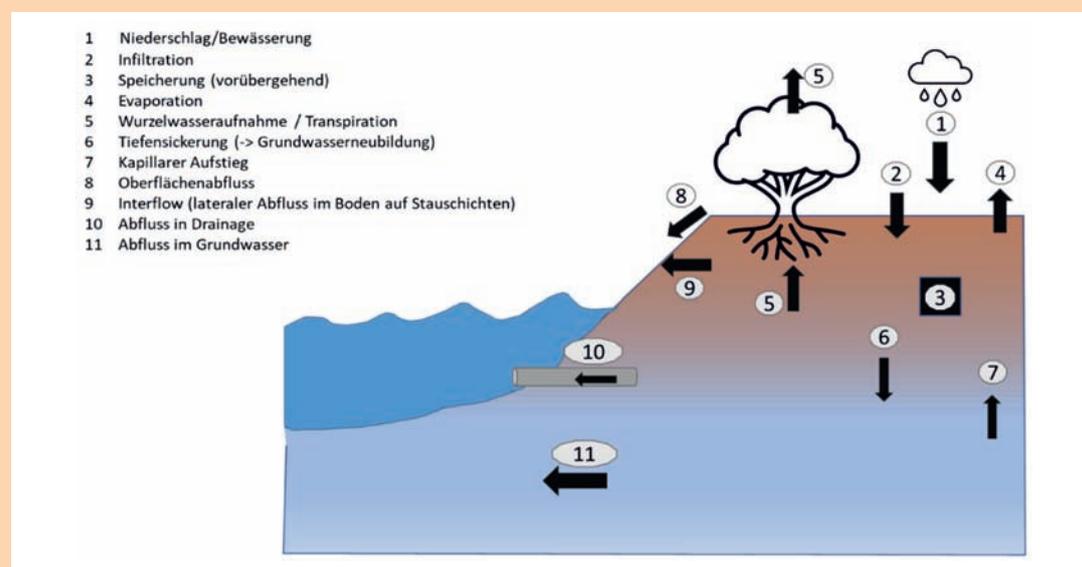


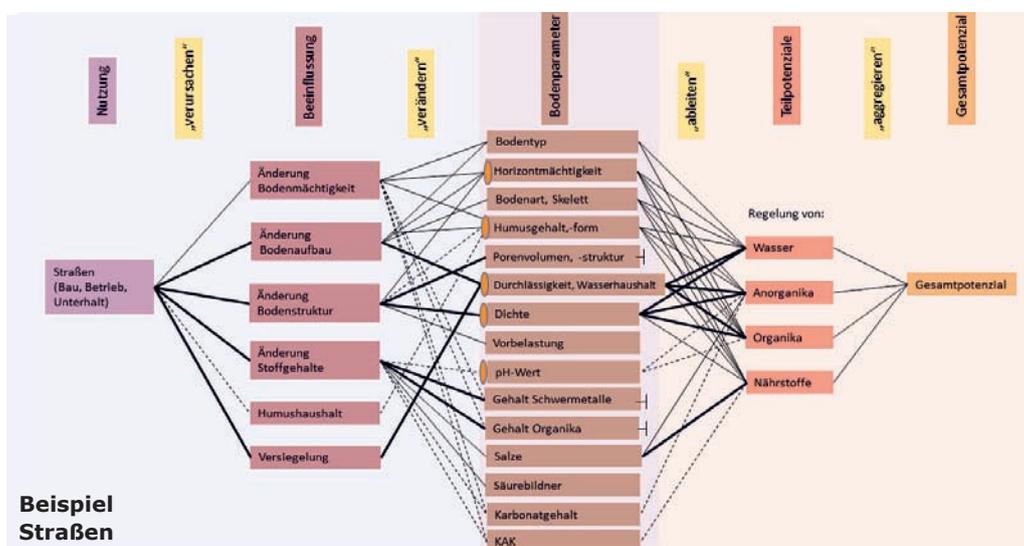
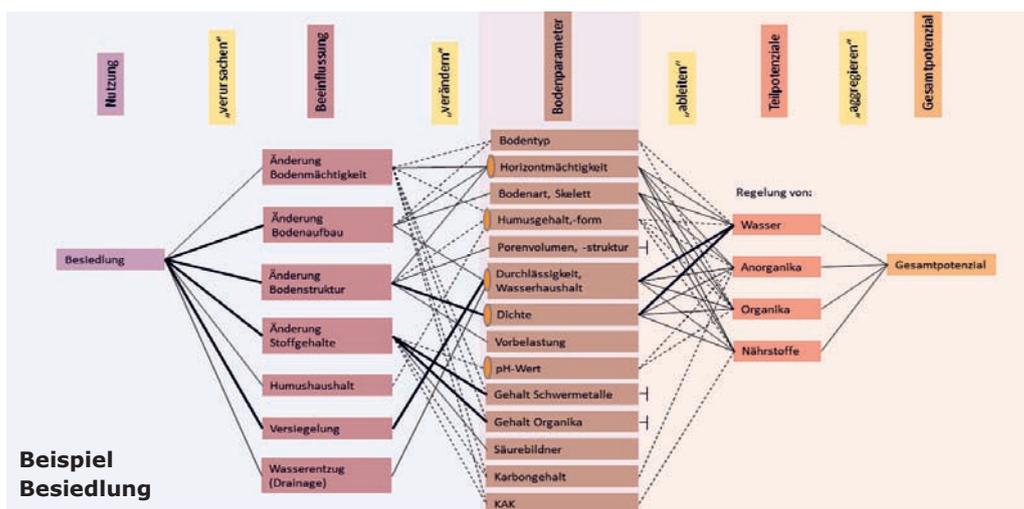
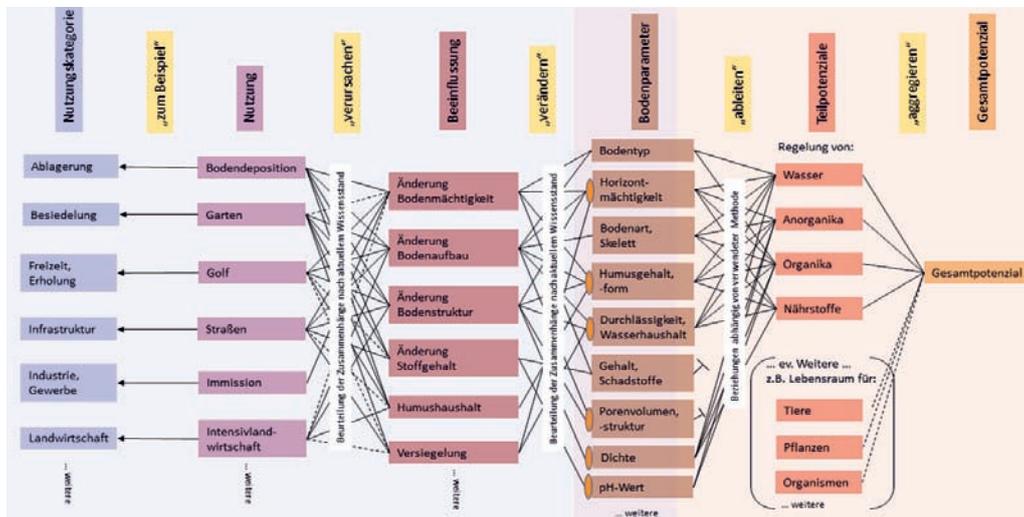
Abbildung 18: Schematische Darstellung der Bodenprozesse im Wasserhaushalt



Quelle: Hepperle und Stoll 2006

Eine weitere Darstellung der Wechselwirkung von der nutzungsbedingten zur quantifizierbaren Beeinflussung präsentiert Abbildung 19. Die Darstellungsart zeigt, wie die Nutzung von Flächen/Böden beeinflusst und welche Wirkung auf Parameter und die Funktionen von Böden abgeleitet werden können.

Abbildung 19: Verknüpfungen und Wechselwirkungen am Beispiel von Böden



Quelle: Hepperle und Stoll 2006

8 Hintergrundinformationen und Indikatoren

8.1 Hintergrundinformationen

Im Handlungsfeld Fläche können Hintergrundinformationen und eine Auswahl von Indikatoren zur Vorbereitung und Begleitung von Maßnahmen zur Anwendung gelangen. Hintergrundinformationen beschreiben dabei den Kontext. Der Kontext bestimmt u. a. die Nachfrage nach Flächen, Funktionen und Leistungen sowie das ausschöpfbare Potenzial (siehe Tabellen 9 und 10).

Tabelle 9: Übersicht der Hintergrundinformationen

Hintergrunddaten	Beschreibung
Klimadaten	Temperatur, Sonnenscheindauer, Globalstrahlung, Niederschläge, markante regionale Klimaphänomene, Windstärken, Heizgradtage, Kühlgradtage
Topografie	Lage
Bebauungsstruktur	Flächennutzungspläne, GRZ, Parzellengrößen, Blockflächen, Kantenlängen, Freiflächen
Bevölkerung	Demografische Kennzahlen und Entwicklungen

Klimadaten beschreiben den Zustand der Atmosphäre. Diese können verschieden große Raster- oder Gebietseinheiten über die meteorologischen Größen eines Ortes beinhalten. Meistens sind die Auflösung auf Stadtebene oder gröber. Mikroklimadaten hingegen beschreiben eine räumlich sehr begrenzte Auswahl meteorologischer Daten. Zu den Hintergrundinformationen zählen Niederschlagsmengen, Sonneneinstrahlung sowie markante Witterungs- und Klimaphänomene. Zu den Indikatoren zählen langjährige Statistiken zu Heiz- und Kühlgradtage, die Anzahl der Tropennächte, Sommertage etc.

Die **Topografie** prägt städtebauliche Strukturen und informiert über die Geländeformen. Meistens wird diese mittels topografischer Karten abgebildet. Ferner beinhaltet das Amtliche Topografisch-Kartografische Informationssystem (ATKIS) weitere prägende/markante Objektdaten wie z. B. Straßen- und Schienennetze, Vegetationsformen etc. Diese Hintergrundinformation liefern Erkenntnisse zum Handlungsspielraum.

Die **Bebauungsstruktur**, z. B. über die Bebauungsdichte oder andere stadtplanerische Kennzahlen definiert, beschreibt das bauliche Umfeld. Sie beeinflusst Frisch-/Kaltluftschneisen sowie die Wärmespeicherfähigkeit etc. Hintergrundinformationen und Indikatoren sind Grundflächenzahl (GRZ), Geschossflächenzahl (GFZ), Baumassenzahl (BMZ), Gebäudefunktion, (Bau-)Blockgrößen, Anzahl der Gebäude je Einheit/Block, Parzellengröße, Länge von Straßenfronten, Gebäudetypen, Geschossigkeit, Gebäudegrundflächen, Wohnflächen, Gewerbeflächen, Brutto-Raum-Inhalt, Brutto-Grundfläche (BGF) etc. Infrastruktur wie Straßen, Versorgungsanlagen und leitungsgebundene Transportnetze geben Auskunft über die Nutzung, Nutzungsintensität und mögliche Einflüsse auf Flächen und Böden.

Bevölkerungsdaten wie Zensusdaten und deren Fortschreibungen in Statistikämtern von Kommunen und Städte beschreiben Demografie und zeigen mögliche Entwicklungen an.

8.2 Indikatoren

Im Handlungsfeld Fläche existieren bereits eingeführte Indikatoren. So verwendet z. B. der Flächenmonitor des Leibniz-Institutes für ökologische Raumentwicklung (IÖR) **Indikatoren**, die eine Beschreibung der Siedlungsentwicklung hinsichtlich Nachhaltigkeitsaspekten ermöglichen (Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung 2019). Eine Übersicht der Indikatoren ist in Tabelle 10 gegeben, für die das IÖR „Steckbriefe“ erstellt hat (Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung 2019).

Tabelle 10: Indikatoren des IÖR-Monitors (Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung 2019)

Kürzel	Indikator	Kürzel	Indikator
N01EG	Flächenneuanspruchnahme SuV im Fünfjahresmittel	B23MT	Gebäudegrundfläche pro Einwohner
N01ET	Relative fünfjährige Flächenneuanspruchnahme SuV	B31RT	Einwohneranteil im Einwirkungsbereich von Hochspannungsfreileitungen
N02EG	Flächenneuanspruchnahme baulich geprägter SuV im Fünfjahresmittel	V01RG	Anteil Verkehrsfläche an Gebietsfläche
N02ET	Relative fünfjährige Flächenneuanspruchnahme baulich geprägter SuV	V01RT	Anteil Verkehrsfläche an Siedlungs- und Verkehrsfläche
N03ET	Verlust von Freiraumfläche pro Einwohner	V02RG	Anteil Straßenverkehrsfläche an Gebietsfläche
S02RG	Anteil Siedlungsfläche an Gebietsfläche	V02RT	Anteil Straßenverkehrsfläche an Siedlungs- und Verkehrsfläche
S05RG	Anteil Industrie- und Gewerbefläche an Gebietsfläche	V03DG	Straßennetzdichte in Gebietsfläche
S05RT	Anteil Industrie- und Gewerbefläche an Siedlungsfläche	V03DT	Straßennetzdichte im Siedlungsraum
S08RG	Anteil Siedlungsfreifläche an Gebietsfläche	V04DG	Schienennetzdichte in Gebietsfläche
S08RT	Anteil Siedlungsfreifläche an Siedlungsfläche	V05DT	Verkehrsfächennutzungsdichte
S10RG	Anteil baulich geprägter Siedlungsfläche ohne Industrie und Gewerbe an Gebietsfläche	V30DG	Gesamtkraftverkehrsnetzsdichte in Gebietsfläche
S11RG	Anteil Siedlungs- und Verkehrsfläche an Gebietsfläche	L01RG	Anteil Schutzgebiete gesamt an Gebietsfläche
S12RG	Anteil baulich geprägter Siedlungs- und Verkehrsfläche an Gebietsfläche	L08RG	Anteil Gebiete „Natur- und Artenschutz“ an Gebietsfläche
S14RT	Anteil Siedlungsfläche an Siedlungs- und Verkehrsfläche	L09RG	Anteil Gebiete „Landschaftsschutz“ an Gebietsfläche
S15RG	Anteil baulich geprägter Siedlungsfläche an Gebietsfläche	O01RG	Erreichbarkeit städtischer Grünflächen
S40RG	Bodenversiegelungsgrad	O02MT	Grünflächenausstattung pro Einwohner
S50KT	Flächenproduktivität	O03RG	Erreichbarkeit naher städtischer Grünflächen
D01KG	Gewichtete Zersiedelung	O04RG	Erreichbarkeit größerer städtischer Grünflächen
D02KG	Dispersion der Siedlungsfläche	O05AG	Jährlicher Holzzuwachs
D03KG	Urbane Durchdringung	O06RG	Anteil Waldfläche an Gebietsfläche
D04KG	Ausnutzungsdichte der Siedlungsfläche	O10RT	Anteil Hochwasserretentionsfläche an Gesamtaue
D05KG	Flächenanspruch pro Person	O11RT	Anteil bebauter Flächen in der rezenten Aue
G01DG	Gebäudedichte in Gebietsfläche	U02KG	Effektive Maschenweite der Freiräume (modifiziert)
G01DC	Gebäudedichte in baulich geprägter Siedlungsfläche	U03RG	Anteil unzerschnittener Freiräume > 100 km ² an Gebietsfläche
G03DG	Wohngebäudedichte in Gebietsfläche	U04RG	Anteil unzerschnittener Freiräume > 50 km ² an Gebietsfläche
G03DC	Wohngebäudedichte in baulich geprägter Siedlungsfläche	U06KG	Effektive Maschenweite der Wälder (modifiziert)
F01RG	Anteil Freiraumfläche an Gebietsfläche	U07RG	Anteil unzerschnittener Wälder > 50 km ² an Gebietsfläche
F02RG	Anteil Landwirtschaftsfläche an Gebietsfläche	U18RG	Anteil naturbetonter Flächen an Gebietsfläche
F03RG	Anteil Ackerfläche an Gebietsfläche	U20KG	Hemerobiindex
F04RG	Anteil Grünlandfläche an Gebietsfläche	U30DG	Gehölzdominierte Ökotonndichte
F07RG	Anteil Wald- und Gehölzfläche an Gebietsfläche	U31DG	Gewässerranddichte
F11RG	Anteil Wasserfläche an Gebietsfläche	U51RG	Anteil Einwirkungsbereich von Hochspannungsfreileitungen an Gebietsfläche
F13RG	Anteil Abbau- und Haldenfläche an Gebietsfläche	R01RG	Anteil des amtl. festgesetzten Überschwemmungsgebietes an der Gebietsfläche
B01DG	Einwohnerdichte	R04RT	Anteil des amtl. festgesetzten Überschwemmungsgebietes mit baulich geprägter Siedlungs- und Verkehrsfläche
B02DT	Siedlungsdichte	R05RT	Anteil baulich geprägter Siedlungs- und Verkehrsfläche im amtl. festgesetzten Überschwemmungsgebiet
B06MT	Industrie - und Gewerbefläche pro Einwohner	R06RT	Anteil Gebäudegrundfläche im amtl. festgesetzten Überschwemmungsgebiet
B10MT	Freiraumfläche pro Einwohner	E01DG	Windkraftanlagendichte
B11MT	Landwirtschaftsfläche pro Einwohner	E01DE	Windkraftanlagendichte pro Einwohner
B12MT	Wald- und Gehölzfläche pro Einwohner	E02RG	Anteil Windparkfläche an Gebietsfläche
B13MT	Grünfläche pro Einwohner	E03RG	Anteil Photovoltaik-Freiflächenanlagen an Gebietsfläche
B14MT	Verkehrsfläche pro Einwohner	X01RG	Relieftiefen
B20MT	Siedlungs- und Verkehrsfläche pro Einwohner	X02KG	Reliefenergie
B21MT	Baulich geprägte Siedlungs- und Verkehrsfläche pro Einwohner	M01RT	Wohngebäude-Materiallager pro Wohn- und Mischnutzfläche
B22MT	Versiegelte Bodenfläche pro Einwohner	M01MT	Wohngebäude-Materiallager pro Einwohner

9 Kennwerte für Analysen und Zielfindung

Wie in Kapitel 8 ersichtlich ist die Menge von Indikatoren, die sich auf die Ressource Fläche beziehen, groß. Daher müssen die Kennwerte für die Analyse des IST- und Zielzustandes hinsichtlich territorialer/räumlicher, zeitlicher und ggf. auch technologischer Sicht geeignet sein, um mit der vor Ort gegebenen Datenbasis Analysen durchzuführen.

Kennwerte für den Flächenverbrauch europäische und nationale Ebene

Einen Überblick über die Ressourcen Fläche und Böden verschafft die „Leitlinien für bewährte Praktiken zur Begrenzung, Milderung und Kompensierung der Bodenversiegelung“ der Europäischen Kommission (Europäische Kommission 2012). Als Kennwerte können

- der Flächenverbrauch pro Tag,
- die Siedlungsfläche,
- die versiegelte Bodenfläche,
- das Verhältnis zwischen Flächenverbrauch und Bevölkerungswachstum

herangezogen werden.

Der **Flächenverbrauch pro Tag** beschreibt, wie viel zusätzliche Siedlungsfläche in km² einhergehend mit der Bodenversiegelung zur bereits bestehenden Siedlungsfläche pro Tag hinzukommt. Die Kennzahl gibt die Änderung für ein definiertes Zeitintervall an, z. B. pro Tag über die letzten 4 Jahre.

Die **Siedlungsfläche** kann einerseits als Anteil der gesamten Landesfläche in Prozent oder als durchschnittliche Siedlungsfläche pro Kopf (m²/Kopf) bestimmt werden. Sie wird für einen festen Zeitpunkt berechnet. Durch den Vergleich von mindestens zwei verschiedenen Zeitpunkten kann eine Aussage über die Entwicklung gemacht werden.

Die **versiegelte Bodenfläche** lässt sich wie die Siedlungsfläche in Prozent (%) oder durchschnittliche versiegelte Bodenfläche pro Kopf (m²/Kopf) angeben. Auch hier müssen mehrere Zeitpunkte miteinander verglichen werden, um eine Aussage über die Entwicklung treffen zu können.

Das **Verhältnis zwischen Flächenverbrauch und Bevölkerungswachstum** unterscheidet sich zu den anderen Kennzahlen in der Hinsicht, dass sie die Populationsentwicklung eines Landes berücksichtigt. Generell ist in der Europäischen Union ein sogenannter „ent-koppelter Flächenverbrauch“ zu verzeichnen. Der Flächenverbrauch ist höher als das Bevölkerungswachstum. Daher wird immer mehr Fläche pro Kopf vereinnahmt. Kennzahlen wie die Siedlungs- und versiegelte Bodenfläche pro Kopf verzeichnen dadurch im Mittel einen Anstieg. Diese Indikatoren sind auf nationaler und internationaler Ebene sinnvoll für die Feststellung des Fortschritts und der Zielerreichung. Wenn die städtische und kommunale Entwicklung betrachtet werden soll, können diese genauso bestimmt werden, jedoch müssen die Aggregationsgrenzen (z. B. die räumliche Begrenzung) kritisch berücksichtigt werden. So können Industriegebiete mit Wohngebieten nicht verglichen werden. Hier wird die Bedeutung der Hintergrundinformationen deutlich.

Besonders die nationalen Ziele lassen sich auf der Quartiersebene im Bestand z. T. nicht quantitativ bewerten. So basiert das Ziel der Reduktion der Flächenneuinanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrsflächen und die Berechnungen der Versiegelung der umweltökonomischen Gesamtrechnungen auf Annäherungen. Für die Berechnung versiegelter Siedlungs- und Verkehrsflächen wird mittels eines statistisch abgeleiteten Modells der Indikator der Bodenversiegelung bestimmt (Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder 2019). Die Modellparameter werden statistisch bestimmt und nicht durch amtliche Erfassung der Versiegelung (Tabelle 11). Somit sind die Wirkungen von Maßnahmen durch diesen Indikator/diese Methodik nicht hinreichend erfasst und müssen auf regionaler und lokaler Ebene durch handlungsleitende Ziele/Indikatoren ergänzt werden, um die Umsetzung, Verwaltung und Effektivität von aufgewendeten Ressourcen zu erhöhen.

Tabelle 11: Parameter zur Berechnung versiegelter Siedlungs- und Verkehrsflächen (Umweltbundesamt; Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder 2019)

Nutzungsart	Eckwerte BE und MV (Basisjahr 2000 in %)		Parameter zur Ermittlung der Versiegelung	
	BE	MV	A1	A0
Gebäude- und Freiflächen	55	45	0,1606	43,9253
Betriebsflächen ohne Abbau-land	20	20	0,0000	20,0000
Erholungsflächen	10	15	-0,0803	15,5374
Friedhöfe	15	15	0,0000	15,0000
Verkehrsflächen	70	50	0,3211	47,8505

Quartiersebene

Die Menge von Indikatoren auf Quartiersebene lässt sich aus den (inter-)nationalen Zielen, den Indikatormengen des IÖR (vgl. Tabelle 10) oder anderen regionalen Statistikportalen ableiten. Eine Grundvoraussetzung für die Feststellung der zu verwendenden Indikatoren sollte die Problemstellung und die Datenauflösung darstellen. Ohne die korrekte Erfassung und Auflösung der Indikatoren kann das Ergebnis nicht handlungsleitend eingesetzt werden. Für die Ressource Fläche konnte im Projekt „NaMaRes“ und für die untenstehenden Indikatoren eine solide und den allermeisten Kommunen vorliegende Datenbasis auf Flurstückebene festgestellt werden (vgl. Indikatoren-Steckbriefe).

- Versiegelungsgrad (%): Grad der Bodenbedeckung durch anthropogene Über-, Unterbauung und teilversiegelte Flächen, welche die Versickerung von Wasser und andere wertvolle natürliche Bodenfunktionen unterbinden oder hemmen.
- Fläche (m²): Flächeninhalt nach Kategorien, z. B. nach der Einteilung der gesplitteten Abwassergebühr oder der Anteil und die Nähe zu Grünflächen (siehe auch Tabelle 12 für Orientierungswerte).
- Befestigungswert (m²): Abflusswirksame Fläche der Bodenbedeckung durch anthropogene Über- und Unterbauung sowie teilversiegelte Flächen, welche die Versickerung von Wasser unterbinden oder hemmen. Eine Über-/Unterbauung und Teilversiegelung wirkt sich gewichtet durch den jeweiligen Abflussbeiwert (z. B. mittlerer oder Spitzenabflussbeiwert) aus und bewertet die abflusswirksame Fläche. $\sum_i I_i$ (Abflussbeiwert_i * Fläche_i) (Basierend auf DIN 1986-100). Im Unterschied zur Versiegelung kann dieser Wert bei der hydraulischen Bewertung von Flächen im Quartier angesetzt werden.



Tabelle 12: Orientierungswerte für die Grünflächenversorgung
(Böhm et al. 2016; Deutscher Rat für Landespflege 2006)

Freiraumtypen	Stadtbeispiel	Orientierungswert Grünflächenversorgung/Entfernung zu Wohngebiet/Siedlung
Wohnungsbezogene Freiräume z. B. Grünplätze, Straßenbegleitgrün, Spielstraßen oder potenziell nutzbare öffentliche Verkehrsflächen analog gestaltet	München	4 m ² /EW, ca. 5 Min. Fußweg (150–250 m Entfernung)
Wohngebietsbezogene, wohnungsnah Freiräume	Braunschweig	4 m ² /EW (150 m Entfernung)
	Freiburg, München	4 m ² /EW, ca. 10 Min. Fußweg (300–500 m Entfernung)
	Berlin, Hamburg, Nürnberg (Quartierpark)	6 m ² /EW (500 m Entfernung)
Siedlungsnah Grünflächen	Berlin, Freiburg, Karlsruhe, München	7 m ² /EW, ca. 20 Min. Fußweg (max. 1.000 m Entfernung)
Öffentliche Grünflächen im Quartier	Stuttgart	8–15 m ² /EW
Kommunale Parkanlagen und Grünflächen	Münster	16 m ² /EW
	Hamburg	13 m ² /EW

Weitere Indikatoren und deren Berechnung werden in Abschnitt 11 beschrieben. Zu diesen Indikatoren gehören unter anderem:

- Massenströme/Stoffströme (Volumen oder Gewicht):
Nach Materialfraktionen aufgeteilte Stoffströme, welche mit Maßnahmen oder Aktivitäten im Ressourcenfeld Fläche anfallen. Diese sind als Eingang oder Abgang zu differenzieren, z. B. Ersatz von Mutterboden bei Bauarbeiten.
- Regenabflussmengen (Volumen pro Zeit):
Indikator zum Wasserhaushalt und Funktionen der Ableitung und des Rückhalts von Wasserniederschlägen. Diese lassen sich für verschiedene Zeiträume und Szenarien feststellen, womit verschiedene Maßnahmen und Zustände vergleichbar sind.
- Kosten (Geldeinheiten):
Investitionen und Betriebskosten verschiedener Flächen, welche die Vorbereitung, Implementierung, Instandhaltung und den Rückbau von Flächen beinhalten. Bei vielen Strategien spielen die finanziellen Ressourcen eine wichtige Rolle. Auch die Förderungen/Subvention von Ausgaben können Entscheidungsrelevant sein und sollten berücksichtigt werden.
- Ökopunkte (Punkte):
Bewertung des ökologischen Wertes von Flächen anhand von Wertungstabellen und Typologien, um Verluste von natürlichen Ökosystemleistungen erfassen zu können.
- Emissionen (% , Gewicht, Volumen):
Quantifizierung von Bindungs- und Depositionskapazitäten verschiedener Oberflächen. Auf Flächen können Maßnahmen realisiert werden, die multifunktional, direkt oder indirekt Emissionen und Schadstoffe mindern oder binden können. Neben den Luftschadstoffen können begrünte Flächen auch den Lärm mindern.
- Albedo (% bzw. Verhältnis):
Maß für das Rückstrahlvermögen (Reflexionsstrahlung) diffus reflektierender Oberflächen. Das Rückstrahlvermögen kann in überhitzten Gebieten eine Stellschraube darstellen, um den Aufenthaltskomfort zu steigern und Temperaturen zu steuern.
- Evapotranspiration (Volumen):
Summe aus Evaporation und Transpiration (Verdunstung von Wasser aus Tier- und Pflanzenwelt sowie von Boden- und Wasseroberflächen). Flächen und Maßnahmen, die die Evapotranspiration steigern, tragen zur natürlichen Kühlung im Sommer bei.

10 Hilfsmittel

10.1 EDV-Anwendungen

Fachinformationssysteme, EDV-Anwendungen, EDV-Plattformen und mobile Apps unterstützen die Verarbeitung von Geodaten, das Teilen von Informationen und die Digitalisierung von Verwaltungsprozessen. Neben den Werkzeugen und Angeboten der Landesämter und -anstalten (z. B. zum Umgang mit Innenentwicklungspotenzialen FLOO: Flächenmanagement-Tool für Kommunen vom LUBW (LUBW 2022) oder FMD: Flächenmanagement-Datenbank vom Ifu Bayern (Flächenmanagement-Datenbank 2022)), existiert eine breite Bandbreite von akademischen und kommerziellen Lösungen, welche versuchen spezifische Herausforderung zu lösen und lokale Indikatoren zu berechnen. Hauptthema dieser Produkte ist die intelligente Stadt (Smart City).

Studien, wie (Volk, Rambhia, Naber und Schultmann 2022; Voskamp, Luca, Polo-Ballinas, Hulsman and Brolsma 2021), über das Management von urbanen Ressourcen und naturbasierten Lösungen präsentieren viele Werkzeuge verschiedener Reifegrade in der Wirtschaft und Wissenschaft, mit Anwendung auf verschiedene Fallstudien weltweit. Tabelle 13 zeigt einen Ausschnitt der Ergebnisse dieser Studien.

Tabelle 13: Ausgewählte informelle Werkzeuge zur Unterstützung des Managements und der Bewertung der Ressource Fläche – gelistet sind Werkzeuge mit Anwendungsbeispielen in Deutschland (übersetzt aus und angelehnt an Volk et. al 2002)

Werkzeug/Tool	Anwendungsbereich					Fähigkeiten			Typ und Reife				Verfügbarkeit			Ebene			
	Fläche	Begrünung	Stadtklima	Wasser	Stoffe	Bewertung	Überwachung	Planung/Simulation	akademisch (TRL3/4)	eigenständige Software	Webanwendung/App	bewährt im operativen Umfeld	keine	Open source	kommerziell	Gebäude	(Bau-)Block	Quartie	Stadt
NaMaRes (Naber et. al. 2022)	x	(x)	(x)	x	x	x	x	x	x	-	x	-	x	-	-	x	x	x	x
PALM4 U (Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, 2022)	x	x	x	x	x	-	-	x	x	x	-	x	-	x	-	(x)	x	x	x
ENVI-met (ENVI-met GmbH)	x	x	x	(x)	-	-	-	x	-	x	-	x	-	-	x	(x)	x	x	x
INKAS (Deutscher Wetterdienst, 2022)	(x)	(x)	x	(x)	-	-	-	-	-	-	x	-	-	x	-	-	x	x	x
MeinGrün App (meinGrün, 2022)	(x)	x	(x)	-	-	x	-	-	-	-	x	-	-	x	-	-	-	-	x
GREEN -AREA (Klärle, Langendorfer, Lanig & Popp, 2017)	x	x	-	-	-	x	-	x	-	-	x	x	-	-	x	x	x	x	x
ECOPLAN Tools (University of Antwerp, 2022)	x	x	x	x	x	x	(x)	x	x	-	-	-	x	-	-	?	x	x	?

Eine konkrete Empfehlung zu einem Werkzeug zur Unterstützung des Flächenmanagements kann an dieser Stelle nicht gegeben werden.

10.2 Flächeninventar und Flächenanalyse

Ein geeignetes Hilfsmittel ist ein granulares georeferenziertes Flächeninventar (Boehnke et al. 2021; Volk et al. 2021).

Eine Säule der doppelten Innenentwicklung und der vorgestellten Leitlinien der flächensensiblen Stadt ist die Begrünung. Die Studie „Wie grün sind deutsche Städte?“ (BBSR 2022) geht auf die Flächennutzung als urbanes Grün ein und zeigt dabei die technischen Möglichkeiten mittels Fernerkundungsdaten verschiedene Indikatoren bis auf die Stadtteilenebene zu quantifizieren. Hierbei wird ein Teilinventar der Ressource Fläche bestimmt und eingesetzt. Dabei kann die dort vorgestellte Methodik auf für weitere Analysen angewendet werden und die Ergebnisse der Studie können als Orientierungswerte herangezogen werden.

11 Analysebeispiel „NaMaRes“

Ein vollständiges Flächeninventar auf Ebene der Flurstücke und Gebäudeteiloberflächen wurde im Projekt „NaMaRes“ anhand bestehender kommunaler Daten für ein Quartier in Karlsruhe erstellt (Boehnke et al. 2022; Naber et al. 2022). Die Nutzung eines vollständigen Flächeninventars operationalisiert das Management der Ressource Fläche und eröffnete viele mögliche Analysen und eine datenbasierte Entscheidungsbasis. In diesem Beispiel stehen die Innenentwicklung und Entsiegelung von Flächen privater Eigentümer/-innen im Fokus, die aufgrund fehlender Verfügungsrechte der Verwaltungen und Ämter in der Stadt-/Quartiers-Entwicklung nur gemeinsam mit lokalen und privaten Akteuren/-innen umsetzbar waren. Dabei wurden die vorhandenen Geodaten (georeferenzierte Geometrien) verschnitten. Das Flächeninventar wurde über die räumliche Verschneidung der amtlichen Flurstücke (gesplittete Abwassergebührendaten) und der räumlichen Schnittmenge der Gebäude- und Infrastruktur erzeugt. Die jeweiligen Schnittmengen wurden in eine Geo-Datenbank (als Vereinigungsmenge) eingefügt und mit den Geometrien des 3D-LOD2-CityGML-Modells des Quartiers (auch bundesweit verfügbar) kombiniert. Die resultierende Datenbank besteht nun aus hoch granularen Daten aller Oberflächenelemente, den jeweiligen verschnittenen Geometrien und den ursprünglichen Identifikatoren der geschnittenen Daten. Zusätzlich wurde das städtische Flächeninventar über verwandtschaftliche Verknüpfungen (Daten zu Denkmalschutz und Erhaltungsinteressen usw.) weiter angereichert. Dieses Flächeninventar wurde genutzt, um den IST-Zustand (Tabelle 14), um mögliche Nachhaltigkeitsmaßnahmen und städtische Förderprogramme zu bewerten.

Tabelle 14: Flächeninventar in Privatbesitz im Untersuchungsgebiet – gerundete Werte 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 begrünt 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.

Die Flächen in der Studie (Naber et al. 2022) wurden hinsichtlich mehrerer Indikatoren (vgl. beispielhafte DPSIR-Analyse Abbildung 15) bewertet. Dazu gehörten:

Albedo: Maß für die Reflexionsstrahlung von reflektiertem Licht. Die Kennzahl ist dimensionslos und gibt das Verhältnis von reflektiertem und einfallendem Licht im Wertebereich 0 bis 1 oder 0 bis 100 % (flächengewichtet aggregierbar) an.

Abfluss Peak, auch **Spitzenabflussbeiwert:** Kennzahl für die Berechnung der abflusswirksamen Fläche zur Bemessung der Dachentwässerung und Grundleitung (DIN 1986-100). Die Kennzahl ist dimensionslos und nimmt einen Wertebereich von 0 bis 1 ein (flächengewichtet aggregierbar).

Abfluss MW, auch **mittlerer Abflussbeiwert**: Kennzahl zur Volumenberechnung von Niederschlagswasserrückhalteräumen (DIN 1986-100). Die Kennzahl ist dimensionslos und nimmt einen Wertebereich von 0 bis 1 ein (flächengewichtet aggregierbar).

Versiegelungsgrad: Maß der Wasserdurchlässigkeit einer Oberfläche. Im Projekt werden die Abflussbeiwerte und stadtinternen Parameter der gesplitteten Abwassergebühr zur Berechnung herangezogen. Wertebereich 0 bis 1 oder 0 bis 100 % (flächengewichtet aggregierbar).

CAPEX: Investitionsausgaben in Geldeinheiten für die Implementierung einer Maßnahme

OPEX: Jährliche Betriebskosten in Geldeinheiten außer Bewässerungskosten für den Betrieb und Pflegeaufwand einer Maßnahme.

Einsparungen: Erzielte Einsparungen in Geldeinheiten durch eine Maßnahme, z. B. Eigenverbrauch von PV-Strom.

Erlöse: Erzielte Erträge in Geldeinheiten durch eine Maßnahme, z. B. Vergütung für eingespeisten PV-Strom.

Lokale Förderung: Finanzielle Förderung von Maßnahmen durch lokale Instrumente.

Grünschnitt: Jährliche Menge von Grünschnitt und Grünabfällen in Gewichtseinheiten, welche durch die Maßnahmen induziert werden.

Evapotranspiration: Summe der Evaporation und Transpiration von Pflanzen und Böden. Damit wird die Verdunstung von Wasser aus der Pflanzenwelt sowie von Boden- und Wasseroberflächen beschrieben, die in Liter pro Jahr angegeben wird. Der Wert der Verdunstung wird über notwendige Verdunstungsenergie und angenommene Energiekosten berechnet.

CO₂^{fix}: Über den Lebenszyklus geleistete CO₂-Sequestrierung/-Speicherung/-Bindung durch eine Maßnahme (Gewichtseinheiten).

CO₂^{mit}: Jährliche CO₂-Abscheidung durch eine Maßnahme (Gewichtseinheiten).

Biodiversität: Anzahl der Individuen (Fauna), welche eine Oberflächenart/Maßnahme als Lebensraum nutzt (Pfoser et al. 2013 und 2016).

NO₂: Jährliche NO₂-Abscheidung durch eine Maßnahme (Gewichtseinheiten).

SO₂: Jährliche SO₂-Abscheidung durch eine Maßnahme (Gewichtseinheiten).

O₃: Jährliche O₃-Abscheidung durch eine Maßnahme (Gewichtseinheiten).

PM₁₀: Jährliche PM₁₀-Abscheidung durch eine Maßnahme (Gewichtseinheiten).

Ecoscore: Von den Ökopunkten abgeleitete quantitative Bewertung von Qualität/Nutzwert/Habitat eines Biotops (Boehnke et al. 2021 und 2022; Breunig 2017; LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2010 und 2018a; Naber et al. 2022). Die Bewertung folgt der Logik der Ökokontoverordnung mit aggregierbaren Punktwertungen (höhere = besser)

Maßnahmen des Beispiels

Durch den eingeschränkten Handlungsspielraum in Bestandsquartieren wurden insbesondere Maßnahmen der Stufen 2 bis 5 der 5-stufigen Hierarchie des Leitbildes der flächensensiblen Stadt untersucht. Nachhaltigkeitsmaßnahmen werden in der Beispielstudie betrachtet (detaillierte Beschreibungen in Naber et al. 2022):

- Extensive Dachbegrünung (erg): Dachbegrünung mit 10 cm Substratstärke, kurzem Gras oder Sedum-Pflanzen
- Intensive Dachbegrünung (irg): Oberflächennahe Dachbegrünung mit > 25 cm Substratstärke, Gras und krautigen Pflanzen (im Verhältnis 1:1)
- Tiefgaragendachbegrünung (uprg): Dachbegrünung mit > 35 cm Substratstärke, Gras, krautigen Pflanzen und kleinen Laubbäumen (im Verhältnis 2:1:1)
- Dach-Photovoltaik (rmpv): Installation von Photovoltaik-(PV)-Modulen
- Photovoltaik und Dachbegrünung (pvrg): Installation von monokristallinen Solarmodulen und Dachbegrünung mit 10 cm Substratstärke, kurzem Gras oder Sedum
- Fassadenbegrünung am Boden (gbfg): Kletterpflanzen, Pflanzen mit/ohne Kletterhilfe
- Wandgebundene Fassadenbegrünung (wbfg): Vorgefertigte Vegetationselemente/Matten, kurzes Gras oder krautige Pflanzen
- An der Fassade montierte Photovoltaik (fmpv): Installation von PV-Modulen
- Bodenentsiegelung/Hausgarten (sdg): Entsiegelung und grundstücksspezifische Mehrfachnutzung (z. B. notwendige Stell- und Rangierflächen für Abfallbehälter, KFZ oder Fahrräder) auf durchlässigem Pflaster, z. T. begrünte Gitter (im Verhältnis 1:1 Kurzrasen, undurchlässig) und Hausgartenflächen (im Verhältnis 1:1:1 Gras, Stauden und Laubbäume) auf einem Grundstück

Bewertung des IST-Zustandes und der Maßnahmenimplementierung

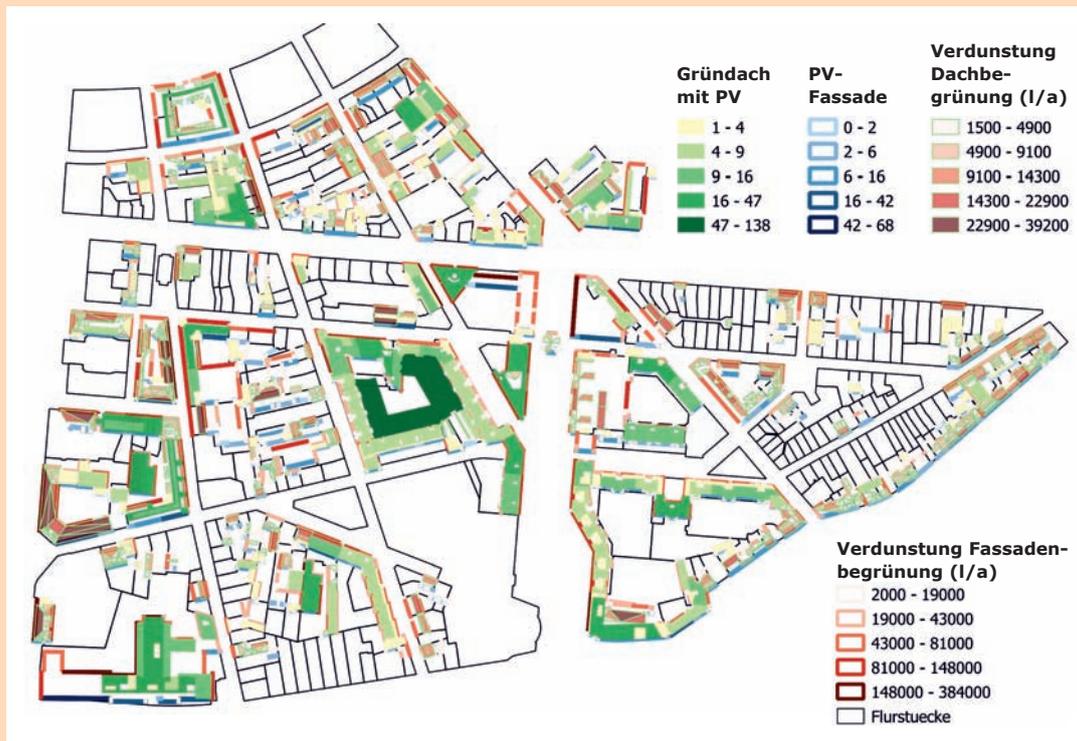
Im Rahmen der Studie (Naber et al. 2022) behindern bauliche und denkmalpflegerische Zwänge die realisierbaren Potenziale. Daher wurden betroffene Flächenelemente aus den technischen Potenzialen herausgenommen. Die dargestellten Potenziale bilden also nicht nur die technischen, sondern auch kulturelle (gesellschaftlich akzeptierte) Potenziale ab. Tabelle 15 und Abbildung 20 fassen die Ergebnisse zusammen.

Tabelle 15: Maßnahmenpotenziale im Untersuchungsgebiet und bewertete Auswirkungen – 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 Absolutwerten dar. Die Werte sind gerundet. pp: Prozentpunkte (Naber et al. 2022)

Kategorie	sdg	uprg	erg	irg	rmpv	pvrg	gbfg	wbfg	fmpv	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 [$\frac{m€}{a}$]	0,137	0,008	0,05	0,05	0,08	0,07	1,2	3,3	0,14	–
Einsparung [$\frac{k€}{a}$]	6,6	2	9	11	242	148	0	0	194	–
Erlöse [$\frac{k€}{a}$]	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 [$\frac{l}{a}$]	37	10,7	4	9,8	0	2	25,5	12,9	0	44,5
Evapotrans. [$\times 10^6 \frac{l}{a}$]	7,4	3,2	10,1	8,2	0	5,2	42,5	25,7	0	38,3
Wert der Evapotrans. [$\frac{m€}{a}$]	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} [$\frac{t}{a}$]	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} [$\frac{kg}{a}$]	52,01	22,2	93	59	0	48	304	200	0	88,3
SO ₂ ^{mit} [$\frac{kg}{a}$]	14,65	6,23	26	18	0,23	13,5	86	56	0,18	24
O ₃ ^{mit} [$\frac{kg}{a}$]	102,3	43,6	180	114	0	92	610	385	0	173,8
PM ₁₀ [$\frac{kg}{a}$]	38,26	10,9	41	27	0	21	175	87	0	90,8
Ecoscore [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-Paneele. Somit ist die Begrünungsfläche \neq PV-Modulfläche. v Fläche nach Erfüllung der Bedingungen vi Vereinigung selektierbarer Flächen

Abbildung 20: Szenario mit größtmöglicher Ausschöpfung der Maßnahmenpotenziale Kartengrundlagen

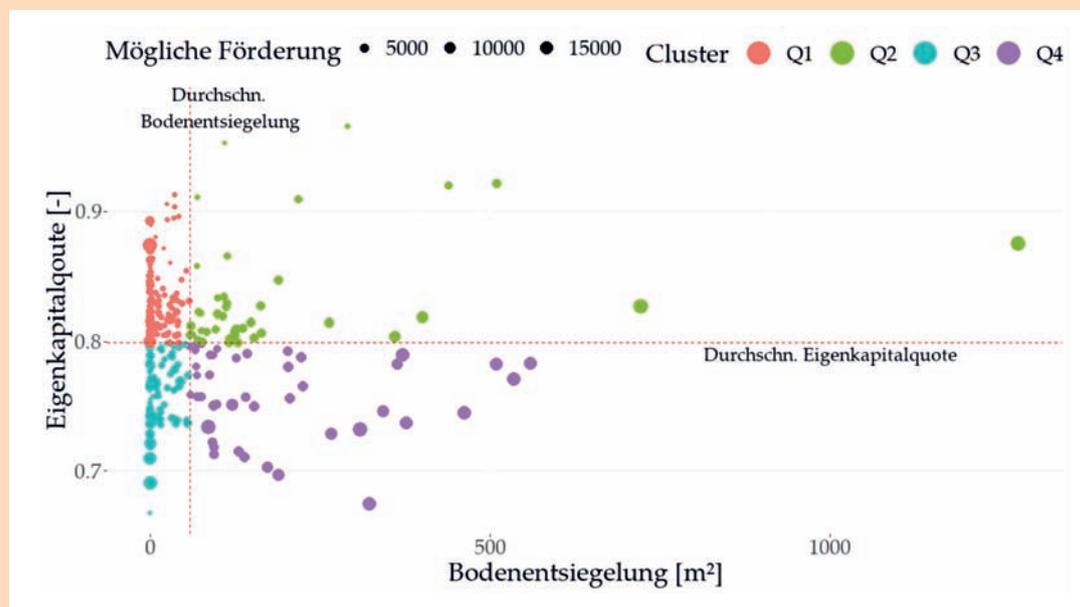


Quelle: Liegenschafts- und Tiefbauamt Karlsruhe 2019



Das Beispielstudiengebiet unterliegt einem Sanierungsprogramm mit adäquaten Subventionsregelungen. In der folgenden Analyse (siehe auch Naber et al. 2022) liegt der Fokus auf der Bodenentsiegelung (Beseitigung undurchlässiger Flächen), die nur in der Maßnahme Bodenentsiegelung/Hausgarten (sdg) stattfindet. Zudem hängt der Umfang/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 und 2019b) ergaben sich die in Abbildung 22 und Tabelle 16 zusammengefassten möglichen Ergebnisse.

Abbildung 21: Analyse des Förderprogrammes im Fallstudiengebiet mit Schwerpunkt auf der Entsiegelung undurchlässiger Flächen – Mittelwerte der x-Achse und y-Achse unterteilen das Diagramm und ordnen den Quadranten die jeweiligen Potenziale zu



Quelle: KIT, Elias Naber 2021

Abbildung 22 zeigt vier Quadranten, unterteilt durch die Mittelwerte der Eigenkapitalquote und der Bodenentsiegelung. Die Eigenkapitalquote informiert zu Investitionen der Eigentümerinnen und Eigentümer: Je höher die Quote, desto höher der finanzielle Beitrag. Die Blasengröße gibt den geschätzten Subventionsbetrag an und die Bodenentsiegelung stellt die potenzielle reale Entsiegelung pro berechneter Interventionsmaßnahme dar.

Die Eigentümerinnen und Eigentümer im Cluster Q1 (rot) würden für eine unterdurchschnittliche Bodenentsiegelung relativ geringe Subventionen erhalten. Da die Bodenentsiegelung ein Hauptziel des Förderprogrammes ist, erscheint dies angemessen. Jedoch könnte der Anreiz durch die Förderung nicht ausreichend sein.

Die Eigentümerinnen und Eigentümern im Cluster Q3 (türkis) würden hohe Zuschüsse für eine unterdurchschnittliche Bodenentsiegelung erhalten, was eine Überfinanzierung dieser Maßnahmen zu sein scheint, da andere teilweise versiegelnde Begrünungen (z. B. durchlässige Pflastersteine, Rasengittersteine für Parkplätze) gefördert werden.

Die Eigentümerinnen und Eigentümer in den Clustern Q2 (grün) und Q4 (violett) tragen am meisten zur Bodenentsiegelung bei und erhalten vergleichsweise starke Anreize durch das Förderprogramm.

Tabelle 16: Ergebnisse der Prüfung lokaler Förderprogrammanalyse zur Bodenentsiegelung durch die Maßnahme *sdg* (Naber et al. 2022)

Quadrant	Unterdurchschnittliche Bodenentsiegelung	Überdurchschnittliche Bodenentsiegelung
Überdurchschnittliche Eigenkapitalquote	Q1: 259 T€ Förderung für $1487m^2_{\text{Entsiegel.}}$ $\left(\frac{174.4\text{€}}{m^2_{\text{Entsiegel.}}}\right)$	Q2: 204 T€ Förderung für $8013m^2_{\text{Entsiegel.}}$ $\left(\frac{25.5\text{€}}{m^2_{\text{Entsiegel.}}}\right)$
Unterdurchschnittliche Eigenkapitalquote	Q3: 283 T€ Förderung für $1167m^2_{\text{Entsiegel.}}$ $\left(\frac{242.2\text{€}}{m^2_{\text{Entsiegel.}}}\right)$	Q4: 383 T€ Förderung für $8382m^2_{\text{Entsiegel.}}$ $\left(\frac{45.6\text{€}}{m^2_{\text{Entsiegel.}}}\right)$

Das Ausmaß der Subventionsvergabe ist in Tabelle 16 dargestellt. Der höchste Zuschuss wird dem höchsten Bodenversiegelungspotenzial zugewiesen, was auf ein gut formuliertes Finanzierungssystem hindeutet. Allerdings erhalten Q1 und Q3 mehr als das Doppelte der Mittel für ein Viertel des Potenzials, 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. Schließlich kann die Festlegung von Prioritäten für bestimmte Grundstücke oder Gebäudeblöcke auf der Grundlage einer solchen Analyse zur Verbreitung von Informationen und zur gezielten Ansprache der Eigentümerinnen und Eigentümer beitragen.

Neben den o. a. Indikatoren können weitere Kennzahlen Ziele oder Auskunft über die Ausstattung mit der Ressource Fläche geben (Böhm et al. 2016; Deutscher Rat für Landschaftspflege 2006). Zum Beispiel beeinflusst die Versorgung mit urbanem Grün mehrere Indikatoren. Daher setzten sich diverse Städte Ziele für die Grünflächenversorgung in Abhängigkeit der Erreichbarkeit (Tabelle 12). Solche Indikatoren lassen sich ebenso nur mit hochauflösenden Geoinformationssysteme bestimmen.



12 Involvierte Akteursgruppen

Verwaltungen und Ämter sind wichtige Akteure, welche die Motivation und Notwendigkeit im Handlungsfeld Fläche beeinflussen. So können Förderungen und Festsetzungen Eingriffe steuern. Des Weiteren sollen diese Akteure den vollständigsten Gesamtüberblick haben.

Dies ist für die verschiedenen Maßnahmen aber nicht immer in gleicher Qualität der Fall. Da die möglichen Maßnahmen lange Zyklen und Lock-Ins aufweisen, ist eine umfassende und detaillierte Übersicht von besonderer Wichtigkeit. In den Kommunen können die Verwaltungen Ziele in den Bereichen des Klimaschutzes und der Klimaanpassung sowie einer nachhaltigen Entwicklung nicht allein Erreichen. Es müssen u. a. Vertreterinnen und Vertreter der Zivilgesellschaft, von Bürgerinitiativen, der planenden Berufe, der Projektentwicklung, der Wohnungswirtschaft, der kommunalen Unternehmen und der Energieversorgungsunternehmen eingebunden werden. Auch kommunale Ämter wie Gartenbau- oder Stadtplanungsämter, Ämter für Hochbau und Gebäudewirtschaft, Liegenschafts- oder Tiefbauämter sind wichtige Stakeholder in der Planung und Umsetzung verschiedener Maßnahmen (Abbildung 23). Daher sind die Beteiligung und die Zusammenarbeit mit verschiedenen Akteursgruppen notwendig. Allgemeine Ziele sind:

- Bewusstseins-schaffung
- Kompetenzen ausbilden
- Interessen abstimmen
- Erfahrungen einholen
- Informieren
- Aktivierung von Akteuren

Neben Zielen, Leitbildern und Maßnahmen, ist die Verantwortung für die Umsetzung eine wichtige Erfolgskomponente und damit auch die Frage wer diese trägt. Das Management der Ressource Fläche ist eine Suche nach Mitstreitenden und dem Ausgleich für eine gerechte Lösung von konkurrierenden Interessen. Dies gilt sowohl für die Integration verschiedener öffentlicher als auch die Aktivierung privater Akteursgruppen.

Die ämterübergreifende Zusammenarbeit stellt eine besondere kommunale Herausforderung dar, da neben der Diversität der Stakeholder/-innen auch die Komplexität integrierter Klimaschutz-, Klimaanpassungs- und Nachhaltigkeitsmaßnahmen zu berücksichtigen ist (Tomerius und Preuß 2001). Bereits regionale und kommunale öffentliche Akteur/-innen verfolgen verschiedene Interessen. Einzelne Ressorts wie Planung, Umwelt, Bau, Denkmalschutz und Gartenbau müssen eingebunden und ein gemeinsames Zielverständnis erarbeitet werden, um die Umsetzungsvorbereitung und -begleitung von Maßnahmen konfliktarm zu gestalten.

Um möglichen Interessenskonflikten vorzubeugen, ist die Zusammenarbeit verschiedener Akteursgruppen notwendig, um Sichtweisen sowie vorhandenes Wissen in die Maßnahmen integrieren zu können. Vor allem Einwohner der Quartiere, in denen diese Maßnahmen umgesetzt werden sollen, sollen so gut und aktiv wie möglich in die Planung einbezogen werden, um ihre Forderungen und Ansichten berücksichtigen zu können. Um eine ganzheitliche Inklusivität in der Planung und Umsetzung von Klimaschutz-, Klimaanpassungs- und Nachhaltigkeitsmaßnahmen zu gewährleisten, sind zudem sozialräumliche Ungleichheiten zu berücksichtigen sowie eine weitere Privilegierung einkommensstarker Stadtteile zu verhindern (Haase et al. 2017).

Vertreterinnen und Vertreter der Auftraggeber und Investoren bilden eine Kerngruppe der Akteure im Handlungsfeld Fläche. Oftmals fehlt es an Wissen über mögliche Maßnahmen und Wirkungsketten. Dies betrifft auch Teile der Fachkompetenz in Planungsbüros und Gewerke zu, die in der Beratung von BauherrInnen und Investoren eine wichtige Rolle spielen.

Leitfäden wie der Leitfaden Energienutzungsplan (Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH – Difu 2018; TUM 2011) geben Handlungsempfehlungen, wie mit der Beteiligung der Zivilgesellschaft und informellen Instrumenten im kommunalen Energiebereich gearbeitet

werden kann. Dies kann analog auch auf informelle Instrumente für die lokale Ressource Fläche angepasst werden. Ein erster, in der Praxis bewährter Schritt ist die Klassifizierung der Akteursgruppen nach ihrer Bereitschaft eigene Ressourcen zur Verfügung zu stellen.

Vier Gruppen lassen sich identifizieren:

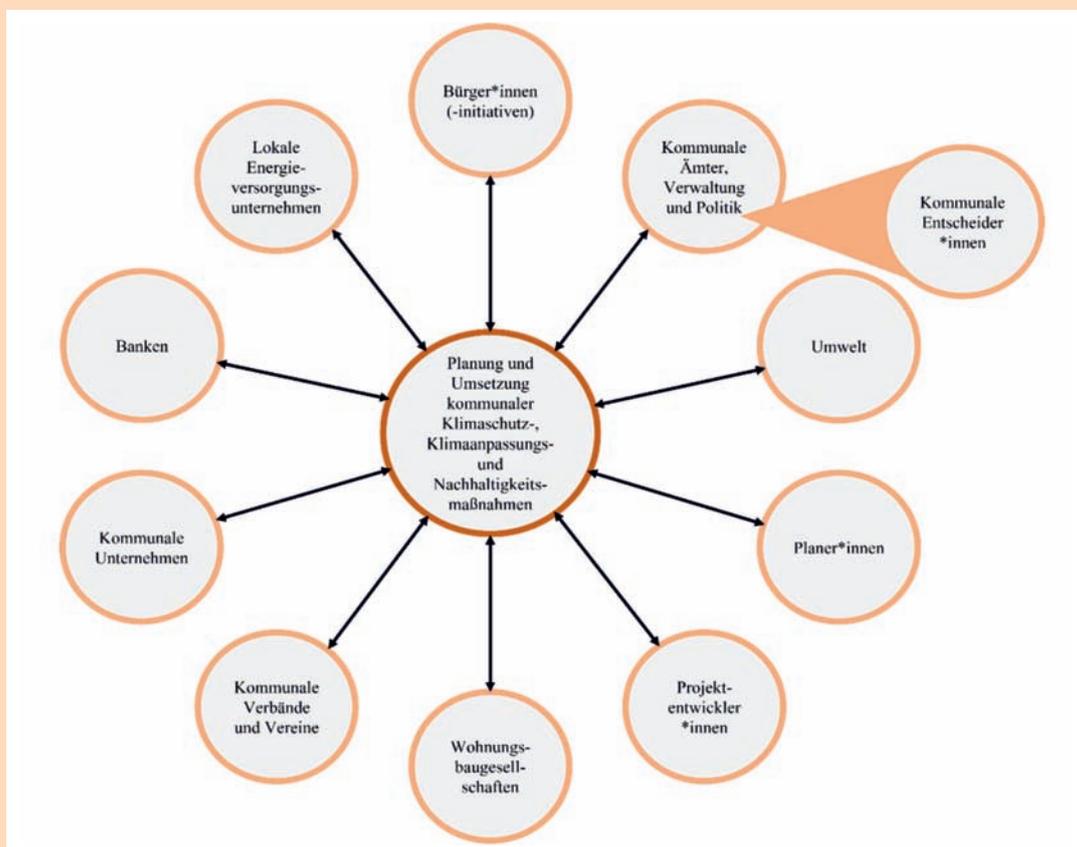
- Aktive Akteure mit eigenen Ressourcen
- Neugierige Akteure (Verbündete)
- Indifferente Akteure (Desinteressierte)
- Gegner/Boykottierende Akteure mit eigenen Ressourcen

Ein beispielhafter Beteiligungsprozess wird in dem Leitfaden Energienutzungsplan vorgestellt (TUM 2011) Des Weiteren werden auch Beteiligungsinstrumente und Formate beschrieben. Die wesentlichen vorgestellten idealtypischen Schritte sind:

1. Bildung einer Kerngruppe
2. Bewusstseinsbildung
3. Aufbau des Mitstreiter-Pools
4. Auftakt zu den geplanten Initiativen und Aktivitäten
5. Bildung von Untergruppen
6. Regelmäßige Informationen
7. Sichtbare Zeichen setzen
8. Bilanz ziehen und erreichte Erfolge feiern

Weitere Strategien sind im Bericht „Nachhaltiges Flächenmanagement in der Praxis erfolgreich kommunizieren“ (Stephanie Bock, Ajo Hinzen und Jens Libbe 2009) nachzulesen.

Abbildung 22: Relevante Stakeholder für die Planung und Umsetzung von Klimaschutz-, Klimaanpassungs- und Nachhaltigkeitsmaßnahmen in der Stadtplanung und -entwicklung



Quelle: KIT, NaMaRes 2021

13 Maßnahmen und Möglichkeiten ihrer Bewertung

13.1 Grundlagen

Die Maßnahmen für die Umsetzung des Leitbildes einer flächensensiblen Stadt wurden bereits an mehreren Stellen dieses Leitfadens vorgestellt. In diesem Abschnitt werden sie den einzelnen Stufen der Hierarchie des Leitbildes zugeordnet. Ausgewählte Maßnahmen werden allgemein und anschließend differenziert in eine morphologische Tabelle eingeordnet. Ausgewählte technische Maßnahmen werden in Form von Steckbriefen zusammengefasst, die Anhaltswerte und spezifische Kennzahlen zur Bewertung enthalten.

Maßnahmen werden selbst zum Betrachtungs- und Bewertungsgegenstand. Sie sind hinsichtlich ihrer Effektivität (Zielerreichung) unter Nutzung von Leistungsindikatoren und im Hinblick auf ihre Effizienz (Gegenüberstellung von erreichbarem/erreichtem Nutzen und dem hierfür nötigen ökonomischen und/oder ökologischen Aufwand sowie den Folgen für Wirtschaft, Umwelt, Gesellschaft und Einzelakteure) zu bewerten. Vorzugsweise sind diese Maßnahmen einer Nachhaltigkeitsbewertung zu unterziehen. Diese sollte einschließen:

- Erst- und Folgekosten ohne/mit externen Kosten aus Sicht relevanter Akteursgruppen
- Energie- und Stoffströme inkl. Angaben zur Kreislauffähigkeit
- Wirkungen auf die globale und lokale Umwelt
- Wirkungen auf die Biodiversität
- Risiken für die lokale Umwelt
- Risiken für die Gesundheit
- Aspekte der Sicherheit, Nutzerfreundlichkeit, Bedienfreundlichkeit
- gestalterische/städtebauliche Aspekte
- sonstige Neben-/Folgewirkungen aller Art für involvierte Akteursgruppen und Dritte

Allgemeiner Teil: Maßnahmen

Zur ersten Stufe der Vermeidung und Begrenzung der neuen Versiegelung und des Flächenverbrauchs können durch das verbindliche Festlegen der Ziele (z. B. keine neue Ausweisung von Flächen für Bautätigkeiten) erreicht werden. Diese müssen verbindlich und auf lokaler Ebene in der politischen Agenda, Stadtentwicklungsplänen, Satzungen und Ordnungen festgelegt werden. Dieses setzt eine entsprechende Bewusstseinsbildung und Kompetenz in den ausführenden Stellen und Organen voraus. Beispiele zum Einsatz verschiedener rechtlicher Instrumente sind im Kapitel Rechtliche Grundlagen gegeben. Zusätzlich können Abstandregelungen, Beschränkungszonen (z. B. Grüngürtel oder andere Schutzzonen), Ökokonten oder andere Bilanzierungssysteme lokal eingesetzt werden. Um weiterhin Entwicklungsmöglichkeiten zu bewahren, ist das Prinzip der doppelten Innenentwicklung eine unterstützende Strategie. Hierbei werden bereits genutzte Flächen nachhaltiger bewirtschaftet sowie Flächenrecycling und Umnutzung betrieben, was Stadterneuerungsprogramme unterstützen können. Zusätzlich sollte sichergestellt werden, dass der Informations- und Erfahrungsaustausch zwischen benachbarten Städten und Kommunen zu einer kooperativen übergeordneten Strategie beitragen. Gemeinsam sollten die wirtschaftliche Weiterentwicklung und die Versorgungssicherheit mit Dienstleistungen der Daseinsfürsorge Gegenstand der Klärung von Positionen und Strategie sein.

Die Prinzipien der doppelten Innenentwicklung wirken auf die zweite und dritte Stufe der Hierarchie des Leitbildes der flächensensiblen Stadt. Für die zweite Stufe steht die Weiterentwicklung einer hochwertigen/dauerhaften urbanen Begrünung im Fokus, dabei sind bestehendes Grün und die Vollentsiegelung von Flächen gleichermaßen Ziele von Aktivitäten. Die Begrünung und Renaturierung (Vollentsiegelung) von Brachen nimmt einen besonderen Stellenwert ein.

In der dritten Stufe wird der Schwerpunkt auf die Steigerung der Nutzungsintensität gelegt und bereits bebaute und genutzte Flächen werden intensiver genutzt. Hierbei muss abgewogen und bewertet werden, inwiefern Brachen oder Freiflächen im betroffenen Gebiet für eine Nutzung nachhaltig und zielführend ist. Einerseits können Städte und Kommunen

eigenes Eigentum und eigene Vorhaben entsprechend entwickeln. Andererseits können sie mit formellen Instrumenten die Richtung vorgeben oder durch Förderungen Anreize schaffen. Die Kreislaufnutzung und Effizienzsteigerung gelten wegen ihrer vermeintlich ökonomisch günstigeren Entwicklung auf der Grünen Wiese als irrationale Alternative. Allerdings werden zahlreiche Kosten und Verluste durch die Neuausweisung und -entwicklung nicht betrachtet und können durch Bilanzierungssysteme monetarisiert werden.

Die Stufen vier und fünf können bei der Prüfung der Umweltauswirkungen von Plänen und Programmen und der Umweltverträglichkeitsprüfung bearbeitet werden. Es gilt, den Verlust an natürlichen Flächen- und Bodenfunktionen zu minieren oder an anderer Stelle zu kompensieren. Die Etablierung dieser oder ähnlicher Prüfungen, auch für kleinere Vorhaben und im Bestand, kann erheblich zur Operationalisierung beitragen. EDV-Lösungen zur schnelleren Bewertung unterschiedlicher Indikatoren sind verfügbar und können angewandt werden. Hauptmaßnahmen sind die Voll- und Teilentsiegelung genutzter Flächen, die handel- und zertifikatbasierte Kompensation sowie die Internalisierung von durch Schäden verursachte Kosten. Typische Flächen für (Teil-)Entsiegelungsmaßnahmen sind Einfahrten, Abstellplätze, Terrassen und Innenhöfe im privaten sowie Schulhöfe, Plätze, Gleisanlagen oder Parkplätze im öffentlichen Raum. Die Verwendung wasserdurchlässiger Oberflächen kann bei einer notwendigen oder vorhandenen Versiegelung negative Wirkungen mindern (Teilentsiegelung). Gesplittete Abwassergebühren sind ein Instrument, das die urbane Entwässerung und Flächenversiegelung gleichermaßen behandelt. Ein weiteres Maßnahmenbündel stellt die Begrünung zur Verfügung. Neben der Ausweitung und Entwicklung von Grünflächen kann die Begrünung von Dächern und Fassaden einige negative Auswirkungen von Flächenverbrauch und -versiegelung verringern. Dennoch stellt letzteres keine echte Kompensation dar. Im Bereich der Ökokonten und Zertifikate können Akteure Versiegelung und Flächenbrauch entsprechend „Gutmachen“, wohingegen die Internalisierung der durch Schäden verursachten Kosten Lenkungswirkungen entfaltet und finanzielle Mittel zusammenführt, um andere Umweltschutzmaßnahmen zu finanzieren.

Allgemeiner Teil: Bewertung

Veränderungs- und Entsiegelungspotenziale müssen lokal bestimmt werden (Naber et al. 2022). Trotzdem können Strukturtypen grobe Indikationen darstellen. So werden im Typ „Gewerbegebiet“ die größten Potenziale erwartet. Aufgrund von Nutzungsänderungen sind hier öfter Brachen zu finden. Entsiegelungs- und Oberflächen-/Belagsänderungspotenziale liegen häufig bei 50 % der Ressource Fläche (Böden und Gebäudeflächen). In Wohngebieten und Gemeindebedarfsflächen sind diese geringer und liegen bei ca. 1/3 der Ressource Fläche (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg – LFU 2000; Naber et al. 2022).

Neben den Strukturtypen geben Nutzungsarten ähnliche Indikationen. Auf Parkplätzen mit mehrreihiger Aufstellung können mit 10 % Voll- und 50 % Teilentsiegelungspotenzial gerechnet werden (LFU 2000). Der mittlere Verdichtungsschlüssel, der sich aus den durchschnittlich aufstockbaren Geschossen berechnet, beträgt in Deutschland 1,35 Geschosse pro Gebäude (Tichelmann, Blome, Ringwald, Günther und Gro 2019).



Zur Gewährleistung einer sinnvollen Bewertung muss das Bearbeitungsraster für die Bestimmung des Ausgangszustandes und für potenzielle Änderungen gleich sein. Hierbei ist die in der Verwaltung und durch die Verfügungs-/Eigentumsrechte bedingte Ebene der Flurstücke zielführend. Der Umfang der Bewertung sollte eine ganzheitliche Bewertung ermöglichen und technische, ökologische, ökonomische sowie soziale Belange berücksichtigen. Ein einheitliches Bearbeitungsraster hilft, spätere Erweiterungen im Bewertungsprozess zu integrieren und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

Im Abschnitt 4 werden mehrere Beispiele zur spezifischen Bewertung kleinräumiger und geografisch referenzierter Maßnahmen gezeigt. Die wichtigste Basis ist ein vollständiges Flächeninventar. Im Forschungsprojekt „NaMaRes“ (Boehnke et al. 2021 und 2022; Naber et al. 2022; Volk et al. 2020; Volk et al. 2020 und 2021) wurde für Deutschland demonstriert, dass die notwendige Datenbasis in kommunalen Datenbeständen vorhanden ist.



Des Weiteren fassen die Tabelle 17 und die Steckbriefe für Maßnahmen Lösungen und Bewertungsgrundlagen zusammen. Die festgestellten Klassen, Bewertungen und Kennwerte sind dabei verallgemeinerte Erkenntnisse. Abweichungen, Aktualisierungen und Anpassungen für spezifische Untersuchungen sind zu erwarten. Daher soll diese Sammlung einen Warmstart der Bewertung von Maßnahmen in Quartieren darstellen und unterstützen. Zur Umsetzung sind einige synergiefördernde und hemmende Faktoren zu berücksichtigen, wie aus den Bereichen Bauphysik, Brand- und Schallschutz, Emissionsschutz, Bauordnungsrecht und die Auslastung der Infrastruktur.

Tabelle 17 ist ein beispielhafter und ausführlicher morphologischer Kasten und unterstützt die morphologische Analyse, die eine Kreativitätstechnik darstellt und Methode ist zur Erfassung von Problembereichen und die Erkundung möglicher Lösungen für ein komplexes Problem. Die Analyse erfolgt typischerweise gemeinsam durch eine Expertengruppe. Die Vorgehensweise dieser Analyse folgt drei wesentlichen Schritten. Im ersten Schritt werden für die Fragestellungen der nachhaltigen Stadtentwicklung mit der Ressource Fläche relevante Merkmale festgelegt und in eine Matrix eingefügt (Zeilen), die im zweiten Schritt um alle möglichen Ausprägungen erweitert wird (Spalten). Diese Matrix stellt den sogenannten morphologischen Kasten dar. Im dritten Schritt wird aus den Paaren von Merkmal und Ausprägung eine umsetzbare (operative umsetzbare) Verknüpfung ausgewählt. Daraus entstehende Linienzüge stellen mögliche Lösungen dar.

Tabelle 17: Morphologischer Kasten Strategie, Management und Maßnahmen

MERKMALE	AUSPRÄGUNGEN																			
HIERARCHIEEBENE DES LEITBILDES FLÄCHENSENSIBLE STADT	1 – Vermeidung von Neuversiegelung	2 – Renaturierung (un-)genutzter Flächen	3 – effizientere Nutzung, Umnutzung	4 – Reduktion der Auswirkung	5 – Kompensation an anderer Stelle	...														
HAUPTZIELE	Klimaschutz	Naturschutz	Klimaanpassung	...																
TEILZIELE NACH TABELLE 4	Erhalt und Ausbau von, sowie gerechter Zugang zu öffentlichen Grünflächen	Erhalt des natürlichen Wasserkreislaufs	Schutz vor Extremwetterereignissen	Reduktion gesundheitlicher Belastungen	Verringerung des Temperaturanstiegs in Quartieren	Verringerung der Emission von Luftschadstoffen	Erhalt und Verbesserung der Biodiversität	...												
INSTRUMENTENKLASSE	Informatorisch/Suasorisch	Ökonomisch/Fiskalisch	Regulatorisch/Ordnungsrechtlich	...																
MAßNAHMEN	Allgemein: Entsiegelung und Begrünung	Allgemein: Teilent-siegelung	Allgemein: Dach-begrünung	Allgemein: Fassaden-begrünung	Allgemein: Bäume pflanzen	Allgemein: Energie-effizienz durch Flächen (Oberflächen/Belagsänderungen)	Allgemein: Energie-erzeugung auf Flächen	Spezifisch: Ver-sickerungs-mulden	Spezifisch: Baum-rigolen	Spezifisch: Bestands-management von (Büro) Gebäuden	Spezifisch: Erhaltung landwirtschaftlicher Zonen in Stadt- und Stadtrand-gebieten	Spezifisch: Zweit-wohnsitze	Spezifisch: Kosten-transparenz	Spezifisch: Entwässerungs-gräben	Spezifisch: Schotter-oder Graspitter	Spezifisch: Oberboden wieder-verwenden	... weitere siehe Steckbriefe			
ANWENDUNGS- GEBIET/ STADTRAUMTYPEN	Frei-stehende Wohn-bebauung	Reihenhaus-bebauung	Zeilen-bebauung	Wohn-bebauung hoher Geschos-sigkeit	Blockrand-bebauung	Dörfliche Bebauung	Historische Altstadt-bebauung	Innenstadt-bebauung	Geschäfts-, Verwal-tungs-bebauung	Gewerbe-gebiet	Vielbefahrene Plätze mit hoher Versiegelung	Begrenzt bzw. wenig genutzte Stellflächen	Neubau/ Neuversiegelung im Bestand	...						
KOMMUNALE INSTRUMENTE	Flächen-nutzungsplan FNP	Bebau-ungsplan B-Plan	Land-schafts pläne	Grün-ordnungen	Satzungen (Gestaltung, Grün-erhaltung, Baumschutz)	Stadt-sanierungs-programm.	Stadt-ent-wicklungs-programm.	Stadt-umbau-programm	Städte-bauliche Verträge	Privat-rechtliche Verträge	Finanzielle Förderung	Beratungs-angebote	Bürger-beteiligung	Räumliche Entwicklungs-konzepte	Eingriffs-Ausgleichs Regelungen	Monitoring	Strategischer Erwerb/Vorkaufs-recht ausüben	Ausbau öffentlicher infra-struktur im Bestand	Auflagen und Steuern für Zweitwohn-sitze	Berück-sichtigung infrastruk-tureller Folge-kosten (Versor-gungssysteme, Verkehrs-flächen etc.)
RÄUMLICHE AUSPRÄGUNGEN/ BEARBEITUNGS- RASTER	NUTS0	NUTS1	NUTS2	NUTS3	LAU1	LAU2	PLZ	Stadtteil	Quartier	Baublock	Flurstück	Gebäude	Freie Wahl	Berachtungs-gegenstand	Unmittel-bares Umfeld	Erweitertes Umfeld	...			
TEMPORALE AUSPRÄGUNGEN AUFWAND	Langfristig	Mittelfristig	Kurzfristig	Ad hoc	...															
TEMPORALE AUSPRÄGUNGEN WIRKUNG	Langfristig	Mittelfristig	Kurzfristig	Ad hoc	...															
AUSWIRKUNG/ EINFLUSS	Hoch	Mittel	Gering	...																
AUFWAND MATERIELL	Hoch	Mittel	Gering	...																
AUFWAND IMMATERIELL	Hoch	Mittel	Gering	...																
BETROFFENE INTERNE AKTEURE	Stdt. Ämter und Behörden	Stdt. Gesell-schaften	Stdt. Ver-waltung	Politik	...															
BETROFFENE EXTERNE AKTEURE	Investoren	Bürger	Besucher	Pendler	Zivil-gesellschaft	Bund/ Länder	Wasser-wirtschaft	Wohnungs-wirtschaft	Verbände	Gruppen/ Initiativen/ Vereine	Bildungs-einrich-tungen	...								

Weitere kommunale Instrumente: Freiraumentwicklungskonzepte, Grünordnungspläne, Stellplatzverordnungen etc.

13.2 Steckbriefe für Maßnahmen

Folgende Steckbriefe für Maßnahmen fassen die Wirkungen von Maßnahmen auf ausgewählte Indikatoren vereinfacht zusammen. Grundsätzlich wirken Maßnahmen dynamisch. Des Weiteren sind die Wirkungen von der letztendlichen Ausführungsqualität, dem Ausführungsumfang und den gewählten Materialien/Spezies stark abhängig. Somit sind die Steckbriefe nur ein Hilfsmittel zur Orientierung.

Eine weitere Einschränkung stellen auch die Untersuchungs-/Testbedingungen der Kennwertermittlung dar. In den Steckbriefen wurden möglichst miteinander vergleichbare Ergebnisse eingetragen. Fehlende Werte und Lücken beruhen auf stark divergierenden Ergebnissen in der Übersicht oder der Unvergleichbarkeit der Ergebnisse.

Neben diesen stark generalisierten und verallgemeinerten technischen Maßnahmen existieren viele andere Maßnahmen wie:

- Baumrigolen mit Speicherelement
- Multifunktionale Retentionsflächen
- Muldenversickerungen
- Tiefbeete
- Mulden-Rigolen-Elemente
- Wasserdurchlässige Bodenbeläge
- Notwasserwege
- Wasserflächen/Wasserinstallationen

Im Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Bildung und Forschung wurden wie in der Initiative RES:Z Ressourceneffiziente Stadtquartiere (<https://ressourceneffiziente-stadtquartiere.de/>) besonders aktuelle Ergebnisse und Übersichten zu technischen Maßnahmen für ressourceneffiziente Quartiere erarbeitet.

Berichte und Untersuchungen zu einzelnen Maßnahmen können in den Publikationen der Fördermaßnahme RES:Z oder auch anderen Datenbanken gefunden werden:

- BuGG Bundesverband GebäudeGrün e. V.
<https://www.gebaeudegruen.info/>
- Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL)
<https://www.fll.de/>
- Umweltagenturen, Landesämter oder Ministerien
(z. B. <https://www.lanuv.nrw.de/>)

Des Weiteren umfassen folgende Publikationen besonders lesenswerte Informationen:

- Gutachten Fassadenbegrünung und Gutachten über quartiersorientierte Unterstützungsansätze von Fassadenbegrünungen für das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (MKULNV) des Landes Nordrhein-Westfalen (Dettmar, Pfoser und Sieber 2016)
- Fassade und Pflanze – Potenziale einer neuen Fassadengestaltung. Eine Untersuchung zu Sachstand, Motivation und Zukunftseignung der weltweit zunehmenden Fassadenbestimmung als funktionale und ästhetische Fusion von Vegetation und vertikalen Bauteilen. (Pfoser 2016)
- Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen. Interdisziplinärer Leitfaden als Planungshilfe zur Nutzung energetischer, klimatischer und gestalterischer Potenziale sowie zu den Wechselwirkungen von Gebäude, Bauwerksbegrünung und Gebäudeumfeld. Abschlussbericht August 2013 (Pfoser et al. 2013)

Maßnahmesteckbrief „Intensive Dachbegrünung“

Handlungsfeld	Mindestfläche	Maximale Dachneigung
Dach	–	5° (Köhler et al. 2012)

Kurzbeschreibung

- Dachbepflanzung mit Stauden, Gräsern und Gehölzen
- Aufbauhöhe > 15 cm
- Hoher Pflegeaufwand

Ziele der Maßnahme

Bindung von Feinstaub und CO₂, Verbesserung der Biodiversität, ökologische Ausgleichsfläche, Regenwassermanagement, Erholungsfläche



Ökonomische Kennzahlen der Maßnahme

Investitionen von 119 bis 595 €/m², jährliche Pflegekosten von 23 bis 90 €/m²*a (Mann, Mollenhauer und Gohlke 2021)

Zahlreiche Fördermöglichkeiten bspw. durch die Stadt Karlsruhe 125€/m² (Stadtplanungsamt Karlsruhe 2019)

Wirkung pro m² Maßnahme

Wirkung [Einheit]	Wert	Quelle
Fixiertes CO ₂ [kg/m ²]	1,9–2,9	Herfort, Tschuikowa und Ibañez 2021
Gebundenes CO ₂ pro Jahr [kg/m ² *a]	–	–
Gebundener Feinstaub pro Jahr [g/m ² *a]	1–10	Gorbachevskaya und Herfort 2021
SO ₂ -Bindung pro Jahr [g/m ² *a]	0,7–0,85	Yang, Yu und Gong 2008
NO ₂ -Bindung pro Jahr [g/m ² *a]	1,5–2,6	Yang et al. 2008
O ₃ -Bindung pro Jahr [g/m ² *a]	5–5,8	Yang et al. 2008
Schallreduktion [dB]	bis zu 8	Grant et al. 2003
Reduktion der lokalen Lufttemperatur [K]	bis zu 1,1	Speak et al. 2013
Albedo der Maßnahme [0 ... 1]	0,2–0,25	Harlaß 2008
Wasserspeicherkapazität [l/m ²]	10–200	Harlaß 2008
Mittlerer Abflussbeiwert [0 ... 1]	0,1	DIN 1986-100
Verdunstung [%]	75	Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Bln 2010)

Maßnahmesteckbrief „Extensive Dachbegrünung“

Handlungsfeld	Mindestfläche	Maximale Dachneigung
Dach	–	45° (Köhler et al. 2012)

Kurzbeschreibung

- Dachbepflanzung mit Sedum, Kräutern und Gräsern
- Aufbauhöhe ≤ 15 cm
- Geringer Pflegeaufwand, sehr robust

Ziele der Maßnahme

Bindung von Feinstaub und CO₂, Verbesserung der Biodiversität, ökologische Ausgleichsfläche, Regenwassermanagement



Ökonomische Kennzahlen der Maßnahme

Investitionen von 53 bis 107 €/m², jährliche Pflegekosten von 5 bis 24 €/m²*a (Mann, Mollenhauer und Gohlke 2021)

Zahlreiche Fördermöglichkeiten bspw. durch die Stadt Karlsruhe 125 €/m² (Stadtplanungsamt Karlsruhe 2019)

Wirkung pro m² Maßnahme

Wirkung [Einheit]	Wert	Quelle
Fixiertes CO ₂ [kg/m ²]	0,7–1,2	Herfort, Tschuikowa und Ibañez 2021
Gebundenes CO ₂ pro Jahr [kg/m ² *a]	–	–
Gebundener Feinstaub pro Jahr [g/m ² *a]	1–10	Gorbachevskaya und Herfort 2021
SO ₂ -Bindung pro Jahr [g/m ² *a]	0,6–0,65	Yang, Yu und Gong 2008
NO ₂ -Bindung pro Jahr [g/m ² *a]	1,12–2	Yang et al. 2008
O ₃ -Bindung pro Jahr [g/m ² *a]	4–5	Yang et al. 2008
Schallreduktion [dB]	bis zu 8	Grant et al. 2003
Reduktion der lokalen Lufttemperatur [K]	0,2	Heusinger 2013
Albedo der Maßnahme [0 ... 1]	0,2–0,25	Harlaß 2008
Wasserspeicherkapazität [l/m ²]	6–12	Harlaß 2008
Mittlerer Abflussbeiwert [0 ... 1]	0,3	DIN 1986-100
Verdunstung [%]	65	Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Bln 2010)

Maßnahmesteckbrief „PV-Dach“

Handlungsfeld	Mindestfläche	Maximale Dachneigung
Dach	–	–

Kurzbeschreibung

- Installation einzelner Module
- Nutzung erneuerbarer Energien in Form von solarer Energie

Ziele der Maßnahme

Vermeidung von CO₂-Emissionen, Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen und damit einhergehend von Brennstoffimporten



Ökonomische Kennzahlen der Maßnahme

Investitionen von 150 bis 300 €/m²

Wirkung pro m² Maßnahme

Wirkung [Einheit]	Wert	Quelle
Fixiertes CO ₂ [kg/m ²]	0	–
Gebundenes CO ₂ pro Jahr [kg/m ² *a]	0,4	Sphera 2019
Gebundener Feinstaub pro Jahr [g/m ² *a]	–	–
SO ₂ -Bindung pro Jahr [g/m ² *a]	–	–
NO ₂ -Bindung pro Jahr [g/m ² *a]	–	–
O ₃ -Bindung pro Jahr [g/m ² *a]	–	–
Schallreduktion [dB]	–	–
Reduktion der lokalen Lufttemperatur [K]	–	–
Albedo der Maßnahme [0 ... 1]	0,2	Wesselak et al. 2017
Wasserspeicherkapazität [l/m ²]	0	–
Mittlerer Abflussbeiwert [0 ... 1]	0,9	DIN 1986-100
Verdunstung [%]	0	–

Maßnahmesteckbrief „Albedo-Dach und Albedo-Fassade“

Handlungsfeld	Mindestfläche	Maximale Dachneigung
Dach bzw. Fassade	–	–

Kurzbeschreibung

- Aufhellung der Oberfläche zur Vergrößerung der Albedo
- Verwendung von Materialien mit einem möglichst hohen Solar Reflectance Index

Ziele der Maßnahme

Vermeidung des Aufheizens von Flächen, Verringerung des UHI-Effekts



Ökonomische Kennzahlen der Maßnahme

–

Wirkung pro m² Maßnahme

Wirkung [Einheit]	Wert	Quelle
Fixiertes CO ₂ [kg/m ²]	0	–
Gebundenes CO ₂ pro Jahr [kg/m ² *a]	0	–
Gebundener Feinstaub pro Jahr [g/m ² *a]	0	–
SO ₂ -Bindung pro Jahr [g/m ² *a]	0	–
NO ₂ -Bindung pro Jahr [g/m ² *a]	0	–
O ₃ -Bindung pro Jahr [g/m ² *a]	0	–
Schallreduktion [dB]	0	–
Reduktion der lokalen Lufttemperatur [K]	–	–
Albedo der Maßnahme [0 ... 1]	0,76	SLG 2014
Wasserspeicherkapazität [l/m ²]	0	–
Mittlerer Abflussbeiwert [0 ... 1]	0,9	DIN 1986-100
Verdunstung [%]		0

Maßnahmesteckbrief „Bodengebundene Fassadenbegrünung“

Handlungsfeld	Mindestfläche	Maximale Dachneigung
Fassade	–	Nicht notwendig

Kurzbeschreibung

- Direktbegrünung
- An großflächigen Massivmauern oder mittels Rankhilfe für die Pflanzen
- Verankerung der Rankhilfe im Bauwerk

Ziele der Maßnahme

Dämmwirkung, Verringerung der Lärm- und Schadstoffbelastung



Ökonomische Kennzahlen der Maßnahme

Investitionen von	Direktbewuchs 11 bis 16 €/m ²	Kletterpflanzen 119 bis 179 €/m ²
jährliche Pflegekosten von	5 bis 72 €/m ² *a	18 bis 54 €/m ² *a

(Mann, Mollenhauer und Gohlke 2021)

Wirkung pro m² Maßnahme

Wirkung [Einheit]	Wert	Quelle
Fixiertes CO ₂ [kg/m ²]	1–2,3	Pfoser 2018
Gebundenes CO ₂ pro Jahr [kg/m ² *a]	0	–
Gebundener Feinstaub pro Jahr [g/m ² *a]	2–6	Pfoser 2018
SO ₂ -Bindung pro Jahr [g/m ² *a]	–	–
NO ₂ -Bindung pro Jahr [g/m ² *a]	–	–
O ₃ -Bindung pro Jahr [g/m ² *a]	–	–
Schallreduktion [dB]	1,7–4	Pfoser 2018
Reduktion der lokalen Lufttemperatur [K]	0,8	Hoelscher et al. 2016
Albedo der Maßnahme [0 ... 1]	0,17	Harlaß 2008
Wasserspeicherkapazität [l/m ²]	–	–
Mittlerer Abflussbeiwert [0 ... 1]	0	DIN 1986-100
Verdunstung [%]	–	–

Maßnahmesteckbrief „Fassadengebundene Fassadenbegrünung“

Handlungsfeld	Mindestfläche	Maximale Dachneigung
Fassade	–	Nicht notwendig

Kurzbeschreibung

- Bewuchs in horizontalen und vertikalen, an der Fassade montierten Pflanzkübeln
- Technisch aufwendiger als bodengebundene Fassadenbegrünung

Ziele der Maßnahme

Dämmwirkung, Verringerung der Lärm- und Schadstoffbelastung



Ökonomische Kennzahlen der Maßnahme

Investitionen von 279 bis 1.200 €/m², jährliche Pflegekosten exkl. Bewässerung von 18 bis 24 €/m²*a (horizontal) bzw. 23 bis 54 €/m²*a (vertikal) (Mann, Mollenhauer und Gohlke 2021)

Wirkung pro m² Maßnahme

Wirkung [Einheit]	Wert	Quelle
Fixiertes CO ₂ [kg/m ²]	1–2,3	Pfoser 2018
Gebundenes CO ₂ pro Jahr [kg/m ² *a]	0	–
Gebundener Feinstaub pro Jahr [g/m ² *a]	1–6	Pfoser 2018
SO ₂ -Bindung pro Jahr [g/m ² *a]	–	–
NO ₂ -Bindung pro Jahr [g/m ² *a]	–	–
O ₃ -Bindung pro Jahr [g/m ² *a]	–	–
Schallreduktion [dB]	2,7–5	Pfoser 2018
Reduktion der lokalen Lufttemperatur [K]	1,3	Hoelscher et al. 2016
Albedo der Maßnahme [0 ... 1]	0,17	Harlaß 2008
Wasserspeicherkapazität [l/m ²]	–	–
Mittlerer Abflussbeiwert [0 ... 1]	0	DIN 1986-100
Verdunstung [%]	–	–

Maßnahmesteckbrief „PV-Fassade“

Handlungsfeld	Mindestfläche	Maximale Dachneigung
Fassade	5 m ² (Brumme 2017)	Osten, Süden und Westen

Kurzbeschreibung

- Installation einzelner Module
- Nutzung erneuerbarer Energien in Form von solarer Energie

Ziele der Maßnahme

Vermeidung von CO₂-Emissionen, Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen und damit einhergehend von Brennstoffimporten



Ökonomische Kennzahlen der Maßnahme

Investitionen von 150 bis 600 €/m²

Wirkung pro m² Maßnahme

Wirkung [Einheit]	Wert	Quelle
Fixiertes CO ₂ [kg/m ²]	0	–
Gebundenes CO ₂ pro Jahr [kg/m ² *a]	0,4	Sphera 2019
Gebundener Feinstaub pro Jahr [g/m ² *a]	0	–
SO ₂ -Bindung pro Jahr [g/m ² *a]	0	–
NO ₂ -Bindung pro Jahr [g/m ² *a]	0	–
O ₃ -Bindung pro Jahr [g/m ² *a]	0	–
Schallreduktion [dB]	0	–
Reduktion der lokalen Lufttemperatur [K]	0	–
Albedo der Maßnahme [0 ... 1]	0	Wesselak et al. 2017
Wasserspeicherkapazität [l/m ²]	0	–
Mittlerer Abflussbeiwert [0 ... 1]	0	–
Verdunstung [%]	0	–

Maßnahmesteckbrief „Künstliche Verschattung von Freiflächen“

Handlungsfeld	Mindestfläche	Maximale Dachneigung
Boden	–	Nicht notwendig

Kurzbeschreibung

Künstliche Verschattung durch Textilplanen, faltbare Elemente oder PV-Module

Ziele der Maßnahme

Steigerung der Aufenthaltsqualität, Verringerung der Oberflächentemperatur voll- bzw. teilversiegelter Flächen, Verbesserung der Fußgängerfreundlichkeit



Ökonomische Kennzahlen der Maßnahme

Diese Kosten sind abhängig von der gewählten Art der Verschattung.

Wirkung pro m² Maßnahme

Wirkung [Einheit]	Wert	Quelle
Fixiertes CO ₂ [kg/m ²]	0	–
Gebundenes CO ₂ pro Jahr [kg/m ² *a]	0	–
Gebundener Feinstaub pro Jahr [g/m ² *a]	0	–
SO ₂ -Bindung pro Jahr [g/m ² *a]	0	–
NO ₂ -Bindung pro Jahr [g/m ² *a]	0	–
O ₃ -Bindung pro Jahr [g/m ² *a]	0	–
Schallreduktion [dB]	0	–
Reduktion der lokalen Lufttemperatur [K]	–	Unbekannt, keine Quelle
Albedo der Maßnahme [0 ... 1]	0,76	SLG 2014
Wasserspeicherkapazität [l/m ²]	0	–
Mittlerer Abflussbeiwert [0 ... 1]	0,9	DIN 1986-100
Verdunstung [%]	0	–

Quellenangaben zu Einzelmaßnahmen

Dettmar, J.; Pfoser, N. und Sieber, S. (2016): Gutachten Fassadenbegrünung. Gutachten über quartiersorientierte Unterstützungsansätze von Fassadenbegrünungen für das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (MKUNLV) NRW (Technischen Universität Darmstadt, Hrsg.). Darmstadt: Technischen Universität Darmstadt.

DIN 1986-100 (2016): Drainage systems on private ground – Part 100: Specifications in relation to DIN EN 752 and DIN EN 12056. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

Harlaß, R. (2008, 4. Oktober): Verdunstung in bebauten Gebieten. Evapotranspiration in Urban Areas. Dissertation. Technischen Universität Dresden, Dresden. Verfügbar unter <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-ds-1223146119806-27644>

Herfort, S.; Tschuikowa, S. und Ibañez, A. (12/2012): CO₂-Bindungsvermögen der für die Bauwerksbegrünung typischen Pflanzen. Bericht. Berlin: Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte an der Humboldt-Universität zu Berlin. Zugriff am 30.03.2022. Verfügbar unter https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-untersuchungen/F002_co2_bindung.pdf

Mann, G.; Mollenhauer, F. und Gohlke, R. (2021): Gebäudebegrünung in Bielefeld. Förderprogramm zur Dach- und Fassadenbegrünung (Stadt Bielefeld Umweltamt, Hrsg.). Bielefeld. Zugriff am 01.04.2022.

Pfoser, N. (2016): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung. Dissertation. Technischen Universität Darmstadt, Darmstadt.

Pfoser, N.; Jenner, N.; Henrich, J.; Heusinger, J.; Weber, S.; Schreiner, J. et al. (2013): Gebäude Begrünung Energie. Potenziale und Wechselwirkungen. Abschlussbericht (Technische Universität Darmstadt, Hrsg.). Darmstadt. Zugriff am 30.01.2022. Verfügbar unter <http://www.irbnet.de/daten/rswb/13109006683.pdf>

Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung. Gebäudebegrünung – Gebäudekühlung. Leitfaden für Planung, Bau, Betrieb und Wartung (2010). Berlin: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung

Sphera (2019): DE-Electricity from photovoltaic. AC, technology mix of CIS, CdTe, mono crystalline and multi crystalline; production mix, at plant (Sphera Solutions GmbH, Hrsg.) (Gabi software and database).

Stadtplanungsamt Karlsruhe (2019): Private Modernisierungen. Förderrichtlinien in den Sanierungsgebieten (Stadtplanungsamt Karlsruhe, Hrsg.). Karlsruhe. Zugriff am 30.03.2022. Verfügbar unter https://www.karlsruhe.de/b3/bauen/sanierung/innenstadt_ost/HF_sections/content/ZZozicVbkXqWxc/1587023455660/F%C3%B6rderrichtlinien.pdf

Yang, J.; Yu, Q. and Gong, P. (2008): Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. Atmospheric Environment, 42 (31), 7266–7273. Verfügbar unter <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.07.003>

13.3 Weiterführende Literatur

Die Potenziale und die Konsequenzen der Nachverdichtung von Innenstädten in Deutschland wurden in der „Deutschlandstudie 2019 – Wohnraumpotenziale in urbanen Lagen Aufstockung und Umnutzung von Nichtwohngebäuden“ (Tichelmann et al. 2019) analysiert. In dieser Quelle wird die Innenentwicklung von Städten fokussiert. Um das Potenzial zur Wohnflächengewinnung im Segment der Nichtwohngebäude zu identifizieren, werden drei Nachverdichtungsszenarien betrachtet: Aufstockung, Umnutzung und Bestandsersatz.

Entsiegelungspotenziale werden in „Bessere Nutzung von Entsiegelungspotenzialen zur Wiederherstellung von Bodenfunktionen und zur Klimaanpassung“ (Pannicke-Prochnow et al. 2021) detailliert untersucht. Ein Fokus liegt auf Rechtsvorschriften sowie Förder- und Anreizinstrumenten.

Empfehlungen und Analysen zur Betrachtung von Klimaschutz und Klimaanpassung für definierte Stadtraumtypen (Blockbebauung, Zeilenbebauung und historischer Stadtkern) werden im „Leitfaden für klimaorientierte Kommunen in Bayern“ (TUM 2017) vorgestellt.

Ausführliche Analysen von Dach- und Fassadenbegrünungen sind im Abschlussbericht „Gebäude Begrünung Energie: Potenziale und Wechselwirkungen“ (Pfoser et al. 2013) und in „Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung“ (Pfoser 2016) festgehalten.

Das „Handbuch Grüne Wände“ (Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft 2020) zeigt anhand eines Beispiels, wie die Freie und Hansestadt Hamburg über die Fassadenbegrünung informiert und für die Umsetzung wirbt.

Der Leitfaden „Mehr Grün für ein besseres Klima in Köln – Leitfaden zur Entsiegelung und Begrünung privater Flächen“ (Stadtentwässerungsbetriebe Köln 2018) gibt anschauliche Hinweise zur Grüngestaltung und Regenwasserbewirtschaftung.

Der „Praxisratgeber: Entsiegeln und Versickern in der Wohnbebauung“ (Bullermann, Moche und Stellrecht-Schmidt 2007) stellt anschaulich Entsiegelungs- und Versickerungsmaßnahmen dar.

Literatur und Arbeitshilfen



Literaturverzeichnis

Ansel, W. und Dickhaut, W. (2011): Leitfaden Dachbegrünung für Kommunen – Nutzen, Fördermöglichkeiten, Praxisbeispiele-. Abschlussbericht. Zugriff am 04.12.2022. Verfügbar unter <https://www.dbu.de/media/29071409182171pn.pdf>

Dashboard Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder, Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder im Auftrag der Statistischen Ämter der Länder. (2022, 16. November). Zugriff am 04.12.2022. Verfügbar unter <https://www.giscloud.nrw.de/ugrdl-dashboard.html>

Assmann, D.; Honold, J.; Grabow, B. und Roose, J. (2018): SDG-Indikatoren für Kommunen. Indikatoren zur Abbildung der Sustainable Development Goals der Vereinten Nationen in deutschen Kommunen. Gütersloh. Zugriff am 01.12.2022.

Ballinas, M. and Barradas, Víctor L. (2016): The Urban Tree as a Tool to Mitigate the Urban Heat Island in Mexico City. A Simple Phenomenological Model. Journal of Environmental Quality, 45 (1), 157–166. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.01.0056>

Baumeister, H.; Rüdiger, A.; Köckler, H.; Claßen, T.; Hamilton, J.; Riweler, M. et al. (2016): Leitfaden Gesunde Stadt. Hinweise für Stellungnahmen zur Stadtentwicklung aus dem Öffentlichen Gesundheitsdienst. Bielefeld: Landeszentrum Gesundheit Nordrhein-Westfalen. Zugriff am 02.12.2022. Verfügbar unter https://www.lzg.nrw.de/_php/login/dl.php?u=/_media/pdf/service/Pub/2019_df/lzg-nrw_leitfaden_gesunde_stadt_2019.pdf

Baumüller, N. (2018): Stadt im Klimawandel. Klimaanpassung in der Stadtplanung: Grundlagen, Maßnahmen und Instrumente. <https://doi.org/10.18419/opus-9821>

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2020): Wassersensible Siedlungsentwicklung Regenwassermanagement in Bayern. Empfehlungen für ein zukunftsfähiges und klimaangepasstes. München. Zugriff am 02.12.2022. Verfügbar unter https://www.bayika.de/bayika-wAssets/docs/beratung-und-service/download/Leitfaden_Wassersensible_Siedlungsentwicklung.pdf

BBSR (2020, 30. Juni): Themen – Nachhaltige Stadtentwicklung. Strategien, Indikatoren. Zugriff am 01.12.2022. Verfügbar unter https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/themen/_alt/Stadtentwicklung/StadtentwicklungDeutschland/NachhaltigeStadtentwicklung/Projekte/Archiv/StrategienIndikatoren/07_Handlungsfeld_Wirtschaft.html

Becker, C.; Hübner, S.; Krüger, T. und Kreutz, S. (2019): Urbane Freiräume. Qualifizierung, Rückgewinnung und Sicherung urbaner Frei- und Grünräume: Handlungsempfehlungen für die kommunale Praxis (Stand: September 2018). Bonn: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR).

Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft (2020): Handbuch Grüne Wände (Freie und Hansestadt Hamburg, Hrsg.). Hamburg. Zugriff am 22.12.2022. Verfügbar unter <https://www.hamburg.de/contentblob/13871400/fab9561696501bf6902c7c48e86477d1/data/d-fassadenguide.pdf>

Bertelsmann Stiftung; Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung; Deutscher Landkreistag; Deutscher Städtetag; Deutscher Städte- und Gemeindebund; Deutsches Institut für Urbanistik et al. (2022): SDG-Indikatoren für Kommunen. Bertelsmann Stiftung. <https://doi.org/10.11586/2022081>

- Beuermann, C.; Wang-Helmreich, H. und Obergassel, W. (2020): Rundum nachhaltig. Synergien und Zielkonflikte von Klimazielen und den SDGs (Studie). KLIMAWANDEL, ENERGIE UND UMWELT. Berlin: Friedrich-Ebert-Stiftung, Globale Politik und Entwicklung. Zugriff am 06.12.2022. Verfügbar unter <https://library.fes.de/pdf-files/iez/17210.pdf>
- Bläser, K.; Danielzyk, R.; Fox-Kämper, R.; Funke, L.; Rawak, M. und Sondermann, M. (2012): Urbanes Grün in der integrierten Stadtentwicklung. Strategien, Projekte, Instrumente. Düsseldorf. Zugriff am 01.12.2022. Verfügbar unter https://www.ils-forschung.de/files_publicationen/pdfs/Urbanes_Gruen.pdf
- Boehnke, D.; Krehl, A.; Mörmann, K.; Volk, R.; Lützkendorf, T.; Naber, E. et al. (2022): Mapping Urban Green and Its Ecosystem Services at Microscale—A Methodological Approach for Climate Adaptation and Biodiversity. Sustainability, 14 (15), 9029. <https://doi.org/10.3390/su14159029>
- Boehnke, D.; Volk, R.; Lützkendorf, T.; Naber, E.; Krehl, A.; Becker, R. et al. (2021): Grünbestände in privaten Innenhöfen und deren Ökosystemleistungen im Stadtquartier – Erkenntnisse einer quartiersweiten Erhebung in Karlsruhe. In G. Meinel, T. Krüger und D. Ehrhardt (Hrsg.), Flächennutzungsmonitoring XIII. Flächenpolitik – Konzepte – Analysen – Tools (IÖR-Schriften, Band 79, S. 149–157). Berlin: Rhombos-Verlag. <https://doi.org/10.26084/13dfns-p014>
- Böhm, J.; Böhme, C.; Bunzel, A.; Kühnau, C. und Reinke, M. (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) (BfN-Skripten, Bd. 444). Bonn – Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz.
- Breuer, B. (2013): Ziele nachhaltiger Stadtquartiersentwicklung. Querauswertung städtebaulicher Forschungsfelder für die Ableitung übergreifender Ziele nachhaltiger Stadtquartiere (BBSR-Analysen kompakt, Bd. 2013,09). Bonn: BBSR.
- Breunig, T. (2017): Verfeinertes Biotopbewertungsverfahren der Stadt Karlsruhe (Umwelt-und Arbeitsschutz Stadt Karlsruhe, Hrsg.).
- Bug, J.; Engel, N.; Gehrt, E. und Krüger, K. (2019): Schutzwürdige Böden in Niedersachsen. GeoBerichte 8 (Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hrsg.). Hannover. Zugriff am 25.01.2023. Verfügbar unter https://doi.org/10.48476/geober_8_2019
- Bullermann, M., Moche, P. & Stellrecht-Schmidt, S. (2007). Praxisratgeber entsiegeln und versickern. [Planung, Auswahl der Systeme, Bau, Betrieb, Kosten, Genehmigung, Förderung] (4. Aufl.). Wiesbaden: Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten.
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2021): Green Urban Labs. Strategien und Ansätze für die kommunale Grünentwicklung (Stand Mai 2021). Bonn: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung. Zugriff am 01.12.2022. Verfügbar unter https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2021/green-urban-labs-dl.pdf;jsessionid=18CF6ACF361F8BA8DC20B4553672B054.live21322?_blob=publicationFile&v=2
- Bundesinstitut für Bau, Stadt- und Raumforschung (2015): Städtebauliche Nachverdichtung im Klimawandel. ExWoSt-Information, 2015 (46/1). Zugriff am 04.12.2022. Verfügbar unter https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/exwost/46/exwost46_1.pdf?_blob=publicationFile&v=1

Bundesinstitut für Bau, Stadt- und Raumforschung (2017): KfW-Programm 432 „Energetische Stadtsanierung – Zuschüsse für integrierte Quartierskonzepte und Sanierungsmanager“. Ergebnisse der Begleitforschung (BBSR-Online-Publikation, Nr. 25/2017). Bonn. Verfügbar unter <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2017/bbsr-online-25-2017-dl.pdf;jsessionid=B8CCAF82B4ADFA15F294A9A7F1EA6E13.live11292?blob=publicationFile&v=1>

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2018): ImmoRisk – Klimarisiken in der Immobilienwirtschaft. Zugriff am 02.12.2022. Verfügbar unter <https://www.gisimmorisknaturgefahren.de/>

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2021): Neue Leipzig-Charta. Die transformative Kraft der Städte für das Gemeinwohl. Bonn: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Zugriff am 27.11.2022. Verfügbar unter <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2021/neue-leipzig-charta-pocket-dl.pdf?blob=publicationFile&v=3>

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2022a): Identifikation erfolgreicher Grün- und Freiraumentwicklung in Großstadtreionen (BBSR-Online-Publikation, 15/2022). Bonn. Zugriff am 05.12.2022. Verfügbar unter <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2022/bbsr-online-15-2022-dl.pdf?blob=publicationFile&v=2>

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2022b): Wie grün sind deutsche Städte? (Bundesinstitut für Bau, Stadt- und Raumforschung (BBSR), Hrsg.) (BBSR-Online-Publikation 03/2022). Zugriff am 09.12.2022. Verfügbar unter <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2022/bbsr-online-03-2022dl.pdf;jsessionid=498761C5B57E0807503112103DDC9942.live11293?blob=publicationFile&v=3>

Bundesministerium der Justiz (2009, BGBl. I S. 2542): Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege. Bundesnaturschutzgesetz – BNatSchG. Zugriff am 23.05.2022. Verfügbar unter http://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg_2009/index.html

Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (2021): Memorandum "Urbane Resilienz". Wege zur robusten, adaptiven und zukunftsfähigen Stadt, 2021 (BMI21029). Zugriff am 02.12.2022. Verfügbar unter <https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bauen/wohnen/urbane-resilienz.pdf?blob=publicationFile&v=5>

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2019): Aktionsprogramm Insektenschutz. Gemeinsam wirksam gegen das Insektensterben. Zugriff am 28.11.2022. Verfügbar unter https://plant-protection.net/fileadmin/documents/Mitwirkungen/Insektensterben/4_aktionsprogramm_insektenschutz_kabinettversion_bf.pdf

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2019): Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050. Zugriff am 25.11.2022. Verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1679914/e01d6bd855f09bf05cf7498e06d0a3ff/2019-10-09-klima-massnahmen-data.pdf?download=1>

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, Bau und Reaktorsicherheit (2015): Grün in der Stadt – Für eine lebenswerte Zukunft. Grünbuch Stadtgrün. Bonn. Zugriff am 01.12.2022. Verfügbar unter <https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bauen/wohnen/gruenbuch-stadtgruen.pdf?blob=publicationFile&v=3>

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2019): Nationales Luftreinhalteprogramm der Bundesrepublik Deutschland. Nach Artikel 6 und Artikel 10 der Richtlinie (EU) 2016/2284 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe sowie nach §§ 4 und 16 der Verordnung über nationale Verpflichtungen zur Reduktion bestimmter Luftschadstoffe (43. BImSchV). Zugriff am 28.11.2022. Verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/dokumente/luftreinhalteprogramm_bericht_bf.pdf

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

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (o. J.). Verfügbar unter <https://www.bmu.de/faq/was-ist-doppelte-innenentwicklung>

Bundestag (2013): Gesetz zur Stärkung der Innenentwicklung in den Städten und Gemeinden und weiteren Fortentwicklung des Städtebaurechts. Bundesgesetzblatt, Jahrgang 2013 (Teil I 29), 1548–1552. Zugriff am 25.11.2022. Verfügbar unter https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&start=//%5b@attr_id=%27bgbl113s1548.pdf%27%5d#_bgbl_%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl113s1548.pdf%27%5D_1559633545585

BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN und CDU Baden-Württemberg (2021): Jetzt für morgen – der Erneuerungsvertrag für Baden-Württemberg. Zugriff am 25.11.2022. Verfügbar unter https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/dateien/PDF/210506_Koalitionsvertrag_2021-2026.pdf

CDU, BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN und SPD (2019): Erreichtes bewahren, Neues ermöglichen, Menschen verbinden. Gemeinsam für Sachsen, 2019. KOALITIONSVERTRAG 2019 BIS 2024. Zugriff am 27.11.2022. Verfügbar unter https://www.staatsregierung.sachsen.de/download/Koalitionsvertrag_2019-2024-2.pdf

CDU und BÜNDNIS90/DIE GRÜNEN (2022a): Ideen verbinden – Chancen nutzen – Schleswig-Holstein gestalten. Koalitionsvertrag für die 20. Wahlperiode des Schleswig-Holsteinischen Landtages (2022-2027), 2022. Zugriff am 27.11.2022. Verfügbar unter https://www.cdu-sh.de/sites/www.cdu-sh.de/files/koalitionsvertrag_2022-2027_.pdf

CDU und BÜNDNIS90/DIE GRÜNEN (2022b): ZUKUNFTSVERTRAG FÜR NORDRHEIN-WESTFALEN. Koalitionsvereinbarung von CDU und GRÜNEN. 2022-2027. Zugriff am 27.11.2022. Verfügbar unter https://gruene-nrw.de/dateien/Zukunftsvertrag_CDU-GRUeNE_Vorder-und-Rueckseite.pdf

Coutts, C. and Hahn, M. (2015): Green Infrastructure, Ecosystem Services and Human Health. International Journal of Environmental Research and Public Health, 12 (8), 9768–9798. <https://doi.org/10.3390/ijerph120809768>

CSU und FREIE WÄHLER (2018): Für ein bürgernahes Bayern. menschlich nachhaltig modern. Koalitionsvertrag für die Legislaturperiode 2018–2023. Zugriff am 25.11.2022. Verfügbar unter https://www.csu.de/common/csu/content/csu/hauptnavigation/dokumente/2018/Koalitionsvertrag_Gesamtfassung_final_2018-11-02.pdf

Dettmar, J.; Pfoser, N. und Sieber, S. (2016): Gutachten Fassadenbegrünung. Gutachten über quartiersorientierte Unterstützungsansätze von Fassadenbegrünungen für das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (MKUNLV) NRW (Technischen Universität Darmstadt, Hrsg.). Darmstadt: Technische Universität Darmstadt.

Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz (2018): Grünflächenmanagement. Planen, bauen, bewirtschaften – Grünflächen effizient und effektiv steuern, GALK | Arbeitskreis Organisation und Betriebswirtschaft. Zugriff am 04.12.2022. Verfügbar unter <https://galk.de/component/jdownloads/send/33-ak-orga/427-broschuere-gruenflaechenmanagement>

Deutscher Rat für Landespflege (2006): Durch doppelte Innentwicklung Freiraumqualitäten erhalten. Schr.-R. d. Deutschen Rates für Landespflege, 2006 (78), 5–39. Zugriff am 05.12.2022.

Deutscher Wetterdienst (Hrsg., 2022): Latest INKAS News. INKAS surface analysis, and INKAS impact analysis, Deutscher Wetterdienst. Verfügbar unter <https://www.dwd.de/DE/leistungen/inkas/inkasstart.html>

Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (2018): Klimaschutz in Kommunen. Praxisleitfaden (3. aktualisierte und erweiterte Auflage). Berlin: Deutsches Institut für Urbanistik.

Dickhaut, W.; Knoop, L. und Richter, M. (2020): BlueGreenStreets als multicodierte Strategie zur Klimafolgenanpassung. Wissensstand 2020: im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme "Ressourceneffiziente Stadtquartiere für die Zukunft (RES:Z) (Stand: April 2020). Hamburg: [HafenCity Universität Hamburg].

Dickhaut, W.; Kruse, E. und Ansel, W. (ohne Datum): Leitfadens Dachbegrünung für Kommunen – Nutzen, Fördermöglichkeiten, Praxisbeispiele Kommunale Förderinstrumente. Kurzfassung. Zugriff am 04.12.2022. Verfügbar unter <https://docplayer.org/34478283-Leitfadens-dachbegruenung-fuer-kommunen-nutzen-foerdermoeglichkeiten-praxisbeispiele-kommunale-foerderinstrumente.html>

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. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

ECOPLAN tools. University of Antwerp (2022): Zugriff am 12.12.2022. Verfügbar unter <https://www.uantwerpen.be/en/research-groups/ecoplan/ecoplan-tools/>

Computer software der ENVI-met GmbH. Verfügbar unter <https://www.envi-met.com/>

Europäische Kommission (2012): ARBEITSUNTERLAGE DER KOMMISSIONSDIENSTSTELLEN. Leitlinien für bewährte Praktiken zur Begrenzung, Milderung und Kompensierung der Bodenversiegelung (Europäische Kommission, Hrsg.). Brussels. Zugriff am 13.12.2022. Verfügbar unter <https://circabc.europa.eu/ui/group/54d2e010-4fc4-4962-9113-1e7d574f4a46/library/9d745a6b-398a-4e5b-aa93-161a9caebf15/details>

Europäische Kommission (2021): EU Soil Strategy for 2030. Reaping the benefits of healthy soils for people, food, nature and climate. COM(2021) 699 final (European Commission, Hrsg.). Brussels: European Commission. Zugriff am 13.12.2021. Verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0699&from=EN>

European Environment Agency (1999): Environmental indicators: Typology and overview. Technical report No 25. Zugriff am 28.11.2022. Verfügbar unter <https://www.eea.europa.eu/publications/TEC25>

Fan, C.; Myint, S. W. and Zheng, B. (2015): Measuring the spatial arrangement of urban vegetation and its impacts on seasonal surface temperatures. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 39 (2), 199–219.
<https://doi.org/10.1177/0309133314567583>

Flächenmanagement-Datenbank. Praktische Hilfe für Kommunen – LfU Bayern (2022, 13. Dezember). Zugriff am 13.12.2022. Verfügbar unter <https://www.lfu.bayern.de/umweltkommunal/flaechenmanagement/fmdb/index.htm>

Freie und Hansestadt Hamburg (2012): Umweltprogramm 2012 bis 2015. Ziele und Maßnahmen. Zugriff am 27.11.2022. Verfügbar unter <https://www.hamburg.de/contentblob/3529414/488c872aa7f8c43e8c769d7968c2898a/data/umweltprogramm-2012-2015.pdf>

Freie und Hansestadt Hamburg (2015): Hinweise für eine wassersensible Straßenraumgestaltung. Wissensdokument. Hamburger Regelwerke für Planung und Entwurf von Stadtstraßen [ReStra]. Verfügbar unter <https://www.hamburg.de/contentblob/4458538/2d89eeb5db6269e28ade344430a08bc9/data/wassersensible-strassenraumgestaltung.pdf>

Gartenbauamt Karlsruhe (2019): Förderprogramm zur Begrünung von Höfen, Dächern und Fassaden (Gartenbauamt Karlsruhe, Hrsg.). Karlsruhe. Zugriff am 30.03.2022. Verfügbar unter https://www.karlsruhe.de/b3/freizeit/gruenflaechen/hdf/HF_sections/content/ZZjX4eDHKAkwkA/ZZkVk5N7QOf5zr/2019-foerderprogramm-hoefe_19-0437.pdf

Göddecke-Stellmann, J. (2011): Renaissance der Großstädte – eine Zwischenbilanz (BBSR-Berichte kompakt, Bd. 2011,9). Bonn: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung. Zugriff am 01.12.2022. Verfügbar unter <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/berichte-kompakt/2018-2022/bk-01-2019-dl.pdf?blob=publicationFile&v=1>

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover (2022): palm4u – PALM. Zugriff am 12.12.2022. Verfügbar unter <https://palm.muk.uni-hannover.de/trac/wiki/palm4u>

Haase, D.; Kabisch, S.; Haase, A.; Andersson, E.; Banzhaf, E.; Baró, F. et al. (2017): Greening cities – To be socially inclusive? About the alleged paradox of society and ecology in cities. *Habitat International*, 64 (3), 41–48.
<https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2017.04.005>

Haase, D.; Larondelle, N.; Andersson, E.; Artmann, M.; Borgström, S.; Breuste, J. et al. (2014): A Quantitative Review of Urban Ecosystem Service Assessments. Concepts, Models, and Implementation. *AMBIO*, 43 (4), 413–433.
<https://doi.org/10.1007/s13280-014-0504-0>

Hansen, R. und Born, D. (2018): Grüne Infrastruktur im urbanen Raum: Grundlagen, Planung und Umsetzung in der integrierten Stadtentwicklung. Abschlussbericht zum F+E-Vorhaben "Grüne Infrastruktur im urbanen Raum: Grundlagen, Planung und Umsetzung in der integrierten Stadtentwicklung" (FKZ 3515 82 0800) (BfN-Skripten, Bd. 503). Bonn – Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz. <https://doi.org/10.19217/skr503>

Hansen, R.; Rolf, W.; Pauleit, S.; Born, D.; Bartz, R.; Kowarik, I. et al. (2017): URBANE GRÜNE INFRASTRUKTUR. Grundlage für attraktive und zukunftsfähige Städte. Hinweise für die kommunale Praxis (Bundesamt für Naturschutz (BFN), Hrsg.). Berlin.

- Harlan, S. L. and Ruddell, D. M. (2011): Climate change and health in cities. Impacts of heat and air pollution and potential co-benefits from mitigation and adaptation. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3 (3), 126–134. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2011.01.001>
- Hepperle, E. und Stoll, T. (2006): Ressourcenplan Boden. Ein Konzept zum planerisch-nachhaltigen Umgang mit Bodenqualität. Zürich. Zugriff am 02.12.2022. Verfügbar unter <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/boden/publikationen-studien/publikationen/ressourcenplan-boden.html>
- HESSISCHER LANDTAG (2022): Kleine Anfrage Heidemarie Scheuch-Paschkewitz (DIE LINKE) vom 04.10.2021 Flächenversiegelung stoppen: Verfehlung des 2,5- Hektar-Ziels der Hessischen Nachhaltigkeitsstrategie bis 2020 und Antwort Minister für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen. Drucksache (20/6488). Zugriff am 27.11.2022. Verfügbar unter <https://starweb.hessen.de/cache/DRS/20/8/06488.pdf>
- Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2017): Integrierter Klimaschutzplan Hessen 2025, 2017. Zugriff am 27.11.2022. Verfügbar unter https://umwelt.hessen.de/sites/umwelt.hessen.de/files/2021-06/integrierter_klimaschutzplan.pdf
- IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Klärle, M.; Langendörfer, U.; Lanig, S. und Popp, F. (2017): GREEN-AREA – Intelligentes Gründachkataster auf der Basis von GIS-Daten. *ZfV – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, 142 (3). <https://doi.org/10.12902/zfv-0167-2017>
- Kühnau, C.; Böhm, J.; Reinke, M.; Böhme, C. und Bunzel, A. (2017): Doppelte Innenentwicklung – Perspektiven für das urbane Grün. Empfehlungen für Kommunen, 2017. Zugriff am 25.01.2023. Verfügbar unter https://www.bfn.de/sites/default/files/BfN/planung/siedlung/Dokumente/dopi_brosch.pdf
- Länderinitiative Kernindikatoren – LiKi (2022): D1 Flächenverbrauch – LiKi-Umweltindikatoren. Zugriff am 25.11.2022. Verfügbar unter <https://www.liki.nrw.de/ressourcen-und-effizienz/d1-flaechenverbrauch>
- Landesamt für Landwirtschaft: Leitfaden zum Bodenschutz beim Bauen. Zugriff am 02.12.2022. Verfügbar unter https://www.umweltdaten.landsh.de/nuis/upool/gesamt/geologie/praxisleitfaden_bodenschutzbau.pdf
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2015): Kühlleistung von Böden. Leitfaden zur Einbindung in stadtklimatische Konzepte in NRW. LANUV-Arbeitsblatt, 29. Zugriff am 05.12.2022. Verfügbar unter https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/4_arbeitsblaetter/arbla29/LANUV-Arbeitsblatt%2029_web.pdf
- Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (2000): Erhebung von Entsiegelungspotenzial in Kommunen. Studie und Verfahrensanleitung am Beispiel der Stadt Ettlingen. Bodenschutz 7. Karlsruhe. Zugriff am 22.12.2022.
- Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (2018a). Arten, Biotope, Landschaft. Schlüssel zum Erfassen, Beschreiben, Bewerten. Karlsruhe.

Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (2018b): Leitfaden für die kommunale Landschaftsplanung in Baden-Württemberg. Der Landschaftsplan im Detail. Karlsruhe. Zugriff am 02.12.2022. Verfügbar unter https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/285309/LUBW_Leitfaden_Landschaftsplan_2018.pdf/2d7b3866-8d10-49ce-acc5-be397359501c

Landscape, Gesellschaft für Geo-Kommunikation (2000–2002): Lexikon der Geowissenschaften. In sechs Bänden. Heidelberg: Spektrum, Akad. Verl. Verfügbar unter <https://www.spektrum.de/alias/lexikon/lexikon-der-geowissenschaften/570830>

Landtag des Freistaates Bayern (2020): Bayerisches Landesplanungsgesetz. BayLplG. Verfügbar unter <https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayLplG/true>

Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (2019): Indikatoren des Monitors der Siedlungs- und Freiraumentwicklung (IÖR-Monitor). <https://www.ioer-monitor.de/indikatoren/>. Zugriff am 08.12.2022. Verfügbar unter https://www.ioer-monitor.de/fileadmin/user_upload/monitor/pdf/Indikatoren_IOER-Monitor.pdf

Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (Hrsg, 2022a): Monitor der Siedlungs- und Freiraumentwicklung (IÖR-Monitor). Flächenschema. Verfügbar unter https://www.ioer-monitor.de/fileadmin/user_upload/monitor/pdf/flaechenschema_01_2018.pdf

Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (2022b, 14. Juli): Monitor der Siedlungs und Freiraumentwicklung. Zugriff am 04.12.2022. Verfügbar unter https://monitor.ioer.de/?raeumliche_gliederung=gebiete&opacity=0.8&zoom=6&lat=51.32374658474385&lng=10.458984375000002&time=2021&basiskarte=true&glaettung=0&

Libbe, J.; Köhler, H. und Beckmann, K. J. (2010): Infrastruktur und Stadtentwicklung. Technische und soziale Infrastrukturen – Herausforderungen und Handlungsoptionen für Infrastruktur- und Stadtplanung. Berlin: Difu.

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

LUBW (2022, 13. Dezember): FLOO. Flächenmanagement-Tool für Kommunen – LUBW. Zugriff am 13.12.2022. Verfügbar unter <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/boden/floo-flaechenmanagement-tool-fur-kommunen>

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) (LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz, Hrsg.).

Mann, G.; Mollenhauer, F. und Gohlke, R. (2021): Gebäudebegrünung in Bielefeld. Förderprogramm zur Dach- und Fassadenbegrünung (Stadt Bielefeld Umweltamt, Hrsg.). Bielefeld. Zugriff am 01.04.2022.

Marahrens, S.; Schmidt, S.; Frauenstein, J.; Mathews, J.; Bussian, B.-M.; Penn-Bressel, G. et al. (2015): Bodenzustand in Deutschland. zum „Internationalen Jahr des Bodens“. Zugriff am 09.12.2022. Verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/bodenzustand_in_deutschland_0.pdf

Matzinger, A.; Riechel, M.; Remy, C.; Schwarmüller, P.; Rouault, P.; Schmidt, M. et al. (2017): Zielorientierte Planung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung. KURAS-Leitfaden. Ergebnisse des Projektes KURAS. Berlin. Zugriff am 02.12.2022. Verfügbar unter http://www.kuras-projekt.de/fileadmin/Dokumenten_Verwaltung/pdf/20170428_Leitfaden_Regenwasser_full_final_med_res.pdf

McGrane, S. J. (2016): Impacts of urbanisation on hydrological and water quality dynamics, and urban water management. A review. 13. Zugriff am 27.11.2022. Verfügbar unter <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02626667.2015.1128084>

MeinGrün (Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung, Hrsg.) (2022): meinGrün. Zugriff am 12.12.2022. Verfügbar unter <https://meingruen.org/>

Ministerium des Innern und für Sport (2006): Leitfaden Soziale Stadt. Zugriff am 02.12.2022. Verfügbar unter https://mdi.rlp.de/fileadmin/isim/Unsere_Themen/Staedte_und_Gemeinden/Dokumente/Staedtebau/30-3_Leitfaden_Soziale_Stadt_RLP_T.pdf

Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft des Landes Brandenburg (2013): Freiraum und Naturschutz in der Stadtentwicklung. Gemeinsamer Leitfaden. Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft; Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz. Potsdam. Zugriff am 02.12.2022. Verfügbar unter https://mil.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Freiraum_und_Naturschutz_Internet.pdf

Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt (2019): natürlich. nachhaltig. Wir in Brandenburg. Nachhaltigkeitsstrategie für das Land Brandenburg. Fortschreibung 2019. Zugriff am 27.11.2022. Verfügbar unter <https://mluk.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Fortschreibung-Nachhaltigkeitsstrategie-BB.pdf>

Naber, E.; Volk, R.; Mörmann, K.; Boehnke, D.; Lützkendorf, T. and Schultmann, F. (2022): Nares – A Surface Inventory and Intervention Assessment Model for Urban Resource Management. Sustainability, 14 (14), 8485. <https://doi.org/10.3390/su14148485>

Nasa (Goddard Space Flight Center, Hrsg.) (2012): The Pedosphere as a Hub, Brent Stees. Zugriff am 27.11.2022. Verfügbar unter <https://web.archive.org/web/20120721040417/http://soil.gsfc.nasa.gov/index.php?section=75#spheres>

Niedersächsischer Landtag (2020): Gesetz zur Umsetzung des "Niedersächsischen Weges" im Naturschutz-, Gewässerschutz- und Waldrecht. Niedersächsisches Gesetz- und Verordnungsblatt, 74 (43), 444–454. Zugriff am 27.11.2022. Verfügbar unter https://www.niedersachsen.de/download/161522/Nds._GVBl._Nr._43_2020_vom_03.12.2020_S._443-454.pdf

Nordrhein-westfälische Landesregierung (2020): Die globalen Nachhaltigkeitsziele konsequent umsetzen. Weiterentwicklung der Strategie für ein nachhaltiges Nordrhein-Westfalen, 2020. Zugriff am 27.11.2022. Verfügbar unter https://nachhaltigkeit.nrw.de/fileadmin/Dokumente/NRW_Nachhaltigkeitsstrategie_2020.pdf

Ode Sang, Å., Knez, I., Gunnarsson, B. and Hedblom, M. (2016). The effects of naturalness, gender, and age on how urban green space is perceived and used. Urban Forestry & Urban Greening, 18, 268–276. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.06.008>

Pannicke-Prochnow, N.; Krohn, C.; Albrecht, J.; Thinius, K.; Ferber, U. und Eckert, K. (2021): Bessere Nutzung von Entsiegelungspotenzialen zur Wiederherstellung von Bodenfunktionen und zur Klimaanpassung. Abschlussbericht (Umweltbundesamt, Hrsg.) (Texte 141/2021). Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/bessere-nutzung-von-entsiegelungspotenzialen-zur>

Pfoser, N. (2016): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung. Dissertation. Technischen Universität Darmstadt, Darmstadt.

Pfoser, N.; Jenner, N.; Henrich, J.; Heusinger, J.; Weber, S.; Schreiner, J. et al. (2013): Gebäude Begrünung Energie. Potenziale und Wechselwirkungen. Abschlussbericht (Technische Universität Darmstadt, Hrsg.). Darmstadt. Zugriff am 30.01.2022. Verfügbar unter <http://www.irbnet.de/daten/rswb/13109006683.pdf>

Planergemeinschaft Kohlbrenner eG (2016): Umweltgerechtigkeit in der Sozialen Stadt. An der Schnittstelle von Umwelt, Gesundheit und Sozialer Lage. Endbericht. Zugriff am 28.11.2022. Verfügbar unter https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/staedtebauforderung/Forschungsprogramme/SozialeStadt/Projekte/Umweltgerechtigkeit/endbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=1

Regionaldatenbank Deutschland (NaN). Zugriff am 04.12.2022. Verfügbar unter <https://www.regionalstatistik.de/genesis/online?operation=previous&levelindex=0&step=0&titel=&levelid=1670193133909&acceptscookies=false>

Roth, R.; Türk, S.; Kretschmer, H.; Armbruster, F. und Klos, G. (2008): Menschen bewegen – Grünflächen entwickeln. Ein Handlungskonzept für das Management von Bewegungsräumen in der Stadt. Zugriff am 02.12.2022. Verfügbar unter https://cdn.dosb.de/alter_Datenbestand/fm-dosb/arbeitsfelder/umwelt-sportstaetten/Downloads/Umwelt- und Klimaschutz/Menschen_bewegen.pdf

Schröder, R.; Jeschke, D.; Walker, R. und Kiehl, K. (2020): Extensive Dachbegrünung mit gebietseigenen Wildpflanzen am Beispiel Nordwestdeutschlands. Ein Leitfaden für die Praxis. Osnabrück: Hochschule Osnabrück. Zugriff am 04.12.2022. Verfügbar unter https://www.hs-osnabrueck.de/fileadmin/HSOS/Forschung/Recherche/Laboreinrichtungen_und_Versuchsbetriebe/Labor_fuer_Botanik_Vegetationsoekologie/pdf/Praxisleitfaden_Extensive_Dachbegruenung_mit_gebietseigenen_Wildpflanzen_web.pdf

Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), Landesverband Berlin und BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN, Landesverband Berlin und DIE LINKE (2021): Zukunftshauptstadt Berlin. Sozial. Ökologisch. Vielfältig. Wirtschaftsstark. Koalitionsvertrag 2021–2026. Zugriff am 25.11.2022. Verfügbar unter <https://www.berlin.de/rbmskzl/regierende-buergermeisterin/senat/koalitionsvertrag/>

SPD (2022): Unser Saarland Plan. REGIERUNGSPROGRAMM DER SAAR-SPD 2022-2027. ECHTE #SAARLANDLIEBE IST BEI UNS PROGRAMM. Zugriff am 27.11.2022. Verfügbar unter <https://www.spd-saar.de/wp-content/uploads/2022/02/saarspd-unser-saarland-plan-echtesaarlandliebe-regierungsprogramm2022-2027-final-1644514914.pdf>

SPD, BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN und FDP (2021): Mehr Fortschritt wagen – Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. KOALITIONSVERTRAG 2021– 2025 ZWISCHEN DER SOZIALDEMOKRATISCHEN PARTEI DEUTSCHLANDS (SPD), BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN UND DEN FREIEN DEMOKRATEN (FDP). Zugriff am 28.11.2022. Verfügbar unter https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag_2021-2025.pdf

SPD und BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN (2020): Zuversichtlich, solidarisch, nachhaltig – Hamburgs Zukunft kraftvoll gestalten. Koalitionsvertrag. über die Zusammenarbeit in der 22. Legislatur-periode der Hamburgischen Bürgerschaft zwischen der SPD, Landesorganisation Hamburg und Bündnis 90/Die Grünen, Landesverband Hamburg. Zugriff am 27.11.2022. Verfügbar unter <https://www.gruene-hamburg.de/wp-content/uploads/2020/06/Koalitionsvertrag-SPD-Gr%C3%BCne-2020.pdf>

SPD, BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN und FDP (2021): ZUKUNFTSVERTRAG RHEINLAND-PFALZ – 2021 bis 2026. Koalition des Aufbruchs und der Zukunftschancen. Zugriff am 27.11.2022. Verfügbar unter https://www.rlp.de/fileadmin/rlp-stk/pdf-Dateien/Staatskanzlei/rlp_Koalitionsvertrag2021-2026.pdf

SPD, CDU und FDP (2021): Koalitionsvertrag. Wir gestalten Sachsen-Anhalt. Stark. Modern. Krisenfest. Gerecht., 2021. 2021-2026. Zugriff am 27.11.2022. Verfügbar unter https://www.cdulsa.de/sites/www.cdulsa.de/files/publikationen/finaler_koalitionsvertrag.pdf

SPD UND DIE LINKE (2021): AUFBRUCH 2030 Verantwortung für heute und morgen. Für ein wirtschaftlich starkes, sozial gerechtes und nachhaltiges Mecklenburg-Vorpommern, 2021. Koalitionsvereinbarung 2021-2026. Zugriff am 27.11.2022. Verfügbar unter <https://spd-mvp.de/uploads/spdLandesverbandMecklenburgVorpommern/Downloads/Koalitionsvertrag-SPD-DIE-LINKE-MV-2021-2026.pdf>

SPD, CDU und BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN (2019): Zusammenhalt Nachhaltigkeit Sicherheit. Ein neues Kaptiel für Brandenburg. Koalitionsvertrag. Zugriff am 25.11.2022. Verfügbar unter https://www.brandenburg.de/media/bb1.a.3780.de/191024_Koalitionsvertrag_Endfassung.pdf

Stadtentwässerungsbetriebe Köln (2018): Mehr Grün für ein besseres Klima in Köln. Leitfaden zur Entsiegelung und Begrünung privater Flächen (1. Auflage) (Stadtentwässerungsbetriebe Köln, Hrsg.). Zugriff am 22.12.2022. Verfügbar unter https://www.steb-koeln.de/Redaktionell/ABLAGE/Downloads/Brosch%C3%BCrenVer%C3%B6ffentlichungen/LeitfadenMehrGruen_190918_web.pdf

Stadtplanungsamt Karlsruhe (2019a): Private Modernisierungen. Förderrichtlinien in den Sanierungsgebieten (Stadtplanungsamt Karlsruhe, Hrsg.). Karlsruhe. Zugriff am 30.03.2022. 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 (Stadtplanungsamt Karlsruhe, Hrsg.). Karlsruhe. Zugriff am 30.03.2022. Verfügbar unter https://www.karlsruhe.de/b3/bauen/sanierung/innenstadt_ost/HF_sections/content/ZZozicVbkXqWxc/1587023455667/Kurz%C3%BCbersicht.pdf

Statistisches Bundesamt Deutschland – GENESIS-Online: Die Datenbank
des Statistischen Bundesamtes (NaN). Zugriff am 04.12.2022. Verfügbar unter <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=previous&levelindex=0&step=0&titel=&levelid=1670193028949&acceptscookies=false>

Stephanie Bock, Ajo Hinzen und Jens Libbe (2009): Nachhaltiges Flächenmanagement – in der Praxis erfolgreich kommunizieren. Ansätze und Beispiele aus dem Förderschwerpunkt REFINA ; eine Publikation des Förderprogramms "Forschung für die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme und ein nachhaltiges Flächenmanagement (REFINA) im Rahmen des Programms "Forschung für die Nachhaltigkeit" (FONA) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung" (Reihe REFINA, Bd. 4). Berlin: Difu. Zugriff am 21.12.2022. Verfügbar unter <https://repository.difu.de/jspui/bitstream/difu/168815/1/DM09111132.pdf>

Technische Universität München.(2011): Leitfaden Energienutzungsplan.
München: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG).

Technische Universität München (2017): Leitfaden für klimaorientierte Kommunen in Bayern. Handlungsempfehlungen aus dem Projekt Klimaschutz und grüne Infrastruktur in der Stadt am Zentrum Stadtnatur und Klimaanpassung. München. Zugriff am 01.12.2022. Verfügbar unter https://www.zsk.tum.de/fileadmin/w00bqp/www/PDFs/Berichte/180207_Leitfaden_ONLINE.pdf

Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz (2020): 3. Indikatorenbericht. Nachhaltige Entwicklung in Thüringen, 2020. Zugriff am 27.11.2022. Verfügbar unter https://umwelt.thueringen.de/fileadmin/Publikationen/Publikationen_TMUEN/Indikatorenbericht_TMUEN_2020_01.pdf

Tichelmann, K. U.; Blome, D.; Ringwald, T.; Günther, M. et al. (2019): Wohnraumpotenziale in urbanen Lagen Aufstockung und Umnutzung von Nichtwohngebäuden. Deutschlandstudie 2019. Darmstadt. Zugriff am 22.12.2022. Verfügbar unter https://www.tu-darmstadt.de/media/daa_responsive_design/01_die_universitaet_medien/aktuelles_6/pressemeldungen/2019_3/Tichelmann_Deutschlandstudie_2019.pdf

Tomerius, S. und Preuß, T. (2001): Flächenrecycling als kommunale Aufgabe. Potenziale, Hemmnisse und Lösungsansätze in den deutschen Städten; mit einem Exkurs über die US-amerikanische Praxis (Umweltberatung für Kommunen). Berlin: Difu.

Trapp, J. H. und Winker, M. (2020): Blau-grün-graue Infrastrukturen vernetzt planen und umsetzen. Ein Beitrag zur Klimaanpassung in Kommunen: Deutsches Institut für Urbanistik -Difu-, Berlin.

Umweltbundesamt (Umweltbundesamt, Hrsg.): Eckwerte und resultierende Parameter für die Berechnung der versiegelten Siedlungs- und Verkehrsfläche. Zugriff am 09.12.2022. Verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/4_tab_eckwerte-param-versieg-suv_2020-12-28.pdf

Umweltbundesamt (2020): Praxishilfe – Klimaanpassung in der räumlichen Planung. Raum- und fachplanerische Handlungsoptionen zur Anpassung der Siedlungs- und Infrastrukturen an den Klimawandel. Starkregen, Hochwasser, Massenbewegungen, Hitze, Dürre. Zugriff am 28.11.2022. Verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/klimaanpassung_in_der_raeumlichen_planung_praxishilfe_02-2020.pdf

Umweltbundesamt (2021): Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche an der Gesamtfläche 2020, davon unversiegelt und versiegelt. Daten für Deutschland insgesamt sowie für die Bundesländer. Zugriff am 04.12.2022. Verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2_abb_anteil-suv-gesamtflaeche-d_2022-01-17.pdf

Umweltbundesamt (2022a): Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche. Zugriff am 25.11.2022. Verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/de_indikator_terr-03_suv_2022-03-23.pdf

Umweltbundesamt (2022b): Flächennutzung in Deutschland (Stand 31.12.2021). Zugriff am 04.12.2022. Verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2_abb_flachennutzung-d_2022-12-14.pdf

Umweltbundesamt. (2022c): KLIMALOTSE 3.0. Offlineversio. Dessau-Roßlau. Zugriff am 02.12.2022. Verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5612/dokumente/klimalotse_3.0_offline_version_2022.pdf

- Umweltbundesamt (Umweltbundesamt, Hrsg.) (2022d): Siedlungs- und Verkehrsfläche. Zwischenziele für die Flächenneuanspruchnahme. Zugriff am 25.11.2022. Verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/siedlungs-verkehrsflaeche#politische-ziele>
- Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder (Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz, Hrsg.) (2019): Bodenversiegelung. Fläche und Raum. Stand: Juni 2019, Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz. Zugriff am 09.12.2022. Verfügbar unter https://www.statistikportal.de/sites/default/files/2019-06/m_flaeche_2.pdf
- Vallée, D.; Engel, B. und Vogt, W. (Hrsg.) (2019): STADTVERKEHRSPLANUNG. Grundlagen, Ziele und Perspektiven. [Place of publication not identified]: MORGAN KAUFMANN. Zugriff am 05.12.2022. Verfügbar unter <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-662-59693-7.pdf>
- Volk, R.; Lützkendorf, T.; Schambelon, S.; Naber, E.; Mörmann, K.; Böhnke, D. et al. (2020): Stakeholder-specific assessment of environmental, economic and social effects of resource-efficiency measures in urban districts – first results. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 588 (5), 52036. Verfügbar unter <https://doi.org/10.1088/1755-1315/588/5/052036>
- Volk, R.; Naber, E.; Lützkendorf, T.; Böhnke, D.; Mörmann, K.; Schultmann, F. et al. (2021): Identifikation und Bewertung von Entsiegelungspotenzialen als Beitrag zur nachhaltigen Quartiersentwicklung – Zwischenergebnisse aus NaMaRes. In G. Meinel, T. Krüger & D. Ehrhardt (Hrsg.), Flächennutzungsmonitoring XIII. Flächenpolitik – Konzepte – Analysen – Tools (IÖR-Schriften, Band 79, S. 209–219). Berlin: Rhombos-Verlag. <https://doi.org/10.26084/13dfns-p019>
- Volk, R.; Rambhia, M.; Naber, E. and Schultmann, F. (2022): Urban Resource Assessment, Management, and Planning Tools for Land, Ecosystems, Urban Climate, Water, and Materials—A Review. Sustainability, 14 (12), 7203. <https://doi.org/10.3390/su14127203>
- Voogt, J. A. and Oke, T. R. (2003): Thermal remote sensing of urban climates. Remote Sensing of Environment, 86 (3), 370–384. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)
- Voskamp, I. M.; Luca, C. de; Polo-Ballinas, M. B.; Hulsman, H. and Brolsma, R. (2021): Nature-Based Solutions Tools for Planning Urban Climate Adaptation. State of the Art. Sustainability, 13 (11), 6381. <https://doi.org/10.3390/su13116381>
- Weidner, S.; Gerhardt, J. und Scheurer, L. (2021): Überblick zu europäischen Stadtentwicklungstrends und -strategien. Hintergrundstudie für die Neue Leipzig-Charta (Stand: Mai 2020). Bonn: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Zugriff am 01.12.2022. Verfügbar unter https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2021/europaeische-stadtentwicklungstrends-strategien-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- World Health Organization. (2017): Urban green spaces. A brief for action. Copenhagen: World Health Organization. Zugriff am 04.12.2022. Verfügbar unter https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0010/342289/Urban-Green-Spaces_EN_WHO_web3.pdf

Zentrum Nachhaltige Stadtentwicklung in Hessen – Sozialer Zusammenhalt (2020): Leitfaden Verstetigung in der Sozialen Stadt Leitfaden Verstetigung im Förderprogramm Sozialer Zusammenhalt. Eine Arbeitshilfe. Materialien (Zentrum Nachhaltige Stadtentwicklung in Hessen – Sozialer Zusammenhalt, Hrsg.). Wiesbaden. Zugriff am 02.12.2022. Verfügbar unter https://nachhaltige-stadtentwicklung-hessen.de/media/25112020_sz_leitfaden_verstetigung_entwurffinal_005.pdf

Zhou, W.; Huang, G. and Cadenasso, M. L. (2011): Does spatial configuration matter? Understanding the effects of land cover pattern on land surface temperature in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 102 (1), 54–63.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.03009>

Bildnachweise

Bilder von Carlo Walti (Titel), VrensM (S. 7), Ro Ma, annca, Tom, Pierre Blaché, Gerd Altmann, WikiImages, Martin Redlin, Charles McArthur, NakNakNak, PublicDomainPictures, Steve Buissinne, kconcha, Reimund Bertrams (S. 9), Daniel Eliashevskiyi (S. 10), ekrem (S. 17), 2211438 (S. 19), Dim Hou (S. 21), wal_172619 (S. 22), Ralph (S. 23), Public Co (S. 24), NoName_13 (S. 27), Anja (S. 28), Peggy und Marco Lachmann-Anke (S. 30), Thomas Wolter (S. 36), Alan Frijns (S. 40), Gerhard Bögner (S. 41), kenjylee (S. 44), Piotr (S. 53), Michael Gaida (S. 66), Christopher Amend (S. 69), StockSnap (S. 70), Jiří Rotrekl (S. 72), Albrecht Fietz (S. 73), PublicDomainPictures (S. 74), Christiane M. (S. 75), Bild von janmaybach (S. 76) und Ahmad Ardity (S. 79) auf Pixabay

Bilder S. 5, S. 35, S. 59, S. 61, S. 65 und S.71 auf Freepik.com

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Thomas Lützkendorf
Karlsruher Institut für Technologie
Kaiserstraße 12
76131 Karlsruhe

Telefon: 0721 60848336
E-Mail: thomas.luetzkendorf@kit.edu

Gestaltung

Kerstin Schalling
Lange & Schalling GbR
Erfurter Straße 5
99423 Weimar

Telefon: 03643 517554
E-Mail: ketli2021@web.de

