

**Ressourceneffizienz  
in der Quartiersentwicklung**

**Handlungsfeld  
Ökosystemleistungen**



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**

Alice Krehl (KIT)  
Denise Böhnke (KIT)  
Stefan Norra (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/1000158354

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.

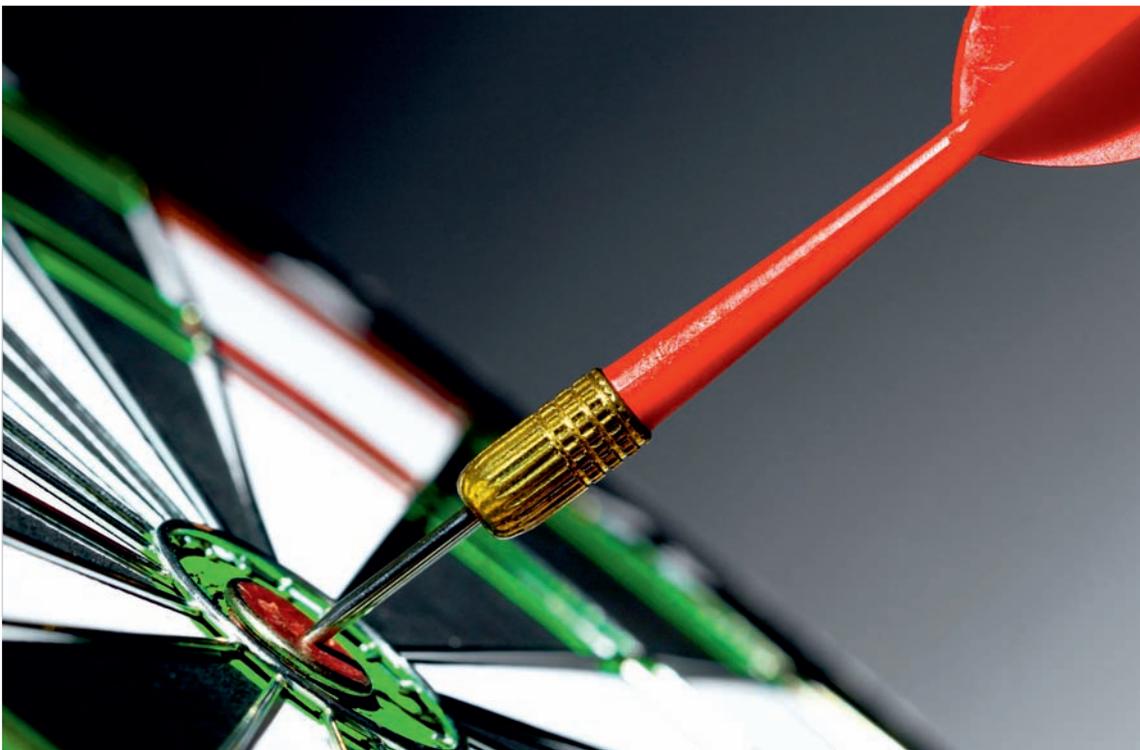
Die Gestaltung des Leitfadens ist für das Lesen am Bildschirm optimiert.

## Inhaltsübersicht

<b>Kontext und Ziele</b>	<b>5</b>
Einordnung .....	6
Ziele .....	8
Zielgruppen .....	9
<b>Handlungsfeld Ökosystemleistungen</b>	<b>10</b>
1 Handlungsfeld Ökosystemleistungen .....	12
1.1 Begriffsverwendung und -abgrenzung .....	12
1.2 Kategorisierung von Ökosystemleistungen .....	13
1.3 Handlungsziele .....	14
1.4 Zuordnung zu globalen Nachhaltigkeitszielen .....	15
2 Ökosystemleistungen aus Sicht des Ressourcenmanagements .....	17
2.1 Gründe zur Berücksichtigung von Ökosystemleistungen .....	17
2.2 Themen und Ziele .....	19
2.2.1 Klimaanpassung urbaner Räume .....	19
2.2.2 Beitrag zu Gesundheit und Lebensqualität .....	19
2.2.3 Auswirkungen auf ökonomische Aspekte .....	19
2.2.4 Erhöhung der Aufenthaltsqualität von öffentlichen Räumen .....	20
2.2.5 Unterstützung einer Selbstversorgung .....	20
2.2.6 Integrierte Stadtentwicklung .....	21
2.2.7 Schaffung ökonomischer Anreize .....	21
2.2.8 Ressourcenschonung .....	21
3 Beziehungen zu übrigen Ressourcen .....	22
4 Stadtgrün und dessen Ökosystemleistungen .....	23
4.1 Definition des Stadtgrüns .....	23
4.2 Ökosystemleistungen städtischer Grünflächen .....	23
4.3 Ziele einer grüneren Stadtentwicklung .....	23

4.4	Verbesserung des Mikroklimas – Stadtgrün .....	24
4.4.1	Verdunstungskühlung .....	25
4.4.2	Unversiegelte Flächen .....	25
4.4.3	Beschattung .....	25
4.4.4	CO <sub>2</sub> -Bindung durch Stadtgrün .....	25
4.4.5	Schutz der Artenvielfalt und Rückzugsort für Insekten .....	26
5	Kartierung der Ökosystemleistungen von Stadtgrün .....	27
5.1	Zusammenhänge Biotope und Ökosystemleistungen .....	27
5.2	Kartierschlüssel für Biotoptypen .....	27
5.3	Beispiel: Kartierung in der Innenstadt Ost in Karlsruhe .....	28
5.3.1	Kartierung der Biotoptypen .....	28
5.3.2	Kartierung der Stadtbäume .....	29
6	Indikatoren für die Bewertung von Ökosystemleistungen .....	30
6.1	Beispiel: Indikatoren für die Innenstadt Ost in Karlsruhe .....	30
6.1.1	Auswertung der Biotope/Flächendaten .....	31
6.1.2	Ökopunkte (Zustandsindikator) .....	32
6.1.3	Versiegelung (Zustandsindikator) .....	33
6.1.4	Verdunstung (Leistungsindikator) .....	33
6.1.5	Beitrag zur Biodiversität (Leistungsindikator) .....	34
6.1.6	Auswertung der Baumdaten .....	35
6.1.7	Baumartenverteilung (Zustandsindikator) .....	36
6.1.8	CO <sub>2</sub> -Speicherung (Leistungsindikator) .....	37
6.1.9	Beschattung (Leistungsindikator) .....	38
7	Mono- und multifunktionale Betrachtung von Ökosystemleistungen .....	39
<b>Literatur und Arbeitshilfen</b>		<b>40</b>
	Literaturverzeichnis .....	41
	Bildnachweise .....	45

# 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“<sup>1</sup> 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.**



<sup>1</sup>RES: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.

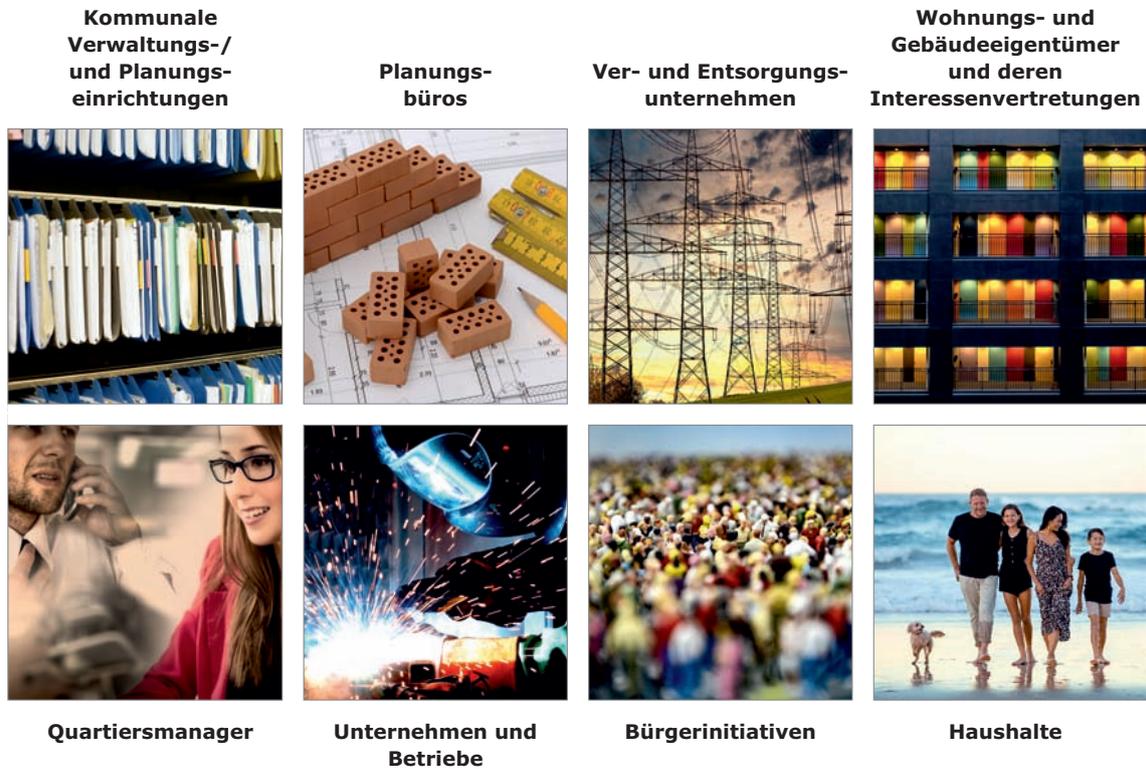
### b) Managementaufgabe

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



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



# Handlungsfeld Ökosystemleistungen



Mit dem Teil **„Ökosystemleistungen“** werden diese zunächst aus Sicht des Ressourcenmanagements vorgestellt und erörtert. Eingegangen wird u. a. auf Themen wie das Stadtgrün und dessen potenziellen Beiträge zur Verbesserung des Kleinklimas sowie auf die Vorgehensweise bei der Kartierung.

Der hier vorliegende Teil einer Reihe von Leitfäden enthält Hinweise auf Möglichkeiten einer Integration von Aspekten der Ökosystemleistungen in die Stadt- und Quartiersentwicklung. Am Beispiel von Karlsruhe werden die Möglichkeiten der Auswahl und Anwendung von Indikatoren vorgestellt. Zusammenhänge zu den Handlungsfeldern Fläche, Wasser sowie Stoffe werden diskutiert.

# 1 Handlungsfeld Ökosystemleistungen

## 1.1 Begriffsverwendung und -abgrenzung

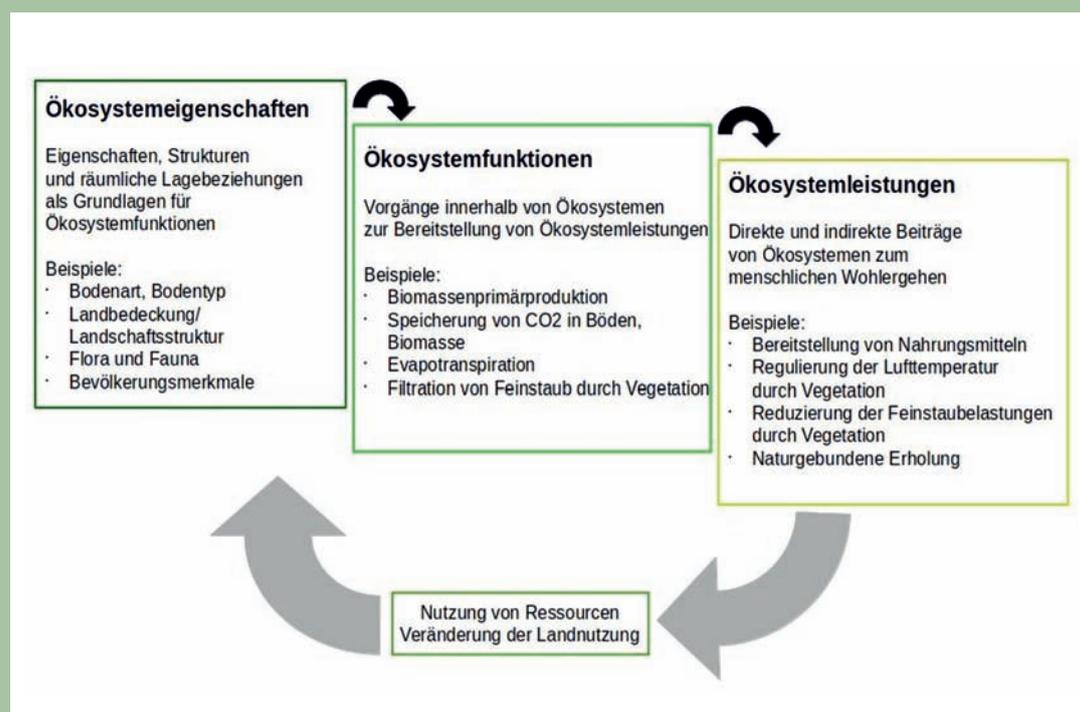
Das Prinzip der Ökosystemleistungen (ÖSL) geht auf (Ehrlich and Ehrlich 1981) zurück. Es handelt sich um die detaillierte Darstellung und Beschreibung der Leistungen, die ein Ökosystem erbringt (Daily 1997; Kommission für Bodenschutz – KBU 2019). Diese Ökosystemleistungen werden auf das Wohlergehen der Menschen bezogen. Dieses Wohlergehen reicht von der Bereitstellung von Nahrung oder Sauerstoff zum Atmen über die Möglichkeit, Güter zu produzieren mit ihnen Handel zu treiben und Wohlstand zu erwerben bis hin zum psychischen und sozialen Wohlbefinden.

Aufgrund des anthropozentrischen Ansatzes dieses Konzeptes werden Ökosystemleistungen (ÖSL) mitunter auch als Ökosystemdienstleistungen (ÖDL) bezeichnet. Ökosysteme im klassischen Sinne können nach Wolterecks und Tansleys als "physische Gesamtsysteme aus Organismen und deren Umweltfaktoren, die in ständiger Wechselwirkung miteinander stehen" definiert werden (Leser und Löffler 2017). Letztlich besteht ein Ökosystem immer aus einer Lebensgemeinschaft (Biozönose) und deren Lebensraum (Biotop). Dabei gibt es nicht das eine Ökosystem, sondern immer eine Ansammlung verschiedener Ökosysteme, die in gegenseitiger Wechselwirkung zueinander stehen.

Die Stadt ist ein vom Menschen für sich geschaffenes Ökosystem. Hier werden Grünflächen, größere Parks und Stadtwälder als wichtige Elemente des Ökosystems Stadt begriffen. Diese wirken sich positiv auf das Stadtklima und somit auch auf die Gesundheit der dort lebenden Menschen aus (Engemann et al. 2019). Ökosystemleistungen prägen den vom Menschen konstruierten und entwickelten Lebensraum Stadt genauso wie Ökosystemleistungen jedes andere Ökosystem gestalten und beeinflussen (Breuste et al. 2016).

Im Kontext des Themenfeldes der Ökosystemleistungen gibt es eine Vielzahl an ähnlichen und zum Teil synonymen Begriffen. In Anlehnung an die Studie The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) aus dem Jahr 2010 (Kowarik et al. 2017) werden die Begriffe voneinander abgegrenzt (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1: Begriffsabgrenzung Ökosystemeigenschaften, Ökosystemfunktionen und Ökosystemleistungen

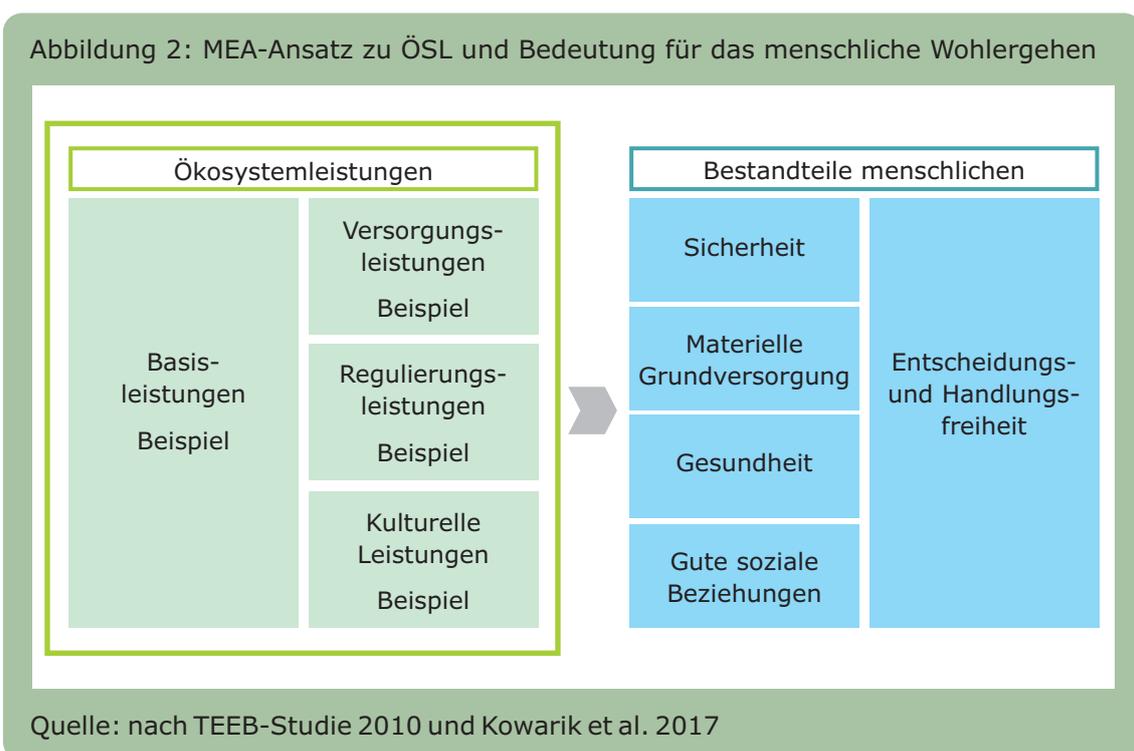


Quelle: nach Dworczyk und Burkhard, 2020

Für Prozesse innerhalb von Ökosystemen, die für die Bereitstellung von ÖSL bedeutend sind, wird die Bezeichnung Ökosystemfunktion verwendet. Der Fokus liegt auf der Interaktion von Strukturen und Prozessen innerhalb eines Ökosystems. Beispiele hierfür sind die Holzproduktion in Wäldern, die Biomassenprimärproduktion oder die Filterung von Feinstaub durch die Vegetation. Liegt der Fokus auf dem Nutzen des Ökosystems für den Menschen, spricht man von Ökosystemleistung, Ökosystemdienstleistung und im englischsprachigen Raum von ecosystem goods and services. Hiermit sind die Beiträge der Ökosysteme zum menschlichen Wohlergehen gemeint, die tatsächlich vom Menschen genutzt werden und aus den vorhandenen Ökosystemfunktionen hervorgehen. Als Beispiel können das geschlagene Holz für verschiedene Verwendungszwecke aus der Holzproduktion, die Bereitstellung von Nahrungsmitteln oder die Verbesserung der Luftqualität genannt werden. In diesem Leitfaden wird der Begriff „Ökosystemleistung“ verwendet, wenn die anthropozentrische Ausrichtung des Nutzens (besonders in Städten) näher betrachtet wird (Dworczyk und Burkhard 2020; Kommission für Bodenschutz – KBU 2019; Kowarik et al. 2017; Schwaiger et al. 2015).

## 1.2 Kategorisierung von Ökosystemleistungen

Nach dem Millennium Ecosystem Assessment (MEA 2005) können die Ökosystemleistungen in vier Kategorien eingeteilt werden. Als Kategorien sind die Basis-, Versorgungs-, Regulierungs- und die kulturellen Leistungen definiert und finden breite Akzeptanz und Verwendung im Themenfeld der Ökosystemleistungen finden (Abbildung 2).



Die **Basisleistungen** sind Leistungen, die den Leistungen der anderen drei Kategorien gemäß Abbildung 2 zugrunde liegen und auch als unterstützende Leistungen bezeichnet werden. Beispiele sind die Photosynthese, biologische Aktivität und der Nährstoffkreislauf.

Die **Versorgungsleistungen** tragen direkt zur Versorgung des Menschen bei und beinhalten z. B. die Bereitstellung der Ressourcen Wasser, Holz oder landwirtschaftlicher Produkte (Nahrung). Unversiegelte Flächen ermöglichen eine Grundwasserneubildung.

Die **Regulierungsleistungen** nutzen dem Menschen indirekt über natürliche Kreislaufsysteme z. B. zur Klimaregulierung. Beispielhaft kann die Kohlenstoffdioxid-speicherkapazität von Bäumen genannt werden. Im urbanen Raum kann auf der Betrachtungsebene eines Stadtquartiers eine Veränderung des Mikroklimas durch Stadtgrün genannt werden.

Die **kulturellen Leistungen** stellen eine Verbindung zwischen Kultur und Natur her, bei der sich kulturelle Leistungen und Entwicklungen aus der Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen ergeben. Diese sind z. B. Tourismus, Naturerbe, Friedhöfe oder Erholungsmöglichkeiten. Auf der Betrachtungsebene eines Stadtquartiers stehen vor allem letztere durch vorhandene Grünflächen im Vordergrund. Grün- und Freiflächen haben einen positiven Einfluss auf die Gesundheit der Menschen.

Der Folgepeil von den ÖSL zu den Bestandteilen des menschlichen Wohlergehens in Abbildung 2 soll die einseitige Abhängigkeit zeigen. Nur mit intakten ÖSL kann das menschliche Wohlergehen sichergestellt werden (Kowarik et al. 2017). Es können konkrete Indikatoren und Maßnahmen auf einer integralen Ebene entwickelt werden, die die Umsetzung einer Maßnahme messbar machen. Es kann zwischen intermediären und finalen Ökosystemleistungen unterschieden werden, um Doppelzählungen zu vermeiden (Albert et al. 2015). In der englischsprachigen Literatur werden die finalen ÖSL als Final Ecosystem Goods and Services bezeichnet (FEGS). Das Konzept findet auch bei (Staub et al. 2011) Anwendung. Somit werden den FEGS die drei Kategorien Versorgungsleistungen, Regulierungsleistungen und kulturelle Leistungen aus der Einteilung der MEA zugeordnet. Bei den Basisleistungen handelt es sich nach dieser weiteren Einteilung um intermediäre ÖSL, da diese die Grundlage für die FEGS darstellen (Albert et al. 2015; Staub et al. 2011).

In „Indikatoren für Ökosystemleistungen“ wurde für die Schweiz ein Inventar von relevanten finalen ÖSL erarbeitet (Staub et al., 2011), das sich an der ÖSL-Klassifikation des Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005) und der Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) (Haines-Young and Potschin 2018) orientiert. Die gesamte Indikatorenliste ist in (Staub et al. 2011) zu finden – ein Auszug in Tabelle 1.

Tabelle 1: Auszug Indikatoren-Vorschläge für finale ÖSL (Staub et al. 2011, S. 36, 38 u. 45)

Ökosystemleistung	Indikator
Erholungsleistung durch urbane Grün- u. Frei- sowie Nah- u. Fernerkundungsräume	z. B. Erreichbarkeit anlagefreier Gebiete für die Schweizer
Erholungsleistung durch Erholungsräume im Wohnumfeld (Gärten u. ä.)	Flächen, die potenziell zum privaten Gartenbau oder zum Sitzen, Spielen und Genießen genutzt werden können
Speicherung von CO <sub>2</sub>	z. B. Veränderung gespeicherter Treibhausgase durch Landnutzungsänderung
Existenz natürlicher Vielfalt auf der Ebene der Arten, Gene, Ökosysteme und Landschaften	z. B. Indikator zu Landschaftstypen (Basis: Typologie der Landschaften der Schweiz/Schutzgebietsarealstatistik)

### 1.3 Handlungsziele

Durch die Möglichkeit, den weitreichenden Begriff des Ökosystems etwas konkreter in Form der ÖSL fassen zu können, entstehen neue Handlungsmöglichkeiten für den Schutz und Erhalt einzelner Bestandteile von Ökosystemen (Kommission für Bodenschutz KBU 2019).

*"Aufgrund seiner übergreifenden Perspektive legt das ÖSL-Konzept in besonderer Weise eine strategische Zusammenarbeit des Bodenschutzes mit dem Gewässer-, Klima- und Naturschutz dar. Auf diese Weise kann ein multifunktionaler Flächenschutz realisiert werden, der mehrere ÖSL gleichzeitig in den Blick nimmt und zu deren Schutz beiträgt. Diese Perspektive kann ggf. auch genutzt werden, um Zahlungen für Ökosystemleistungen zu definieren."*

*Kommission für Bodenschutz – KBU 2019, S.7*

## 1.4 Zuordnung zu globalen Nachhaltigkeitszielen

Ökosystemleistungen können den Sustainable Development Goals (SDGs) aus der Agenda 2030 der Vereinten Nationen zugeordnet werden (Peters et al. 2020). Die zum Quartiersressourcenmanagement passend gewählten Ziele sind mit blauen Umrandungen in der Abbildung 3 gekennzeichnet.

Um die Umsetzung der gesetzten Ziele besser überprüfen zu können, wurden Indikatoren für die global festgelegten Ziele durch die Vereinten Nationen entwickelt (Destatis 2018). Diese werden in der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie durch die Bundesregierung umgesetzt. Hierfür wird jeder Indikator einzeln oder zusammen mit einem inhaltlich eng verbundenen Indikator im Indikatorenbericht des Statistischen Bundesamtes (Destatis) dargestellt. Die vorgestellten Indikatoren zur Einhaltung der SDGs sind dort durch mindestens einen Indikator pro Themenfeld definiert, der politische Zielwert wird genannt und der Inhalt und die Entwicklung des Indikators werden beschrieben. Indikatoren sind eine essenzielle Grundlage, um komplexe Systeme zu monitoren und kontrollieren. Die erfassten Daten zur Umsetzung der Ziele werden durch das Statistische Bundesamt zur Verfügung gestellt (Destatis 2018).

Abbildung 3: Einordnung der Ökosystemleistungen in die SDGs



Quelle: nach Darstellung der Vereinten Nationen (Peters et al. 2020)

Einordnung und Umsetzung der SDGs erfolgen auf vier Ebenen: international – national – lokal – individuell. Die SDGs selbst stellen Handlungsfelder in den verschiedensten Bereichen der Nachhaltigkeit dar, die unterschiedliche Akteure betreffen (Destatis 2018).

Das Prinzip wird im Folgenden am Beispiel des SDG 11: „Nachhaltige Städte und Gemeinden“ verdeutlicht. Auf internationaler Ebene ist z. B. die Initiative der Europäischen Union „Konvent der Bürgermeister für Klima und Energie“ zu nennen. Durch den Austausch von Lösungen und gemeinsamen Verpflichtungen soll dieser den Klimaschutz auf internationaler Ebene voranbringen. Auf nationaler Ebene wurden für das SDG 11 z. B. Gesetzesentwürfe für landesweite Umweltzonen oder Zugang zu bezahlbarem Wohnraum entwickelt. Auf lokaler Ebene sind Kommunen und Städte im Rahmen der Kommunalen Selbstverwaltung verantwortlich für die Umsetzung, z. B. von Vorsorgemaßnahmen vor Naturkatastrophen oder durch bürgernahe Partizipationsangebote zur Einbindung der Bevölkerung in Verwaltungsprozesse. Die unterste Ebene bildet die individuelle Ebene. Hier ist jeder Einzelne gefordert eine nachhaltigere Lebensweise anzustreben und diese zu fördern, über die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel, dem Sammeln von Regenwasser zur Gartenbewässerung oder auch über nachbarschaftliche Nachhaltigkeitsinitiativen. Auf jeder Ebene besteht Handlungsbedarf, um das SDG 11 zu erreichen (Reif und Gehenzig 2017).

Für das SDG 3 „Gesundheit und Wohlergehen“ werden z. B. als Indikatoren gesundheitsbedenkliche Emissionen in Form von Mittelwerten der Indizes der nationalen Emissionen für die Luftschadstoffe Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Stickstoffoxid (NO<sub>x</sub>), Ammoniak (NH<sub>3</sub>), flüchtige organische Verbindungen (VOC) und Feinstaub (PM<sub>2,5</sub>) erfasst. Konkretes politisches Ziel ist es, die Emissionen von Luftschadstoffen bis zum Jahr 2030 um 45 % gegenüber dem Jahr 2005 zu verringern. Die jeweiligen Daten werden vom Umweltbundesamt erfasst. Der Indikator zeigt, dass sich die Emissionen in den letzten Jahren verringert haben, jedoch noch nicht ausreichend, sodass bei gleichbleibender Entwicklung das Ziel für 2030 verfehlt würde (Destatis 2018). Hierbei handelt es sich um einen Belastungsindikator nach dem DPSIR-Modell der Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD), der konkrete Umweltbelastungen darstellt (Linster 2003; Smeets and Weterings 1999).

Grün- und Freiflächen haben eindeutig einen positiven Einfluss auf die Gesundheit und hier insbesondere auf das psychische und soziale Wohlbefinden sowie auf Regenerationsfähigkeit und Resilienz (vgl. bspw. Matsuoka 2010; Mitchell and Popham 2008; Tennesen and Cimprich 1995; Tost und Kirsch 2018; Ward Thompson et al. 2012). Stadtbezogen können Grün- und Erholungsflächen über Grünflächenanteile (absolut oder pro Einwohnende) bestimmt werden. Als Indikatoren kann z. B. die Erreichbarkeit von Grünflächen dienen. Zudem kann die Qualität der Grünflächen für die Erholung erfasst werden. Es kann durch eine detaillierte Erfassung der einzelnen städtischen Grünflächen eine Aussage zur Qualität der Grünflächen und Plätze für die Erholung getroffen werden (Böhnke und Jerutka 2020).

Für das SDG 11 „Nachhaltige Städte und Gemeinden“ können Indikatoren in unterschiedlichen Kategorien Verwendung finden, um die Umsetzung der Ziele zu dokumentieren. Sowohl für die Betrachtung des Freiraumverlustes als auch für die Betrachtung der Siedlungsdichte werden als Datengrundlage die Bevölkerungszahlen und die Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Flächennutzung des Statistischen Bundesamtes verwendet. Eine detaillierte Beschreibung bietet der Indikatorenbericht (Destatis 2018).

Für das SDG 13 „Maßnahmen zum Klimaschutz“ können als Indikator die Emissionen der Treibhausgase (Stoffe oder Stoffgruppen) in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten: Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Lachgas (N<sub>2</sub>O), Stickstofftrifluorid (NF<sub>3</sub>), teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW/HFC), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW/PFC) sowie Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) verwendet werden. Der Bezug zu Ökosystemleistungen besteht hier über die Fähigkeit von Vegetation und vor allem von Stadtbäumen Kohlenstoffdioxid aufzunehmen (Escobedo et al. 2011).

Für kleinere Gebiete wie Stadtteile, könnten mit einer detaillierten Kartierung vorkommende Vogelarten partiell erfasst werden (Mieg und Heyl 2013; Obrist et al. 2012). Dadurch kann die faunistische Biodiversität in Form der Artenvielfalt auf Artebene bestimmt werden (Schönenberger et al. 2003). Dies würde dann beispielsweise zum SDG 15 „Leben an Land“ als Indikator zur Bestimmung der Artenvielfalt einer Landschaft passen.



## 2 Ökosystemleistungen aus Sicht des Ressourcenmanagements

### 2.1 Gründe zur Berücksichtigung von Ökosystemleistungen

Ökosystemleistungen sollten in der Stadt- und auch in der Quartiersentwicklung berücksichtigt werden, da diese die Lebensqualität in Städten stark prägen (Breuste 2019; Dickhaut et al. 2019; Dworczyk und Burkhard 2020; Frick et al. 2020; Kowarik et al. 2017; Wu 2014). Städtewachstum ist geprägt durch einen ansteigenden Flächenverbrauch, um neue Wohnmöglichkeiten für die Stadtbewohnenden zur Verfügung zu stellen (Hutterer et al. 2019; Schmidt 2020). Es wird geschätzt, dass bis 2050 mehr als 70 % der Menschen in Städten leben (Reif und Gehenzig 2017). Aktuell sind es mehr als die Hälfte aller Menschen. In diesem Zusammenhang ist eine nachhaltige Planung von Bedeutung, die mehr Grünflächen und öffentliche Räume für alle Stadtbewohnenden schaffen soll. Eine intakte Umwelt kann zur Konfliktvermeidung beitragen und die Kriminalität und soziale Spannungen in Ballungsräumen verringern (Reif und Gehenzig 2017).

Bei sommerlicher Hitze erwärmen sich Straßen mit Grünflächen weniger stark als vollständig versiegelte Bereiche (Frick et al. 2020). „Unversiegelte Böden leisten wesentliche Beiträge zur Rückhaltung von Schadstoffen und der Versickerung von Niederschlagswasser. So können Kosten für die technische Wasseraufbereitung reduziert, Kanalisationssysteme entlastet und Schadensrisiken durch Überschwemmung gesenkt werden“ (Kowarik et al. 2017, S. 271).

Stadtbäume können nicht nur Feinstaubbelastungen mindern, sondern spenden ab einer gewissen Größe auch Schatten, was den thermischen Komfort in deren Umkreis stark verbessert (Dickhaut et al. 2019). Außerdem reduziert Naturkontakt Stress und fördert die Konzentrations- und Leistungsfähigkeit der Menschen in Städten, was dort aufgrund der höheren Belastungen durch Überwärmung, Feinstaub und Lärm nochmals relevanter ist als im Umland. Somit wirken sich Ökosystemleistungen unmittelbar auf die Gesundheit und die Lebensqualität der Stadtbevölkerung aus (Dosch et al. 2015; Engemann et al. 2019; Mitchell and Popham 2008).

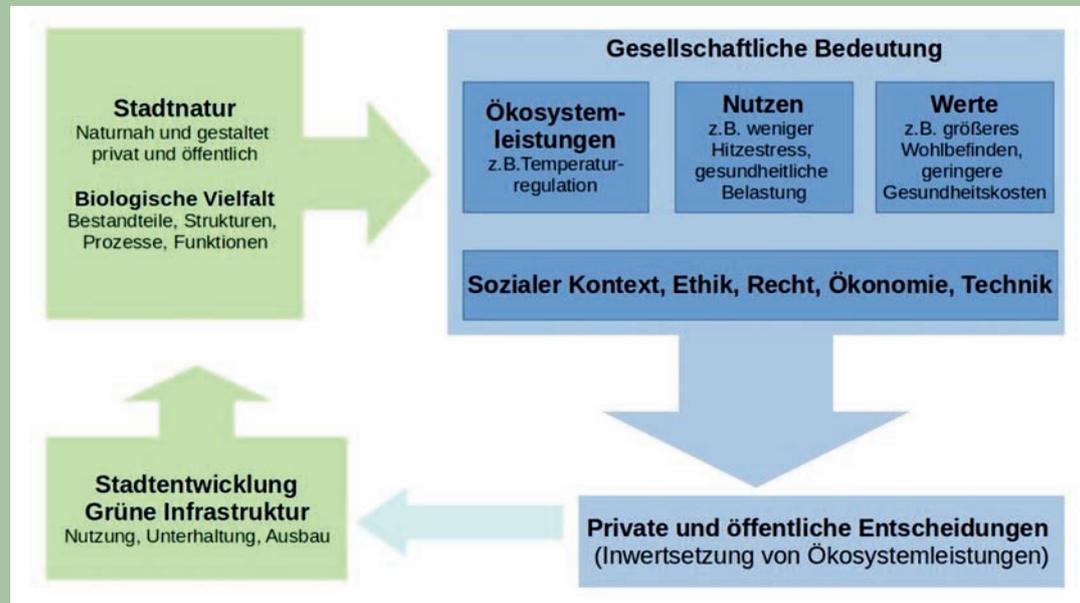
Alle Bestandteile der Stadtnatur vermögen Ökosystemleistungen zu erbringen und tragen somit auch zu einer Verbesserung der Lebensbedingungen in urbanen Gebieten bei (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Auszug ÖSL für Stadtnatur Bestandteile (zusammengestellt nach Bolund and Hunhammar 1999; Kowarik et al. 2017; Niemelä et al. 2010)

Stadtnatur Bestandteil	Beispiele	Ökosystemleistung
Vegetation	Stadtbäume	Luftfilterung
Wasser-/Grünflächen	Künstliche Teiche oder Brunnen, Rasenflächen	Kühlungseffekt auf das Mikroklima
Unversiegelte Grünflächen	Rasenflächen, Beete	Grundwasserneubildung
Grünflächen		Erholungsfunktion für den Menschen, Gesundheitsförderung
Vegetation	Stadtbäume	Kohlenstoffdioxid-speicherkapazität
Vegetation/Grünflächen	Hecken, Sträucher, Beete, Rasenflächen	Biodiversität, Habitatfunktion
Vegetation	Stadtbäume	Beschattung erhöht den Kühlungeffekt auf die unmittelbare Umgebung

Die unterschiedlichen Ausprägungen der Stadtnatur werden durch das Zusammenspiel der ursprünglichen Natur und der ökologischen Neuartigkeit beeinflusst. Das Wirkungsgefüge zwischen Stadtnatur und -gesellschaft in Abbildung 4 zeigt die vielfältigen Einflüsse und Abhängigkeiten zwischen der sozialen Bedeutung von Stadtnatur, privaten und öffentlichen Entscheidungen, Stadtentwicklung und grüner Infrastruktur sowie der Stadtnatur selbst.

Abbildung 4: Wirkungszusammenhang zwischen Stadtnatur und Gesellschaft



Quelle: nach Kowarik et al. 2017, S. 23

Stadtnatur erfasst die typischen Eigenschaften der urbanen Umwelt, die durch "hohe strukturelle Vielfalt, Wärme, trockene und nährstoffreiche Böden und einen meist niedrigen Stand des Grundwassers geprägt" sind (Knapp und Klotz 2017). Mit grüner Infrastruktur ist die Gesamtheit des vorhandenen Stadtgrüns gemeint, die bewusst genutzt, ausgebaut oder unterhalten werden kann (Menke 2020).

Der untere Folgepfeil in Abbildung 4 soll durch die verwendete Farbgebung verdeutlichen, dass die Übergänge zwischen den Themenfeldern fließend sind und sich nicht immer eindeutig einem Kästchen zuordnen lassen. Diese Tatsache macht Bereiche der interdisziplinären Betrachtung und Entscheidung zur Stadtnatur komplizierter. Durch Weitergabe von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen und Messungen zur Stadtnatur, sowie Befragungen der Stadtbevölkerung zum Erholungswert der Stadtnatur, können öffentliche und private Entscheidungen auf einer fundierten Grundlage getroffen werden. Daraus ergeben sich dann weitere Maßnahmen und Handlungen für die Stadtentwicklung und die Verankerung und Förderung einer grünen Infrastruktur. Hier schließt sich dann der Kreis und aus der Stadtentwicklung folgt wieder die Stadtnatur, da diese einen zentralen Bestandteil der Stadtentwicklung darstellt (Kowarik et al. 2017).



## **2.2 Themen und Ziele**

### **2.2.1 Klimaanpassung urbaner Räume**

Durch den Klimawandel werden sich die Bedingungen, die wir heute in den Städten kennen und an die wir uns im Laufe vieler Jahrhunderte angepasst haben, drastisch verändern. Nach derzeitigen Prognosen wird in Deutschland der Winter milder, was sich innerstädtisch positiv auf die Heizlast und den damit verbundenen, teils klimaschädlichen Ressourcenverbrauch auswirken wird. Im Sommer werden deutlich höhere Maximaltemperaturen, längere Hitzeperioden ohne kühlende Regenereignisse dazwischen erwartet, sowie vermehrt Starkregenereignisse mit entsprechenden Risiken für Gesundheit und Infrastruktur (Knapp und Klotz 2017).

Im Vergleich zu südlichen Ländern, deren Städte und Stadtnatur planerisch auf hohe Sommertemperaturen und Dürren ausgelegt sind, war dieser Aspekt in Deutschland lange von untergeordneter Bedeutung. Das bedeutet, dass die hiesige Stadtstruktur, Einzelgebäude, Pflanzenarten usw. nicht speziell auf Hitzesommer ausgerichtet sind (Leuschner 2021).

Die Auswirkungen davon sind stadtspezifisch und heute noch schwer abzuschätzen (Goldberg et al. 2020; Queck et al. 2019; Stiftung Die Grüne Stadt 2010). Klar ist jedoch, dass in Zukunft mehr an öffentliche Grünflächen und eine ressourcenschonende Verminderung der Erwärmung außerhalb und innerhalb der Gebäude gedacht werden muss (Beermann et al. 2014). Die Gebäudeklimatisierung mit Klimaanlage hat negative Auswirkungen auf den Außenraum und durch den hohen Energieverbrauch auch auf den Klimaschutz und wird somit kritisch gesehen (Kröll et al. 2016). Die Bedeutung von ÖSL in Städten zur Verringerung der Hitzebelastung der Menschen im Sommer nimmt deutlich zu, da Grünflächen nachweislich einen Kühlungseffekt auf das Mikroklima zeigen (Kowarik et al. 2017).

Um die Stadtbevölkerung stärker in die bevorstehenden Entwicklungen einzubinden und zu informieren, ist es sinnvoll verschiedene Themenfelder greifbar und anschaulich aufzubereiten und zu präsentieren. So werden komplexe Zusammenhänge und Themen zwar vereinfacht dargestellt, zeigen aber doch deutlich den aktuellen IST-Zustand und die zukünftigen Entwicklungen. Geoinformationssysteme (GIS) bieten eine Möglichkeit, auch den räumlichen Bezug in Form von Karten darzustellen. Mittlerweile besitzen viele Städte ein eigenes Geoportal oder Bürger-GIS, in dem sich Interessierte Originaldaten aus Erfassungen ansehen können wie z. B. das städtische Baumkataster, die Lärmbelastung oder die Bebauung der ausgewählten Stadtteile.

### **2.2.2 Beitrag zu Gesundheit und Lebensqualität**

Städte sind der Lebensraum des Menschen. Somit ist es folgerichtig, dass wir uns auch eine Umwelt bauen sollten, in der wir gut leben können. Leider ist dies nicht immer möglich oder gegeben, was z. T. auf Unwissenheit von äußeren Einflussfaktoren zurückzuführen ist. Um in Städten gesund leben zu können, sollten Hitze, Luftbelastung und Lärm in unmittelbarer Umgebung möglichst gering sein. Eine grüne Infrastruktur wirkt sich positiv auf Gesundheit, Lebensqualität und Lebenserwartung des Menschen aus (Engemann et al. 2019; Kowarik et al. 2017; Mitchell and Popham 2008).

### **2.2.3 Auswirkungen auf ökonomische Aspekte**

Durch Grünflächen erfolgt eine Aufwertung von Quartieren. Dabei sind Gestaltung, Aufenthaltsqualität, Zugänglichkeit und Grünpflege von zentraler Bedeutung. In Folge dessen können die Preise der umliegenden Immobilien erheblich ansteigen. Somit besitzen Grünflächen einen direkten wirtschaftlichen Wert: Sie wirken sich als weicher Standortfaktor positiv auf Wohnstandorts- und Investitionsentscheidungen sowie auf Boden- und Immobilienpreise aus. Sie sind dadurch direkter und indirekter Bestandteil der wirtschaftlichen Entwicklung (Dosch et al. 2015). In diesem Zusammenhang sind natürlich die negativen Effekte einer möglicherweise durch den Ausbau der grünen Infrastruktur induzierten Gentrifizierung zu beachten. So kann es sein, dass durch Investitionen in den Ausbau grüner

Infrastruktur in einem Wohnquartier auch Mieten ansteigen und dadurch eine Verdrängung einkommensschwächerer Schichten stattfindet. Hier müssen notfalls weitere Mechanismen wie die Mietpreisbremse oder der soziale Wohnungsmarkt genutzt werden, um gegenzusteuern. Grüne Infrastruktur soll für alle Einkommensschichten in der Stadtbevölkerung erreichbar und nutzbar sein. Somit ergeben sich Zielkonflikte zwischen ökologisch nachhaltiger und sozialverträglicher Stadtentwicklung (Haase 2016; Loorbach et al. 2017).

#### 2.2.4 Erhöhung der Aufenthaltsqualität von öffentlichen Räumen

Öffentliche Grünanlagen sollten für einen Aufenthalt ansprechend gestaltet sein. Mögliche Einflussfaktoren sind hierbei Lage und Größe der Grünanlage. Einen Einfluss auf die Erholungsfunktion von Stadtnatur hat auch die umgebende Geräuschkulisse. Damit die Lärmbelastung der öffentlichen Grünflächen durch externe Einflüsse möglichst gering gehalten werden, sollte sich diese etwas abseits von vielbefahrenen Straßen befinden. Auch eine Mischung von unterschiedlichen Biotoptypen, z. B. von Rasenflächen, Rabatten und Beeten oder Hecken sollte angestrebt werden (Manfrahs 2020).

#### 2.2.5 Unterstützung einer Selbstversorgung

Die Selbstversorgung in der Stadt ist durch die Nutzung von Haus-, Schreber- und Gemeinschaftsgärten in Teilen möglich. Die Transportwege von Nahrungsmitteln werden verringert und der gemeinsame Anbau im Falle der Gemeinschaftsgärten schafft soziale Interaktion. Dieses urbane Gärtnern ist im englischsprachigen Raum als urban gardening bekannt, das Konzept dahinter aber dasselbe. Durch den Aufwand und die Freuden des eigenen Lebensmittelanbaus werden diesen mehr Bedeutung zugesprochen (Adam 2021; Dosch et al. 2015). Im Gegensatz zu eher kleinräumig angelegten Urban Gardening-Projekten gibt es auch Urban Farming-Projekte, bei denen ein Anbau von Lebensmitteln in etwas größerem Maßstab vorgesehen ist (Wille et al. 2017).

Tabelle 3: Betrachtung der Bestandteile von urbanem Gärtnern und urbaner Landwirtschaft (nach Wille et al. 2017)

Urbanes Gärtnern (Urban Gardening)	Urbane Landwirtschaft (Urban Farming)
Anbau von Lebensmitteln für den privaten Gebrauch	Anbau von Lebensmitteln in größerem Maßstab
Lebensmitteln wird durch eigenen Anbau eine höhere Wertschätzung entgegengebracht	Erzeugung, Verarbeitung und Vermarktung von Lebensmitteln
Wiedererlangung handwerklicher und gärtnerischer Kenntnisse	Essentieller Bestandteil einer nachhaltigen Stadtentwicklung
Sozialer Austausch	Stadtpolitik: produktive Stadtlandschaft oder essbare Stadt)



### **2.2.6 Integrierte Stadtentwicklung**

Die Städte der Zukunft werden andere Planungsschwerpunkte haben als die bisheriger Ausprägung, bei denen häufig das Leitbild der autogerechten Stadt im Fokus steht. Unter den Begriffen CO<sub>2</sub>-neutrale oder menschengerechte Stadt werden die Zielvorstellungen einer anders geprägten Mobilität in Städten entwickelt und umgesetzt. Durch eine Veränderung des Mobilitätskonzeptes wird es viele Nach- und Umnutzungen bestehender Flächen geben. Um diese dann nicht als Parkflächen voll zu versiegeln, sondern auch die Schaffung von Biotopen in Betracht zu ziehen, sollten in der Stadtentwicklung deutliche Vorgaben gemacht werden. Die Gestaltung der Stadt der Zukunft wird von den Handlungsfeldern Bebauungsdichte, bauliche Struktur, Infrastruktur, Mobilität, Ökosysteme und dem Umgang mit Ressourcen geprägt. Zudem spielen die Aspekte wie Arbeiten, Wohnen, Eigentum, Sicherheit, Partizipation und Ästhetik nach wie vor eine Rolle (von Borries und Kasten 2019). Die Forderung, die vielfältigen ÖSL zum Wohle der Menschen zu schützen wird Eingang in die Bauleitplanung auf verschiedenen Ebenen finden müssen. Dies umfasst u. a. Fassaden- und Dachbegrünungen genauso wie ausreichend große Grün- und Freiflächen, spezielle Biotopgestaltungen und Baumanpflanzungen. Nur so können zukunftsfähige, resiliente Städte entwickelt werden. Somit rücken Grün- und Freiflächenentwicklung, klimaangepasstes und -schützendes Bauen und der nicht CO<sub>2</sub>-ausstoßende Verkehr in den Mittelpunkt.

### **2.2.7 Schaffung ökonomischer Anreize**

Damit sich etwas ändert, müssen auch ökonomische Anreize geschaffen werden, um Ökosystemleistungen bei Entscheidungen zu berücksichtigen. Wenn sich Flächensiegelungen nicht zusätzlich zum ökologischen Gewinn auch ökonomisch lohnten, werden diese bei der Planung oft gar nicht in Betracht gezogen. Hierzu können Ökosystemleistungen monetarisiert werden, wie z. B. die CO<sub>2</sub>-Speicherung durch Vegetation, die Beschattung durch Bäume, die Energieeinsparung durch Fassaden- und Dachbegrünung u. v. m. Hierzu werden Analoga herangezogen, z. B. Kosten der Wasseraufbereitung vs. die Sickerwasserreinigung bei der Bodenpassage oder die Zahlung von Eintrittsgeldern zu Parks vs. der kostenlosen Nutzung von Grünflächen. Auch die fiskalische Bewertung von Biotopen zur Berechnung von Ausgleichsmaßnahmen fällt in diesen Bereich. Weiterhin können ökonomische Anreize für ein ökologischeres Handeln durch Gebühren, ähnlich wie Entgelte für Abwasser und Abfall, geschaffen werden. Weitere Möglichkeiten sind handelbare Zertifikate für Flächenausweisungsrechte und der kommunale Finanzausgleich (Kowarik et al. 2017).

### **2.2.8 Ressourcenschonung**

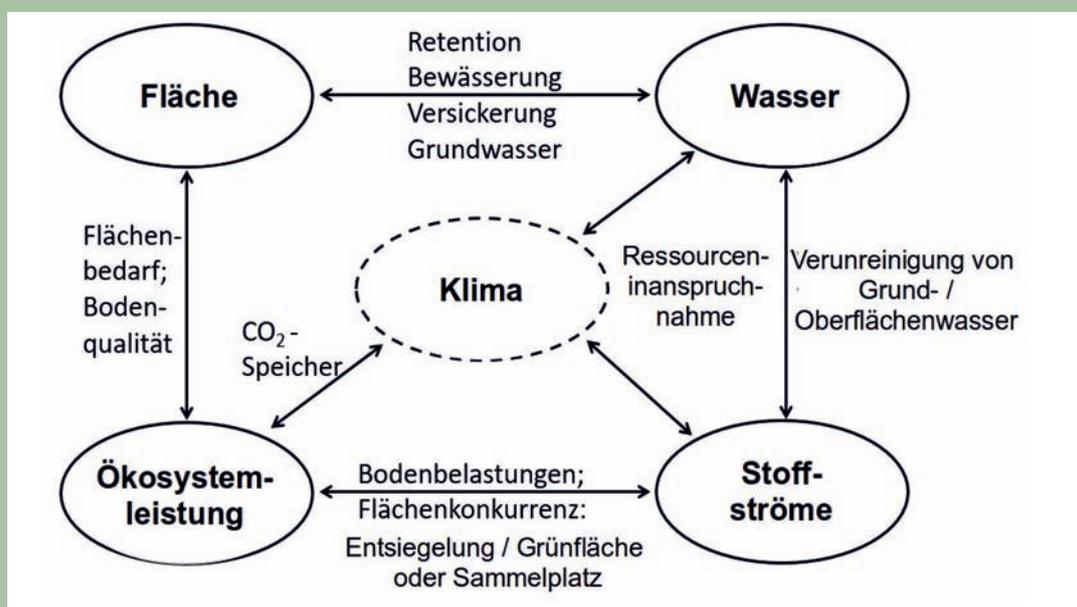
Die Sicherung der Ökosystemleistungen und die Ressourcenschonung sind eng miteinander verknüpft. Ohne vorhandene Ressourcen gibt es keine Ökosystemleistungen und ohne Ökosystemleistungen keinen angenehmen Lebensraum. „Ressourcenschonung bedeutet, Rohstoffe, natürliche Ressourcen und somit Leistungen der Umweltsysteme (wie die Aufnahmefähigkeit von Schadstoffen, Wasserverfügbarkeit, Klimastabilität oder Bodenfruchtbarkeit) zu nutzen, ohne sie zu destabilisieren. Für gewisse Rohstoffe bedingt dies eine weitgehende Substitution, wie etwa bei fossilen Energieträgern. In vielen anderen Bereichen sind neue ressourcenschonende und in Kreisläufen funktionierende Lösungen angezeigt.“ (Bundesamt für Umwelt – BAFU 2020). Ökosystemleistungen bauen Ressourcen auf. So führt die Filterung von durch den Boden perkolierendem Regenwasser zur Bildung der Ressource Grundwasser. Die Ökosystemleistung Photosynthese bildet freien Sauerstoff, der zum Atmen benötigt wird, also auch im weiteren Sinne eine Ressource. Bodenbildungsprozesse lassen Moore entstehen und produzieren die Ressource Torf, die CO<sub>2</sub> bindet. Diese zu schonen und nicht in Gartenmärkten zu verkaufen oder als Brennstoff zu verfeuern ist eine wichtige Forderung zum Klimaschutz. Auch die Ökosystemleistung Baumwachstum bindet CO<sub>2</sub> und führt zum Aufbau der Ressource Holz. Eine Möglichkeit das gebundene CO<sub>2</sub> vor einer Freisetzung zu bewahren, ist die verstärkte Holznutzung im Gebäudebau. Frei- und Grünflächen stellen die Grundlage für vielfältige Ökosystemleistungen dar, die durch eine Versiegelung zerstört werden würden. Auch Flächen sind Ressourcen und entsprechend schonend zu nutzen. So ist gerade auch für Innenbereiche der Städte ein sorgsamer Umgang mit verbliebenen und neu einzuplanenden Freiflächen zu fordern.

### 3 Beziehungen zu übrigen Ressourcen

Wie der Abbildung 5 zu entnehmen ist, handelt es sich bei Ökosystemleistungen um einen Teilaspekt eines komplexen interaktiven Beziehungsgeflechtes einzelner Ressourcen. Die Doppelpfeile zeigen die gegenseitigen direkten Wechselwirkungen auf. Über den zusätzlich ergänzten Punkt des Klimas sind Ökosystemleistungen und die Ressource Wasser indirekt verbunden.

Dieser Sachverhalt ist auf die Interaktion zwischen Böden und Oberflächen in Bezug auf die Versickerungskapazität zurückzuführen. Wenn Wasser als auftreffender Regen direkt in den offenen Boden versickern kann, bildet sich neues Grundwasser in tieferen Bereichen des Untergrundes. Ist der Boden aber vollständig versiegelt, läuft der auftreffende Regen oberflächlich ab, wird in die Kanalisation eingeleitet und steht somit nicht mehr für eine Grundwasserneubildung zur Verfügung (Umweltbundesamt 2018).

Abbildung 5: Wechselwirkungen zwischen Handlungsfeldern



Quelle: KIT, Kai Mörmann 2021



## **4 Stadtgrün und dessen Ökosystemleistungen**

### **4.1 Definition des Stadtgrüns**

Stadtgrün umfasst die Grünflächen und die begrünten Gebäude einer Stadt. Darunter fallen Stadtwälder, Parkanlagen, unversiegelte Brachflächen, Alleen, Einzelbäume, Friedhöfe, Gärten, Kleingärten, begrünte Innenhöfe und Balkone, Rabatten, Spielplätze, Sportanlagen, Dach-, Fassaden- und Innenraumbegrünungen u. v. m. (Dosch et al. 2015).

Es kann zwischen geplantem und spontan wachsendem Grün unterschieden werden. Sind Gärten und Parks zu großen Teilen vom Menschen angelegt, finden sich in der Stadt immer wieder Bereiche spontan wachsenden Grüns, so z. B. die Pflasterritzenvegetation, Gräser und Kräuter an Hauswänden und Litfaßsäulen oder um Laternenpfähle herum, ein spontaner Bewuchs offener Baugruben und ungenutzter Industrieflächen oder nicht mehr befahrener Gleisanlagen. Durch diverse Bebauungsstrukturen verfügt die Stadt über einen großen ökologischen Reichtum, der sich nicht nur in einer hohen Artenvielfalt der Pflanzen, sondern auch der oberirdisch lebenden Tierwelt auszeichnet. Nicht umsonst beherbergen Städte nach den Flussauen in Deutschland die höchste Artenvielfalt (Breuste et al. 2016; Reichhoff 2007). Weiterhin sind in Städten aufgrund erhöhter Temperaturen und niedrigerer Luftfeuchten gegenüber dem Umland häufig auch Neophyten und Neozoen (nach der Entdeckung Amerikas zugewanderte Arten) anzutreffen, die in diesem besonderen Stadtklima konkurrenzstärker sind als die heimischen Arten.

### **4.2. Ökosystemleistungen städtischer Grünflächen**

Die Ökosystemleistungen der städtischen Grünflächen sind sehr vielfältig und aus einer funktionsfähigen Stadt nicht wegzudenken. Sie betreffen u. a. die Abkühlung der urbanen Wärmeinsel, Beiträge zum Hochwasserschutz und der Minderung der Konsequenzen von Starkregenfällen, die CO<sub>2</sub>-Fixierung, die Verbesserung der physischen, psychischen und sozialen Gesundheit der Bevölkerung, den Schutz und die Förderung der Biodiversität oder die Nahrungsproduktion.

Im Kontext urbaner Grünflächen werden vor allem Parks, Stadtwälder, Brachflächen, Einzelbäume, private Gärten, Dach- und Fassadenbegrünungen betrachtet, da diese urbane Ökosystemleistungen in größerem Umfang zur Verfügung stellen. Jedoch dürfen kleinere Flächen des städtischen Grüns, wie z. B. Pflasterritzen oder Mauern, die gleichermaßen bewachsen sind, nicht vergessen werden, da sie vor allem in ihrer Summe durchaus relevante Beiträge zur Biodiversität und den Ökosystemleistungen in einer Stadt zu leisten vermögen. Letztlich ist festzuhalten, dass die urbanen Bereiche natürlich in höchstem Maß anthropo-zentrisch geprägt sind und es diese Ökosysteme ohne Einfluss des Menschen nicht geben würde (Dworczyk und Burkhard 2020).

### **4.3 Ziele einer grüneren Stadtentwicklung**

Für eine lebenswerte Stadt der Zukunft wird der Ausbau mehr grüner Infrastruktur angestrebt, da diese den urbanen Raum positiv in Bezug auf Lebensqualität und Gesundheit beeinflussen. Stadt und Natur sollen nicht getrennt gedacht, sondern in einer grüneren Stadtentwicklung vereint werden. Durch die Sanierung eines Stadtgebietes wird die Qualität der Wohnquartiere für verschiedene Bevölkerungsgruppen wieder attraktiver gestaltet. Bisher finden die positiven Auswirkungen der grünen Infrastruktur auf die Umgebung nur selten bei Sanierungsprojekten oder zukünftigen Stadtplanungen Berücksichtigung (Dworczyk und Burkhard 2020; Szücs et al. 2019).

*„Green City Konzept: Integration von mehr Grünflächen und mehr Natur in die Stadt, Erhöhung der Wohlfahrtsleistungen für die Stadtbewohnenden“*

*Newman and Desha 2020; Pace et al. 2016*

Ökosysteme bestehen immer aus der Lebensgemeinschaft und dem Lebensraum. Für den Menschen ist dieser Lebensraum z. B. die Stadt, wodurch er die Natur verändert, ähnlich wie Biber beim Dammbau. Herausforderung dabei ist es, die Natur nicht so zu verändern, dass die eigene Lebensgrundlage nicht mehr gewährt ist bzw. die in diesem Falle für den Menschen wichtige ÖSL nicht mehr bereitgestellt werden können. Der Blick auf Stadt und Natur als Gegenpole in der Stadtplanung, wie er zu Zeiten der Industrialisierung dominierte, muss daher überwunden werden. Das Bestreben muss es sein, Stadtnatur in Form von Stadtgrün in die Planung einzubeziehen, da eine Stadt nur dann ein gesundes Umfeld für den Menschen darstellt, wenn diese als Ökosystem des Menschen verstanden wird und die für ihn wichtigen ÖSL gewahrt sind. Hierzu gehören ausreichende Grün- und Freiflächen.

Eine gängige Form der angewandten Stadtentwicklung bildet das Konzept der doppelten Innenentwicklung (Böhm et al. 2016; Kowarik et al. 2017). Dieses besagt, dass Flächen im urbanen Raum baulich und in Bezug auf urbanes Grün entwickelt werden sollen. Hierbei werden Stadt und Natur nicht mehr als getrennte, sondern als verzahnte Elemente betrachtet. „Auf diese Weise sollen der offene Landschaftsraum vor weiterer Flächeninanspruchnahme und zusätzlichen baulichen Eingriffen geschützt und gleichzeitig die ökologischen Funktionen des urbanen Grüns bewahrt und entwickelt sowie der Siedlungsraum durch Maßnahmen der Freiraumentwicklung qualifiziert werden“ (Böhm et al. 2016, S.16 und 17).

#### 4.4 Verbesserung des Mikroklimas – Stadtgrün

Mikroklima wird definiert als das Klima im Bereich bodennaher Luftschichten (Deutscher Wetterdienst – DWD 2022). In Städten ist es z. B. zwischen Gebäuden, in Hinterhöfen oder Straßenräumen und auf Plätzen, in Parks oder Gärten zu finden. Wesentlich beeinflusst wird das Mikroklima durch die Bebauungsstruktur, die gewählten Baumaterialien, die Wärme- und Strahlungsverteilung sowie die Luftfeuchte und die Windverhältnisse. Stadtgrün und unversiegelte Böden tragen durch Verdunstungsleistungen zur Abkühlung bei, genau wie die Beschattung durch Bäume. Der Wirkungsgrad von Stadtgrün auf das Mikroklima hängt immer mit der umliegenden Bebauung zusammen (Stiftung Die Grüne Stadt 2010). Außerdem spielt bei der Kühlungsleistung des Umfeldes die Größe der Grünflächen eine Rolle (Jaganmohan et al. 2016; Knapp und Klotz 2017). Gerade große offene Flächen können in Folge nächtlicher Ausstrahlung erheblich zur Abkühlung der Stadt und zum Wohlbefinden der Menschen beitragen. „Jede versiegelte Fläche kann durch ihre Entsiegelung zu einem besseren Stadtklima beitragen. Innenhöfe und Plätze, die mit einem natürlichen Bodenbelag ausgestattet und begrünt sind, wirken wie kleine Oasen in der städtischen Betonwüste und sorgen für ein angenehmeres Stadtklima“ (Stiftung Die Grüne Stadt 2010).

Im Folgenden werden die für Quartierskonzepte relevanten ÖSL genauer betrachtet und definiert. Diese beziehen sich auf das Stadtgrün privater und öffentlicher Hinterhöfe, das Straßenbegleitgrün und das Grün öffentlicher Plätze. Größere Grünflächen und Parks waren nicht Teil der Betrachtungen. Alle weiteren ÖSL innerhalb von Städten, beschreibt die einschlägige Literatur (Breuste et al. 2016; Deppisch und Pyka 2021; Dworczyk und Burkhard 2020; Kowarik et al. 2017; Lienhoop und Schröter-Schlaack 2018).



#### **4.4.1 Verdunstungskühlung**

Die Verdunstungskühlung ist die Fähigkeit von Vegetation ihre unmittelbare Umgebung durch den Prozess der Verdunstung von Wasser auf der Pflanzenoberfläche zu kühlen. Dadurch entsteht ein deutlich angenehmeres Mikroklima im Umfeld von Vegetation verglichen mit typischen innerstädtischen Baustoffen wie beispielsweise Beton, Asphalt oder Glas. Die Verdunstungskühlung kann aber nur dann wirksam sein, wenn Wasser vorhanden ist (Breunig 2017).

#### **4.4.2 Unversiegelte Flächen**

Unversiegelte Flächen bedeuten im Regelfall auch Wasseraufnahme. Der auftreffenden Regen kann versickern, so dass gerade bei Starkregenereignissen der oberflächige Abfluss vermindert und dadurch Überschwemmungen vermieden werden kann. Ähnlich ist der Beitrag im Falle von Hochwassern. Die unversiegelten Flächen leisten einen wichtigen Beitrag zur Grundwassererneuerung, da ansonsten das Wasser direkt dem Vorfluter zugeführt wird. Die Verdunstung an der Oberfläche unversiegelter Flächen trägt zur Abkühlung der aufgeheizten städtischen Umgebung bei. Pflanzen und Bäume reduzieren zudem den Eintrag von Sonnenenergie auf den Boden und damit die Erwärmung dieser Flächen. Zur Optimierung der nächtlichen Abkühlung durch die langwellige Abstrahlung der tagsüber aufgenommenen Wärme sind niedrig wachsende Pflanzen, wie Gräser, von Vorteil (Frick et al. 2020).

Beispielsweise konnte mithilfe einer Story Map in Form einer GIS-Kartendarstellung zum Thema Aufheizung eine interaktive Website für die Menschen zur Verfügung gestellt werden. Hierdurch kann ein größeres Bewusstsein für den Wärmeinseleffekt in Städten in der Bevölkerung geschaffen werden. In den Karten kann die hohe Aufheizung von vollständig versiegelten Flächen oder Plätzen dargestellt und exemplarisch durch Fotoaufnahmen der dargestellten Bereiche ergänzt werden (Liegenschaftsamt Stadt Karlsruhe, Umwelt- und Arbeitsschutz 2021).

#### **4.4.3 Beschattung**

Ab einer gewissen Größe spenden Stadtbäume in sonst der direkten Sonnenstrahlung ausgesetzten Straßenzügen Schatten. Die durch die Baumkronen dieser Bäume beschatteten Bereiche können an sonnigen Tagen zur Abkühlung und zum Aufenthalt im verschatteten Bereich dienen (Dickhaut et al. 2019; Streckenbach 2021).

Auch Fassadenbegrünungen besitzen eine beschattende Komponente. Sie verhindert die Aufheizung der Häuserwände, die diese Wärme in der Nacht wieder in den Straßenraum abstrahlen würden. Zudem gibt es an Hauswänden mit Fassadenbegrünung weniger Rückstrahlung in den Straßenraum als dies z. B. an stark reflektierenden Glasfronten oder weiß verputzten Fassaden der Fall wäre. Durch die geeignete Wahl der Pflanzenarten für die Fassadenbegrünung kann zudem ein wichtiger Beitrag für das Gebäudeinnenklima geleistet werden. Während an Nordfassaden grüne Pflanzen im Sommer zu einem besseren Außenraumklima und im Winter zur Wärmedämmung beitragen, kann eine ihre Blätter im Winter verlierende Fassadenbegrünung in Südexposition zur Aufwärmung des Gebäudes durch die Sonne und damit zu Energieeinsparungen durch einen verringerten Heizbedarf beitragen (Dettmar et al. 2016).

#### **4.4.4 CO<sub>2</sub>-Bindung durch Stadtgrün**

Innerhalb von Städten wird durch den Straßenverkehr und andere Abgasquellen Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) produziert. Ein Teil dieses produzierten CO<sub>2</sub> wird durch Stadtgrün, insbesondere Stadtbäume aufgenommen. Durch den Prozess der Photosynthese wird aus dem CO<sub>2</sub> Kohlenstoff für die Holzentwicklung und Sauerstoff, der wieder an die Umgebung abgegeben wird. Straßenbereiche mit viel Stadtgrün, beispielsweise in Form einer Baumallee, heizen sich weniger auf als Straßenbereiche ohne Stadtgrün (Klein und Schulz 2011; Kowarik et al. 2017).

#### 4.4.5 Schutz der Artenvielfalt und Rückzugsort für Insekten

Biodiversität ist ein sehr weit gefasster Begriff und bezeichnet die Artenvielfalt. Im Kontext mit der Biodiversität in Städten liegt der Fokus auf der Artebene, das bedeutet, die Anzahl unterschiedlicher Arten wird erfasst. In urbanen Gebieten können sowohl viele nicht einheimische als auch einheimische Arten gefunden werden. Städte besitzen ein großes Potenzial, eine hohe Biodiversität auszuprägen. Hierfür muss Stadtgrün erhalten werden, um Lebensraum für Pflanzen und Tiere zu schaffen (Knapp und Klotz 2017; Kowarik 1992).

Städte wurden allerdings früher im Gegensatz zu Dörfern, insbesondere zur umgebenden Natur als artenarm und eher als lebensfeindlicher Ort für Flora und Fauna angesehen. Dies war in Zeiten der Industrialisierung mit hoher Luft-, Boden- und Gewässerverschmutzung sicherlich berechtigt. Heute ist dies nicht mehr der Fall, da in den vergangenen Jahrzehnten, jedenfalls in den wirtschaftlich starken Ländern der Erde, vielfältige Maßnahmen gegen diese Umweltbelastungen erfolgreich eingeführt wurden.

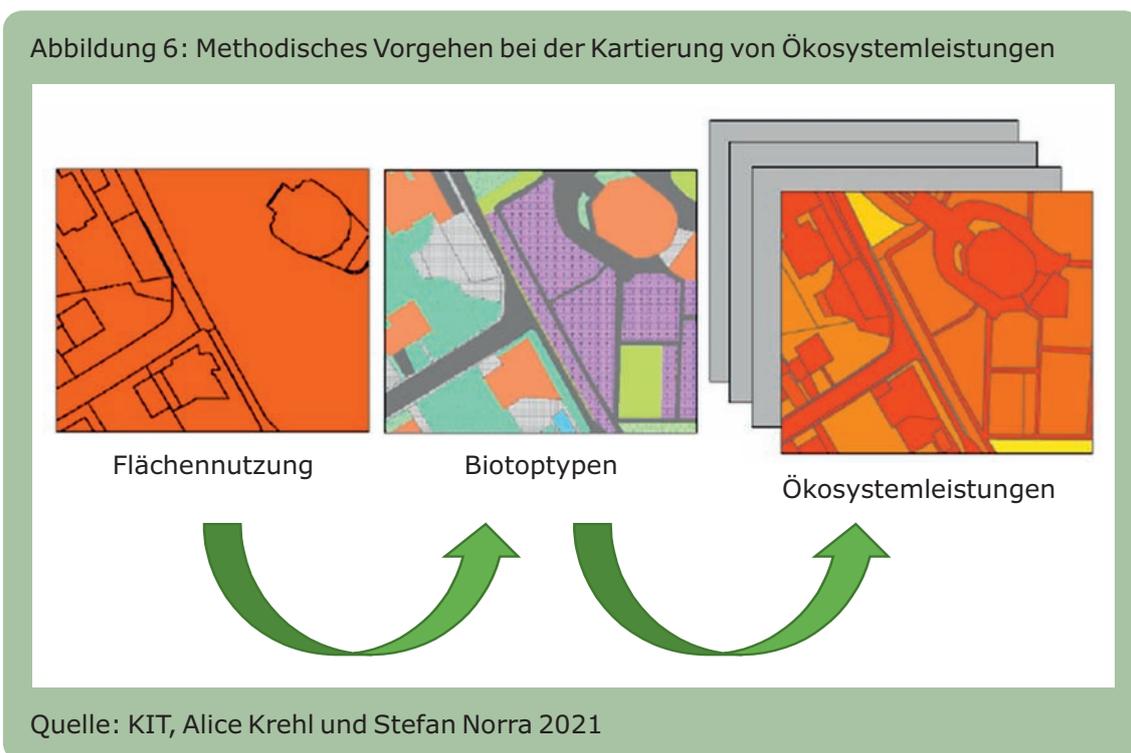
Diese Maßnahmen werden heute noch sukzessive verschärft. Durch großflächige, deutschlandweite Flurbereinigungsmaßnahmen ging parallel zu diesem Prozess viel wilde, ungenutzte und artenreiche Natur verloren. Heckenstrukturen, Wildblumenwiesen, Einzelbäume und Baumgruppen in der Landschaft wurden vernichtet. Heute kann festgestellt werden, dass sogar in den Naturschutzgebieten die Artenzahl, aber vor allem die Masse an Insekten in den letzten 30 Jahren dramatisch zurückging (Hallmann et al. 2017). Ackerunkräuter sind heute mehr in Dörfern und Städten zu finden als auf intensiv bewirtschafteten landwirtschaftlichen Flächen. Daher gewinnen in Dörfern und Städten vor allem Brachflächen, wenig gepflegte Wegränder sowie Gärten usw. für den Artenschutz und den Erhalt der Biodiversität enorm an Bedeutung – sowohl für Pflanzen als auch für Tiere, wie z. B. Insekten, Vögel oder Säugetiere (von Borries und Kasten 2019).



## 5 Kartierung der ÖSL von Stadtgrün

### 5.1 Zusammenhänge Biotope und ÖSL

In diesem Kapitel wird die Erfassung vorliegender ÖSL mithilfe einer Kartierung der Flächennutzung und der Biotoptypen beschrieben (Abbildung 6). Gerade in Städten sind die räumlichen Ausdehnungen von Biotopen oft an Flächennutzungen gebunden, die sich wiederum stark an die Eigentums Grenzen der einzelnen Flächen bzw. die flächenhaften Vorgaben der Bebauungspläne halten. Aus den Biotoptypen können dann die entsprechenden ÖSL abgeleitet werden, solange der gewählte Biotoptypenschlüssel auch die wesentlichen Bebauungsstrukturen berücksichtigt. Neben flächenhaft ausgeprägten Biotoptypen sind allerdings, je nach Aufgabenstellung, auch Punkt- und Linienbiotope mit zu kartieren. Nach der Kartierung im Gelände findet die Digitalisierung der erfassten Daten statt, um deren automatisierte Auswertung in einem Geoinformationssystem (GIS) zu ermöglichen.



### 5.2. Kartierschlüssel für Biotoptypen

Eine Biotoptypenkartierung ist die Erfassung der vorkommenden Biotope im Gelände. Die Kartierungsart ist landesspezifisch, kann aber, basierend auf den gängigen landesüblichen Leitfäden, in jedem Bundesland durchgeführt werden. In Baden-Württemberg findet der Kartierschlüssel für Biotope der Landesanstalt für Baden-Württemberg (LUBW) Anwendung (LUBW 2018), der unterschiedliche Biotoptypen eindeutig definiert. Dieser Schlüssel wurde für das Offenland entwickelt und bezieht sich auf die dort vorkommenden Biotoptypen. Vorteil dieses einheitlichen und weit verbreiteten LUBW-Kartierschlüssels ist die Tatsache, dass dieser allen Planungsbüros bekannt, die Vorgehensweise klar und die Anwendung relativ einfach und zügig machbar ist. Nachteile sind, je nach Gebietsgröße, der z. T. hohe Arbeitsaufwand, die oft fehlende Einzelartenkartierung wertgebender Arten und die nicht vorhandene Unterscheidung heimischer und nichtheimischer Arten. Somit lässt sich dieser Kartierschlüssel nur eingeschränkt eins zu eins im innerstädtischen Gebiet verwenden.

Deshalb wurde z. B. für die Stadt Karlsruhe eine Anpassung des LUBW-Kartierschlüssels auf den innerstädtischen Raum vorgenommen, um in diesen Gebieten eine aussagekräftigere Biotoptypenkartierung zu ermöglichen. Dieser Schlüssel (nach Breunig) stellt eine Verfeinerung des allgemeineren LUBW-Kartierschlüssels dar und nutzt dieselben Bezeichnungen und Nummern für die unterschiedlichen Biotoptypen.

Nach Breunig (2017) erfolgt eine detaillierte Unterteilung der in innerstädtischen Gebieten häufig vorkommenden Biotoptypen, die aufgrund der höheren Dichte in Städten auch kleinräumiger erfasst wurden als dies im Offenland der Fall ist.

Die Verteilung der Wertpunkte pro Biotoptyp wurde hierin so angepasst, dass die Bewertung besser für den innerstädtischen Raum anzuwenden ist. Ein konkretes Beispiel ist der Biotoptyp 60.22 "Gepflasterte Straße oder Platz", bei dem im Breunig-Kartierschlüssel zur Zuordnung der Wertpunkte zwischen Flächen mit Fugenbewuchs und Flächen ohne Fugenbewuchs unterschieden wird. Dies ist besonders im Hinblick auf die Abgrenzung zu anderen Biotoptypen von vollversiegelten Flächen von Bedeutung. So werden dem Biotoptyp 60.21 "Völlig versiegelte Straße oder Platz" und dem Biotoptyp 60.22 "Gepflasterte Straße oder Platz" ohne Fugenbewuchs jeweils ein Wertpunkt zugeordnet. Dem Biotoptyp 60.22 mit Fugenbewuchs können hingegen nach dem Breunig-Kartierschlüssel zwei Wertpunkte zugeordnet werden.

### **5.3 Beispiel: Kartierung in der Innenstadt Ost in Karlsruhe**

Im Projekt „NaMaRes“ wurde die Innenstadt Ost in Karlsruhe untersucht, die von dichter Blockrandbebauung geprägt ist und daher keine großflächigen grünen Infrastrukturelemente vorweist. Daher wurden hier die vielen, kleinteiligen Biotope (private Hinterhöfe) und Einzelbäume (Straßenbäume, Bäume in Hinterhöfen und auf Plätzen) und ihre Ökosystemleistungen untersucht.

Um eine Biotoptypenkartierung im innerstädtischen Gebiet durchführen zu können, bedarf es einer soliden Datenbasis, am besten Originaldaten der Stadt. Für das Projekt „NaMaRes“ stellte z. B. die Stadt Karlsruhe Daten zur Verfügung – ein Luftbild der Innenstadt Ost von 2017, Gebäude- und Katasterdaten, den Versiegelungsgrad der Flächen, das Baumkataster für den öffentlichen Bereich und die Abgrenzung von Grünanlagen als Shapedateien.

Zudem konnte auf die Biotoptypenkartierungen in der Innenstadt Ost aus den Vorjahren für die öffentlich zugänglichen Bereiche, also Straßen und Plätze, zurückgegriffen werden. Somit erfolgte für die öffentlichen Bereiche eine Aktualisierung und Überarbeitung im Zuge der Kartierarbeiten vor Ort.

Für die privaten Grünbereiche lagen keine Informationen vor, sodass diese vollständig im Zuge des Projektes kartiert wurden. Diese Kartierung umfasste dann alle frei zugänglichen und eingeschränkt zugänglichen Hinterhöfe. Mit eingeschränkt zugänglich ist hier gemeint, dass die Kartierenden an einem der umliegenden Gebäude klingeln musste, um Zugang zu bekommen. Es wurden eine Biotoptypen-, eine Baum- und eine Nutzungskartierung der Flächen durchgeführt.

#### **5.3.1 Kartierung der Biotoptypen**

Die Biotoptypenkartierung für die Innenstadt Ost in Karlsruhe wurde nach dem sogenannten Breunig-Schlüssel (Breunig 2017) durchgeführt. Vor Ort im Stadtgebiet konnten für die vorliegenden Flächen in den betrachteten Hinterhöfen die passenden Biotoptypen bestimmt werden. Dies erfolgte mithilfe von Artkenntnis der vorhandenen Pflanzen. Außerdem wurden zur Bestimmung der einzelnen Biotoptypen die unterschiedlichen Flächen im gesamten Hinterhof voneinander abgegrenzt.

Bei häufig vorkommenden Biotoptypen in privaten Hinterhöfen wurden weitere Kriterien zur Abgrenzung ähnlicher Biotoptypen hinzugezogen. Zum Beispiel ist es möglich den Biotoptyp "Heckenzaun" von "Hecke aus nicht heimischen Straucharten" durch die zaunähnliche Struktur der Hecke zu unterscheiden. Es ist möglich, dass ein Heckenzaun und eine Hecke aus nicht heimischen Straucharten aus derselben Pflanzenart bestehen, aber die räumliche Anordnung ist unterschiedlich und kann als Unterscheidungskriterium zwischen diesen beiden Biotoptypen verwendet werden. Im Anschluss an die Kartierung wurden die erfassten Biotoptypen mithilfe der Gebäude- und Katasterdaten der Stadt Karlsruhe digitalisiert. Als Hintergrundkarte wurde das Luftbild von 2017 verwendet.

### 5.3.2 Kartierung der Stadtbäume

Bei der Baumkartierung werden die Baumart, der Brusthöhendurchmesser (BHD), gemessen auf der Höhe von 1,30 m, die Baumhöhe und der Kronendurchmesser aufgenommen. Der Brusthöhendurchmesser wird mithilfe eines Maßbandes und die Baumhöhe mit einem Vertex-Höhenmesser ermittelt. Der Baumkronendurchmesser wird durch Schritte von ca. einem Meter Länge in zwei Richtungen abgeschätzt. Der anschließend gebildete Mittelwert wird als geschätzter Kronendurchmesser eingetragen. Im Anschluss an die Messung der Baumparameter im Gelände erfolgt auch hier die Digitalisierung der erfassten Bäume in den Hinterhöfen und der Übertrag der im Gelände gemessenen Daten in die Attributtabelle der Shapedatei im Geoinformationssystem (GIS), um auch hier eine automatisierte Auswertung zu ermöglichen.



## 6 Indikatoren für die Bewertung von ÖSL

Indikatoren beruhen auf Messwerten. Sie beschreiben die Umwelt oder Sachverhalte. Auf der Grundlage von Messwerten können neue Kennwerte abgeleitet werden, die in Entscheidungsprozesse einfließen (Meadows 1998). So lässt sich z. B. prüfen, ob Wirkungsziele erreicht wurden. Indikatoren finden Anwendung in der Umweltberichterstattung und bilden eine Ausgangsbasis für eine zielorientierte und transparente Umweltpolitik (Albert et al. 2015; Destatis 2018; Meyer 2004). Sie können in unterschiedliche Kategorien eingeteilt werden. Man unterscheidet beispielsweise Zustands- und Leistungsindikatoren.

**Zustandsindikatoren** beschreiben einen IST-Zustand.

Im Gegensatz dazu stehen Leistungsindikatoren, die über den beschreibenden Charakter der Zustandsindikatoren hinaus gehen und weitere Informationsquellen berücksichtigen.

**Leistungsindikatoren** erfassen die Eigenschaften von Prozessen und Produkten und beurteilen eine geforderte Funktion unter vorliegenden Einsatzbedingungen.

Auch andere Unterteilungen in Kategorien für die betrachteten Indikatoren sind möglich. Ganz allgemein können quantitative und qualitative Indikatoren unterschieden werden. „Quantitative und qualitative Indikatoren unterscheiden sich durch das Messniveau ihrer Skalen. Methodische Probleme treten eher bei der Erhebung (quantitativ) oder eher bei der Auswertung (qualitativ) auf“ (Meyer 2004).

### 6.1 Beispiel: Indikatoren für die Innenstadt Ost in Karlsruhe

Im Projekt „NaMaRes“ wurden Zustands- und Leistungsindikatoren entwickelt und auf das Stadtgebiet der Innenstadt Ost in Karlsruhe angewendet. Um einen ersten Überblick über das Untersuchungsgebiet zu erhalten, wurde eine Gegenüberstellung privater und öffentlicher Flächen durchgeführt. Als Berechnungsgrundlage wurden die berechneten Flächengrößen aus der Biotoptypenkartierung verwendet.

Die von Gebäuden bestandene Fläche beträgt 49,5 %, öffentliche Flächen machen 26,4 % und private Flächen 24,2 % der Gesamtfläche aus. Insofern bietet sich eine Gegenüberstellung der öffentlichen und privaten Flächen an. Für die Innenstadt Ost wurden die folgenden Ökosystemleistungsindikatoren bestimmt:

Zustandsindikatoren: Ökopunkte, Versiegelung und Baumartenverteilung

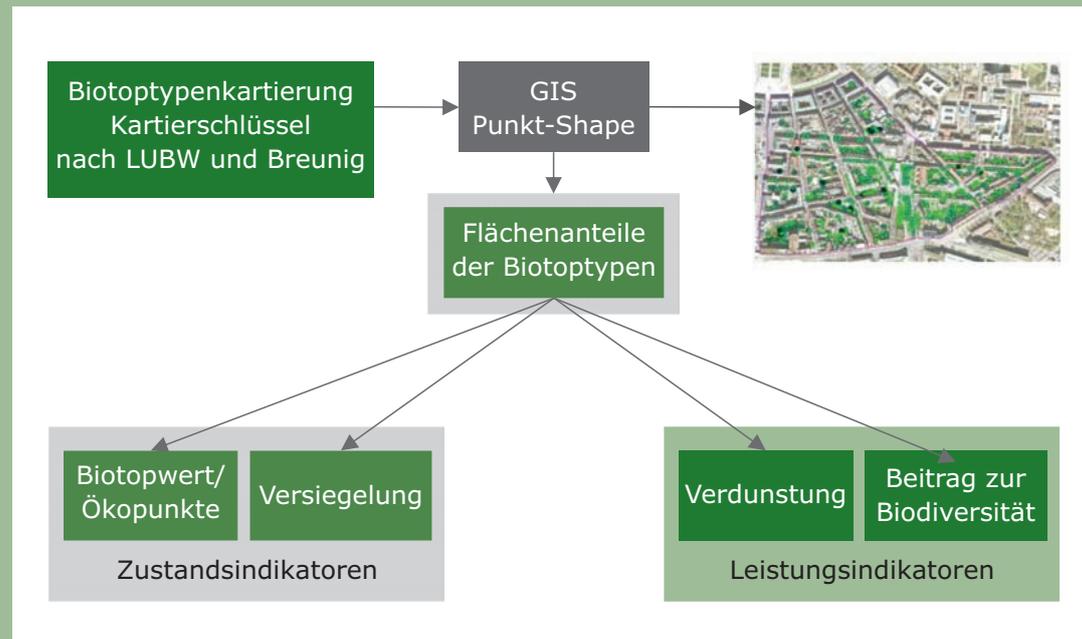
Leistungsindikatoren: Verdunstungsleistung, Beitrag zur Biodiversität, Beschattung durch Bäume und CO<sub>2</sub>-Bindung durch Bäume



### 6.1.1 Auswertung der Biotope/Flächendaten

Abbildung 7 zeigt eine Übersicht zur Biotopkartierung, aus der infolge Digitalisierung eine Polygon-Shapedatei erstellt wird. Diese kann in einem Geoinformationssystem (GIS) genutzt werden, um weitere Auswertungen zu den Biotoptypen durchführen zu können. Die Flächenanteile der unterschiedlichen Typen sind die Basis für die im Projekt „NaMaRes“ untersuchten Zustands- und Leistungsindikatoren. Hierbei werden als Zustandsindikatoren die Ökopunkte der Biotoptypen und die Versiegelung im gesamten Untersuchungsgebiet betrachtet. Der Grad der Versiegelung lässt sich direkt aus den Biotoptypen ableiten. Die untersuchten Leistungsindikatoren sind die Verdunstung und der Beitrag zur Biodiversität.

Abbildung 7: Bestimmung von Indikatoren auf Grundlage der Biotoptypenkartierung



Quelle: KIT, Alice Krehl 2021



### 6.1.2 Ökopunkte (Zustandsindikator)

Für die Auswertung der Biotoptypenkartierung wird die Ökokontoverordnung der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW 2010) verwendet, in der für jeden Biototyp Wertpunkte zur Berechnung der Ökopunkte festgelegt sind (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg – LUBW 2018).

Unterschieden werden kann hierbei in das Fein- und in das Planungsmodul. Das Feinmodul mit Normalwert und Wertspanne eignet sich für die Bestimmung des Ausgangswertes der Biotoptypen. Das Planungsmodul beinhaltet nur den Normalwert und wird zur Ermittlung von Zielwerten noch nicht vorliegender Biotoptypen verwendet. Für die Bewertung der kartierten Biotoptypen wird das Feinmodul der Ökokontoverordnung verwendet. Drei Beispiele sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Auszug aus der Ökokontoverordnung zur Vergabe von Wertpunkten (erstellt nach LUBW 2010 und 2018)

Nr.	Biotopt	Auf- und Abwertungs- möglichkeiten	Normalwert	Wertspanne aus dem Feinmodul
13.92	Naturfernes Kleingewässer		4	1-4-12
		+ Überdurchschnittliche Arten- ausstattung		
		+ mit Spontanvegetation		
		+ ohne künstliche Abdichtung		
		– Fallenwirkung für Amphibien		
		– ohne Vegetation		
44.22	Hecken aus nicht heimischen Straucharten		6	6-9
		Anteil standortheimischer Arten 30–50 %		
		struktureich		
		Gut ausgebildete Krautschicht		
44.30	Heckenzaun		4	4-6
		mit bzw. aus heimischen Arten		

### 6.1.3 Versiegelung (Zustandsindikator)

Die in der Karlsruher Innenstadt Ost vorkommenden Biotoptypen werden nach ihrem Versiegelungsgrad in die Kategorien unversiegelt, teilversiegelt bzw. versiegelt eingeteilt. Die entsprechende Zuordnung ist Abbildung 8 zu entnehmen.

Diese Zuteilung eignet sich als Zustandsindikator zur besseren Beschreibung des IST-Zustandes in der Innenstadt Ost. Die Begrenzung auf drei Kategorien zum Versiegelungsgrad ist eine Einteilung der Biotoptypen, die auch für Entscheidungstragende, die nicht selbst die Biotoptypen kartiert haben, nachvollzieh- und interpretierbar ist. Dieser Aspekt ist darauf zurückzuführen, dass die Extremzustände unversiegelt (offener Boden) und vollständig versiegelt nur durch eine weitere mittlere Kategorie mit teilversiegelt ergänzt wurden und somit die Kategorieanzahl auf drei begrenzt wurde.

Abbildung 8 : Zuordnung ausgewählter Biotoptypen zu den Versiegelungskategorien

Biotoptyp	BiotoptNr	unversiegelt	teilversiegelt	versiegelt
Naturfernes Kleingewässer	13.92			X
Verfugte Mauer oder Treppe	23.51			X
Trittrasen	33.71	X		
Lückiger Trittpflanzenbestand	33.72	X		
Zierrasen	33.80	X		
Annuelle Ruderalvegetation	35.61	X		
Grasreiche ausdauernde Ruderalvegetation	35.64	X		
Brombeer-Gestrüpp	43.11	X		
Efeu-Bestand	43.52	X		
Hecke mit standortuntypischer Zusammensetzung	44.22	X		
Heckenzaun	44.30	X		
Baumgruppe	45.20	X		
Von Gebäuden bestandene Fläche	60.10			X
Völlig versiegelte Straße oder Platz	60.21			X
Gepflasterte Straße oder Platz	60.22			X
Weg oder Platz mit wassergebundener Decke	60.23		X	
Unbefestigter Weg oder Platz	60.24		X	
Blumenbeet oder Rabatte	60.51	X		
Bodendecker-Anpflanzung	60.53	X		
Garten	60.60		X	
Ziergarten	60.62		X	
Mischtyp von Nutz- und Ziergarten	60.63		X	

Quelle: KIT, Alice Krehl 2021

#### 6.1.4 Verdunstung (Leistungsindikator)

Die Verdunstung als Leistungsindikator wird mithilfe des Breunig-Schlüssels bestimmt, der zu den Wertpunkten für die Biotoptypen zusätzlich Verdunstungsstufen vergibt, die sich eindeutig über die Biotoptypen zuordnen lassen. Es gibt die Kategorien 0, 1, 2 und 3. Letztere besitzt die höchste und 0 die geringste Verdunstungsleistung (siehe Abbildung 9).

Abbildung 9: Zuordnung von Biotoptypen zu den Verdunstungsstufen

Bewertungsstufe	Beschreibung	Biotoptypen
0	Biotoptypen ohne oder mit sehr geringer Verdunstungsleistung	Versiegelte Flächen und Bauwerke (23.40, 23.50, 60.21, 60.22), vegetationslose Kies-, Sand- und Schotterflächen (21.10, 21.30, 21.41, 21.50, 60.23, 60.24, 60.30)
1	Biotoptypen mit geringer Verdunstungsleistung: vegetationslos, Trockenstandorte, sonstige schütter Vegetation oder eingeschränkte Substratmächtigkeit, sommertrockene Vegetationsbestände (z.B. Weizenfeld)	Offener Boden (21.20, 21.42, 21.60, 23.10, 23.20, 23.30), Schotterflächen (21.50, 60.23) mit Ruderalvegetation (35.61, 35.62, 35.65), Trittpflanzenbestand (33.72)
2	Biotoptypen mit mittlerer Verdunstungsleistung: Biotoptypen mittlerer Standorte	Unter anderem Wiesen (33.71, 33.80), Saumvegetation (35.10, 35.20), Dominanzbestände (35.30), Ruderalvegetation (35.63, 35.64), Hecken / Gebüsche (41.20, 42.10, 42.20, 44), Kleine Grünflächen (60.50), Gärten (60.60)
3	Biotoptypen mit hoher Verdunstungsleistung: Biotoptypen feuchter bis nasser Standorte, Wälder und Wasserflächen	Unter anderem Offene Wasserflächen (11.12, 13) Feldgehölze / Gebüsche feuchter Standorte (41.10, 42.30, 42.40)

Quelle: Breunig 2017

### 6.1.5 Beitrag zur Biodiversität (Leistungsindikator)

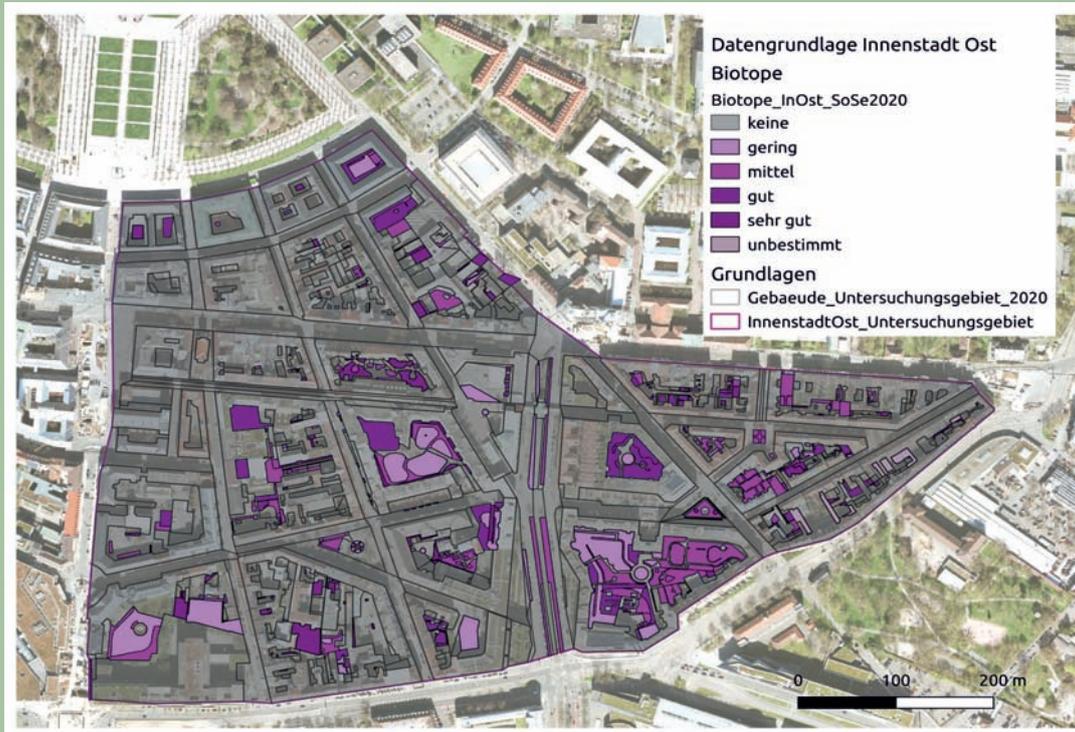
Anhand der Biotoptypen kann der Beitrag zur Biodiversität innerhalb der Stadt abgeschätzt werden. Dafür wurde eine fünfstufige Einteilung entwickelt, um die Bedeutung der Flächen für die Biodiversität zu bestimmen (Becker und Böhnke 2021). Diese Stufen, gestützt von einer Literaturrecherche, beinhalten die Kategorien „keine“, „gering“, „mittel“, „gut“ und „sehr gut“.

Je nach Bewuchs können den Biotoptypen unterschiedliche Stufen zugewiesen werden. Beim Biotoptyp Gewässer wird z. B. einem nichtbepflanzten Zierspringbrunnen (13.92) die Kategorie „gering“ und einem naturnahen Teich die Kategorie „sehr gut“ zugeordnet. Ein weiteres Beispiel stellt der Biotoptyp Mauer (23.51) dar, dem die Kategorien „gering“ bis „sehr gut“ zugewiesen werden. Ist in der Kategorie „gering“ nur ein spärlicher artenarmer Bewuchs zu finden, enthält die Kategorie „sehr gut“ mauertypische Arten. Für den Biotoptyp Weg/Platz mit Kies oder Schotter (60.23) wären nur die Kategorien „gering“ und „mittel“ möglich, wobei die Kategorie „gering“ keinen Bewuchs aufweist und die Kategorie „mittel“ dann gewählt wird, wenn die Flächen bewachsen sind und angrenzende struktureiche Vegetationsbestände aufweisen (Gausmann und Rosin 2014; Hietel et al. 2016).



Alle Kategorien in der Innenstadt Ost in Karlsruhe sind in Abbildung 10 dargestellt.

Abbildung 10: Biodiversitätskategorien in der Innenstadt Ost (eingeteilt in fünf Stufen nach Becker und Böhnke 2021)

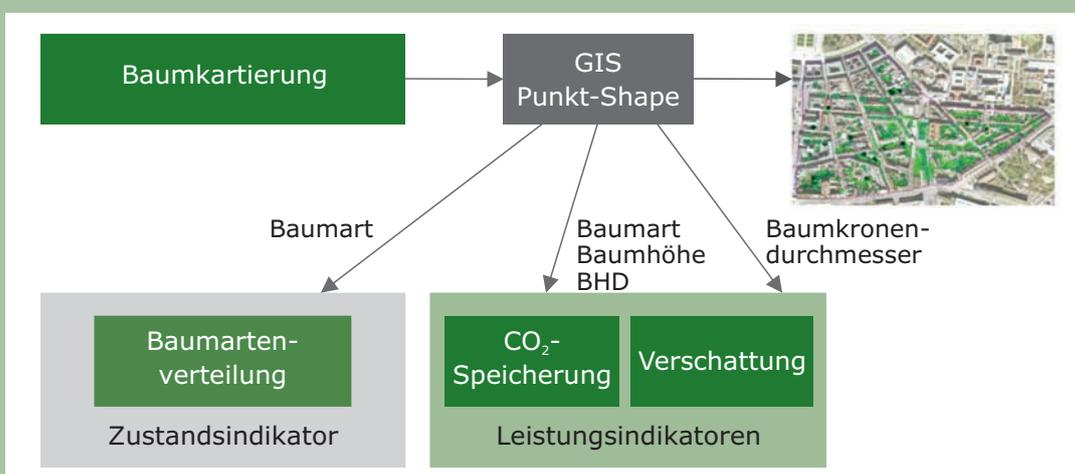


Quelle: KIT, Alice Krehl 2021 (Kartengrundlage: @Stadt Karlsruhe)

### 6.1.6 Auswertung der Baumdaten

Abbildung 11 zeigt die Folgeschritte nach einer Baumkartierung. Mittels Datendigitalisierung entsteht eine Punkt-Shape-Datei. In deren Attributtabelle werden Baumart, Brusthöhdurchmesser (BHD) auf 1,30 m Höhe, Baumhöhe und Baumkronendurchmesser eingetragen. Mit diesen Messgrößen lassen sich weitere Auswertungen durchführen und Indikatoren untersuchen. Als Zustandsindikator wird die Baumartenverteilung und als Ökosystemleistungsindikatoren werden CO<sub>2</sub>-Speicherung und Verschattung genauer analysiert.

Abbildung 11: Bestimmung von Indikatoren auf Grundlage der Baumkartierung



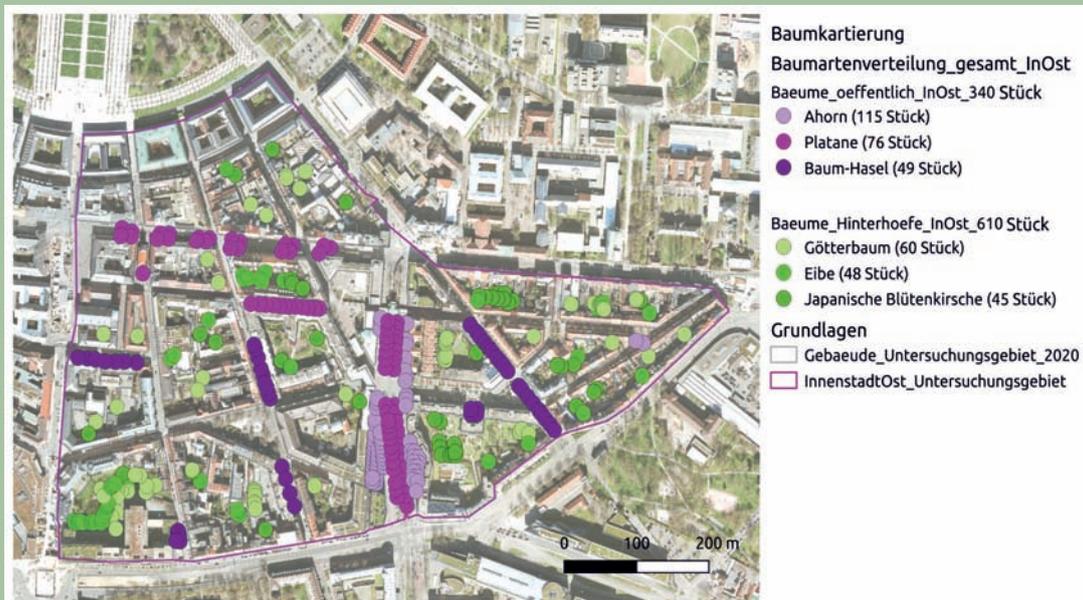
Quelle: KIT, Alice Krehl, 2021

### 6.1.7 Baumartenverteilung (Zustandsindikator)

Für den Zustandsindikator der Baumartenverteilung werden die Baumanzahl absolut und relativ pro Baumart bestimmt. Zudem erfolgt eine Unterteilung in öffentliche und private Flächen. Somit kann ermittelt werden, welche Baumarten am häufigsten auf diesen Flächen vorkommen. Für die privaten Flächen wurden in der Karlsruher Innenstadt Ost Götterbaum Eiben (48 Stück) und Japanische Zierkirschen (45 Stück) als häufigste Baumarten bestimmt (siehe Abbildung 12 grüne Punkte). Für die öffentlichen Flächen wurden Ahorn (115 Stück), Platanen (97 Stück) und Hasel (61 Stück) als die häufigsten Baumarten bestimmt (siehe Abbildung 12 rosa Punkte).

Zudem wurde die Gesamtbaumanzahl für die privaten Flächen mit 610 und für die öffentlichen Flächen mit 340 Bäumen aufsummiert. Diese berechneten Zahlenwerte machen den Zustandsindikator der Baumartenverteilung messbar und auch gegenüber anderen Gebieten und Städten vergleichbar.

Abbildung 12: Baumartenverteilung im privaten und öffentlichen Gebiet der Innenstadt Ost mit absoluter Baumanzahl für die jeweils häufigsten drei Baumarten



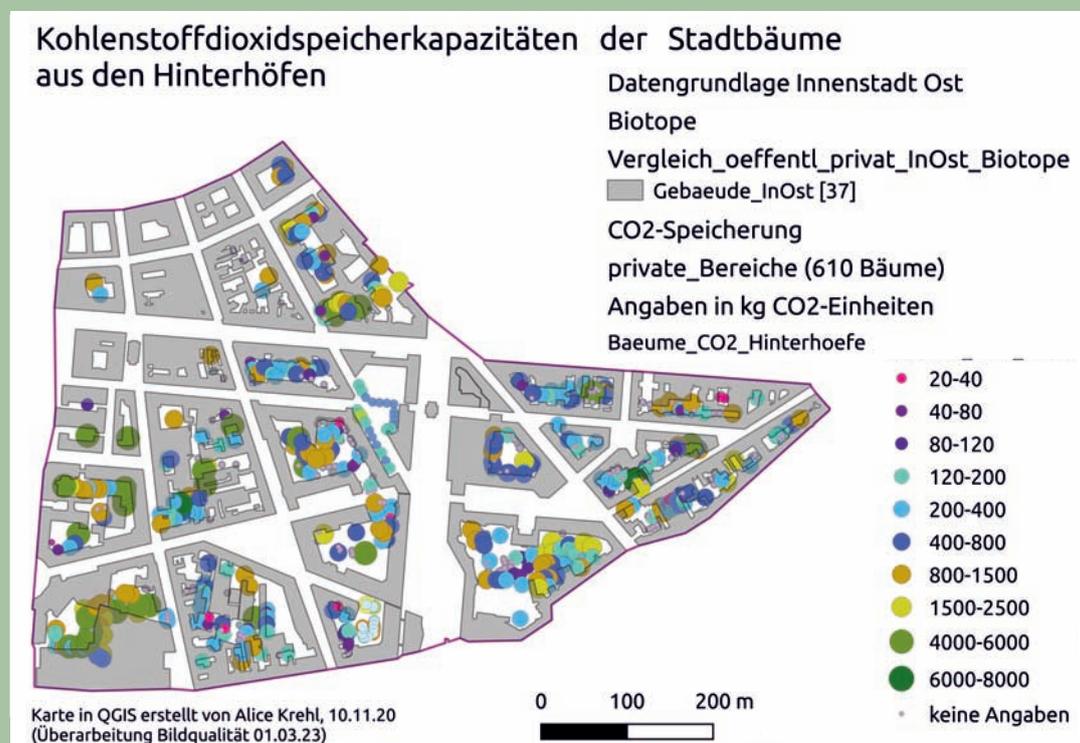
Quelle: KIT, Alice Krehl 2021



### 6.1.8 CO<sub>2</sub>-Speicherung (Leistungsindikator)

Eine Ökosystemleistung von Bäumen ist die Fähigkeit Kohlenstoffdioxid aufzunehmen und durch Photosynthese wieder Sauerstoff zur Verfügung zu stellen. So kann Kohlenstoffdioxid aus der Luft gefiltert werden. Die Luftqualität in Gebieten mit Bäumen verbessert sich gegenüber Bereichen ohne Begrünung. Mit dem Merkblatt der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Klein und Schulz 2011) zur Kohlenstoffspeicherung kann diese pro Einzelbaum anhand von Schätztabelle mit CO<sub>2</sub>-Einheiten in kg bestimmt werden. Die Datengrundlage sind Erhebungen aus der Bundeswaldinventur in Bayern, wes-halb die Schätztabelle für die am häufigsten in Wäldern vorkommende Baumarten erstellt wurden. Dies sind Buchen, Eichen, Kiefern und Fichten. Um die Menge an CO<sub>2</sub> pro Baum aus den Schätztabelle ablesen zu können, sind Baumart, Baumhöhe und Brusthöhendurchmesser (BHD) als Eingangsparameter erforderlich. Die Mengen an CO<sub>2</sub>-Einheiten in kg werden anhand unterschiedlicher Punktgrößen in Abbildung 13 dargestellt.

Abbildung 13: Kohlenstoffdioxidspeicherkapazität der Stadtbäume auf privaten Flächen in der Innenstadt Ost



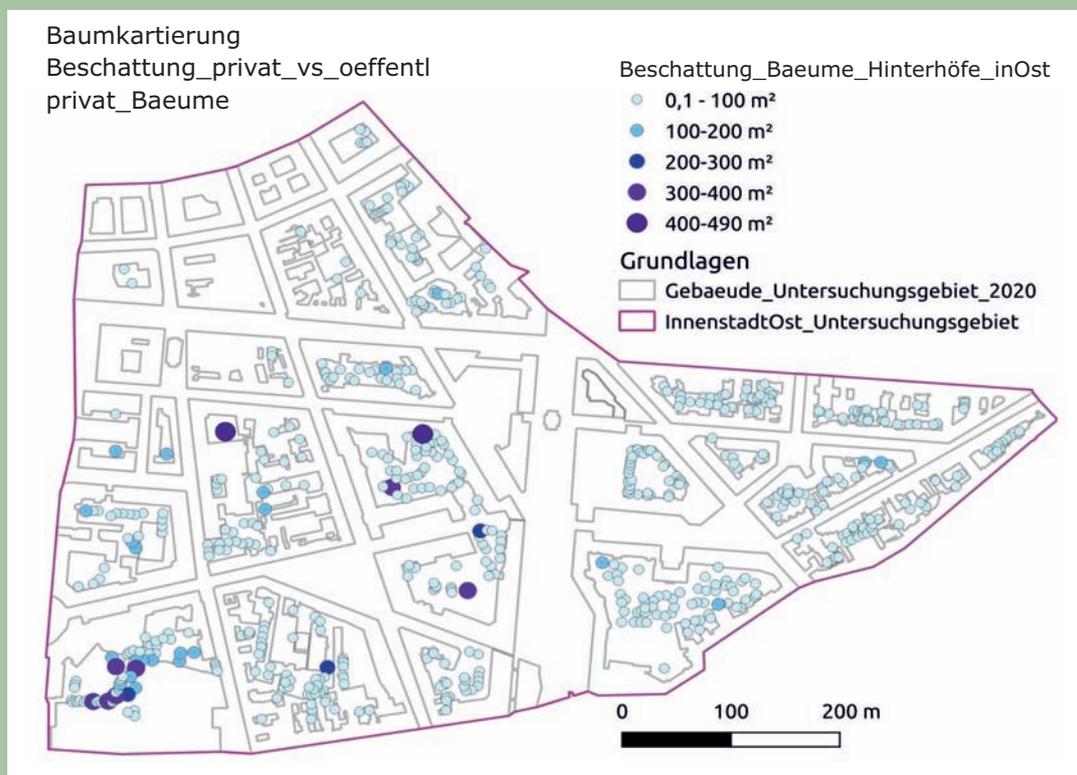
Quelle: KIT, Alice Krehl 2021



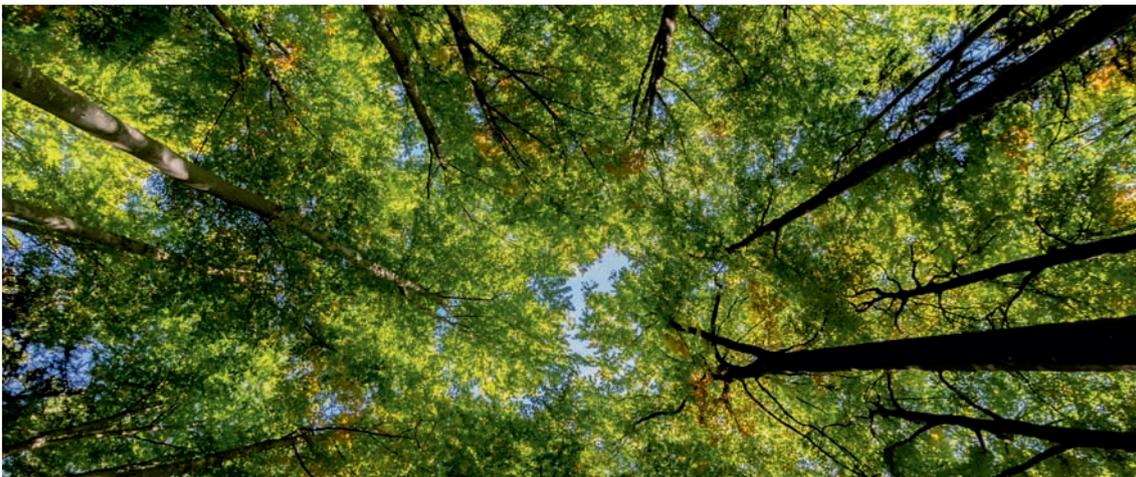
### 6.1.9 Beschattung (Leistungsindikator)

Der thermische Komfort eines Gebietes verbessert sich durch die Verschattung der Bodenflächen durch Bäume. Vor allem deren Baumkronen bewirken an Hitzetagen einen kühlenden Effekt. Zur Berechnung der beschatteten Fläche wird der Baumkronendurchmesser der Einzelbäume herangezogen und die sich ergebende Kreisfläche ermittelt. Als Annahme zur vereinfachten Berechnung wird von einem hypothetischen Zenitstand der Sonne ausgegangen, um einen groben Richtwert der beschatteten Fläche zu erhalten. Zur Abbildung der Komplexität des wandernden Schattenwurfes der Baumkrone wären komplexere Simulationen und Programme der klimatischen Situation nötig. Daher wird zur vereinfachten Abschätzung die oben getroffene Annahme verwendet und die Verschattung als Leistungsindikator annähernd für jeden Einzelbaum berechnet. Je älter ein Baum, desto größer und desto höher der Beitrag zum thermischen Komfort per Verschattung. Die beschatteten Bereiche sind in Abbildung 14 durch unterschiedliche Punktgrößen dargestellt.

Abbildung 14: Beschattung durch Stadtbäume auf privatem Gebiet in der Innenstadt Ost in Karlsruhe



Quelle: KIT, Alice Krehl 2021



## 7 Mono- und multifunktionale Betrachtung von ÖSL

Ökosystemleistungen sind keine in sich abgeschlossenen Einheiten, die getrennt voneinander betrachtet werden können. Sie stehen untereinander in direkter Abhängigkeit, beeinflussen sich gegenseitig oder verstärken einseitige Effekte. Abbildung 15 macht das Wirkungsgefüge der mono- und multifunktionalen Betrachtung der ÖSL greifbarer.

Abbildung 15: Mono- und multifunktionale Betrachtung am Beispiel von Stadtbäumen

	<b>+ Ökosystemleistung / - Disservice</b>	<b>+ Nutzen / - Schaden</b>	<b>+ positiver Wert / - negativer Wert</b>	<b>Betroffene gesellschaftliche Bereiche</b>
<b>Multifunktionale Betrachtung</b>	+ Temperaturminderung durch Beschattung und Verdunstung	+ verminderter Hitzestress für Menschen	+ höhere Lebensqualität, weniger Erkrankungen	Anwohnerschaft Vulnerable Gruppen Gesundheitssektor
	- geringere Durchlüftung bei dichter Pflanzung in engen Straßen	- Wärmestau, erhöhte Schadstoffkonzentration	- weniger Lebensqualität, mehr Erkrankungen	Anwohnerschaft Vulnerable Gruppen Gesundheitssektor
	+ Prägung des Ortsbildes	+ besseres Image	+ Attraktivere Wohn- und Gewerbestandorte	Anwohnerschaft Gewerbetreibende Grundeigentümer
	+ Strukturierung von Aufenthaltsbereichen	+ soziale Räume für Begegnung, Freizeit, Erholung	+ höheres Wohlbefinden, sozialer Zusammenhalt	Anwohnerschaft Stadtgesellschaft
	+ Zurückhaltung von Niederschlagswasser	+ geringere Belastung des Kanalisationssystems	+ weniger Investitions- und Unterhaltungsaufwand	Wasserwirtschaft
	- Beeinträchtigung baulicher Strukturen durch Wurzeln	- Schäden am Kanalisationssystem und an Bauwerken	- höherer Unterhaltungsaufwand	Wasserwirtschaft Immobilienbereich
	<b>Monofunktionale Betrachtung</b>			

Quelle: nach Kowarik et al. 2017, S. 41

In diesem Konzept wird zwischen positiven (+) und negativen (-) Aspekten unterschieden. Die Ökosystemleistungen sind in der ersten Spalte gelistet. In den benachbarten Spalten werden diese vom zugeordneten Nutzen oder konkreten Werten charakterisiert. Die rechte Spalte listet die betroffenen gesellschaftlichen Bereiche auf.

Der Abbildung 15 ist die Komplexität der Zusammenhänge zu entnehmen, die möglichst anschaulich dargestellt werden sollen. Die Pfeilrichtungen außerhalb der Tabelle verdeutlichen, dass die multifunktionale Betrachtung in beide Richtungen zwischen verschiedenen ÖSL erfolgen kann. Im Gegensatz dazu verläuft die monofunktionale Betrachtung nur in eine Richtung und aus einer ÖSL kann ein Nutzen und ein positiver Wert gezogen werden, wohingegen aus einem Disservice ein Schaden und ein negativer Wert geschlussfolgert werden kann. Die betroffenen gesellschaftlichen Bereiche richten sich nach den aufgelisteten ÖSL und erhalten keine zusätzliche Zuordnung mit „+“ und „-“. In der rechten Spalte ist somit eine Dopplung von betroffenen gesellschaftlichen Bereichen möglich, da die ÖSL hierbei zeilenweise betrachtet werden. Durch eine geeignete Darstellung der ÖSL und ihrer Wirkungszusammenhänge werden komplexe Beziehungen besser veranschaulicht. Diese werden greifbarer und in Entscheidungen einbezogen (Kowarik et al. 2017).

Bei der multifunktionalen Betrachtung von ÖSL werden zusätzlich zum Nutzen und Wert der einzelnen Ökosystemleistungen deren Wechselwirkungen untereinander berücksichtigt. Hierbei werden Trade-offs zwischen positiven und negativen Effekten, den sogenannten Disservices, berücksichtigt. Diese sind in Abbildung 15 innerhalb der einzelnen Spalten zu finden. Je nach Fragestellung ist es somit erforderlich, eine umfassende multi- oder monofunktionale Betrachtung einzelner Ökosystemleistungen durchzuführen. Die Einzelbetrachtung ausgewählter ÖSL kann eine Ausgangsbasis für eine weitere multifunktionale Betrachtung von mehreren ÖSL sein.

# Literatur und Arbeitshilfen



## Literaturverzeichnis

- Adam, V. (2021). Gärtnern in der Stadt. Stadtforschung und Statistik. Zeitschrift des Verbandes Deutscher Städtestatistiker 2/2021, 33–43.
- Albert, C.; Burkhard, B. und Daube, S. (2015). Empfehlungen zur Entwicklung bundesweiter Indikatoren zur Erfassung von Ökosystemleistungen. (Bonn – Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz – BfN).
- Becker, R. und Böhnke, D. (2021). Bewertungsstufen für die Biodiversität. (internes, nicht veröffentlichtes Projektdokument, Karlsruher Institut für Technologie – KIT, Institut für Geographie und Geoökologie – IfGG).
- Beermann, B.; Berchtold, M.; Baumüller, J.; Gross, G. und Kratz, M. (2014). Städtebaulicher Rahmenplan Klimaanpassung für die Stadt Karlsruhe (Teil 1). LUBW, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft.
- Böhm, J.; Böhme, C.; Bunzel, A.; Kühnau, C. und Reinke, M. (2016). Urbanes Grün in der doppelten Innenentwicklung. BfN-Skripten 444, 268.
- Böhnke, D. und Jerutka, K. (2020). Stadtplätze: Zur Bewertung der Aufenthaltsqualität von urbanen Räumen. Stadt und Raum 6, 330–335.
- Bolund, P. and Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. Ecological Economics 29, 293–301.
- von Borries, F. und Kasten, B. (2019). Stadt der Zukunft Wege in die Globalopolis (Frankfurt am Main. Fischer Taschenbuch).
- Breunig, T. (2017). Verfeinertes Biotopbewertungsverfahren der Stadt Karlsruhe. Hrsg. von Umwelt- und Arbeitsschutz, Stadt Karlsruhe (nicht veröffentlicht).
- Breuste, J. (2019). Die Grüne Stadt: Stadtnatur als Ideal, Leistungsträger und Konzept für Stadtgestaltung (Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg).
- Breuste, J.; Pauleit, S.; Haase, D. und Sauerwein, M. (2016). Stadtökosysteme: Funktion, Management und Entwicklung. (Berlin Heidelberg: Springer Spektrum).
- Bundesamt für Umwelt – BAFU (Hrsg.) (2020). Massnahmen des Bundes für eine ressourcenschonende, zukunftsfähige Schweiz (Grüne Wirtschaft) (Bern: Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Umwelt BAFU).
- Daily, G. C. (1997). What Are Ecosystem Services? In Nature's Services. (Washington, DC: Island Press), p. 3
- Deppisch, S. und Pyka, A. (2021). Ökosystemleistungen in Stadt und Region. (Hamburg. HafenCity Universität Hamburg).
- Destatis (2018). Nachhaltige Entwicklung in Deutschland – Indikatorenbericht 2018 (Destatis – Statistisches Bundesamt).
- Dettmar, J.; Pfoser, N. und Sieber, S. (2016). Gutachten Fassadenbegrünung – Vorschlag für Zweck, Umfang und Gebietskulisse einer finanziellen Förderung von quartiersorientierten Unterstützungsansätzen von Fassadenbegrünungen. Technische Universität Darmstadt (TU).
- Deutscher Wetterdienst – DWD (2022). Wetter und Klima – Deutscher Wetterdienst – Glossar – M – Mikroklima (Website DWD).

- Dickhaut, W.; Doobe, G.; Eschenbach, A.; Fellmer, M.; und Gerstner, J. (2019). Entwicklungskonzept Stadtbäume: Anpassungsstrategien an sich verändernde urbane und klimatische Rahmenbedingungen (Hamburg: HafenCity Universität Hamburg).
- Dosch, F.; Haury, S.; Skowski, J.; Wahler, B.; Willinger, S.; Arndt, T.; Mayer, F.; Hommes, M. und Mösch, S. (2015). Grün in der Stadt – Für eine lebenswerte Zukunft. hrsg. im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn).
- Dworczyk, C. und Burkhard, B. (2020). Urbane Ökosystemleistungen erfassen und bewerten – Stand der Forschung, Indikatoren und zukünftige Perspektiven. Naturschutz und Landschaftsplanung 52, 8.
- Ehrlich, P. and Ehrlich, A. (1981). Extinction: The Causes and Consequences of the Disappearance of Species. New York: Random House (Random House).
- Engemann, K.; Pedersen, C. B.; Arge, L.; Tsirogiannis, C.; Mortensen, P. B. and Svenning, J.-C. (2019). Residential green space in childhood is associated with lower risk of psychiatric disorders from adolescence into adulthood. PNAS 116, 5188–5193. <https://doi.org/10.1073/pnas.1807504116>
- Escobedo, F. J.; Kroeger, T. und Wagner, J. E. (2011). Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. Environmental Pollution 159, 2078–2087. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.010>
- Frick, A.; Wagner, K.; Kiefer, T. und Tervooren, S. (2020). Wo fehlt Grün? – Defizitanalyse von Grünvolumen in Städten. IÖR Schriften Band 78, 223–238. <https://doi.org/10.26084/12DFNS-P023>
- Gausmann, P. und Rosin, R. (2014). Flora und Vegetation der Mauern in den Stadtgebieten von Herne, Bochum, Hattingen und Witten (Ruhrgebiet, Nordrhein-Westfalen) unter besonderer Berücksichtigung der Farnpflanzen. Bochumer Bot. Ver. 6 (3), 13–33.
- Goldberg, V.; Maronga, B. und Queck, R. (2020). Multiskalige Erfassung und Prognose des Stadtklimas. Flächennutzungsmonitoring XI. IÖR Schriften Band 77, 245–253.
- Haase, D. (2016). Was leisten Stadtökosysteme für die Menschen in der Stadt? In Stadtökosysteme: Funktion, Management und Entwicklung, J. Breuste, S. Pauleit, D. Haase, and M. Sauerwein, eds. (Berlin, Heidelberg: Springer), pp. 129–163.
- Haines-Young, R. and Potschin, M. (2018). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 Guidance on the Application of the Revised Structure (Fabis Consulting Ltd.).
- Hallmann, C. A.; Sorg, M.; Jongejans, E.; Siepel, H.; Hofland, N.; Schwan, H.; Stenmans, W.; Müller, A.; Sumser, H.; Hörren, T. et al. (2017). More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. PLOS ONE 12, e0185809. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>
- Hietel, E.; Rößner, U. und Panfyorov, O. (2016). Extensive Dachbegrünungen im urbanen Raum – Bedeutung der kleinflächigen Dachbegrünungen für Lokalklima, Wasserhaushalt und Biodiversität. Städtisches Grün 6.
- Hutterer, F.; Jeutner, M. und Pahl-Weber, E. (2019). Globale Urbanisierungstrends und Zukunft des Wohnens (Universitätsverlag der TU Berlin).
- Jaganmohan, M.; Knapp, S.; Buchmann, C. M. und Schwarz, N. (2016). The Bigger, the Better? The Influence of Urban Green Space Design on Cooling Effects for Residential Areas. Journal of Environmental Quality 45, 134–145. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.01.0062>

- Klein, D. und Schulz, C. (2011). Kohlenstoffspeicherung von Bäumen. Merkblatt 27 der Bayerischen Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft.
- Knapp, S. und Klotz, S. (2017). Stadtnatur. In *Klimaanpassung in Forschung und Politik*, A. Marx, ed. (Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden), pp. 215–236.
- Kowarik, I. (1992). Das Besondere der städtischen Flora und Vegetation. *Deutscher Rat für Landespflege* 16.
- Kowarik, I.; Bartz, R.; Brenck, M. und Hansjürgens, B. (2017). *Ökosystemleistungen in der Stadt: Gesundheit schützen und Lebensqualität erhöhen: Kurzbericht für Entscheidungsträger* (Berlin Leipzig: Naturkapital Deutschland – TEEB DE).
- Kröll, S.; Keil, R. und Call, F. (2016). Abschlussbericht zur Evaluierung und Weiterentwicklung des Programms KLIMOPASS – Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg.
- Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg – LUBW, (Hrsg.) (2010). Verordnung des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Verkehr über die Anerkennung und Anrechnung vorzeitig durchgeführter Maßnahmen zur Kompensation von Eingriffsfolgen (Ökokonto-Verordnung – ÖKVO).
- Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg – LUBW, (Hrsg.) (2018): Arten, Biotope, Landschaft – Schlüssel zum Erfassen, Beschreiben, Bewerten. (Fachbroschüre).
- Leser, H. und Löffler, J. (2017). *Landschaftsökologie* (UTB).
- Leuschner, A. (2021). Anpassung an den Klimawandel: Hitzefalle Stadt (Fernsehsendung im ZDF).
- Liegenschaftsamt Stadt Karlsruhe, Umwelt- und Arbeitsschutz (2021). *Abkühlung in der Stadt* (Website der Stadt Karlsruhe).
- Lienhoop, N. und Schröter-Schlaack, C. (2018). *Ökosystemleistungen und deren Inwertsetzung in urbanen Räumen* (DE: Bundesamt für Naturschutz).
- Linster, M. (2003). *OECD Environmental Indicators – Development, measurement and use* (Paris).
- Loorbach, D.; Shiroyama, H.; Wittmayer, J. M.; Fujino, J. and Mizuguchi, S. (2017). *Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas: Linkages between Science, Policy and Practice* (Cham: Springer International Publishing).
- Manfrahs, F. (2020). *Citymanagement: Innenstadt-Belebung mit System – starke Zentren mit Erlebnisqualität gestalten* (Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden).
- Matsuoka, R. H. (2010). Student performance and high school landscapes: Examining the links. *Landscape and Urban Planning* 97, 273–282. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.06.011>
- Meadows, D. H. (1998). *Indicators and Information Systems for Sustainable Development* (Hartland Four Corners: Sustainability Institute).
- Menke, P. (2020). Integrierte Stadtentwicklung braucht lebendiges Grün. In *Smart City – Made in Germany: Die Smart-City-Bewegung als Treiber einer gesellschaftlichen Transformation*, C. Etezzadeh, ed. (Wiesbaden: Springer Fachmedien), pp. 251–256.

- Meyer, W. (2004). Indikatorenentwicklung: Eine praxisorientierte Einführung (2. Auflage) (Saarbrücken: Centrum für Evaluation).
- Mieg, H. A. und Heyl, C. (Hrsg. ) (2013). Stadt: Ein interdisziplinäres Handbuch. (Stuttgart: J. B. Metzler Verlag).
- Millennium Ecosystem Assessment – MEA (Hrsg.) (2005). Ecosystems and human well-being: synthesis (Washington, DC: Island Press).
- Mitchell, R. and Popham, F. (2008). Effect of exposure to natural environment on health inequalities: an observational population study. *The Lancet* 372, 1655–1660. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(08\)61689-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(08)61689-X)
- Newman, P. and Desha, C. (2020). Making Green Cities: Concepts, Challenges and Practice (Cham: Springer International Publishing).
- Niemelä, J.; Saarela, S.-R.; Söderman, T.; Kopperoinen, L.; Yli-Pelkonen, V.; Väre, S. und Kotze, D. J. (2010). Using the ecosystem services approach for better planning and conservation of urban green spaces: a Finland case study. *Biodivers Conserv* 19, 3225–3243. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9888-8>
- Obrist, M. K.; Sattler, T.; Home, R.; Gloor, S.; Bontadina, F.; Nobis, M.; Braaker, S.; Duelli, P.; Bauer, N.; Bruna, P. D. et al. (2012). Biodiversität in der Stadt – für Mensch und Natur. *Merkbl. Prax.* 12.
- Pace, R.; Churkina, G. and Rivera, M. (2016). How green is a “Green City”? – A review of existing indicators and approaches (Potsdam: Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS)).
- Peters, O.; Holz, P. und Jossin, J. (2020). Monitoring der Sustainable Development Goals auf kommunaler Ebene und die Bedeutung von Flächenindikatoren. *IÖR Schriften Flächennutzungsmonitoring XII mit Beiträgen zum Monitoring von Ökosystemleistungen und SDGs*, 149–158. <https://doi.org/10.26084/12DFNS-P016>
- Position der Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt (KBU), (Hrsg.) (2019). Das Konzept der Ökosystemleistungen – ein Gewinn für den Bodenschutz
- Queck, R.; Maronga, B. und Goldberg, V. (2019). Flächenmonitoring. 11: Flächenmanagement, Bodenversiegelung, Stadtgrün/Gotthard Meinel, Ulrich Schumacher, Martin Behnisch, Tobias Krüger (Hrsg.) (Berlin: Rhombos-Verlag).
- Reichholff, J. H. (2007). Stadtnatur – Eine neue Heimat für Tiere und Pflanzen.
- Reif, A. und Gehenzig, M. (2017). Arbeitsblätter zu den Sustainable Development Goals (SDGs).
- Schmidt, C. (2020). Einflussfaktoren auf landschaftliche Resilienz. In *Landschaftliche Resilienz: Grundlagen, Fallbeispiele, Praxisempfehlungen*, C. Schmidt, ed. (Berlin, Heidelberg: Springer), pp. 93–132.
- Schönenberger, W.; Angst, C.; Bründl, M.; Dobbertin, M.; Duelli, P.; Egli, S.; Frey, W.; Gerber, W.; Albisetti, A. D. K.; Lüscher, P. et al. (2003). Waldentwicklung nach Windwurf im Gebirge. *Merkbl. Prax.* 12.
- Schwaiger, E.; Berthold, A.; Gaugitsch, H.; Götzl, M. und Milota, E. (2015). Wirtschaftliche Bedeutung von Ökosystemleistungen monetäre Bewertung – Risiken und Potenziale (Wien: Umweltbundesamt).

Smeets, E. and Weterings, R. (1999). Environmental indicators: Typology and overview (Copenhagen).

Staub, C.; Ott, W. und Heusi, F. (2011). Indikatoren für Ökosystemleistungen: Systematik, Methodik und Umsetzungsempfehlungen für eine wohlfahrtsbezogene Umweltberichterstattung (Bundesamt für Umwelt – BAFU), Umwelt-Wissen Nr. 1102). Stiftung Die Grüne Stadt, (Hrsg.) (2010). Stadtklimatologie und Grün – Anregungen zur Anpassung an den Klimawandel.

Streckenbach, M. (2021). Was sind Bäume wert? – Ein Beitrag zur Bewertung von Bäumen unter Berücksichtigung ihrer gesamten Leistungsbilanz.

Szücs, L.; Garschhammer, J.; Meyer, C.; Reinke, M. und Blum, P. (2019). Integration von Ökosystemleistungen in die kommunale und regionale Landschaftsplanung. Naturschutz und Landschaftsplanung 51, 8.

TEEB (2010) Die Ökonomie von Ökosystemen und Biodiversität: Die ökonomische Bedeutung der Natur in Entscheidungsprozesse integrieren. (TEEB (2010) The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature) Ansatz, Schlussfolgerungen und Empfehlungen von TEEB – eine Synthese

Tennessen, C. M. and Cimprich, B. (1995). Views to nature: Effects on attention. Journal of Environmental Psychology 15, 77–85.  
[https://doi.org/10.1016/0272-4944\(95\)90016-0](https://doi.org/10.1016/0272-4944(95)90016-0)

Tost, H. und Kirsch, P. (2018). Stress In The City. Wie die Umwelt unser Gehirn verändert. Ruperto Carola 60–67. <https://doi.org/10.17885/heiup.ruca.2018.12.23802>

Umweltbundesamt (2018). Bebauung und Versiegelung (Website des Umweltbundesamtes).

Ward Thompson, C.; Roe, J.; Aspinall, P.; Mitchell, R.; Clow, A. and Miller, D. (2012). More green space is linked to less stress in deprived communities: Evidence from salivary cortisol patterns. Landscape and Urban Planning 105, 221–229.  
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.12.015>

Wille, I.; Sellmair, K.; Thormeyer, K. und Vinzing, G. (2017). Vorstudie für eine internationale Konferenz 2017 zu den Themen Urban Gardening/ Urban Farming/Urban Agriculture. 120.

Wu, J. (2014). Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions. Landscape and Urban Planning 125, 209–221.  
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.018>

## **Bildnachweise**

Bilder von Dmitriy (Titel), VrensM (S. 7), Ro Ma, annca, Tom, Pierre Blaché, Gerd Altmann, WikiImages, Martin Redlin, Charles McArthur, NakNakNak, PublicDomainPictures, Steve Buissonne, kconcha, Reimund Bertrams (S. 9), Jeff Klugiewicz (S. 16), Gerhard (S. 18), Gosia K. (S. 22), Ralph (S. 26), rochigb (S. 29), cubicroot (S. 30), nitli (S. 31), modi74 (S. 36), Heiko Stein (S. 38) und Ahmad Ardity (S. 40) auf Pixabay

Bilder S. 5, S. 10, S. 20, S. 24, S. 34 und S. 37 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](mailto:thomas.luetzkendorf@kit.edu)

## **Gestaltung**

Kerstin Schalling  
Lange & Schalling GbR  
Erfurter Straße 5  
99423 Weimar

Telefon: 03643 517554  
E-Mail: [ketli2021@web.de](mailto:ketli2021@web.de)

