

Welche Beziehungen bestehen zwischen der räumlichen Stadtstruktur und den ökologischen Eigenschaften der Stadt?

Stephan Pauleit

- 2.1 Räumliche Stadtstruktur – 32**
- 2.2 Flächennutzung und physische Struktur als ökologische Schlüsselmerkmale der Stadt – 35**
- 2.3 Ökologische Analyse der Stadtstruktur – 37**
 - 2.3.1 Biotop- und Strukturtypenkartierungen – 37**
 - 2.3.2 Das „Patch“ Modell, Landschaftsmaße und Landschaftsgradienten – 51**
- Literatur – 56**

Die räumliche Form und die ökologischen Eigenschaften der Stadt stehen in einer engen Beziehung. Biodiversität, Stadtböden und -klima, die Hydrologie, aber auch die Energie- und Stoffflüsse der Stadt werden in unterschiedlicher Weise von dem Gefüge unterschiedlicher Flächennutzungen, der Bebauung, dem Versiegelungsgrad und dem Anteil und der Art der Grünflächen und weiteren Faktoren beeinflusst. Ihre Erfassung durch Ansätze wie Biotop- und Strukturtypenkartierungen sowie von Gradientenansätzen ist daher ein Schlüssel zum ökologischen Verständnis der Stadt und Stadtregion für eine ökologisch orientierte Stadtentwicklung.

2.1 Räumliche Stadtstruktur

Größe und räumliche Form der Stadt beeinflussen wesentlich ihre ökologischen Eigenschaften. Als Beispiel wurde bereits in ► Kap. 1 auf die Untersuchungen zum Verhältnis von Einwohnerdichte und Energieverbrauch von Newman und Kenworthy (1989) verwiesen. Klimatische Untersuchungen haben auch gezeigt, dass die Stärke der städtischen Wärmeinsel, also der erhöhten Lufttemperaturen in der Stadt gegenüber dem Umland, in einer Beziehung zur Größe einer Stadt steht (Oke 1973). In Megastädten wie London, können die Jahresdurchschnittstemperaturen um 2 bis 3 °C über denen des Umlandes liegen, in kleineren Städten sind sie dagegen nur geringfügig erhöht. Auch die Anzahl der spontan vorkommenden Pflanzenarten nimmt mit ihrer Größe zu (Pyšek 1998). Die Auswertung von floristischen Daten für 21 deutsche Städte zeigte einen logarithmischen Zusammenhang von Bevölkerungszahl und Anzahl der Gefäßpflanzenarten (Werner 2008). Eine Erklärung für die Zunahme der Artenvielfalt ist, dass sich mit zunehmender Stadtgröße auch die Vielfalt an Flächennutzungen erhöht, die jeweils unterschiedliche Lebensräume für die Pflanzen- und Tierwelt bieten (► Kap. 5 zu weiteren die Artenvielfalt beeinflussenden Faktoren).

Aus der Luft betrachtet, erscheinen Städte wie ein Mosaik von Flächen, die sich anhand der Art der Bebauung und zugehöriger Freiräume unterscheiden lassen, etwa durch dichte innerstädtische Bebauung, Einfamilienhausgebiete oder Gewerbegebiete, aber auch durch grüne Bereiche wie

Parkanlagen und Wälder (■ Abb. 2.1). Bei noch höherer Auflösung werden Elemente der Bebauung wie einzelne Gebäude und Garagen sowie Freiraumelemente wie Straßen, Parkplätze, Hinterhöfe, Vor- und Hausgärten erkennbar, die wiederum aus einzelnen Bäumen, Sträuchern, Hecken, Rasen und Blumenbeeten bestehen können.

Stadtform

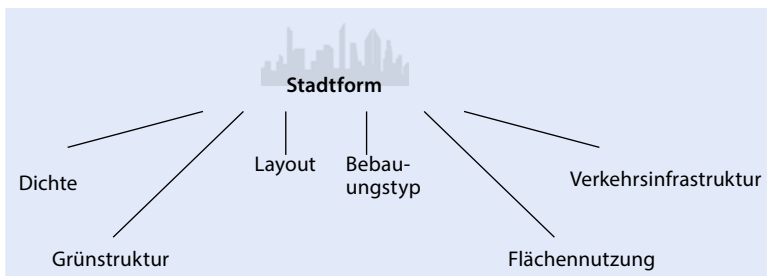
Die Form einer Stadt kann als die räumliche Anordnung von bestimmten Elementen, wie etwa unterschiedlichen Siedlungstypen, definiert werden (Andersson et al. 1996, zit. in Dempsey et al. 2010). Unter verwandten Begriffen wie „räumliche Stadtstruktur“ oder „Stadtmorphologie“ werden ebenfalls die physischen Eigenschaften der Stadt bzw. ihre räumliche Konfiguration beschrieben. Der Geograph Conzen (2004) unterschied drei Komponenten der Stadtlandschaft: das räumliche Muster von Bebauung und Freiräumen, die Bauformen und die Nutzungsmuster. Die Stadtform kann aber nicht nur für die Stadt, sondern auch auf detaillierteren Maßstabebenen beschrieben werden, bis zu den Baumaterialien, Fassadentypen u. a. m. (■ Abb. 2.2).

Stadtform kann bei weitergehenden Definitionen aber nicht nur die physische Struktur der Stadt meinen, sondern auch sozio-ökonomische Faktoren berücksichtigen, wie etwa die Bevölkerungsdichte und -verteilung (Schwarz 2010).

Die Topographie, insbesondere Berge bzw. Hügel sowie Still- und Fließgewässer und Küsten, können die Stadtstruktur und ihre ökologischen Eigenschaften ganz erheblich prägen. Auch ökologische Standortunterschiede, die vielleicht auf den ersten Blick nicht leicht zu erkennen sind, können wesentlichen Einfluss auf die Stadtentwicklung haben (► Fallstudie „Einfluss von natürlichen Standortfaktoren auf die Stadtentwicklung und die Grünstruktur von München“). Gerade diese natürlichen Merkmale machen die Städte und insbesondere die räumliche Struktur und Ausprägung ihrer Grünflächen (nachfolgend „Grünstruktur“) oft unver-



■ **Abb. 2.1** Aus der Luft gesehen ist die Stadt ein heterogenes Mosaik von bebauten Bereichen und Freiräumen
Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung ► www.geodaten.bayern.de



■ **Abb. 2.2** Elemente der Stadtstruktur (nach Dempsey et al. 2010, verändert): *Dichte*: z. B. Bevölkerungsdichte, Bebauungsdichte; *Bebauungstyp*: verschiedene Typen der Wohnbebauung (z. B. Einfamilienhaus-, Reihenhäuser-, Geschossbebauung, Gewerbebebauung); *Layout*: räumliche Anordnung von Gebäuden, Straßen und Freiräumen; *Flächennutzung*: z. B. Wohnen, Gewerbe, Industrie, öffentliche Grünanlagen; *Verkehrsinfrastruktur* und *Zugänglichkeit* (z. B. Reisezeiten zwischen Wohn- und Arbeitsort); *Grünstruktur & natürliche Merkmale*: z. B. Topographie, Still- und Fließgewässer und Küsten

wechselbar (■ Abb. 2.3). Obwohl sie in der Siedlungsentwicklung häufig stark überprägt werden, bilden sie als „Freiraumstruktur“ neben der „Bebauungsstruktur“ die Stadtstruktur. Diese, oft auch als „Stadtlandschaft“ bezeichnet, ist somit das Ergebnis eines besonders intensiven und komplexen Wechsel-

spiels von natürlichen und menschlichen Prozessen (■ Abb. 2.4).

Klassische geographische Modelle der Stadtstruktur beschreiben Stadtstrukturen und deren Entstehung durch sozio-ökonomische Prozesse auf einem hohen Abstraktionsniveau und unter-



■ **Abb. 2.3** Die Grashaiden am nördlichen Stadtrand Münchens sind ein prägender Bestandteil der Grünstruktur in diesem städtischen Verdichtungsraum. (Foto © S. Pauleit)

Einfluss von natürlichen Standortfaktoren auf Stadtentwicklung und Grünstruktur von München

München liegt in der Naturraumeinheit Münchner Ebene. Diese ist von Süden nach Norden geneigt und durch Schotterablagerungen aus der letzten Eiszeit (Würmeiszeit) geprägt. Die mittelalterliche Stadt wurde auf einer späteiszeitlichen Flussterrasse gebaut. So lag die Stadt zwar nahe am Wasser, war aber gleichzeitig auch vor den Hochwassern der wilden Isar geschützt. Seine ursprüngliche Bedeutung verdankt München der Lage an einem Übergang über die Isar, an dem sich wichtige Handelsstraßen kreuzten. Seit dem 19. Jahrhundert wurde die Isar wasserbaulich stark reguliert. Die in der Aue angelegten Parks, einschließlich des Englischen Gartens, wurden bereits im 18. und 19. Jahrhundert geschaffen. Im Jahr 2012 wurde ein umfangreiches Projekt zur Flussrenaturierung an der südlichen Isar abgeschlossen, um die Erhöhung des Hochwasserschutzes mit der Verbesserung des ökologischen Zustands und der Freiraumqualität zu verbinden (► Kap. 8).

Am westlichen Rand der Altstadt befindet sich eine weitere Terrassenkante. Sie bildet den Übergang von der Flussterrasse der Altstadtstufe zur würmeiszeitlichen Niederter-

rasse. Gut erkennbar ist sie am Westrand der Theresienwiese, auf der jährlich das Oktoberfest stattfindet. Auf der anderen, östlichen Seite der Isar begrenzt die Flussaue unmittelbar ein steiler Hang, der von einem das ganze Stadtgebiet von Süd nach Nord durchquerenden Waldstreifen gesäumt wird, den sogenannten „Leitenwäldern“. Hier befinden sich auf der Hangkante Brauereien, die ihre Bierkeller in den zutage tretenden Nagelfluhschottern anlegten und das Quellwasser nutzten (Sommerhoff 1987). Auf der Ostseite der Isar blieb auch eine Altmoräne der vorletzten Eiszeit (Risseiszeit) erhalten. Sie überragt um wenige Meter die Niederterrasse und ist von Lösslehm bedeckt, die den Rohstoff für die Ziegelbauten der Münchner Altstadt lieferten. Die Schotterablagerungen der Niederterrassen dünnen nach Norden hin aus und sind etwas weniger stark geneigt als die darunterliegenden, wasserstauenden Schichten. Einige Kilometer nördlich der Altstadt erreicht das Grundwasser die Oberfläche. Obwohl die Geländeunterschiede sehr gering sind, markierte der Übergang von der „trockenen“, grundwasserfernen zur „nassen“ Münchner Ebene

lange Zeit eine scharfe Grenze für die Besiedelung, die noch heute zu erkennen ist. Auf trockenen Standorten mit besonders mageren Böden etablierten sich durch jahrhundertelange Schafbeweidung artenreiche Magerrasen. Von diesen sogenannten Haiden sind noch größere Reste erhalten geblieben. Teilweise blieben sie durch ihre Nutzung als militärisches Übungsgelände „geschützt“. Sie sind nicht nur sehr wertvolle Biotope, sondern heute auch bedeutende Erholungsgebiete. In den Niedermoorbereichen sind dagegen durch die Intensivierung der Landwirtschaft nur noch kleine Reste naturnaher Streuwiesen vorhanden.

Diese Beispiele zeigen den großen Einfluss der naturräumlichen Bedingungen auf die Stadtentwicklung und Grünstruktur Münchens – und dies, obwohl die Stadt scheinbar auf einer weitgehend gleichmäßigen Ebene liegt. Prägende Grünstrukturen wie die Isaraue, die angrenzenden „Leitenwälder“ oder die Niedermoore am Stadtrand, sind naturräumlich bedingt und tragen mit ihrer jeweils besonderen Pflanzen- und Tierwelt zur Identität der Stadt bei.



■ **Abb. 2.4** Die Stadtlandschaft als Ergebnis der Überlagerung von naturräumlichen Gegebenheiten, Siedlungs- und Infrastruktur. (Pauleit 1998, verändert)

scheiden z. B. zwischen dem konzentrischen Zonenmodell, dem Sektorenmodell und dem Mehrkernmodell (Gaebel 2004). Wenn es darum geht, stadtoökologische Phänomene wie die Verbreitung von Pflanzen- und Tierarten in der Stadt oder die klimatischen Verhältnisse in der Stadt zu erklären (► Kap. 5 und 6), sind aber höherauflösende Strukturmodelle unter Einbezug weiterer erklärender Variablen erforderlich.

2.2 Flächennutzung und physische Struktur als ökologische Schlüsselmerkmale der Stadt

Definition

Als **Flächennutzung** wird die aktuelle Inanspruchnahme einer Fläche für menschliche Zwecke wie Wohnen, Arbeiten, Bildung, Gesundheit, Erholung, Erzeugung von Lebensmitteln, aber auch Naturschutz bezeichnet.

Als Elemente der **physischen Struktur** können beispielsweise Gebäude, Straßen, Vegetation, Gewässer unterschieden werden. Die Erfassung der physischen Struktur kann beispielsweise durch die Auswertung von Satelliten- oder Luftbildern erfolgen. Sie weisen unterschiedliche räumliche und spektrale Auflösungen auf. Einen Überblick über die Anwendungsmöglichkeiten der Fernerkundung im städtischen Räumen geben beispielsweise Taubenböck und Dech (2010).

kein statischer Zustand, sondern ein Prozess der Aneignung von Land, der zu einer Veränderung ihrer Oberfläche führt (Breuste 1994). Anordnung und Ausprägung dieser verschiedenen Flächennutzungen sind nicht zufällig. Sie werden besonders durch ökonomische Faktoren, die nicht zuletzt in den Bodenpreisen zum Ausdruck kommen, sowie durch Regelungssysteme wie das Planungs-, Boden- und Steuerrecht beeinflusst (Gaebel 2004; Jones et al. 2010).

Dieselbe Flächennutzung kann auf mehreren Flächen eine unterschiedliche Ausprägung der physischen Strukturmerkmale aufweisen. Die Wohnbebauung umfasst z. B. Einfamilienhaus-, Reihenhäuser-, Geschosswohnungsbauten und weitere Formen. Umgekehrt kann eine bestimmte Art der Bebauung auch verschiedene Nutzungen beherbergen, etwa Wohnungen, Geschäfte und Büros. Flächennutzung und Merkmale der physischen Struktur sollten daher getrennt erfasst werden.

Die Flächennutzung prägt zwar die jeweilige physische Ausprägung einer Fläche, etwa durch Bebauung, welche sich aber oft deutlich langsamer verändert als die Flächennutzung, die sich wandeln, intensivieren oder extensivieren kann. In den Wohnhäusern der Altstadtgebiete etwa, den dicht bebauten Stadtquartieren der Gründerzeit, aber auch in den Villenhausgebieten aus jener Zeit, können die Häuser äußerlich noch weitgehend dieselben sein, obwohl sich ihre Nutzung geändert hat. Die Einwohnerdichte hat sich beispielsweise in Wohngebieten der Zwischenkriegszeit meist stark geändert. Wo früher kinderreiche Familien in kleinen Wohnungen lebten, finden sich heute vielfach alleinstehende ältere Menschen. Die Einwohnerdichte als ein Maß für die Nutzungsintensität, ist in diesen Wohngebieten daher stark gefallen, obwohl die Gebäude äußerlich

Flächen werden durch die jeweilige menschliche Nutzung geprägt. Die Nutzung einer Fläche ist also

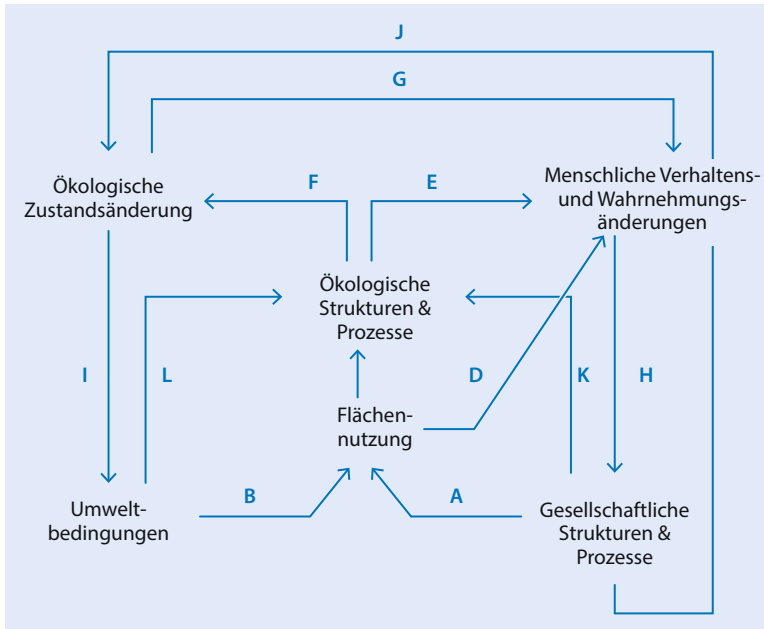


Abb. 2.5 Konzept für die integrierte Erforschung ökologischer und sozialer Systeme in Städten. Variablen befinden sich innerhalb der dargestellten Teilsysteme; Beziehungen und Rückkopplungen werden durch Pfeile dargestellt: A) die Umwelt setzt den Rahmen für die möglichen Arten der Flächennutzung und physischen Strukturen; B) Gesellschaftliche Entscheidungen und menschliches Verhalten (einschließlich ihrer Determinanten) sind die direkten Antriebskräfte für Flächennutzungsänderungen; C) Das städtische Flächennutzungsgefüge (unabhängig von seinen Ursachen) bestimmt ökologische Strukturen und Prozesse; D) Menschen nehmen Flächennutzungsänderungen wahr und reagieren darauf (unabhängig von den Umweltauswirkungen); E) Menschen nehmen auch ökologische Strukturen und Prozesse wahr und reagieren darauf; F) Durch diese Wechselbeziehungen führt der Einfluss von Landnutzungsänderungen auf die ökologischen Prozesse zu einer Änderung der Umweltverhältnisse; G) Diese Änderungen der Umweltverhältnisse können zu Änderungen im Verhalten im Verhalten führen (auch wenn bis dahin die Bedeutung von ökologischen Strukturen und Prozesse ignoriert wurde). Die veränderten Umweltverhältnisse können als Verbesserung oder Verschlechterung beurteilt werden; H) Wahrnehmungs- und Verhaltensänderungen wirken zurück auf das Gesellschaftssystem und sie beeinflussen Entscheidungen, wodurch der dargestellte Kreislauf von neuem beginnt; I) In einigen Fällen können lokale Umweltveränderungen zur großräumigen Änderung der Umweltbedingungen führen (Beispiel: Wärmeinseleffekt); J) Wenn gesellschaftliches Handeln aufgrund veränderter Umweltverhältnisse als erforderlich angesehen wird, kann die Gesellschaft versuchen, die Umweltverhältnisse direkt zu verändern oder K) Einfluss auf die ökologischen Strukturen und Prozesse zu nehmen, die das Problem verursachen. Schließlich beeinflussen die Umweltbedingungen ökologische Prozesse unabhängig von der Flächennutzung (L). (Grimm et al. 2000, verändert; Urheberrecht beim Verlag der Originalveröffentlichung)

weitgehend gleich geblieben sind. In anderen Stadtteilen mit großen alten Stadtvillen haben sich häufig Anwaltskanzleien und andere Dienstleistungen angesiedelt. Dieser Nutzungswandel führt wiederum zu Anpassungen der physischen Struktur, etwa wenn (Vor-)Gärten in diesen Villengebieten in Parkplätze für die Mitarbeiter und Kunden umgewandelt werden und damit eine Erhöhung der Flächenversiegelung einhergeht (Pauleit et al. 2005).

Flächennutzung und physische Struktur der Fläche haben als Steuerungsgrößen entscheidende Bedeutung für die Stadtökologie (Richter 1984; Breuste

1987, 1994; Pauleit 1998). Aus ökologischer Sicht bestimmen sie wesentlich das jeweils vorherrschende „Störungsregime“, das die ökologische Struktur, Funktion und Dynamik der Fläche prägt (Cadenasso et al. 2013). Die Zusammensetzung von Flora und Fauna, die Ausprägung klimatischer und hydrologischer Merkmale, oder auch die Eigenschaften von Stadtböden, können sich zwischen den einzelnen Flächennutzungen deutlich unterscheiden (z. B. Gehrke et al. 1977; Henry und Dicks 1987; Gilbert 1989; Sukopp und Wittig 1998; Breuste 1994; Pauleit 1998; Sauerwein 2004; Stewart und Oke 2012;

► Kap. 3, 5 und 6). Die Ausprägung der physischen Struktur, die über Merkmale wie z. B. die Bebauungsdichte, die Flächenversiegelung u. a. m. gemessen werden kann, steht beispielsweise in enger Beziehung mit hydrologischen und klimatischen Eigenschaften der verschiedenen Flächennutzungen (► Kap. 6).

Art und Intensität der Flächennutzungen und der physischen Struktur beeinflussen auch die Energie- und Stoffströme einer Stadt („Metabolismus“, ► Kap. 1). Der Gesamtenergieverbrauch eines überwiegend zu Wohnzwecken genutzten Stadtquartiers etwa, kann mit der Einwohnerdichte und Art der Bebauung korrelieren – soziale, kulturelle und ökonomische Faktoren spielen aber möglicherweise eine noch größere Rolle (Baker et al. 2010).

Flächennutzung und physische Struktur bedingen und beeinflussen sich gegenseitig. Beide werden, wie in ■ Abb. 2.5 angedeutet, durch gesellschaftliche Prozesse und Umweltprozesse beeinflusst und vice versa. Diese Abbildung illustriert den theoretischen Ansatz, der für die integrierte Erforschung des Ökosystems Stadt im Rahmen von großangelegten stadtökologischen Forschungsprogrammen in den amerikanischen Städten Baltimore und Phoenix (sogenannte *Long-term Ecological Research Programs*, LTER, Grimm et al. 2000) gewählt wurde.

2.3 Ökologische Analyse der Stadtstruktur

2.3.1 Biotop- und Strukturtypenkartierungen

In statistischen Erhebungen in Gemeinden, etwa zu der Flächennutzung, werden Informationen zur ökologischen Charakterisierung der Stadt nicht gezielt erfasst. Zu ihrer Erfassung sind daher eigene Untersuchungen erforderlich. Geeignete Ansätze zur ökologischen Analyse und Bewertung der Stadtlandschaft sollten dabei nach Breuste (2006, verändert) folgende Anforderungen erfüllen:

- Bereitstellung von flächendeckenden Informationen,
- schnelle und kostengünstige Datenerhebung,
- Erkenntnisse über die Beziehungen zwischen Umweltqualität und Stadtstruktur, -funktion und -dynamik,

- Bezug auf Planungsinstrumente und -hierarchien,
- Möglichkeit zur Entwicklung und Anwendung von Bewertungsverfahren.

Stadtökologische Raumgliederungen werden in der Bundesrepublik Deutschland im Zuge der Erfassung von Lebensräumen für die Pflanzen- und Tierwelt (sogenannte Stadtbiotopkartierungen) seit den 1970er Jahren erstellt. Für mehr als 200 deutsche Städte wurden Biotopkartierungen durchgeführt (Werner 2008). Diese Biotopkartierungen bilden eine wichtige Informationsgrundlage für den städtischen Naturschutz, für Naturschutzprogramme und -pläne (z. B. städtische Arten- und Biotopschutzprogramme, Landschafts- und Grünordnungsplanung), oder sie dienen auch als Grundlage für die Beurteilung der Auswirkungen von menschlichen Eingriffen in die Natur und den Naturhaushalt bei Planungsvorhaben. Verschiedene Vorgehensweisen werden angewendet, von der gezielten Erfassung der als schutzwürdig erachteten Lebensräume („selektive“ Erhebungen), bis zu flächendeckenden Erhebungen. Die Arbeitsgruppe „Methodik der Biotopkartierung im besiedelten Bereich“ bemühte sich um die Standardisierung dieser Vorgehensweisen (Schulte et al. 1993; ► Kap. 5).

Die Flächennutzung wird in diesen Erhebungen als wesentliche ökologische Determinante für die städtische Pflanzen- und Tierwelt betrachtet (Sukopp et al. 1980, S. 565), um auf dieser Grundlage die Stadt in Lebensraumtypen zu unterteilen (Fallstudie „Biotoptypenkarte von Berlin“). Da eine vollständige Erfassung der vorkommenden Pflanzen- und Tierarten in Großstädten für die vielen Raumeinheiten nicht möglich ist, werden vertiefende Untersuchungen auf ausgewählte Flächen beschränkt, um von hier auf die Gesamtheit aller Flächen des selben Typs zu schließen (sog. flächendeckend-repräsentative Biotopkartierungen).

Stadtstrukturtypenkartierungen stellen einen ähnlichen Ansatz dar. Unterschieden werden Flächen, die bezüglich ihrer Bebauungs- und Grünstruktur einheitlich geprägt sind, und daher auch jeweils charakteristische ökologische Eigenschaften aufweisen sollen. Entwicklung und Anwendung dieses Ansatzes erfolgten parallel in der damaligen Bundesrepublik Deutschland und der Deutschen

Demokratischen Republik in den 1980er Jahren (Richter 1984; Duhme und Lecke 1986; Breuste 1987). Im Unterschied zu den Biotopkartierungen ist hier allerdings das Ziel, nicht „nur“ die Lebensräume für die Pflanzen- und Tierwelt zu erheben, sondern eine umfassende landschaftsökologische Analyse des Stadtökosystems, einschließlich seiner Energie- und Stoffflüsse, zu ermöglichen (■ Abb. 2.7).

Für Strukturtypenkartierungen gibt es verschiedene Beispiele, etwa aus Halle, Leipzig, München, Linz, Sofia, Manchester, Daressalam und Addis Abeba (Duhme und Lecke 1986; Breuste 1987; Pauleit 1998; Terzijski 2004; Gill et al. 2008; Henseke 2013; Cavan et al. 2013). In mehreren Untersuchungen wurden auch der Bebauungs- und Flächenversiegelungsgrad, der Grünflächenanteil oder auch Angaben zur Freiraumnutzung und Nutzungsintensität für die verschiedenen Strukturtypen erhoben (Duhme und Lecke 1986; Pauleit 1998; Gill et al. 2008; Cavan et al. 2013), um die Beziehungen zwischen diesen Merkmalen und den klimatischen

und hydrologischen Verhältnissen in den Strukturtypen zu analysieren. Das nachfolgende Beispiel der Strukturtypenkartierung für die Stadt München illustriert diesen Ansatz.

Der hier kurz vorgestellte Ansatz der Strukturtypenkartierung zeichnet ein Bild der Stadtlandschaft, wie es aus gewöhnlichen Flächennutzungskartierungen oder auch der Erfassung öffentlicher Grünflächen sonst nicht erkennbar wird. Erkennbar wird aus den Erhebungen in München etwa die Verbreitung von bedeutsamen Lebensräumen für die Pflanzen- und Tierwelt und ihr Zustand (■ Tab. 2.2). Eine wesentliche Erkenntnis solcher Erhebungen ist, dass es sich dabei meist nicht um öffentliche Grünanlagen handelt, sondern um Reste naturnaher Flächen wie Wälder und Heideflächen. Auch viele Brachen finden sich darunter, die aus Nutzungsaufgaben (z. B. Industriebetriebe, Bahnanlagen) oder auch aus angefangenen und später aufgegebenen Bauvorhaben heraus entstanden sind. Landwirtschaftlich genutzte Flächen und

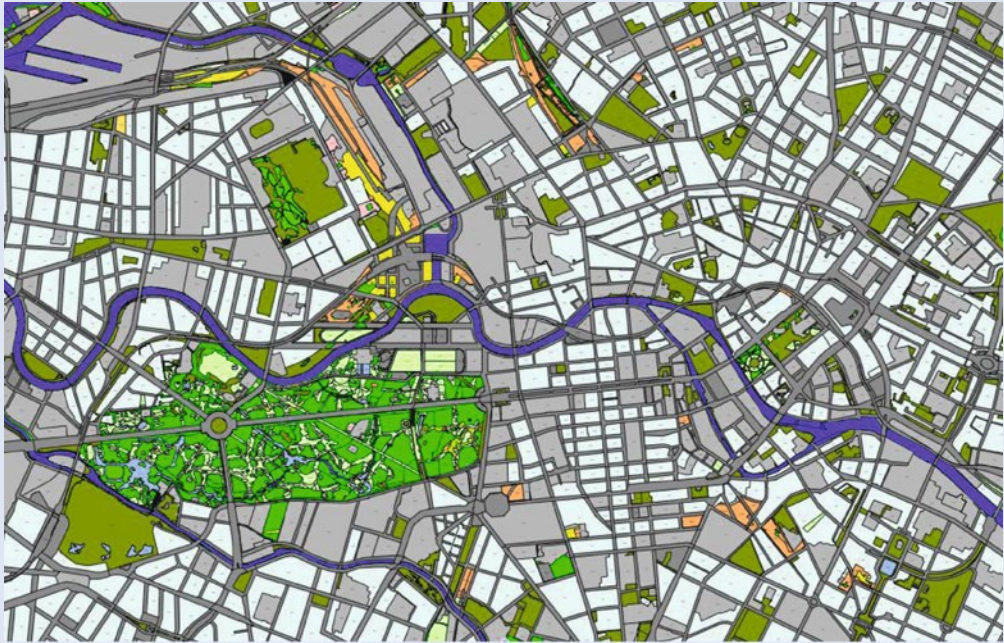
Biotoptypenkarte von Berlin

Nach einer ersten umfassenden Biotopkartierung für Westberlin, die als wichtige Grundlage für das Artenschutzprogramm der Stadt Berlin diente (AG Artenschutzprogramm Berlin 1984), und u. a. zu einer Karte der ökologischen Raumeinheiten Berlins führte (Sukopp 1990), wurde von 2003 bis 2008 eine neue, die Gesamtstadt umfassende Biotopkartierung erstellt, die auch digital verfügbar ist (► http://www.stadtentwicklung.berlin.de/natur_gruen/naturschutz/biotopschutz/de/biotopkartierung/karte.shtml). Alle Wald-, Forstflächen, Natura-2000-Gebiete, Naturschutzgebiete sowie andere bereits als naturschutzfachlich besonders wertvoll bekannte Gebiete Berlins wurden durch Begehung der Flächen erfasst. Die bebauten Bereiche wurden unter Nutzung vorhandener Informationen zu baulichen Strukturtypen und einem Grünflächenkataster in Biotoptypen verschlüsselt. Der Biotoptypenschlüssel umfasst insgesamt nicht weniger als 7483

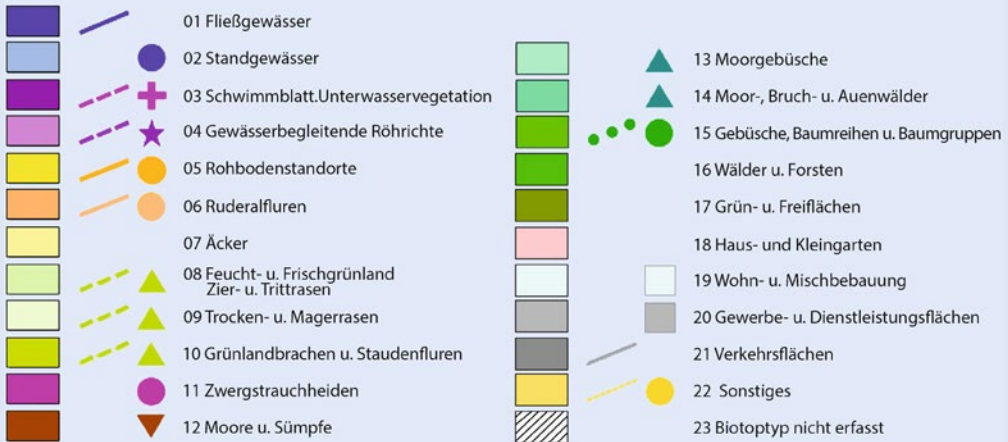
Biotoptypen, die wiederum 22 Biotopengruppen zugeordnet wurden. ■ Abb. 2.6 zeigt einen Ausschnitt der Biotoptypenkarte für einen Bereich der Innenstadt. Vorherrschend sind hier „Wohn- und Mischbebauung“, „Gewerbe- und Dienstleistungsflächen“ sowie die als „Verkehrsflächen“ bezeichneten Straßenzüge. Erkennbar sind auch verschiedene Grünflächen mit dem Tiergarten im Zentrum. Die Biotoptypenkartierung liefert ein differenziertes Bild der Ausprägung dieser Grünflächen. So werden etwa auf dieser aggregierten Ebene der Biotopgruppen im Tiergarten „Wälder und Forsten“, „Grün- und Freiflächen“, „Feucht- und Frischgrünland, Zier- und Trittrasen“, sowie „Standgewässer“ unterschieden. Der Kartenausschnitt weist auch „Rohbodenstandorte“ und „Ruderalfluren“ längs von Gleisanlagen und „Fließgewässer“ auf. Die Biotoptypen dienen beispielsweise als Grundlage, um bei Eingriffen nach dem Bundesna-

turschutzgesetz den Umfang von Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen zu ermitteln (Köppel et al. 2013). Die Bestimmung des Biotopwerts der verschiedenen Lebensraumtypen basiert auf einer Einschätzung ihrer Naturnähe (sog. „Hemerobie-stufen“, ► Kap. 4) und weiteren wertbestimmenden Merkmalen wie dem Vorkommen seltener oder geschützter Arten, der Vielfalt der Pflanzen- und Tierwelt (soweit in Felderhebungen erfasst), einer Beurteilung der Seltenheit des Biototyps, des Zeitraums, der zur Wiederherstellung des Biototyps benötigt wird, und des Risikos, dass die Wiederherstellung gelingt. Auf diese Weise liefert die Erfassung der ökologischen Grundstruktur Berlins durch die Biotoptypenkartierung in Verbindung mit weiteren Erhebungen die Grundlagen für die Landschaftsplanung, die Anwendung der Eingriffsregelung, für Umweltberichte und Umweltverträglichkeitsprüfungen.

(Fortsetzung)



Flächen Linien Symbole

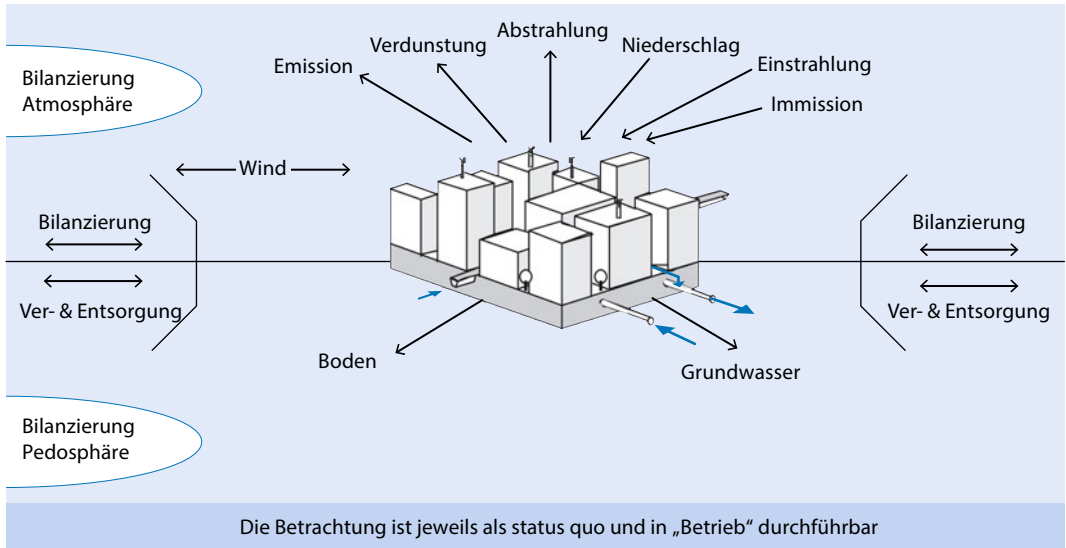


■ Abb. 2.6 Ausschnitt der Biotoptypenkarte für Berlin. (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt o. J.)

Forsten, die den Stadtrand prägen, gehören ebenfalls zur Grünstruktur einer Stadt. Die Bedeutung dieser Grünstrukturen für Ökosystemdienstleistungen und den Naturschutz wird in den ► Kap. 5 und 6 noch weiter ausgeführt.

Auch die ökologischen Leistungen von oder die Belastungen durch städtische Flächennutzungen

wie den unterschiedlichen Formen von Wohnbebauung, Gewerbe- und Industriegebieten oder auch Verkehrsinfrastrukturen wie Gleisanlagen lassen sich so analysieren. Wichtig ist hierzu die Erfassung von Merkmalen der physischen Oberflächenstruktur wie dem Flächenversiegelungsgrad, dem Vegetations- und dem Gehölzanteil.



▣ **Abb. 2.7** Struktureinheiten und -typen als räumlich-integratives Bezugssystem für die Analyse des Stadtökosystems. (Pauleit 1998, verändert)

Biotop- und Strukturtypenkartierung in München

Die erste Biotopkartierung für München erfasste die als schutzwürdig beurteilten Lebensräume für die Pflanzen- und Tierwelt (LÖK 1983). Sie war Grundlage für ein Naturschutzkonzept für die Stadt München (Duhme und Pauleit 1992).

Der ganz überwiegende Teil von seltenen oder gefährdeten Arten wurde in schutzwürdigen Biotopen gefunden, die aber nur etwa 10 % der Stadtfläche ausmachten und stark zersplittert waren. Sie repräsentierten nur einen kleinen Teil der unterschiedlichen städtischen Flächennutzungen sowie auch der landwirtschaftlich genutzten Stadtrandgebiete. Um für die Stadtplanung und den Naturschutz auch mit vertretbarem Aufwand grundlegende Informationen zu den ökologischen Eigenschaften und Werten der baulich geprägten Siedlungsflächen bereitzustellen, wurde eine Strukturtypenkartierung durchgeführt, in der durch Auswertung von Luftbildern die verschiedenen Nutzungsstruktureinheiten unter-

schieden und in Typen kategorisiert wurden (▣ Abb. 2.8).

Für jede Einzelfläche wurden Merkmale der Bebauung und Freiräume mit aufgenommen, wie der Flächenanteil von überbauten Flächen, asphaltierten oder gepflasterten Flächen, von Bäumen, Sträuchern, Wiesen und Rasenflächen und Rohböden. Der jeweilige Flächenanteil wurde durch eine visuelle Auswertung der Luftbilder geschätzt. Diese Merkmale wurden erhoben, weil sie a) in direktem ursächlichem Zusammenhang mit Ökosystemdienstleistungen wie der Temperaturregulation oder der Niederschlagsversickerung stehen, und weil sie b) ihre Ausprägung über die Instrumente der Stadtplanung beeinflusst werden können, etwa durch Festsetzungen der Bebauungsdichte oder Grünausstattung in Bebauungsplänen.

Die Erhebungen ermöglichten eine detaillierte Darstellung der Stadtstrukturtypen, einschließlich der Grünstrukturen der Stadt, sowie eine Analyse ihrer Bedeutung

für den Naturschutz (▣ Tab. 2.1).

Zonierungen der Stadt mit jeweils eigenen ökologischen Merkmalen werden erkennbar (▣ Tab. 2.2), von der dicht bebauten Innenstadt mit einem hohen Versiegelungsgrad und entsprechend geringen Vegetations- und Gehölzanteilen und inselförmigen Grünflächen über Zonen von dichter und aufgelockelter Wohnbebauung, in denen sich insgesamt der größte Anteil der Vegetation und der Gehölzbestände befindet, bis zu Gewerbe- und Industriezonen mit einem höheren Anteil von Brachflächen. Während der Innenstadtbereich vergleichsweise homogen von Altstadt- und Blockbebauung geprägt wird, ist der umgebende Gürtel der Wohn-, Gewerbe- und Industriegebiete durch eine hohe Durchmischung unterschiedlicher Strukturtypen geprägt, die kleinere oder größere Flächen einnehmen. Auch große historische Parkanlagen und Friedhöfe sind in diese Zone eingebettet. Der land- und forstwirtschaftlich geprägte Stadtrandbereich ist demgegenüber

(Fortsetzung)

wieder weniger vielfältig und die einzelnen Flächen sind deutlich größer. Auch große zusammenhängende Grünstrukturen wie die Isar und ihre angrenzenden Wälder und Parkanlagen sind zu erkennen (Tab. 2.2).

Die Karten der Flächenversiegelung und der Gehölzanteile (Abb. 2.9 und 2.10) zeigen Eigenschaften der Stadtstruktur, die in enger Beziehung zur Biodiversität und regulierenden Ökosystemdienstleistungen wie der Verminderung des Regenwasserabflusses von befestigten Flächen in die Kanalisation

und Verminderung der thermischen Belastungen an Hitzetagen stehen (Abb. 2.11; Pauleit 1998; Pauleit und Duhme 2000).

Die genannten Stadtzonen haben alle spezifische Eigenschaften, Potenziale und Defizite, die daran angepasste Ziele und Maßnahmen für die ökologisch orientierte Stadtentwicklung erfordern. In der dicht bebauten Innenstadt etwa werden Maßnahmen zur Erhöhung des Vegetationsbestands vordringlich sein. Aber wie geht das, wenn der Platz begrenzt ist? Wo können zusätzliche Bäume gepflanzt wer-

den? Wo sind Potenziale, um dazu Flächen zu entsiegeln? Wie viel Grün kann durch Dach- und Fassadenbegrünung geschaffen werden, und reicht es aus, um die Ökosystemdienstleistungen in den Innenstädten wesentlich zu erhöhen? In gut durchgrünten Wohngebieten stellt sich dagegen häufig – vor allem in wachsenden Städten wie München – die Frage, wie der Grünbestand mit seinen wichtigen Ökosystemdienstleistungen erhalten werden kann. Wie lassen sich etwa die alten Baumbestände bei Nachverdichtung sichern?

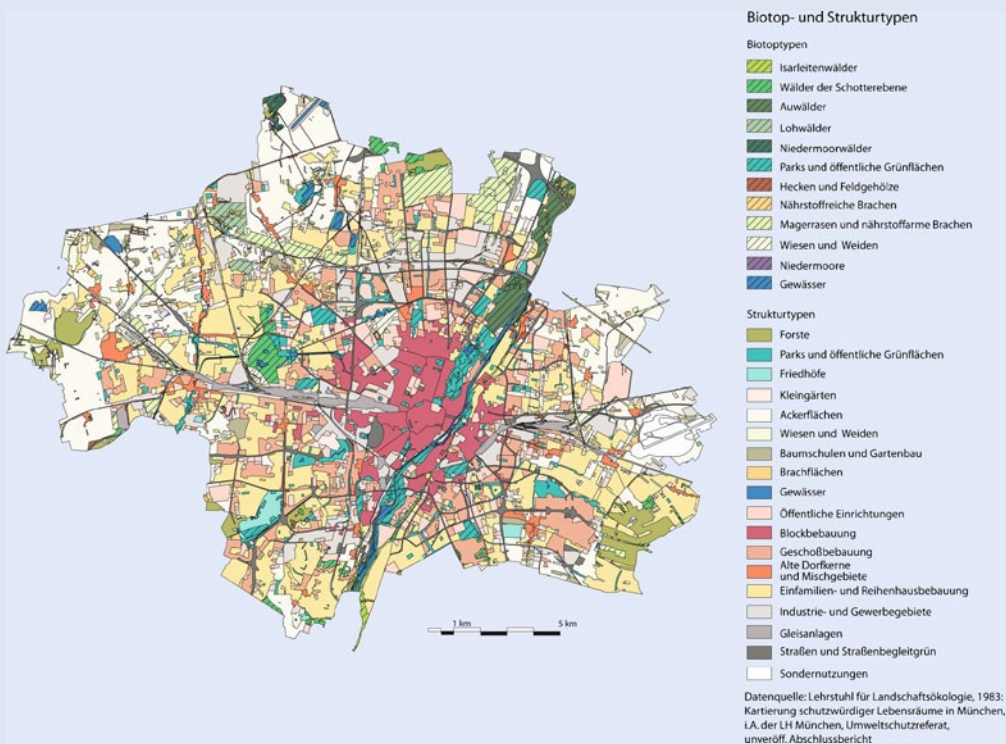


Abb. 2.8 Biotop- und Strukturtypenkarte für München. Sie zeigt das vielfältige Mosaik unterschiedlicher Flächennutzungs- und Grünstrukturen, aus denen Städte bestehen. (LÖK et al. 1990)

(Fortsetzung)

Tab. 2.1 Alte Villengebiete und das Stadtzentrum haben sehr unterschiedlichen ökologische Eigenschaften (nach Breuste 2009, verändert; Fotos: © S. Pauleit)


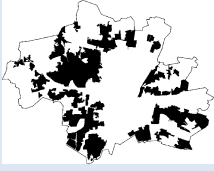

	Alte Villengebiete	Stadtzentrum
		
Flächennutzung	Wohnen	Wohnen mit Gewerbe, Dienstleistungen und Büros
Stadtstrukturtyp	Einzelhausbebauung	Dichte Blockbebauung
Bebauungsgrad	20–30 %	> 70 %
Freiflächentypen	Ausgedehnte Hausgärten	Kleine Hinterhöfe, Plätze, Straßen
Art der Vegetation	Hoher Vegetationsanteil, insbes. Baumanteil	Sehr geringer Vegetationsanteil
Flächenversiegelung	< 40 %	> 70 %

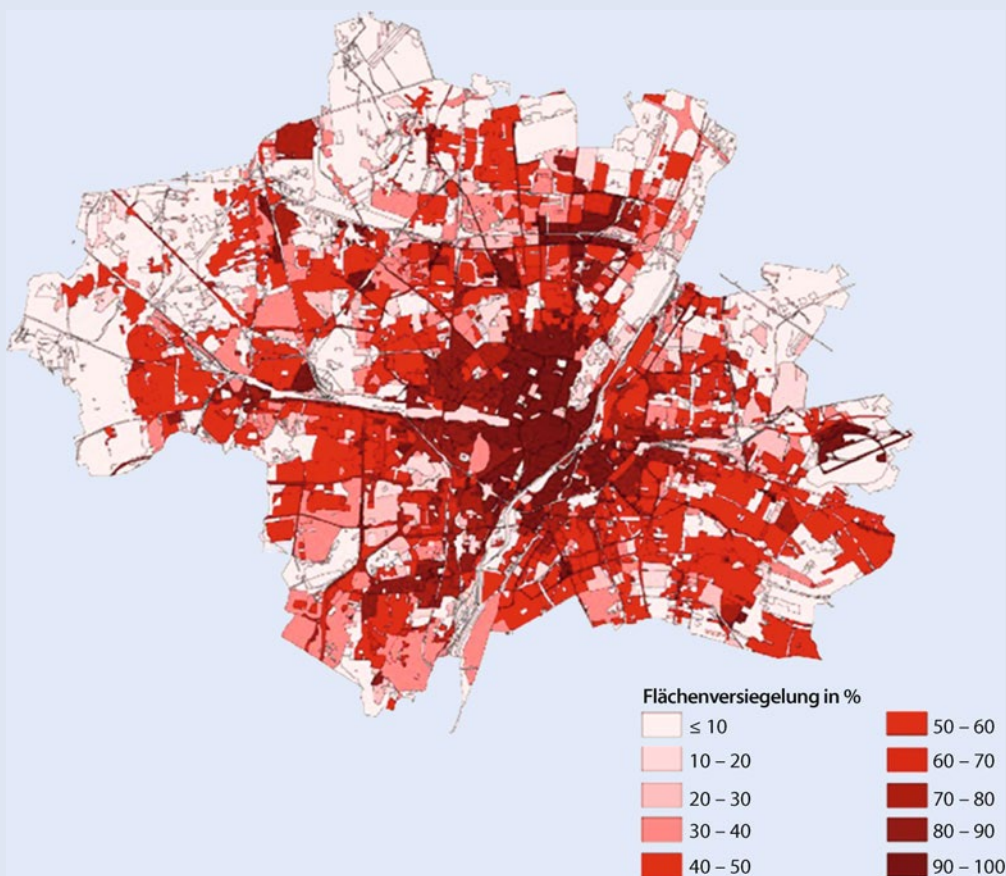
Tab. 2.2 Grünstrukturen der Stadt München. (Quelle: Pauleit 2005)

			
Fließgewässer: Isar als bedeutendster Grünzug mit naturnahen Lebensräumen	Niedermoore: Nur noch kleine Reste naturnaher Feuchtwiesen (Pfeile) (grau: ursprüngliche Ausdehnung der Niedermoore)	Wälder: Unterschiedliche naturnahe Waldtypen, stark fragmentiert	Magerrasen: Reste ehemals ausgedehnter Heideflächen. Brachen in Gewerbe und Industriezonen und entlang von Bahnanlagen. Starke Verluste durch Siedlungsentwicklung

(Fortsetzung)

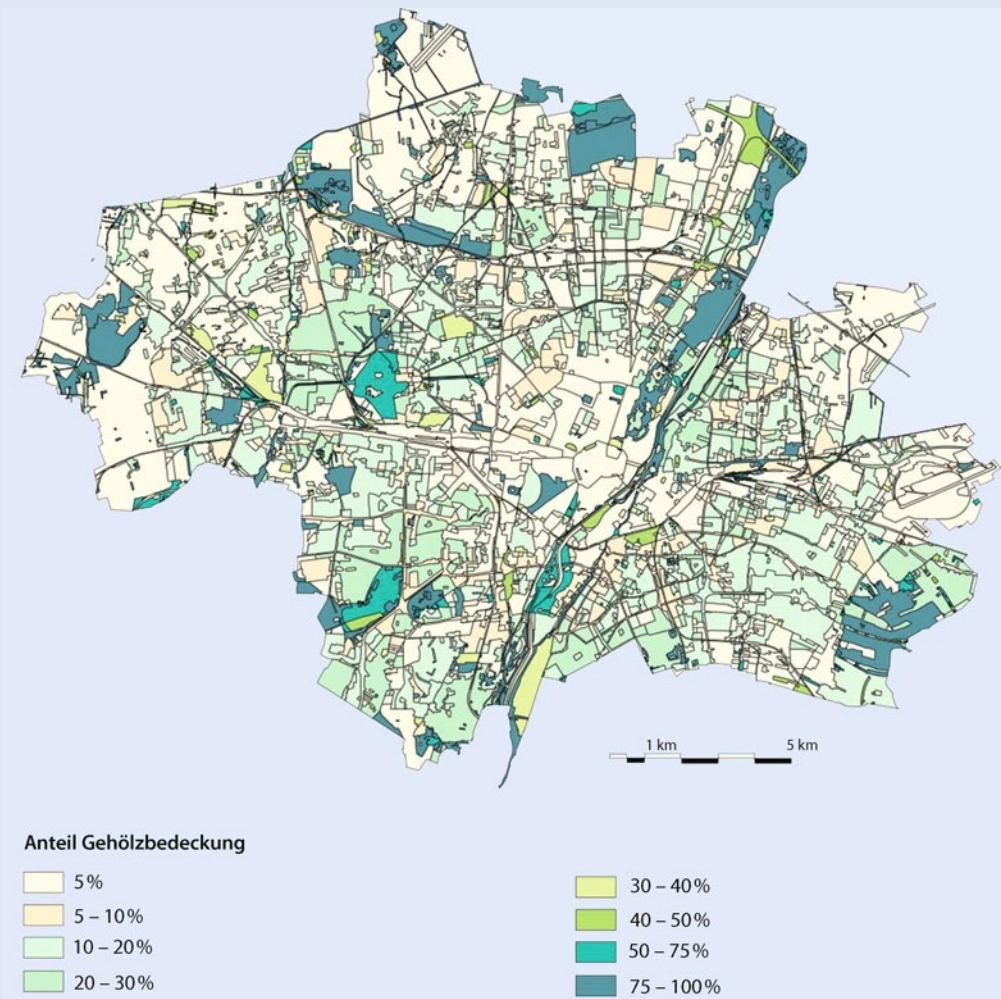
■ Tab. 2.2 (Fortsetzung)

			
Parks: Zerstreut im bebauten Bereich. Alte Parkanlagen mit wichtigen Lebensraumstrukturen	Lockere Wohnbebauung: Größter Grünflächenanteil innerhalb der Bebauung. Ältere Villengärten mit bedeutenden Gehölzbeständen	Landwirtschaft: Intensiv bewirtschaftete Flächen, nur über Wege zugänglich	Gleisanlagen: Teilweise bedeutende Verbundfunktion für Magerasenlebensräume



■ Abb. 2.9 Flächenversiegelungskarte für München. (LÖK et al. 1990)

(Fortsetzung)



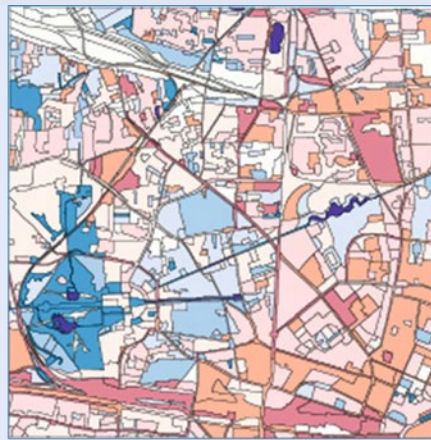
Quelle: habitat and structure type survey, 1983

■ Abb. 2.10 Gehölzanteile für Struktureinheiten in München. (LÖK et al. 1990)

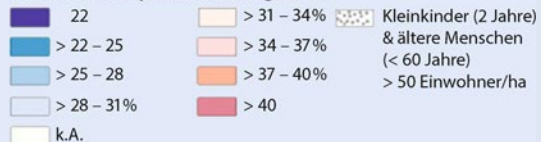
(Fortsetzung)



Flächenanteil von Bäumen und Sträuchern



Oberflächentemperaturen mittags in °C:



■ **Abb. 2.11** Gehölzanteile und Oberflächentemperaturen in einem Münchner Untersuchungsgebiet. (Pauleit 1998)

Definition

Mit Flächenversiegelung ist die dauerhafte Überbauung oder Befestigung der Bodenoberfläche (z. B. durch Asphalt) durch mehr oder weniger luft- und wasserundurchlässige Materialien gemeint (Wessolek 2010 und Prokop et al. 2011 mit weiteren Definitionen).

Die Flächenversiegelung ist ein ökologisches Schlüsselmerkmal in Städten. Sie bedeutet die Beeinträchtigung oder den vollständigen Verlust von belebter Bodenoberfläche sowie der Bodenfunktionen (► Kap. 3). Die Flächenversiegelung ist in Städten abhängig von der jeweiligen Art der Bebauung und der Grünflächenstruktur. Im Münchner Stadtgebiet sind 36 % der Flächen versiegelt (Artmann 2013). In der dicht bebauten Innenstadt werden aber Versiegelungsanteile von über 70 % der Fläche erreicht. Die Wohnbebauung weist sehr unterschiedliche Versiegelungsanteile von 20–60 % auf (■ Abb. 2.9, ■ Tab. 2.3). Große Gewerbe- und Industriegebiete können ebenfalls einen Versiegelungsgrad von bis

zu 80 % oder in Einzelfällen noch darüber aufweisen. Die Flächenversiegelung am land- und forstwirtschaftlich geprägten Stadtrand liegt dagegen deutlich unter 20 %.

■ Tabelle 2.3 zeigt aus einer Untersuchung für ein Teilgebiet der Stadt München die durchschnittlichen Flächenversiegelungsgrade von Stadtstrukturtypen sowie weitere Flächenmerkmale wie den Vegetations- und den Gehölzanteil (Pauleit 1998). Auch Durchschnittswerte für wichtige ökologische Eigenschaften der Strukturtypen wie die Oberflächentemperaturen und der zur Versickerung gelangende Anteil der Niederschläge werden angegeben. Eine Zunahme der Flächenversiegelung um 10 % korreliert beispielsweise mit einer Erhöhung der Oberflächentemperaturen um 1,0 °C (ebd.). Nach einer anderen Untersuchung in München erhöht sich die Lufttemperatur bei einer zehnprozentigen Zunahme der Flächenversiegelung von Freiräumen um durchschnittlich 0,7 °C (Bründl et al. 1986). Die Umweltauswirkungen der Flächenversiegelung sind auch aus anderen Untersuchungen belegt (z. B. Haase and Nuissl 2007; Scalenghe und Marsan 2009).

Die Erfassung von Grünflächen-, Vegetations- und Gehölzanteilen bieten weitere Informationen zur ökologischen Stadtstruktur. Der Anteil von Grün- und Gewässerflächen reicht in europäischen Städten von weniger als 2 % bis annähernd 50 % (Fuller und Gaston 2009). Erfasst werden konnten in dieser Erhebung allerdings nur Grün- und Wasserflächenflächen, die sich auf Landsat-Satellitenbildern mit einer Auflösung von 25 m als einzelne Flächen unterscheiden ließen, nicht aber die vegetationsbedeckten Flächen innerhalb von Wohngebieten, Gewerbe- und Industriegebieten. Städte in Süd- und Osteuropa wiesen durchschnittlich geringere Grünflächenanteile pro Einwohner auf, als Städte in Nord- und Nordwesteuropa. Der Grünflächenanteil stieg interessanterweise mit der Flächenausdehnung der Städte bei gleicher Bevölkerungsdichte an. Erwartungsgemäß nahm der Grünflächenanteil pro Einwohner demgegenüber mit zunehmender Bevölkerungsdichte stark ab.

Insgesamt 58 % der Fläche des Münchner Stadtgebiets waren 1982 vegetationsbedeckt (LÖK 1983). In dieser Zahl sind die Vegetationsbestände der Wohnbebauung, Gewerbegebiete, Verkehrsinfrastrukturen, aber auch der landwirtschaftlich geprägte Stadtrandbereich eingeschlossen. Der Vegetationsanteil kann zwischen den Strukturtypen aber sehr stark variieren (■ Tab. 2.3), von unter 20 % Flächenanteil in der dichten Blockbebauung der Innenstadt und Gewerbe- und Industriebebauung bis zu über 60 % in der Einfamilienhausbebauung.

Untersuchungen in anderen Städten Mittel- und Nordeuropas zum Anteil der vegetationsbedeckten Flächen kommen zu ähnlichen Ergebnissen. In Manchester beispielsweise liegt der Anteil vegetationsbedeckter Flächen insgesamt bei 72 % und im besiedelten Bereich (d. h. ohne die landwirtschaftlich genutzten Stadtrandbereiche) bei 59 % (Gill et al. 2007). In Linz liegt er für das gesamte Stadtgebiet, einschließlich der land- und forstwirtschaftlich geprägten Stadtrandbereiche bei 53 % (Henseke 2013).

Während sich bei der Strukturtypenkartierung Vegetationsanteile und Flächenversiegelung gegenüberstehen, liefert die Karte zu den von Bäumen und Sträuchern bedeckten oder überschirmten Flächen (■ Abb. 2.10) neue Informationen. Erkennbar wird jetzt die unterschiedliche Qualität der Vegetations-

bestände in den verschiedenen Flächennutzungsstrukturen. Wälder und Gehölzbestände (Bäume und Sträucher) haben eine hohe Bedeutung für das Stadtbild, die Erholungseignung von Freiräumen und Ökosystemdienstleistungen wie die Verringerung der Lufttemperaturen und des oberflächlichen Wasserabflusses nach Starkregenereignissen. Hohen Wert als Lebensraum für die Pflanzen- und Tierwelt weisen vor allem dichte, alte Gehölzbestände auf. Ihre Rolle als Kohlenstoffspeicher ist im Zuge des Klimawandels ebenfalls zu erwähnen (Nowak 2002; Tyrväinen et al. 2005).

Der Gehölzanteil lag in München 1982 bei 17 % (eine neuere Erhebung lag nicht vor). Er ist damit etwa gleich hoch, wie der Anteil bebauter Flächen, der 1982 bei 18 % lag. Nicht zu Unrecht wird die Gesamtheit der städtischen Gehölzbestände in Nordamerika daher auch als „Urban Forest“ bezeichnet (Nowak 2002). Erwartungsgemäß ist der Gehölzanteil hoch in Wäldern und großen alten Parkanlagen mit waldähnlichen Gehölzbeständen. Auch alte Friedhöfe können einen dichten Gehölzbestand aufweisen. In aufgelockerter Wohnbebauung kann der Gehölzanteil aber ebenfalls hoch sein. Durchschnittlich werden durch Baumkronen und Sträucher in der Einfamilienhausbebauung in München immerhin 24 % der Gesamtfläche überschirmt (■ Tab. 2.3). Der Gehölzanteil kann in Villengebieten aber noch deutlich darüber liegen und einen hohen Anteil alter, großkroniger Bäume aufweisen. Ornithologische Erhebungen zeigten für München, dass sich Vogelarten wie etwa der Waldlaubsänger, die sonst nur in Wäldern im Stadtgebiet nachgewiesen wurden, auch in diesen Villengebieten brüteten (LÖK 1990). Wohngebieten mit Gehölzbeständen dieser Qualität wurden deshalb als Korridore für den Lebensraumverbund der Wälder bewertet.

Auch in anderen Städten wurde die besondere Bedeutung von Grünflächen in der Wohnbebauung festgestellt. Nach Loram et al. (2007) befinden sich beispielsweise in fünf britischen Städten zwischen 22–27 % aller vegetationsbedeckten Flächen in Hausgärten. Im Großraum Manchester befinden sich ca. 20 % aller vegetationsbedeckten Flächen und sogar 30 % aller Gehölzbestände in der Wohnbebauung (Gill 2006).

Für amerikanische Städte wurde der Flächenanteil von Gehölzbeständen („Urban Forest“) und

Tab. 2.3 Merkmale der physischen Struktur und Ökosystemdienstleistungen (► Kap. 5) von Strukturtypen in München. (Quelle: Pauleit und Duhme 2000)

	Fallzahl	Flächenversiegelung ^a	Anteil bebauter Flächen	Vegetationsflächenanteil ^b	Gehölzanteil ^c	Oberflächentemperaturen ^d	Niederschlagsversickerung ^e	Oberflächenabfluss ^f
Geordnet nach der Flächenversiegelung		In %	In %	In %	In %	in °C	In %	l/m ²
Straßen	76	88,7	0	9,5	4,3	37,4	10,5	33,0
Blockbebauung	54	85,4	45,2	13,9	6,1	36,6	10,3	30,1
Geschoss- und Hallenbebauung	56	81,3	38,2	9,3	3,7	38,6	12,0	28,4
Parkplätze	9	69,6	5,2	13,7	7,5	39,2	19,0	18,7
Sonderbauten	4	54,2	23,5	36,6	11,3	34,7	19,4	13,0
Geschossbebauung	219	52,3	28,5	43,5	14,9	34,1	19,5	18,2
Hallenbebauung	43	50,4	27,0	23,3	6,7	37,1	23,4	15,9
Reihenhausbebauung	25	49,1	26,7	49,9	19,9	33,6	19,4	20,1
Mischbebauung	11	43,6	26,6	52,6	26,1	33,6	20,4	16,5
Einzelhausbebauung	83	35,2	16,5	62,0	23,9	32,9	23,4	13,1
Sportanlagen	30	24,3	7,4	65,4	12,0	32,8	28,6	4,0
Sonderkulturen	32	22,3	16,3	71,4	6,3	32,7	30,9	14,3
Kleingärten	35	18,2	12,9	72,3	22,4	30,4	30,0	6,3

Die Daten beziehen sich auf ein Untersuchungsgebiet, das etwa 15 % der Stadtfläche einnimmt. Landwirtschaftlich geprägte Stadtrandbereiche sind unterrepräsentiert

Anmerkung: Die Summe versiegelter und vegetationsbedeckter Flächen ist kleiner als 100 %. Die restlichen Flächen sind offene Kiesflächen (z. B. auf Bahnanlagen) und Wasserflächen

^aFlächenversiegelung = Gebäude, Asphalt- und Pflasterflächen

^bVegetation = Baum-, Strauch-, Wiesen-, Rasen-, Kraut-, Beet- und Ackerflächen

^cGehölzanteil = Baumüberschirmte und strauchbedeckte Flächen

^dAus einer Thermalbefliegung vom 08/07/1982, 12.30–14.00 Uhr (Baumgartner et al. 1985)

^eAls prozentualer Anteil der jährlichen Niederschlagsmenge von 948 mm (Station München-Riem). Berechnung: s. Pauleit 1998

^fBei einem einstündigen Niederschlag von 40 mm (Wiederkehrhäufigkeit 10 Jahre). Berechnung: s. Pauleit 1998

■ Tab. 2.3 (Fortsetzung)

	Fallzahl	Flächenver- siegelung ^a	Anteil bebauter Flächen	Vege- tations- flächen- anteil ^b	Gehölz- anteil ^c	Ober- flächen- tempe- raturen ^d	Nieder- schlags- versicke- rung ^e	Ober- flächen- abfluss ^f
Geordnet nach der Flächenver- siegelung		In %	In %	In %	In %	in °C	In %	l/m ²
Hecken	46	18,1	1,0	77,2	55,3	27,1	22,2	7,2
Kiesflächen	28	14,2	5,8	15,5	5,1	37,5	41,7	5,0
Parks	100	8,8	1,0	81,2	25,5	29,9	31,2	18,1
Gleisanlagen	10	6,1	1,8	5,6	0,5	40,1	55,0	2,0
Fließgewäs- ser	23	4,3	0,1	40,6	22,2	22,7	15,0	0
Friedhöfe	3	3,0	2,8	84,7	44,3	25,9	32,8	1,1
Brachen	55	2,8	1,0	80,2	22,6	31,2	33,8	0,7
Wiesen	18	1,9	0,1	94,1	3,8	28,3	34,2	0,2
Ackerflächen	37	1,0	0,1	97,3	1,2	28,5	38,9	1,0
Wälder	24	0,9	0,2	94,7	86,4	24,1	21,8	1,0
Stillgewässer	7	0	0	0	0	20,7	0	0
Gesamt/ Durchschnitt	1028	42,3	18,2	45,0	16,9	33,8	23,1	16,1

Die Daten beziehen sich auf ein Untersuchungsgebiet, das etwa 15 % der Stadtfläche einnimmt. Landwirtschaftlich geprägte Stadtrandbereiche sind unterrepräsentiert

Anmerkung: Die Summe versiegelter und vegetationsbedeckter Flächen ist kleiner als 100 %. Die restlichen Flächen sind offene Kiesflächen (z. B. auf Bahnanlagen) und Wasserflächen

^aFlächenversiegelung = Gebäude, Asphalt- und Pflasterflächen

^bVegetation = Baum-, Strauch-, Wiesen-, Rasen-, Kraut-, Beet- und Ackerflächen

^cGehölzanteil = Baumüberschirmte und strauchbedeckte Flächen

^dAus einer Thermalbefliegung vom 08/07/1982, 12.30–14.00 Uhr (Baumgartner et al. 1985)

^eAls prozentualer Anteil der jährlichen Niederschlagsmenge von 948 mm (Station München-Riem). Berechnung: s. Pauleit 1998

^fBei einem einstündigen Niederschlag von 40 mm (Wiederkehrhäufigkeit 10 Jahre). Berechnung: s. Pauleit 1998

versiegelten Flächen für sämtliche als städtisch klas-
sifizierten Gebiete für das Jahr 2005 ermittelt (No-
wak und Greenfield 2012). Der durchschnittliche
Flächenanteil von Bäumen und großen Sträuchern
lag bei 35 % und reichte von 9–67 % in den urbanen
Bereichen der unterschiedlichen Bundesstaaten.
Eine Auswertung von Luftbildern verschiedener
Jahre zeigte für 20 amerikanische Städte, dass der

Baumbestand jährlich durchschnittlich um etwa
0,3 % abnahm, während sich der Anteil versiegelter
Flächen entsprechend erhöhte (Nowak und Green-
field 2012). Für europäische Städte liegen bislang
keine vergleichbaren Angaben zu den Anteilen und
der Dynamik der Gehölzbestände vor.

Die Bedeutung des Gehölzanteils für regu-
lierende Ökosystemdienstleistungen wird in

■ Abb. 2.11 am Beispiel der Oberflächentemperaturen verdeutlicht. Eine Zunahme des Gehölzanteils um 10 % bedeutet nach dieser Studie eine Senkung der Oberflächentemperaturen um 1,4 °C (Pauleit 1998), während eine zehnprozentige Erhöhung des Gesamtanteils der vegetationsbedeckten Flächen (Bäume, Sträucher, Wiesen und Rasen) zu einer Verminderung der Oberflächentemperaturen um „nur“ 1,0 °C führte (► Kap. 6 zu ähnlichen Ergebnissen anderer Untersuchungen). Grund für die besondere Effektivität von Bäumen zur Klimaregulierung oder auch zur Reduktion des oberflächlichen Regenwasserabflusses ist ihre dreidimensionale Struktur und die hohe Blattoberfläche. Maße für das Vegetationsvolumen oder der sogenannte

Blattflächenindex werden daher auch als Parameter verwendet, um die Ökosystemdienstleistungen von Gehölzbeständen zu ermitteln bzw. zu simulieren (z. B. mit dem i-Tree Tool des US Forest Service, Nowak et al. 2008; King et al. 2014; s. a. Hardin und Jensen 2007). Fernerkundungsmethoden wie LiDAR werden zukünftig eine flächendeckende Erhebung und regelmäßige Fortschreibung solcher Bestandsdaten ermöglichen (MacFaden et al. 2012).

Die Untersuchung der Flächennutzungs- und Grünstruktur von Daressalam, Tansania

Die Fallstudie Daressalam soll einen kleinen Einblick in die Flächennutzung und Grünstruktur einer Stadt geben, die sich von europäischen Städten wie München oder Berlin ganz grundlegend unterscheidet (► Kap. 1). Die folgenden Angaben stammen aus einem von der EU finanzierten Forschungsprojekt CLUVA (*Climate Change and Urban Vulnerability in Africa*). Eine Strukturtypenkartierung war eine wichtige Grundlage für dieses Projekt (■ Abb. 2.12, Cavan et al. 2013). Daressalam wurde erst in der Kolonialzeit gegründet. Besonders in den letzten Jahrzehnten hat sie sich fast explosionsartig entwickelt und weist heute über vier Mio. Einwohner auf. Bei einem anhaltenden jährlichen Bevölkerungszuwachs von etwa 5 % würde sich die Bevölkerungszahl bis 2030 verdoppeln. Stadtwachstum findet in Daressalam überwiegend informell statt, das heißt, dass die Siedlungen nicht von der Stadtverwaltung geplant werden und keinen rechtlich gesicherten Status besitzen. Der dicht bebaute, aber im Verhältnis zur gesamten Siedlungsfläche kleine Stadtkern Daressalams wird daher von ausgedehnten Siedlungen niedriger Bebauung umgeben, die sich vorwiegend entlang von

großen Ausfallstraßen entwickeln (■ Abb. 2.13). Wichtige übergeordnete Grünstrukturen sind in der Stadt die Flusstäler, in denen sich ebenfalls informelle Siedlungen ausgebreitet haben. Die Flüsse sind durch Müllablagerungen und Abwässer stark belastet (■ Abb. 2.14). Parkanlagen und andere öffentliche Grünflächen wurden in Daressalam nur in sehr geringem Umfang angelegt. Eine der größten Grünflächen in der Innenstadt ist ein Golfplatz, der nicht öffentlich zugänglich ist. Ein bedeutender Teil des Grüns befindet sich in locker bebauten Siedlungen. Allein in den Streusiedlungen am Stadtrand, die insgesamt 25 % der Stadtfläche einnehmen, befinden sich 20 % der vegetationsbedeckten Flächen. Urbane Landwirtschaft und urbanes Gärtnern finden in vielfältigen Formen in den informellen Siedlungen, in den Flusstälern und weiteren unbebauten Bereichen im Stadtgebiet statt und besitzen große Bedeutung für die Selbstversorgung der Bevölkerung (Afton und Magid 2013). Die Siedlungsfläche und der Anteil von versiegelten Flächen nahmen von 2002 bis 2008 um 2 % zu. Der rasanten Siedlungsentwicklung am Stadtrand fielen etwa 5000 ha land-

wirtschaftlich genutzte Flächen zum Opfer – die Nahversorgung der Bevölkerung durch urbane Landwirtschaft wird durch diese Entwicklung gefährdet. Die Ausdehnung von Wäldern, Buschland und Feuchtgebieten verringerte sich um ein Drittel. Auch in der Stadt verschwanden viele Grünflächen durch die bauliche Verdichtung der Siedlungen. Der jährliche Verlust von Gehölzbeständen war mit 11 % ihrer Fläche besonders groß. Als Folge verringern sich die Ökosystemdienstleistungen der Grünstruktur dramatisch und die Vulnerabilität gegenüber klimawandelbedingten Naturgefahren wie Überschwemmungen erhöht sich weiter. Die Anwendung eines räumlichen Szenarienmodells im Forschungsprojekt CLUVA zeigte, dass die Verdichtung bereits bestehender Siedlungen einen wesentlichen Beitrag zur Sicherung der stadtnahen Landwirtschaft leisten würde (Pauleit et al. 2013). Die Sicherung bzw. Wiedergewinnung der Flusstäler als grüne Korridore ist eine weitere Schlüsselaufgabe für die ökologisch orientierte Stadtentwicklung. Die Umsetzung solcher Ziele würde aber eine wesentliche Stärkung der Stadtplanung erfordern.

(Fortsetzung)

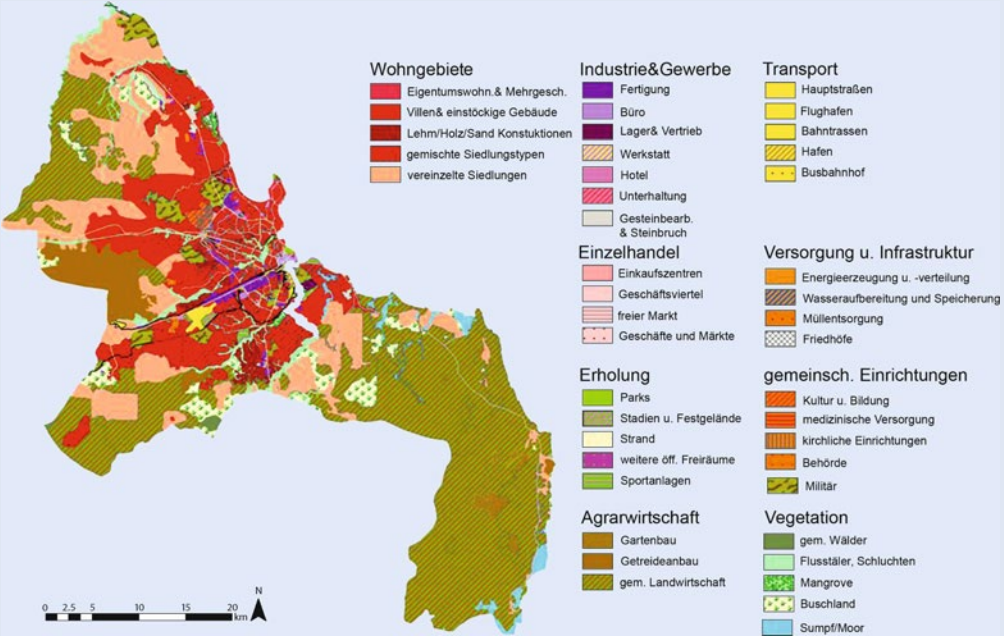


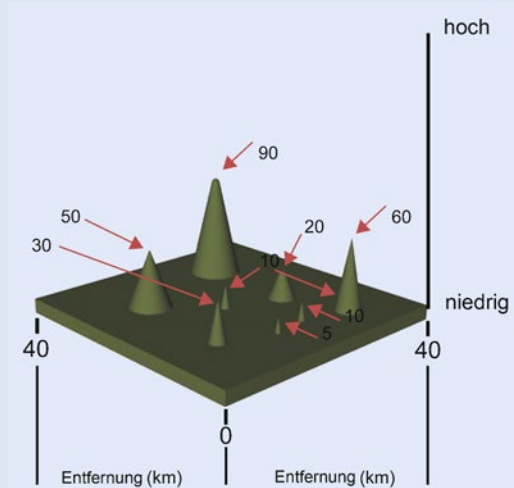
Abb. 2.12 Die Flächennutzungs- und Grünstruktur von Daressalam. (Cavan et al. 2012)



Abb. 2.13 Strukturtypen in Daressalam: a dicht bebaute Innenstadt, b Flusstal mit informeller Siedlung im Hintergrund, c informelle Siedlung am Stadtrand. (Fotos: a, b: © S. Pauleit, c: © A. Printz)

(Fortsetzung)

■ **Abb. 2.14** Schematische Darstellung von komplexen Urbanitätsgradienten in der Stadtregion. Die Höhe der Berge symbolisiert dabei die Intensität der Urbanität. (Nach McDonnell und Hahs, unveröff. Powerpointpräsentation, Urban Ecology Workshop, Duluth, 18.–20. Mai 2006)



2.3.2 Das „Patch“ Modell, Landschaftsmaße und Landschaftsgradienten

Das landschaftsökologische „Patch-Corridor-Matrix Modell“ (Forman und Godron 1986; Forman 1995) eröffnet eine weitere Perspektive auf die Stadtlandschaft, da es das Augenmerk auf die räumlichen Beziehungen ihrer Elemente legt.

Landschaften können demnach als ein Gefüge von unterschiedlichen „Patches“ (= Fleck, Flecken) aufgefasst werden, die jeweils durch ökologische Standortunterschiede und/oder bestimmte „Störungsregimes“ erzeugt werden. Die räumliche Heterogenität von Landschaften beeinflusst wesentlich ökologische Prozesse wie etwa die Stoffflüsse oder auch Verbreitung von Pflanzen- und Tierarten (Pickett und White 1985). „Corridors“ (= Korridore) sind dabei gewissermaßen die Transportwege für Energie und Stoffe sowie die Verbreitungswege von Pflanzen und Tieren. „Patches“ und „Korridore“ sind wiederum in die Matrix eingebunden, die insgesamt die ökologischen Eigenschaften der Landschaft bestimmt (z. B. „Wald“-Landschaft, „Agrar“-Landschaft, „Stadt“-Landschaft).

Dieser Ansatz kam im *Long-term Ecological Research* Forschungsprojekt in Baltimore zur Verwen-

dung (Pickett et al. 2009; Cadenasso et al. 2007). Mit „Hercules“ (*High Ecological Resolution Classification for Urban Landscapes and Environmental Systems*) wurde in Baltimore ein Ansatz zur Anwendung des „Patch“ Modells in der Stadt entwickelt. Nicht anders als in den bereits vorgestellten Strukturtypenkartierungen wurden Flächen abgegrenzt und typisiert, die sich voneinander aufgrund ihrer Konfiguration der Bebauung und der Freiräume unterscheiden lassen (Cadenasso et al. 2013). Ebenso wurden die Flächenanteile von Merkmalen der physischen Struktur wie die überbaute Fläche, befestigte Fläche, Gehölzfläche und Fläche der krautigen Vegetation geschätzt.

Neben der physischen Struktur bestimmen auch Merkmale wie die Größe und Form die ökologischen Eigenschaften der „Patches“. Die Flächengröße kann beispielsweise die Qualität als Lebensraum für die Pflanzen- und Tierwelt beeinflussen. Für kleine Waldvogelarten, etwa den Pirol oder den Waldlaubsänger, scheint beispielsweise eine Mindestgröße der Wälder von etwa 10 ha für ihr Vorkommen notwendig zu sein (van Dorp und Opdam 1987). Auch die klimatischen Eigenschaften von Grünflächen sind größenabhängig. Der Unterschied zwischen der durchschnittlichen Lufttemperatur in Grünflächen und ihrer baulich geprägten

Analyse der räumlichen Struktur und Dynamik von Wäldern von Kwangju, Südkorea

Kwangju ist eine schnellwachsende Stadt in Südkorea mit 1,4 Mio. Einwohnern (2002). Sie liegt eingebettet in eine Gebirgslandschaft, die überwiegend bewaldet sind, während die Talbereiche meist für den Reisanbau genutzt werden. Das starke Wachstum der Stadt, landwirtschaftliche Intensivierung im Stadtumland, aber auch die zunehmende touristische Erschließung der Berge führen zum Verlust und zur Zerschneidung von Waldflächen und Gehölzbeständen.

In vier Landschaftstypen, die einen Gradienten von der Berglandschaft, über die landwirtschaftlich geprägte Zone, den Stadtrandbereich bis in die Innenstadt repräsentieren, wurden der Landschaftswandel und seine Auswirkungen auf die Wälder mittels Landschaftsmaßen analysiert, von denen drei nachfolgend vorgestellt werden sollen (Kim und Pauleit 2009).

1. Der „Waldflächenform“-Index ist eine dimensionslose Zahl, die das Verhältnis zwischen Umfang und Fläche der Wälder angibt. Biotope mit komplexeren Formen und einem höherem Anteil an Randbereichen können eine höhere Biodiversität aufweisen. Da aber auf den Waldinnenbereich spezialisierte Pflanzen- und Tierarten in kleinen Wäldern mit hohem Anteil von Randbereichen nicht vorkommen können, wurde

- der Index zusätzlich nach der Flächengröße gewichtet;
2. der „Mittlere Abstand zur nächsten Waldfläche“ ist ein Maß für die Entfernung zwischen Waldlebensräumen, um ihre Isolation zu ermitteln; und
3. „Waldflächendichte“-Index (Anzahl von Wäldern pro 100 ha) als ein Maß für die räumliche Heterogenität bzw. Konnektivität der Landschaft (McGarigal et al. 2002). Zusätzlich wurde auch die Veränderung der Oberflächenbedeckung in der jeweiligen Landschaftsmatrix analysiert, da sie die Möglichkeit zur Verbreitung von Arten beeinflussen kann.

Insgesamt gingen zwischen 1976 und 2002 knapp 14 % des Waldbestandes in der Stadtregion von Kwangju verloren. Die Landschaftsmaße (Tab. 2.4) zeigen die sehr unterschiedliche Beschaffenheit und die spezifische Dynamik der Waldbestände auf dem Gradienten von der Innenstadt über die Stadtrandbebauung und Agrarlandschaft bis zu den Bergen. In der Innenstadt war der Waldanteil insgesamt am niedrigsten, die einzelnen Wälder durchschnittlich am kleinsten und ihre geometrische Form am einfachsten. Zwischen 1976 und 2002 reduzierte sich der Anteil der Waldfläche in der Innenstadt um fast die Hälfte, was zu einem weiteren Rückgang der Dichte führte. Ihre

Isolation nahm nicht weiter zu, weil die verbleibenden Wälder vor allem in zwei Teilbereichen der Innenstadt erhalten blieben. In der Stadtrandzone waren die Wälder auf den steilen Hügeln noch eng benachbart. Ihre geometrische Form war deutlich komplexer als die der Wälder in der Innenstadt. Die Stadtrandlandschaft wies aber aufgrund des starken Stadtwachstums nach der Innenstadt die zweitgrößten Verluste an Wäldern und Waldfläche auf. Der durchschnittliche Abstand zu anderen Wäldern nahm in der Stadtrandlandschaft am stärksten zu. Die intensiv landwirtschaftlich geprägte Landschaft wies einen vergleichsweise niedrigen Anteil und überwiegend kleine Wälder auf. Die Verluste an Waldfläche waren ähnlich hoch wie am Stadtrand, aber die Anzahl der Wälder blieb gleich. In den Bergen herrschten die besten Lebensraumbedingungen für die Pflanzen- und Tierwelt der Wälder. Allerdings führte die touristische Erschließung der Berglandschaft zwischen 1976 und 2002 zu den größten absoluten Flächenverlusten von Wäldern und zu einer deutlichen Zunahme ihrer Fragmentierung. Auf Grundlage dieser Analyse konnten jeweils unterschiedliche Schutz- und Entwicklungsziele vorgeschlagen werden (Kim und Pauleit 2009).

Umgebung unterschied sich beispielsweise in einer Untersuchung in Berlin erst ab einer Größe von etwa 3 ha (Stülpnagel 1987). Neben der Flächengröße spielt aber auch die geometrische Form der einzelnen „Patches“ eine Rolle für ihre ökologischen Eigenschaften, etwa durch die formbedingte Größe der Rand- und Störungsbereiche.

Merkmale der Flächenform können durch verschiedene sogenannte Landschaftsmaße beschrieben werden. Alberti (2008) etwa unterscheidet Strukturmaße für die „Form“ (= räumliche Konfi-

guration), Dichte (z. B. Bevölkerungsdichte, Bebauungsdichte), Heterogenität (Vielfalt unterschiedlicher physischer Strukturen) und Konnektivität (z. B. von Grünverbindungen). Für eine klimatische Charakterisierung der Stadtstruktur wurden auch Maße wie „Porosität“, „Kompaktheit“ der Bebauung und „Oberflächenrauigkeit“ verwendet (Adolphe 2001; Steemers et al. 2004). Als Beispiel für die Anwendung von Landschaftsmaßen zeigt die folgende Fallstudie für die südkoreanischen Stadtregion Kwangju wie sich die Auswirkungen des Stadtwachstums und

Tab. 2.4 Analyse der Walddynamik im Verdichtungsraum Kwangju, Südkorea. (Quelle: Kim und Pauleit 2009)											
Land-schafts-typ	Jahr	Flächennutzung (Anteil an der Gesamtfläche in %)				Waldmerkmale		Durchschnitt-liche Größe der Wälder (ha)	Flächen-gewich-teter Mittlerer Flächen-form-Index (AWMPSI)	Mittlerer Abstand zur nächsten Waldfläche (MNND (m))	Wald-flächendichte (PD) (Anzahl der Wald-flächen pro 100 ha)
		Siedlung	Landwirt-schaft	Wälder	Sonstiges	Waldfläche (ha)	Anzahl der Wälder				
Stadt	1976	77,9	12,3	8,9	0,9	80,5	41,0	1,9	1,66	263	4,4
	2002	87,0	7,8	4,3	0,9	38,7	13,0	2,9	1,44	264	1,5
Stadt-rand	1976	33,8	29,6	32,8	3,8	195,3	32,0	6,1	2,62	188	5,3
	2002	48,1	21,0	27,1	3,8	161,0	28,0	5,7	2,66	287	4,9
Land-wirt-schaft	1976	5,6	75,7	12,1	6,6	121,3	97,0	1,2	1,70	182	9,7
	2002	6,7	76,4	10,3	6,6	103,1	96,0	1,0	1,67	185	9,6
Berg-land	1976	5,6	48,1	44,5	1,8	706,3	86,0	8,2	3,81	232	5,3
	2002	12,3	44,8	41,1	1,8	652,0	91,0	7,1	3,63	221	5,9

damit in Zusammenhang stehende Prozesse der Intensivierung der Landwirtschaft und der Erschließung der umgebenden Berge für den Tourismus auf die Struktur der Wälder auswirken. Die ökologische Relevanz solcher Landschaftsmaße ist allerdings selten durch unabhängig erhobene Daten zur Flora und Fauna oder auch zu Ökosystemdienstleistungen überprüft worden (Leitão und Ahern 2002; Li und Wu 2004; Corry und Nassauer 2005).

Wie das Beispiel aus Südkorea bereits andeutet, können mit Landschaftsmaßen auch Stadt-Land-Gradienten beschrieben werden. Ziel von solchen Untersuchungen ist es, die Auswirkungen von unterschiedlich stark ausgeprägter Urbanisierung auf ökologische Prozesse zu analysieren (z. B. McDonnell et al. 1997; Luck und Wu 2002; Hahs und McDonnell 2006; Pickett et al. 2009; Alberti 2008). Für Leipzig wurde beispielsweise die Entwicklung der Flächenversiegelung entlang eines urban-ruralen Gradienten von 1870 bis 2006 untersucht und die Auswirkungen auf die Hydrologie analysiert (Haase und Nuissl 2010). In anderen Studien wurden Auswirkungen der Urbanisierung (z. B. der Wärmeinseleffekt, Nutzungseinflüsse und andere anthropogen verursachte „Störungen“ (McDonnell et al. 1997)) auf die Biodiversität, Sukzessionsverläufe oder die Nährstoffkreisläufe in Wäldern von der Innenstadt über den Stadtrand bis zu ländlich geprägten Räumen analysiert. Der Gradientenansatz wurde weiterentwickelt, um auch polyzentrale Stadtstrukturen und die vielschichtige Überlagerung von natürlichen und anthropogenen Gradienten zu analysieren (■ Abb. 2.14).

Das größte Potenzial des Gradientenansatzes für die stadtökologische Forschung besteht vielleicht darin, dass er (a) nicht von vorgefassten Vorstellungen ausgeht, was als Stadt und Land zu gelten hat – eine Unterscheidung, die in heutigen Stadtregionen mit ihren großen peri-urbanen Bereichen und weitausgreifenden funktionalen Verflechtungen nicht mehr anwendbar ist, und (b) den Blick dafür schärft, dass Urbanitätsgradienten das Ergebnis verschiedener physisch-struktureller, sozio-demographischer und ökonomischer Faktoren sind, die in ihrer jeweils spezifischen Zusammenwirken die ökologischen Eigenschaften der Stadtlandschaft prägen (► Kap. 1; Boone et al. 2014).

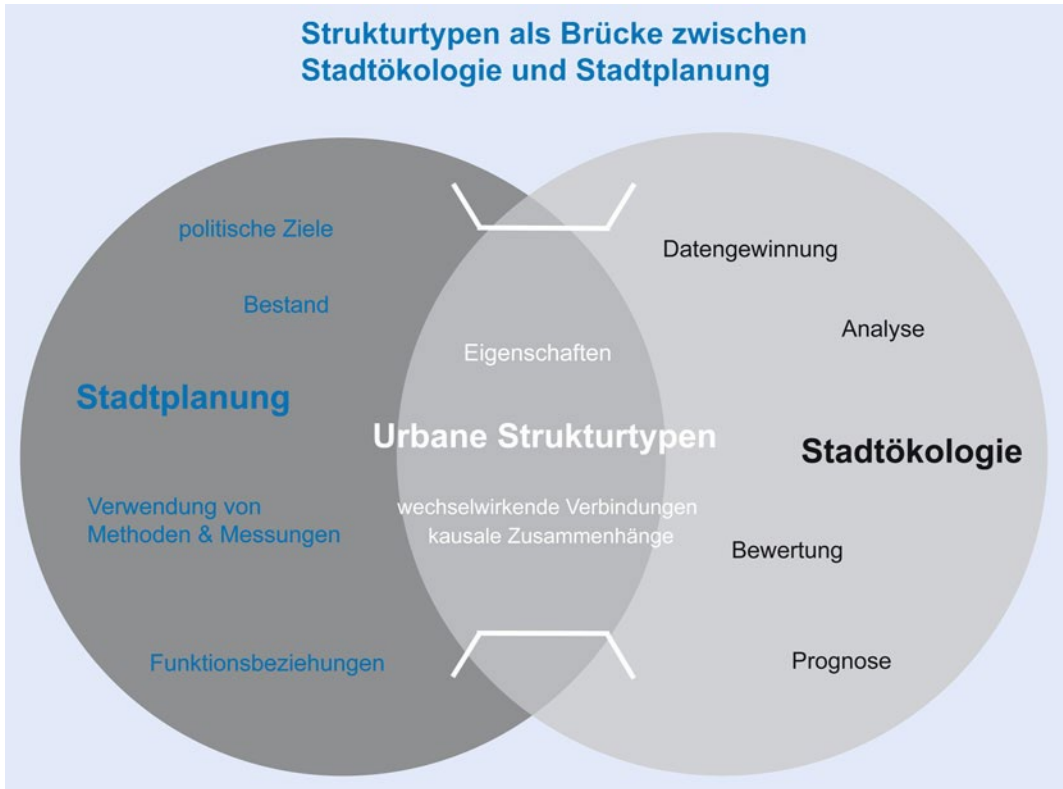
Schlussfolgerungen

Die räumliche Struktur von Städten wird von einem besonders intensiven und komplexen Wechselspiel von natürlichen Prozessen und menschlichen Handlungen geprägt. Die naturräumlichen Ausgangsbedingungen, insbesondere die Topographie, die Lage an Flüssen oder Küsten, aber auch klimatische Faktoren wie die vorherrschende Windrichtung beeinflussen die Form der Stadt und insbesondere die Grünstruktur.

Die Stadtlandschaft ist als Ergebnis dieser Entwicklung ein vielfältiges Mosaik unterschiedlicher Flächennutzungen und Grünstrukturen. Biotop- und Strukturtypenkartierungen und die Erfassung von Merkmalen wie Flächenversiegelung und Gehölzanteil sowie Landschaftsmaße ermöglichen die Analyse der Beziehungen zwischen der räumlichen Stadtstruktur, Biodiversität und Ökosystemdienstleistungen (► Kap. 5 und 6).

Stadtstrukturtypen sind auch durch eine bestimmte Bevölkerungsstruktur mit jeweils unterschiedlichen sozio-ökonomischen Merkmalen gekennzeichnet. Sie sind daher geeignete räumliche Schnittstellen für die Verknüpfung und integrative Betrachtung von ökologischen, sozialen und ökonomischen Eigenschaften der Stadtlandschaft. Die Beziehungen zwischen diesen sozio-ökonomischen Merkmalen, etwa den Einkommensverhältnissen und der Quantität und Qualität von Grünflächen, Biodiversität und Ökosystemdienstleistungen wurde in verschiedenen Untersuchungen gezeigt (z. B. Iverson und Cook 2000; Hope et al. 2003; Strohbach et al. 2009). Ansätze wie die hier vorgestellten Biotop- und Strukturtypenkartierungen ermöglichen es daher auch, eine ökologische mit einer sozialräumlichen Betrachtung zu verknüpfen und damit beispielsweise Fragen nach der „Umweltgerechtigkeit“ (► Kap. 1) der Stadtentwicklung zu beantworten.

Ganz besonders aber sind sie Werkzeuge, die helfen, ökologische Informationen für die Stadtplanung aufzubereiten (■ Abb. 2.15). Die Stadtplanung kann mit Instrumenten wie Stadtentwicklungsplan, Flächennutzungsplan und Bebauungsplan auf unterschiedlichen Maßstabsebenen die räumliche Struktur der Stadt steuern und damit auch ihre ökologischen Eigenschaften beeinflussen. Die Anordnung von unterschiedlichen Flächennutzungen mit ihren jeweiligen physischen Merkmalen, etwa dem Grünflächenanteil, können beispielsweise die Biodiversität oder die Ausprägung des Wärmeinseleffekts in der Stadt



■ **Abb. 2.15** Strukturtypen als Brücke zwischen Stadtökologie und Stadtplanung. (Nach Breuste 2006, verändert)

beeinflussen. Festsetzungen auf detaillierteren Maßstabsebenen, etwa dem Bebauungsplan zur Anzahl und Anordnung der Bäume können das Kleinklima beeinflussen.

Das Verständnis für die ökologischen Eigenschaften der Flächennutzungen und ihrer physischen Struktur ist daher eine Voraussetzung, um jeweils an die unterschiedlichen stadtstrukturellen Typen angepasste Strategien zur ökologisch orientierten Stadtentwicklung zu konzipieren und umzusetzen. Die Förderung von Stadtnatur, das lokale Regen- und Brauchwassermanagement oder die Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel erfordern die gesamtheitliche Betrachtung der Stadtlandschaft. Der Schutz der städtischen Biodiversität etwa kann sich nicht auf die wenigen verbliebenen naturnahen Lebensräume beschränken, sondern muss die oft hohe Bedeutung von städtischen Flächennutzungsstrukturen wie etwa Hausgärten mit alten Gehölzbeständen oder Gewerbegebieten und bahnbegleitenden Brachen als Lebensräume und Verbreitungskorridore für die Pflanzen- und Tierwelt

mitberücksichtigen (► Kap. 4). Dies gilt auch für Strategien zur Förderung von Ökosystemdienstleistungen (► Kap. 5) in multifunktionalen grünen Infrastrukturen. Sie müssen die Stadtnatur in ihrer ganzen Vielfalt und mit ihren verschiedenen Leistungen einbeziehen, von Parkanlagen und Wäldern, über Hausgärten, Straßenbäumen bis zur Dachbegrünung (► Kap. 7).

- ❓ 1. Was sind Schlüsselmerkmale der ökologischen Stadtstruktur und warum?
2. Nennen Sie wenigstens drei wichtige Anforderungen, die an raumbezogene Ansätze zur ökologischen Analyse und Bewertung der Stadt zu stellen sind!
3. Was ist Flächenversiegelung? Nennen Sie ökologische Auswirkungen von Flächenversiegelung in der Stadt!
4. Warum sind Gehölzbestände ein besonders wichtiges Element von städtischen Grünstrukturen?

5. Welchen Aspekt bringt das „Patch-Corridor-Matrix“ Modell in die stadtoökologische Analyse?
6. Warum bilden Stadtstrukturtypenkartierungen geeignete räumliche Schnittstellen für die Verknüpfung und integrative Betrachtung von ökologischen, sozialen und ökonomischen Eigenschaften der Stadtlandschaft?

✓ ANTWORT 1

- Flächennutzung, also die aktuelle Inanspruchnahme einer Fläche für menschliche Zwecke wie Wohnen, Arbeiten und Erholung, steht besonders mit funktionalen Merkmalen wie Energie- und Stoffströmen in Beziehung.
- Die Ausprägung der physischen Struktur, die über Merkmale wie z. B. die Bebauungsdichte, die Flächenversiegelung u. a. m. gemessen werden kann, beeinflusst beispielsweise die hydrologischen und klimatischen Eigenschaften der verschiedenen Flächennutzungen.

✓ ANTWORT 2

- Bereitstellung von flächendeckenden Informationen.
- Schnelle und kostengünstige Datenerhebung.
- Erkenntnisse über die Beziehungen zwischen Umweltqualität und Stadtstruktur, -funktion und -dynamik.
- Bezug auf Planungsinstrumente und -hierarchien.
- Möglichkeit zur Entwicklung und Anwendung von Bewertungsverfahren.

✓ ANTWORT 3

- Mit Flächenversiegelung ist die dauerhafte Überbauung oder Befestigung der Bodenoberfläche (z. B. durch Asphalt) durch mehr oder weniger luft- und wasserundurchlässige Materialien gemeint. Flächenversiegelung kann zu
- einer Beeinträchtigung oder den vollständigen Verlust von belebter Bodenoberfläche,
 - Verlust an Lebensräumen für die Pflanzen- und Tierwelt,

- Erhöhung der Lufttemperaturen und
- einem verstärkten oberflächlichen Abfluss von Niederschlagswasser führen.

✓ ANTWORT 4

Gehölzbestände (Bäume und Sträucher) haben eine hohe Bedeutung für

- das Stadtbild & die Erholungseignung von Freiräumen,
- die Pflanzen- und Tierwelt als Lebensraum (vor allem dichte, alte Gehölzbestände),
- Ökosystemdienstleistungen wie die Verringerung der Lufttemperaturen und des oberflächlichen Wasserabflusses nach Starkregenereignissen und die Kohlenstoffspeicherung.

✓ ANTWORT 5

Bedeutung von räumlicher Form für funktionale Eigenschaften und Beziehungen zwischen verschiedenen Stadtstrukturen („Patches“).

✓ ANTWORT 6

Stadtstrukturtypen ermöglichen auch sozial-räumliche Betrachtungen und die Analyse der Wechselwirkungen mit ökologischen Eigenschaften der Stadt. Es konnten beispielsweise klare Beziehungen zwischen dem Anteil und der Qualität der Grünflächen in Wohngebieten und ihrem sozio-ökonomischen Status gezeigt werden.

Literatur

Verwendete Literatur

- Adolphe L (2001) A simplified model of urban morphology: application to an analysis of the environmental performance of cities. *Environment and Planning B: Planning and Design* 28:183–200
- Afton H, Magid J (2013) Planning the unplanned: incorporating agriculture as an urban land use into the Dar es Salaam master plan and beyond. *Environment and Urbanization* 25:541–558
- AG „Artenschutzprogramm Berlin“ (1984) Grundlagen für das Artenschutzprogramm Berlin: Fachbereich Landschaftsentwicklung, TU Berlin. Landschaftsentwicklung und Umweltforschung, Berlin (3 Bde)
- Alberti M (2008) Landscape signatures. In: Alberti M (Hrsg) *Advances in Urban Ecology – Integrating Humans and*

- Ecological Processes in Urban Ecosystems. Springer, New York, S 93–131
- Andersson WP, Kanargoglou PS, Miller E (1996) Urban Form, Energy and the Environment: A Review of Issues, Evidence and Policy. *Urban Studies* 33:17–35
- Artmann M (2013) Spatial dimensions of soil sealing management in growing and shrinking cities – A systemic multi-scale analysis in Germany. *Erdkunde* 67(3):249–264
- Baker K, Lomas KJ, Rylatt M (2010) Energy use. In: Jenks M, Jones C (Hrsg) *Dimensions of the Sustainable City. Future City Series, Bd 2*. Springer, Dordrecht, S 129–143
- Baumgartner A, Mayer H, Noack E-M (1985) *Stadtklima Bayern. Abschlußbericht zum Teilprogramm „Thermalkartierungen“*. Studie i. A. des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen, München, unveröff.
- Boone CG, Redman CL, Blanco H, Haase D, Koch JAM, Lwasa S, Nagendra H, Pauleit S, Pickett STA, Seto KC, Yokohari M (2014) Reconceptualizing Urban Land Use. In: Seto K, Reenberg A (Hrsg) *Rethinking Global Land Use in an Urban Era. Strüngmann Forum Reports, Bd 14*. MIT Press, Cambridge, MA, S 313–330
- Breuste J (1987) Methodische Aspekte und Problemlösungen bei der urbanen Erfassung der Landschaftsstruktur und ihrer ökologischen und landeskulturellen Bewertung unter Berücksichtigung von Untersuchungen in Halle/ Saale. Dissertation B, Fakultät für Naturwissenschaften, Universität Halle-Wittenberg, Halle, 214 S
- Breuste J (1994) Flächennutzung als stadtoökologische Steuergröße und Indikator. *Geobotanisches Kolloquium*, Bd 11. Natur & Wissenschaft, Solingen, S 67–81
- Breuste J (2006) *Urban Development and Urban Environment in Germany. The Geographer*, Delhi 49(2):1–14
- Breuste J (2009) Structural analysis of urban landscape for landscape management in German cities. In: McDonnell M, Hahs A, Breuste J (Hrsg) *Ecology of Cities and Towns: A Comparative Approach*. Cambridge University Press, Cambridge, S 355–379
- Bründl W, Mayer H, Baumgartner A (1986) *Stadtklima Bayern – Abschlußbericht zum Teilprogramm „Klimamessungen München“*. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München (Materialien, Nr. 43)
- Cadenasso ML, Pickett STA, Schwarz K (2007) Spatial heterogeneity in urban ecosystems: reconceptualizing land cover and a framework for classification. *Frontiers in Ecology and Environment* 5:80–88
- Cadenasso ML, Pickett STA, McGrath B, Marshall V (2013) Ecological Heterogeneity in Urban Ecosystems: Reconceptualized Land Cover Models as a Bridge to Urban Design. In: Pickett STA, Cadenasso ML, McGrath B (Hrsg) *Resilience in Ecology and Urban Design: Linking Theory and Practice for Sustainable Cities. Future City, Bd 3*. Springer, Dordrecht, S 107–129
- Cavan G (2012) Green infrastructure maps for selected case studies and a report with an urban green infrastructure mapping methodology adapted to African cities. EU FP project CLUVA “CLimate change and Urban Vulnerability in Africa” Grant agreement no: 265137, deliverable D2.7 (mit Beiträgen von Lindley S, Roy M, Woldegerima T, Tenkir E, Yeshitela K, Kibassa D, Shemdoe R, Pauleit S, Renner F). http://www.cluva.eu/deliverables/CLUVA_D2.7.pdf. Zugriffen: 26. Juli 2015
- Cavan G, Lindley S, Roy M, Woldegerima T, Tenkir E, Yeshitela K, Kibassa D, Shemdoe R, Pauleit S, Renner F (2012) Green infrastructure maps for selected case studies and a report with an urban green infrastructure mapping methodology adapted to African cities. EU FP project CLUVA “CLimate change and Urban Vulnerability in Africa” Grant agreement no: 265137, deliverable D2. http://www.cluva.eu/deliverables/CLUVA_D2.7.pdf Zugriffen: 25. Dezember 2013
- Corry RC, Nassauer JI (2005) Limitations of using landscape pattern indices to evaluate the ecological consequences of alternative plans and designs. *Landscape and Urban Planning* 72:265–280
- Dempsey N, Brown C, Raman S, Porta S, Jenks M, Jones C, Bramley G (2010) Elements of Urban Form. In: Jenks M, Jones C (Hrsg) *Dimensions of the Sustainable City. Future City Series, Bd 2*. Springer, Dordrecht, S 21–51
- Duhme F, Lecke T (1986) Zur Interpretation der Nutzungstypenkartierung München. *Landschaft + Stadt* 18(4):174–185
- Duhme F, Pauleit S (1992) Naturschutzprogramm für München. *Landschaftsökologisches Rahmenkonzept. Geographische Rundschau* 44(10):554–561
- Forman RTT (1995) *Land mosaics. The ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press, Cambridge, Massachusetts, USA
- Forman RTT, Godron M (1986) *Landscape Ecology*. Wiley, New York
- Fuller RA, Gaston KJ (2009) The scaling of green space coverage in European cities. *Biology Letters* 2009:4 doi:10.1098/rsbl.2009.0010
- Gaebe W (2004) *Urbane Räume*. Ulmer UTB, Stuttgart
- Gehrke A, Nübler W, Weisheit W (1977) Oberflächen- und Lufttemperatur in Abhängigkeit von der Baukörperstruktur (Beispiel Freiburg i.Br.). *Annalen der Meteorologie* (N F) 12:193–196
- Gilbert O (1989) *Urban Ecology*. Chapman & Hall, London
- Gill S, Handley J, Ennos R, Pauleit S (2007) Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. *Journal Built Environment* 33(1):115–133
- Gill S, Handley J, Pauleit S, Ennos R, Theuray N, Lindley S (2008) Characterising the urban environment of UK cities and towns: a template for landscape planning in a changing climate. *Landscape and Urban Planning* 87:210–222
- Gill, SE (2006) *Climate Change and Urban Greenspace*. unveröff Dissertation, School of Environment and Development, University of Manchester, Manchester
- Grimm NB, Grove JM, Pickett STA, Redman CL (2000) Integrated Approaches to Long-Term Studies of Urban Ecological Systems. *BioScience* 50(7):571–584
- Haase D, Nuissl H (2007) Does Urban Sprawl Drive Changes in the Water Balance and Policy? the Case of Leipzig (Germany) 1870–2003. *Landscape Urban Planning* 80:1–13

- Haase D, Nuissl H (2010) The urban-to-rural gradient of land use change and impervious cover: a long-term trajectory for the city of Leipzig. *Land Use Science* 5(2):123–142
- Hahs AK, McDonnell MJ (2006) Selecting independent measures to quantify Melbourne's urban–rural gradient. *Landscape and Urban Planning* 78(4):435–448
- Hardin PJ, Jensen RR (2007) The effect of urban leaf area on summertime urban surface kinetic temperatures: A Terre Haute case study. *Urban Forestry & Urban Greening* 6:63–72
- Henry JA, Dicks SE (1987) Association of urban temperatures with land use and surface materials. *Landscape and Urban Planning* 14:21–29
- Henseke, A (2013) Die Bedeutung der Ökosystemdienstleistungen von Stadtgrün für die Anpassung an den Klimawandel am Beispiel der Stadt Linz. Dissertation, Universität Salzburg, unveröff.
- Hope D, Gries C, Zhu W, Fagan WF, Redman CL, Grimm NB, Nelson AL, Martin C, Kinzig A (2003) Socioeconomics drive urban plant diversity. *PNAS* 100:8788–8792
- Iverson LR, Cook EA (2000) Urban forest cover of the Chicago region and its relation to household density and income. *Urban Ecosystems* 4:105–124
- Jones C, Leishman M, MacDonald C, Orr A, Watkins D (2010) Economic Viability. In: Jenks M, Jones C (Hrsg) *Dimensions of the Sustainable City. Future City*, Bd 2. Springer, Dordrecht, S 145–162
- Kim K-H, Pauleit S (2009) Woodland changes and their impacts on the landscape structure in South Korea, Kwangju city region. *Landscape Research* 34(3):257–277
- King K, Johnson S, Kheirbek I, Luc JWT, Matte T (2014) Differences in magnitude and spatial distribution of urban forest pollution deposition rates, air pollution emissions, and ambient neighborhood air quality in New York City. *Landscape and Urban Planning* 128:14–22
- Köppel J, Reisert J, Geißler G, Kelm M, Ball E, Hoppenstedt A (2013) Verfahren zur Bewertung und Bilanzierung von Eingriffen im Land Berlin. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Berlin (http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/landschaftsplanung/bbe/download/bbe_leitfaden.pdf, Zugriffen: 08. Februar 2014)
- Leitão AB, Ahern J (2002) Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. *Landscape and Urban Planning* 59:65–93
- Li H, Wu J (2004) Use and misuse of landscape indices. *Landscape Ecology* 19:389–399
- Loram A, Tratalos J, Warren PH, Gaston KJ (2007) Urban domestic gardens (X): the extent & structure of the resource in five major cities. *Landscape Ecology* 22:601–615
- Luck M, Wu J (2002) A gradient analysis of urban landscape pattern: a case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona, USA. *Landscape Ecology* 17:327–339
- LÖK (Lehrstuhl für Landschaftsökologie, TU München) (19839) Kartierung schutzwürdiger Lebensräume in München. Schlußbericht i. A. des Umweltschutzreferats, LH München, Freising, 117 S., unveröff.
- LÖK (Lehrstuhl für Landschaftsökologie, TU München), Büro Aßmann & Banse, Büro Haase & Söhmisch (1990) Landschafts-ökologisches Rahmenkonzept Landeshauptstadt München. Studie i. A. des Umweltschutzreferats, LH München, 2 Bd, 142 + 402 S. u. ein Kartenband, Freising, unveröff
- MacFaden SW, O'Neil-Dunne JPM, Royer AR, Lu JWT, Rundle AG (2012) High-resolution tree canopy mapping for New York City using LiDAR and object-based image analysis. *Journal of Applied Remote Sensing* 6(1) (<http://dx.doi.org/10.1117/1.JRS.6.063567>, Zugriffen: 17 August 2015)
- McDonnell MJ, Pickett STA, Groffman P, Bohlen P, Pouyat RV, Zipperer WC, Parmelee RW, Carreiro MM, Medley K (1997) Ecosystem processes along an urban-to-rural gradient. *Urban Ecosystems* 1:21–36
- Newman P, Kenworthy JR (1989) *Sustainability and Cities: overcoming automobile dependence*. Island Press, Washington DC
- Nowak DJ (2002) The effects of urban forests on the physical environment. In: Randrup TB, Konijnendijk CC, Christoffersen T, Nilsson K (Hrsg) *COST Action E12 Urban Forests and Urban Trees*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, S 22–42
- Nowak DJ, Greenfield EJ (2012) Tree and impervious cover change in U.S. cities. *Urban Forestry & Urban Greening* 11:21–30
- Nowak DJ, Crane DE, Stevens JC, Hoehn RE, Walton JT, Bond J (2008) A ground-based method of assessing urban forest structure and ecosystem services. *Arboriculture and Urban Forestry* 34(6):347–358
- Oke TR (1973) City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* 7(8):769–779
- Pauleit S (1998) Das Umweltwirkgefüge städtischer Siedlungsstrukturen. Darstellung des städtischen Ökosystems durch eine Strukturtypenkartierung zur Bestimmung von Umweltqualitätszielen für die Stadtplanung. Dissertation, TU München. *Landschaftsökologie Weihenstephan*, Bd 12. Verlag Freunde der Landschaftsökologie Weihenstephan e.V., Freising, S 151
- Pauleit S (2005) Munich. In: Werquin AC, Duhem B, Lindholm G, Oppermann B, Pauleit S, Tjallingii S (Hrsg) *Green Structure and Urban Planning*. Final Report. COST Action C11. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, S 177–183
- Pauleit S, Duhme F (2000) Assessing the Environmental Performance of Land Cover Types for Urban Planning. *Journal of Landscape and Urban Planning* 52(1):1–20
- Pauleit S, Golding Y, Ennos R (2005) Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change – a study in Merseyside, UK. *Landscape and Urban Planning* 71(2–4):295–310
- Pauleit S, Printz A, Buchta K, Abo El Wafa H, Renner F, Yeshitela K, Kibassa D, Shemdoe R, Kombe W (2013) Recommendations for green infrastructure planning in selected case study cities. EU FP project CLUVA "Climate change and Urban Vulnerability in Africa" Grant agreement no: 265137. Deliverable D2.9. http://www.cluva.eu/deliverables/CLUVA_D2.9.pdf
- Pickett STA, White PS (1985) *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. Academic Press, New York

- Pickett STA, Cadenasso ML, McDonnell MJ, Burch WR (2009) Frameworks for urban ecosystem studies: gradients, patch dynamics and the human ecosystem in the New York metropolitan area and Baltimore, USA. In: McDonnell MJ, Hahs AK, Breuste JH (Hrsg) *Ecology of Cities and Towns: A Comparative Approach*. Cambridge University Press, Cambridge, USA, S 25–50
- Prokop G, Jobstmann H, Schönbauer A (2011) Report on best practices for limiting soil sealing and mitigating its effects. European Commission, DG Environment, Technical Report-2011-50., Brussels, Belgium
- Pyšek P (1998) Alien and native species in Central European urban floras: a quantitative comparison. *Journal of Biogeography* 25:155–163
- Richter H (1984) Structural Problems of Urban Landscape Ecology. In: Brandt J, Aggers P (Hrsg) *Proceedings of the first international seminar of the International Association of Landscape Ecology (IALE) October 15–19, 1985*. Bd 1. Roskilde University Centre, Roskilde, Denmark, S 29–41
- Sauerwein M (2004) Urbane Bodenlandschaften – Eigenschaften, Funktionen und Stoffhaushalt der siedlungsbeeinflussten Pedosphäre im Geoökosystem. Habilitationsschrift, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle. <http://sundoc.bibliothek.uni-halle.de/habil-online/05/08H116/index.htm>. Zugriffen: 08.02.2014
- Scalenghe FA, Marsan R (2009) The anthropogenic sealing of soils in urban areas. *Landscape and Urban Planning* 90:1–10
- Schulte W, Sukopp H, Werner P (1993) Flächendeckende Biotopkartierung im besiedelten Bereich als Grundlage einer am Naturschutz orientierten Planung. Arbeitsgruppe „Methodik der Biotopkartierung im besiedelten Bereich“. *Natur und Landschaft* 10:491–526
- Schwarz N (2010) Urban form revisited–Selecting indicators for characterising European cities. *Landscape and Urban Planning* 96:29–47
- Sommerhoff G (1987) Stadtökologie und Umweltprobleme in München. In: Geipel R, Heinritz G (Hrsg) *München. Ein sozialgeographischer Exkursionsführer*. Münchener Geographische Hefte, Bd 55/56. Verlag Michael Lassleben, Kallmünz/Regensburg, S 171–212
- Steemers KA, Ramos MC, Sinou M (2004) Stadtmorphologie. In: Nikolopoulou M (Hrsg) *Freiraumplanung unter Berücksichtigung des Bioklimas. Bericht des Projekts RUROS – Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces – coordinated by CRES*. Department of Buildings, Cambridge, UK, S 19–23 (<http://alpha.cres.gr/ruros>). Zugriffen 11. Dezember 2013
- Stewart DI, Oke TR (2012) Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society* 93:1879–1900
- Strohbach MW, Haase D, Kabisch N (2009) Birds and the city: urban biodiversity, land use, and socioeconomics. *Ecology and Society* 14(2):31
- Stülpnagel A von (1987) Klimatische Veränderungen in Ballungsgebieten unter besonderer Berücksichtigung der Ausgleichswirkung von Grünflächen, dargestellt am Beispiel von Berlin (West). Dissertation, TU Berlin, Berlin
- Sukopp H (Hrsg) (1990) *Stadtökologie. Das Beispiel Berlin*. Reimer, Berlin
- Sukopp H, Wittig R (Hrsg) (1998) *Stadtökologie*, 2. Aufl. Fischer Verlag, Stuttgart
- Sukopp H, Kunick W, Schneider C (1980) Biotopkartierung im besiedelten Bereich von Berlin (West): Teil II: Zur Methodik von Geländearbeit. *Garten und Landschaft* 7:565–569
- Taubenböck H, Dech S (2010) *Fernerkundung im urbanen Raum*. WBG (Wissenschaftliche Buchgesellschaft), Darmstadt
- Terzijski G (2004) *The Impact of Urbanisation on Biodiversity. A Comparative Study in Bolton, UK, and Sofia, Bulgaria*. Unveröff. Doktorarbeit, University of Manchester, Manchester
- Tyrväinen L, Pauleit S, Seeland K, de Vries S (2005) Benefits and uses of urban forests and trees: A European perspective. In: Konijnendijk CC, Nilsson K, Randrup TB, Schipperijn J (Hrsg) *Urban Forests and Trees in Europe – A Reference Book*. Springer-Verlag, New York, S 81–114
- Van Dorp D, Opdam PFD (1987) Effects of patch size, isolation and regional abundance on forest bird communities. *Landscape Ecology* 1:59–73
- Werner P (2008) Stadtgestalt und biologische Vielfalt. *CONTU-REC* 3:59–67
- Wessolek G (2010) Bodenüberformung und -versiegelung. In: Blume H-P, Horn R, Thiele-Bruhn S (Hrsg) *Handbuch des Bodenschutzes*. Wiley-VCH, Weinheim, S 155–169

Weiterführende Literatur

- Blume H-P (1998) Böden. In: Sukopp H, Wittig R (Hrsg) *Stadtökologie*, 2. Aufl. Fischer Verlag, Stuttgart, S 154–171
- Breuste J, Keidel T, Meinel G, Münchow B, Netzband M, Schramm M (1996) *Erfassung und Bewertung des Versiegelungsgrades befestigter Flächen*. UFZ-Bericht, Leipzig
- Cilliers S (2010) Social Aspects of Urban Biodiversity – an Overview. In: Müller N, Werner P, Kelcey JG (Hrsg) *Urban Biodiversity and Design*. Blackwell, Oxford, S 81–100
- Colding J (2011) The Role of Ecosystem Services in Contemporary Urban Planning. In: Niemelä J (Hrsg) *Handbook of Urban Ecology*. Oxford University Press, Oxford, S 228–237
- Kinzig AP, Warren P, Martin C, Hope D, Katti M (2005) The effects of human socioeconomic status and cultural characteristics on urban patterns of biodiversity. *Ecology and Society* 10(1):23 (<http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss21/art23>). Zugriffen: 17 August 2015
- Lindley S, Gill S (2013) A GIS based assessment of the urban green structure of selected case study areas and their ecosystem services. EU FP project CLUVA “CLimate change and Urban Vulnerability in Africa” Grant agreement no: 265137. Deliverable D2.8 (mit Beiträgen von: Yeshitela K, Woldegerima T, Nebebe A, Pavlos A, Kibassa D, Shemdoe R, Renner F, Buchta K, Pauleit S, Printz A, Abo El Wafa H, Cavan G, Feumba RA, Kandél, Zogning MOM, Tonyé E, Ambara G, Samari BS, Sankara BT, Ouédraogo Y, Sall F, Coly A, Garcia A, Kabano P, Roy M, Koome DN, Lyakurwa JR). http://www.cluva.eu/deliverables/CLUVA_D2.8.pdf. Zugriffen: 8. Februar 2014

- 2
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (o. J.)
Projekt Biotoptypenkarte Berlin. http://www.stadtentwicklung.berlin.de/natur_gruen/naturschutz/biotopschutz/de/biotopkartierung/karte.shtml. Zugegriffen: 18. August 2015
- Steinrücke M, Dütemeyer D, Hasse J, Rösler C, Lorke V (2010)
Handbuch Stadtklima. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf
- Tratalos J, Fuller RA, Warren PH, Davies RG, Gaston KJ (2007)
Urban form, biodiversity potential and ecosystem services. *Landscape and Urban Planning* 83:308–317

Stadtökosysteme

Funktion, Management und Entwicklung

Breuste, J.H.; Pauleit, S.; Haase, D.; Sauerwein, M.

2016, XI, 258 S. 122 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-642-55433-9