

# Q-LCA

**Städtebauliche  
Merkmale einer  
klimaorientierten  
Quartiersplanung**

Tim Rieniets, Joachim Rosenberger,  
Michael Prytula, Jana Hack

# Q-LCA

## Städtebauliche Merkmale einer klimaorientierten Quartiersplanung



Bundesministerium  
für Wohnen, Stadtentwicklung  
und Bauwesen

**ZUKUNFT BAU**  
FÖRDERN FORSCHEN ENTWICKELN

Diese Publikation ist Teil des Forschungsprojektes Q-LCA. Analyse der ökologischen Auswirkungen unterschiedlicher Siedlungstypen in Neubauquartieren über ihren Lebenszyklus.

Das Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau.

Aktenzeichen: 10.08.18.7-22.28  
Projektlaufzeit: 12.2022 bis 04.2025

# IMPRESSUM

## Autorinnen und Autoren

Prof. Dipl.-Ing. Tim Rieniets  
rieniets@staedtebau.uni-hannover.de

Dr.-Ing. Joachim Rosenberger  
joachim.rosenberger@staedtebau.uni-hannover.de

Prof. Dr.-Ing. Michael Prytula  
michael.prytula@fh-potsdam.de

Jana Hack, MA Sc.  
jana.l.hack@gmail.com

## Dank an

Luzia Stallmann, B.Sc.  
Niclas Gebhardt, MA Sc.  
Lena Löhnert, Dipl.-Ing.

## Stand

Oktober 2025

## Gestaltung

konter — Studio für Gestaltung, Berlin/Hamburg

## Grafiken

Joachim Rosenberger  
Tim Rieniets  
Lena Löhnert  
Mareike Dröge

## Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

## Zitierweise

Rieniets, Tim; Rosenberger, Joachim; Prytula, Michael; Hack, Jana, 2025: Q-LCA.  
Städtebauliche Merkmale einer klimaorientierten Quartiersplanung, <https://doi.org/10.5281/zenodo.17866335>

ISBN 978-3-00-086056-0

# INHALTSVERZEICHNIS

|                                                                                  |       |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------|
| IMPRESSUM                                                                        | S. 4  |
| 1. EINLEITUNG                                                                    | S. 9  |
| 2. DIE UMWELTAUSWIRKUNGEN DES BAUSEKTORS                                         | S. 13 |
| ◆ Fokus: Treibhausgaspotenziale                                                  | S. 14 |
| ◆ Nutzungsbedingte und herstellungsbedingte Treibhausgaspotenziale               | S. 14 |
| ◆ Flächenbezogene und personenbezogene Bilanzierung                              | S. 16 |
| ◆ Andere Umweltauswirkungen und ihre Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen | S. 18 |
| ◆ Rohstoffentnahme                                                               |       |
| ◆ Abfallaufkommen                                                                |       |
| ◆ Flächeninanspruchnahme                                                         |       |
| ◆ Mobilitätsinduzierte Treibhausgasemissionen                                    |       |
| 3. METHODIK                                                                      | S. 21 |
| ◆ LCA für eine klimaorientierte Quartiersplanung                                 | S. 22 |
| ◆ Einflussfaktoren                                                               | S. 22 |
| ◆ System- und Betrachtungsgrenzen                                                | S. 24 |
| ◆ Siedlungssegmente                                                              | S. 25 |
| 4. EMPFEHLUNGEN FÜR EINEN KLIMAORIENTIERTEN STÄDTEBAU                            | S. 29 |
| ◆ Wirkmächtigkeit der Einflussfaktoren                                           | S. 30 |
| ◆ Wahl der Bebauungstypen                                                        | S. 31 |
| ◆ Der Faktor Zeit                                                                | S. 33 |
| ◆ Bedeutung und Grenzen der baulichen Dichte                                     | S. 36 |
| ◆ Bebauungstypen                                                                 |       |
| ◆ Abstandsflächen                                                                |       |
| ◆ Interne Erschließung                                                           |       |
| ◆ Tiefgaragen                                                                    |       |
| ◆ Wohnflächenbedarf                                                              | S. 39 |
| ◆ Siedlungsflächenbedarf                                                         | S. 40 |
| ◆ Öffentliche Erschließung                                                       | S. 40 |
| ◆ Ruhender Verkehr                                                               | S. 44 |
| 5. ZUSAMMENFASSUNG                                                               | S. 47 |
| QUELENNACHWEIS                                                                   | S. 51 |

# 1. EINLEITUNG

# EINLEITUNG

Architekt\*innen und Planer\*innen haben die Aufgabe, attraktive Lebensräume zu schaffen, die ihren Bewohner\*innen gute Bedingungen zum Wohnen, Arbeiten und zur persönlichen Entfaltung bieten. Darin liegt seit jeher ihr gesellschaftlicher Auftrag. Selten hat dieser Auftrag so viel Aufmerksamkeit in Politik und Öffentlichkeit gefunden wie heute, denn es wird mehr Wohnraum benötigt als derzeit verfügbar ist, besonders im unteren und mittleren Preissegment. Laut Berechnungen von Verbänden und Forschungsinstituten liegt der Bedarf bei 320.000 bis 400.000 neuen Wohnungen pro Jahr (BBSR 2025, Empirica 2023, Pestel-Institut 2022). Die Zahl der in den vergangenen Jahren fertiggestellten Wohnungen lag jedoch unter 300.000 und wird voraussichtlich auch in den kommenden Jahren auf niedrigem Niveau bleiben (Ifo Institut 2025: 65).

Dass Nachfrage und Angebot so weit auseinanderliegen, hat viele Gründe: Dazu zählen zu hohe gesetzliche Standards, zu lange Genehmigungsverfahren, zu hohe Kosten für Material, Energie und Bauland, Lieferengpässe und Fachkräftemangel. Als Folge der geringen Bautätigkeit hat sich laut Berechnungen des Pestel-Instituts bereits im Jahr 2022 ein Defizit von 700.000 Wohnungen angestaut (Pestel Institut 2024: 1), das inzwischen jedoch deutlich höher liegen dürfte. Gleichzeitig wird in den kommenden Jahren die Anzahl der Wohnungen mit sozialer Mietpreisbindung weiter sinken. Sollte die Konjunktur im Wohnungsbau irgendwann wieder anziehen – was das erklärte Ziel aller Verantwortlichen aus Politik, Wirtschaft und Sozialverbänden ist – sind beträchtliche Nachholeffekte zu erwarten.

Wie gut Architekt\*innen und Planer\*innen unter diesen Bedingungen ihrem gesellschaftlichen Auftrag gerecht können, wenn vor allem die Quantität im Mittelpunkt der baupolitischen Debatte steht, bleibt abzuwarten. Hinzu kommt, dass Architekt\*innen und Planer\*innen heutzutage noch einen weiteren Auftrag zu erfüllen haben: Sie sollen dazu beitragen, dass der Bausektor die auf politischer Ebene beschlossenen Umwelt- und Klimaschutzziele erreicht. Besondere Priorität genießt dabei das von der Bundesregierung gesetzlich verankerte Ziel, die Klimaneutralität des Gebäudesektors bis zum Jahre 2045 zu erreichen. Manche Länder und Kommunen wollen dieses Ziel sogar noch früher erreichen. Aber allen technischen Fortschritten und gesetzlichen Maßnahmen zum Trotz, die zur Senkung des Energieverbrauchs von Gebäuden und den dadurch verursachten Treibhausgasemissionen getroffen wurden, hat der Bausektor mehrere Jahre in Folge seine Klimaziele verfehlt. Sollte es darüber hinaus zu den oben erwähnten Nachholeffekten im Wohnungsbau kommen, rückt dieses Ziel in noch weitere Ferne. Denn mit jeder neuen Wohnung, die gebaut wird und dann über Jahrzehnte beheizt und instandgehalten werden muss, werden zusätzliche Belastungen für Umwelt und Klima verursacht.

Dennoch scheint es unvermeidlich, beide Ziele weiter zu verfolgen die Schaffung von zusätzlichem Wohnraum und die Klimaneutralität des Bausektors. Die Herausforderung für den Bausektor ist immens und die Konflikte, die sich zwischen Wohnungsbau und Umweltschutz auftun, sind bereits heute unübersehbar. Um die Ziele dennoch erreichen zu können müssen alle Anstrengungen unternommen und alle Innovationspotenziale ausgeschöpft werden. Damit sind nicht nur technische Innovationspotenziale gemeint (z. B. bei der Haustechnik oder der Energieerzeugung), sondern auch soziale Innovationen (z. B. bei der Umsetzung alternativer Wohnformen) oder Innovationen in Architektur und Städtebau. Letztere stehen auch im Fokus dieser Publikation: Sie zeigt, dass die Treibhausgasemissionen von Stadtquartieren signifikant gesenkt werden können, wenn sie architektonisch und städtebaulich entsprechend angelegt werden.

Die Publikation basiert auf dem Forschungsprojekt „Q-LCA. Analyse der ökologischen Auswirkungen unterschiedlicher Siedlungstypen in Neubauquartieren über ihren Lebenszyklus“, das von der Leibniz Universität Hannover und der Fachhochschule Potsdam im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung durchgeführt wurde. In diesem Projekt wurden hochbauliche, städtebauliche und infrastrukturelle Merkmale in eine Lebenszyklusanalyse integriert, sodass die Treibhausgaspotenziale ganzer Stadtquartiere über ihren Lebenszyklus hinweg bilanziert und systematisch untersucht werden konnten. Dabei wurde ein breites Spektrum an Einflussfaktoren untersucht, die sich auf die Treibhausgasemissionen von Stadtquartieren auswirken: von der Art der Wärmeversorgung über die Konstruktionsweise der Gebäude bis hin zur Organisation des ruhenden Verkehrs. Die vorliegende Publikation zeigt die Ergebnisse dieser Forschung aus einem bestimmten Blickwinkel: Sie stellt die städtebaulichen Eigenschaften von Siedlungen und Stadtquartieren in den Mittelpunkt und zeigt auf, wie sich die Treibhausgasemissionen solcher Räume durch einen klimaorientierten Städtebau reduzieren lassen. Im Forschungsprojekt Q-LCA wurden auch andere Aspekte des Siedlungsbaus hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen untersucht, beispielsweise die Konstruktionsweise der Gebäude, die Haustechnik oder die Art der Wärmeversorgung. All diese Faktoren wirken sich auf die Treibhausgasemissionen eines Quartiers aus, manche beeinflussen sich dabei wechselseitig. In diesem Sinne lässt sich auch der Städtebau nicht isoliert betrachten, sondern kann nur im Zusammenspiel mit den anderen Faktoren verstanden und beurteilt werden. Darum kommen in dieser Publikation auch solche Faktoren zur Sprache, die zwar nicht unmittelbar durch den städtebaulichen Entwurf zu beeinflussen sind, diesen aber in seiner Wirkung

auf die Treibhausgasemissionen eines Quartiers beeinflussen. Ausführlichere Beschreibungen zu diesen Faktoren finden sich im Endbericht des Forschungsprojektes Q-LCA (Prytula et al. 2025).

Die Publikation richtet sich an Personen, die mit der Planung von Siedlungen oder Stadtquartieren betraut sind. Dazu zählen in erster Linie Architekt\*innen und Planer\*innen, aber auch Fachplaner\*innen sowie Entscheidungsträger\*innen aus der Immobilienwirtschaft und den zuständigen Behörden. Auch Studierende der entsprechenden Fachrichtungen sollen mithilfe dieser Publikation die Grundlagen einer klimaorientierten Quartiersplanung erlernen können.

Das zweite Kapitel bietet einen Überblick über die verschiedenen Auswirkungen auf Klima und Umwelt, die durch den Bau und die Nutzung von Quartieren verursacht werden: Treibhausgasemissionen, Flächeninanspruchnahme, Rohstoffverbrauch und Abfallaufkommen. Obwohl es notwendig ist, diese verschiedenen Aspekte bei der Planung von Siedlungen im Zusammenhang zu betrachten, liegt der Fokus der folgenden Kapitel auf den Treibhausgasemissionen von Quartieren. Damit bezieht sich diese Publikation zwar nur auf einen Aspekt, jedoch auf einen besonders drän-

genden, den das Bauen und Wohnen an uns stellt. Das dritte Kapitel gibt Einblicke in die methodischen Grundlagen der Forschung, die dieser Publikation zugrunde liegen.

Im vierten und umfangreichsten Kapitel werden die Forschungsergebnisse dargestellt und hinsichtlich ihrer Bedeutung für eine klimaorientierte Quartiersplanung diskutiert. Im Zentrum stehen dabei hochbauliche und städtebauliche Merkmale von Stadtquartieren: von der Wahl der Gebäudetypen über die Festlegung der baulichen Dichte bis hin zur Organisation von fließendem und ruhendem Verkehr. Mithilfe von Zahlen, Beispielen und Grafiken wird aufgezeigt, welchen Einfluss diese Merkmale auf die Treibhausgasemissionen eines Quartiers haben und wie diese durch entsprechende städtebauliche Maßnahmen reduziert werden können. Im fünften und letzten Kapitel werden die wichtigsten Erkenntnisse der Studie zusammengefasst und Empfehlungen für eine zukünftige, klimaorientierte Quartiersplanung formuliert. Sie richten sich an Architekt\*innen und Planer\*innen, aber auch Bauwirtschaft, Politik und Verwaltung, die alle einen Beitrag zur klimaorientierten Quartiersplanung leisten können.

Diese Publikation basiert auf dem Forschungsprojekt

Q-LCA. ANALYSE DER ÖKOLOGISCHEN AUSWIRKUNGEN  
UNTERSCHIEDLICHER SIEDLUNGSTYPEN IN NEUBAU-  
QUARTIEREN ÜBER IHREN LEBENSZYKLUS

Zum Forschungsbericht und Transferbericht:  
<https://doi.org/10.58007/f371-1157>







## 2. DIE UMWELTAUSWIRKUNGEN DES BAUSEKTORS



# DIE UMWELTAUSWIRKUNGEN DES BAUSEKTORS

## Fokus: Treibhausgaspotenziale

Entstehen neue Siedlungsräume, hat das langfristige und zum Teil gravierende Auswirkungen auf die Umwelt. Vordergründig vollziehen sich diese Auswirkungen ganz unmittelbar und ortsbezogen, wenn beispielsweise die Errichtung neuer Gebäude und Verkehrsflächen das Mikroklima, den Wasserhaushalt oder die Biodiversität des Ortes verändern. Wenn ganze Quartiere entstehen, werden die naturräumlichen Eigenschaften des Ortes grundlegend verändert, Lebensräume transformiert oder zerstört und Flora und Fauna verdrängt. Wird die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes oder das Landschaftsbild durch bauliche Maßnahmen stark beeinträchtigt, verlangt der Gesetzgeber entsprechende Ausgleichs- und Kompensationsmaßnahmen. Diese Maßnahmen sind seit 1977 im Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) geregelt.

Die Herstellung und Nutzung von Siedlungsräumen hat jedoch auch indirekte Folgen für die Umwelt. Diese wirken sich entweder an anderen Orten aus (z. B. durch den Abbau mineralischer Baustoffe oder die Deponierung von Bauabfällen) oder sind ortsungebunden. Letzteres trifft beispielsweise auf die Klimaerwärmung zu, die auf die Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre zurückzuführen ist. Diese entstehen zu einem erheblichen Anteil bei der Herstellung und dem Betrieb von Quartieren. Auch hier hat der Gesetzgeber Grenzen gesetzt, indem er die Bauwirtschaft im Klimaschutzgesetz (KSG) dazu verpflichtet, die Klimaneutralität des Gebäudesektors voranzutreiben. Welche Maßnahmen dafür ergriffen werden, überlässt das Klimaschutzgesetz den verantwortlichen Akteur\*innen – darunter auch den Architekt\*innen, Planer\*innen und Entscheidungsträger\*innen, die an der Planung von Siedlungen und Quartieren beteiligt sind. Um ihnen dafür eine Wissensgrundlage zur Verfügung zu stellen, fokussiert die vorliegende Publikation auf die Umweltauswirkung „Treibhausgasemissionen“.

Der Fokus auf die Treibhausgasemissionen hat auch methodische Gründe: Durch die Beschränkung auf diese eine Umweltauswirkung konnte die Komplexität reduziert werden, die bei der Untersuchung mehrerer Umweltauswirkungen (und deren Interdependenzen) zu erwarten gewesen wäre. Trotz dieser Beschränkung soll betont werden, dass bei der Planung von Siedlungen und Quartieren

auch andere Umweltauswirkungen berücksichtigt werden müssen. Aus diesem Grund werden am Ende dieses Kapitels auch weitere umweltrelevante Themen wie der Rohstoffverbrauch, die Flächeninanspruchnahme oder das Abfallaufkommen des Bausektors thematisiert. (s. Seite 18).

## Nutzungsbedingte und herstellungsbedingte Treibhausgaspotenziale

Um den Ursachen für die Treibhausgasemissionen von Stadtquartieren auf den Grund gehen zu können, ist eine Unterscheidung zwischen Herstellungs- und Nutzungsphase hilfreich. In diesen beiden Phasen im Lebenszyklus eines Quartiers können deutliche Unterschiede bei in der Art und Intensität der Emissionen ausgemacht werden. Entsprechend unterschiedlich sind auch die Maßnahmen, die zur Reduktion der Emissionen geeignet sind, wie auch die Akteure, die diese Maßnahmen durchführen können.

*40 Prozent des jährlichen Treibhausgaspotenzials (GWP) in Deutschland werden durch die Herstellung, Errichtung, Modernisierung und Nutzung von Gebäuden verursacht. Davon entstehen 33 Prozent durch die Nutzung und 7 Prozent durch die Herstellung.*

In einer vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) herausgegebenen Studie wurden diese beiden Phasen am Beispiel von Wohn- und Nichtwohngebäuden genauer untersucht. Dieser Berechnung zufolge wurden im Jahr 2014 in Deutschland 40 Prozent des gesamten Treibhausgaspotenzials (im Folgenden: GWP, engl. für Global Warming Potential) durch die Herstellung, Errichtung, Erhaltung und Modernisierung sowie durch die Nutzung und den Betrieb von Wohn- und Nichtwohngebäuden verursacht. Mehr als drei Viertel dieser Menge (und damit 33 Prozent des nationalen GWP) wurden durch Nutzung und Betrieb der Gebäude verursacht, insbesondere durch die Erzeugung von Heizwärme. Die verbleibende

*Da der Anteil der grauen Emissionen am Gesamt-GWP von Gebäuden immer weiter zunimmt, muss der Einsparung dieser Emissionen in Zukunft mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden.*

Menge (7 Prozent des nationalen GWP) entfiel auf die vorgelagerten Lieferketten der Herstellung, Errichtung und Modernisierung der Gebäude sowie auf die direkten Emissionen der Bauwirtschaft (BBSR 2020). Diese Emissionen, die nicht unmittelbar durch den Betrieb entstehen, werden auch als graue Emissionen bezeichnet (s. Abb. 2.1). Auch wenn die nationalen Treibhausgasemissionen seit 2014 um 28 Prozent gesunken sind, dürfte der Anteil des Gebäudesektors noch in etwa den Berechnungen der BBSR-Studie entsprechen.

Die Untersuchung des BBSR umfasst den gesamten Gebäudebestand der Bundesrepublik Deutschland, der zum weit überwiegenden Teil aus Gebäuden besteht, die vor dem Inkrafttreten der jüngsten Verordnungen und Gesetze zur Energieeinsparung errichtet wurden und zum Zeitpunkt der Erhebung (2014) nicht den aktuellen Anforderungen an baulichen Wärmeschutz und technische Effizienz entsprachen. Betrachtet man ein Gebäude, das in den 1980er Jahren gebaut wurde, lag das Verhältnis zwischen der Betriebsenergie (für Heizung, Warmwasser, Strom) und grauer Energie (Herstellung) im Schnitt bei 85 zu 15 Prozent, gemessen über einen Zeitraum von 50 Jahren. (Hegger 2011: 33). Ein Gebäude, das heutigen Standards entspricht, verbraucht zwar deutlich weniger Heizenergie, verfügt jedoch über eine aufwendigere Bauweise und Haustechnik. Diese Verschiebung im Verhältnis von Betriebsenergie zu grauer Energie ist zum Teil externen Einflüssen geschuldet, beispielsweise der Erfüllung strengerer Einsparverordnungen und höherer baulicher Standards. Teilweise ist diese Verschiebung aber auch eine Folge individueller Planungsentscheidungen, weil mehr graue Energie

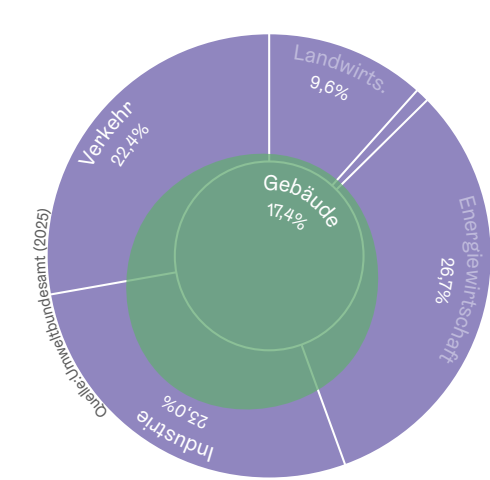
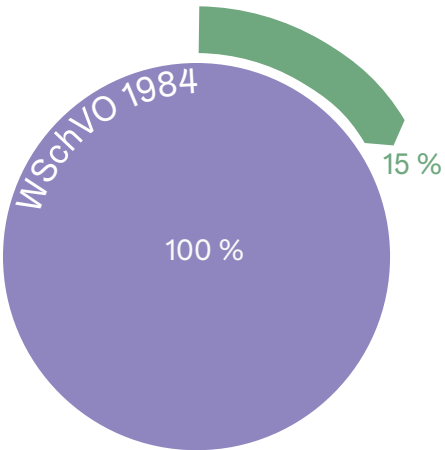


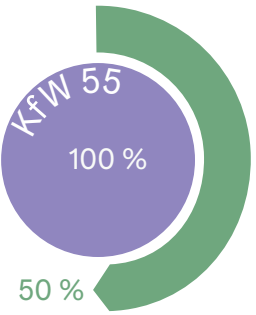
Abb. 2.1: Treibhausgasemissionen in Deutschland im Jahr 2025 nach Sektoren [in Prozent]. In Grün: schematische Darstellung der durch die Herstellung und den Betrieb von Gebäuden verursachten Emissionen.

für Wärmedämmung, Haustechnik oder andere Maßnahmen in Kauf genommen werden, um Einsparungen bei der Betriebsenergie zu erzielen. Bei modernen Gebäuden mit geringem Energiekennwert und klimafreundlicher Wärmeversorgung kann der Anteil der grauen Energie den der Betriebsenergie inzwischen übersteigen – mit entsprechenden Auswirkungen auf die Treibhausgaspotenziale der Gebäude (Gengnagel/Apellániz 2023). Dieser Trend wird sich auf absehbare Zeit fortsetzen und dazu führen, dass bei den grauen Emissionen mehr Einsparpotenziale vorhanden sind und intensiver ausgeschöpft werden müssen als bisher (s. Abb. 2.2). In der Forschung wird schon seit vielen Jahren gefordert, den Erhalt und die Sanierung von Altbeständen zu forcieren, da sich dort mit vergleichsweise geringem Einsatz grauer Energie sehr hohe Einsparungen an Betriebsenergie erzielen lassen (Wuppertal Institut 2020: 3).



ca. 300 KWh/m²a, davon ca. 15 % graue Energie.

Quelle: Hegger 2011



ca. 100 KWh/m²a, davon ca. 50 % graue Energie.

Abb. 2.2: Energiebedarf von Gebäuden pro Quadratmeter [in KWh/m²a].



Trotz dieser Erkenntnisse legt der Gesetzgeber mit dem im Jahr 2024 novellierten Gebäudeenergiegesetz (GEG) weiterhin den Fokus auf die Reduzierung der Betriebsemissionen, während die grauen Emissionen in diesem Gesetz nicht berücksichtigt werden. Der Grund dafür liegt in der Auslegung des nationalen Klimaschutzgesetzes. Es basiert auf dem sogenannten Quellprinzip, demzufolge die sektoralen GWP nur dort erfasst werden, wo sie physisch freigesetzt werden. Dem Gebäudesektor werden demnach nur jene Treibhausgasemissionen zugerechnet, die innerhalb der von ihm errichteten Gebäude entstehen. Dabei handelt es sich in erster Linie um Emissionen, die bei der Erzeugung von Heizwärme und Warmwasser freigesetzt werden, wenn diese – wie noch in rund drei Vierteln aller deutschen Haushalte üblich – auf der Verbrennung von Gas und Öl basieren. Emissionen, die durch einen externen Wärmeversorger (z. B. Fernwärme) verursacht werden, werden dem Energiesektor zugerechnet. Ähnliches gilt für die grauen Emissionen, die bei der Herstellung von Gebäuden und den vorgelagerten Prozessen entstehen. Sie werden dem Industriesektor zugeschlagen.

Diese Berechnung ist problematisch, da sie zu Fehlentscheidungen bei der Planung führen kann. Ein Beispiel hierfür ist der Abriss von Gebäuden oder ganzen Quartieren, um sie durch energiesparendere Neubauten zu ersetzen. Gemäß dem Quellprinzip verbessert eine solche Maßnahme die Klimabilanz des Gebäudesektors. Nicht berücksichtigt wird dabei aber, dass die Erneuerung von Bauteilen, Geräten oder ganzen Gebäuden zu einem Anstieg der grauen Emissionen führt, die im Industriesektor anfallen.

In der vorliegenden Publikation liegt der Fokus nicht auf einzelnen Gebäuden, sondern auf ganzen Siedlungszusammenhängen. Den grauen Emissionen kommt bei dieser Betrachtung eine noch größere Bedeutung zu. Denn während sich die Klimaauswirkungen eines Gebäudes aus den Betriebsemissionen und den grauen Emissionen zusammensetzen, kommen bei der Betrachtung eines ganzen Quartiers auch solche baulichen Anlagen hinzu, die keine Betriebsemissionen, sondern ausschließlich graue Emissionen hervorrufen, die bei der Herstellung und Instandhaltung entstehen – z. B. bei Straßen und technischen Infrastrukturen.

### Flächenbezogene und personenbezogene Bilanzierung

Zu den Treibhausgasen zählen Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) und andere Spurengase, die zum Treibhauseffekt und der damit verbundenen Erwärmung der Erdatmosphäre beitragen. Um die Wirkung dieser verschiedenen Gase berücksichtigen zu können, werden ihre jeweiligen Auswirkungen auf den Treibhauseffekt bewertet und als Treibhausgaspotenzial (GWP) zusammengefasst. Das Treibhausgaspotenzial wird als CO<sub>2</sub>-Äquivalent (CO<sub>2</sub>äq) bemessen. Auf diese Weise werden die Auswirkungen auf das Klima beziffert, die einer vergleichbaren Menge CO<sub>2</sub> entsprechen.

Im Bausektor werden die Verbräuche bzw. Emissionen eines Gebäudes üblicherweise pro Flächeneinheit gemessen. So legt beispielsweise das Gebäudeenergiegesetz (GEG) fest, wie viele Kilowattstunden Primärenergie ein Gebäude pro Quadratmeter Nettoraumfläche (NRF) maximal verbrauchen darf. Auch das GWP eines Gebäudes wird pro Flächeneinheit dargestellt (kg CO<sub>2</sub>äq/m<sup>2</sup> NRF). Auf diese Weise wird die Effizienz des betreffenden Gebäudes beschrieben, d.h. wie viel Umweltbelastungen in Kauf genommen werden müssen (Treibhausgasemissionen), um einen bestimmten Nutzen zu erzeugen (hier: einen Quadratmeter beheizte Nutzfläche).

*Die vorliegende Studie beschreibt die Klimaauswirkungen, die durch die Herstellung und die Nutzung von Quartieren verursacht werden als Treibhausgaspotenziale (engl. Global Warming Potential, kurz: GWP).*

Diese Art der Darstellung ist besonders aussagekräftig in Bezug auf die technische Beschaffenheit des betreffenden Gebäudes, beispielsweise hinsichtlich seiner Konstruktionsweise, seines baulichen Wärmeschutzes oder der Art seiner Wärmeversorgung. Durch die Optimierung dieser technischen Voraussetzungen kann das Treibhausgaspotenzial pro Flächeneinheit gezielt reduziert werden. Keine Aussage trifft diese Darstellung jedoch hinsichtlich der Suffizienz eines Gebäudes. Aus dieser Perspektive betrachtet steht nicht die technische Beschaffenheit des Gebäudes im Mittelpunkt, sondern die Art und Weise, wie es genutzt wird. Die Suffizienz fragt in erster Linie nach dem Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer in Bezug auf den Verbrauch von Ressourcen (z. B. den Verbrauch von Wohnfläche oder von Heizenergie). Doch auch Architekt\*innen, Planer\*innen und Bauherr\*innen können das Nutzerverhalten indirekt beeinflussen, indem sie mit den räumlichen und technischen Dispositionen der von ihnen geplanten Gebäude oder Siedlungsräume zu ressourcensparenden Verbrauchsmustern und Lebensstilen anregen. So kann beispielsweise die Lage eines Neubauquartiers darauf einwirken, wie viele mobilitätsinduzierte Emissionen von den Bewohner\*innen verursacht werden. Oder sie können den Wohnflächenbedarf der Bewohner\*innen reduzieren, indem sie flächensparende Wohnungsgrundrisse oder gemeinschaftliche Wohnformen anbieten.

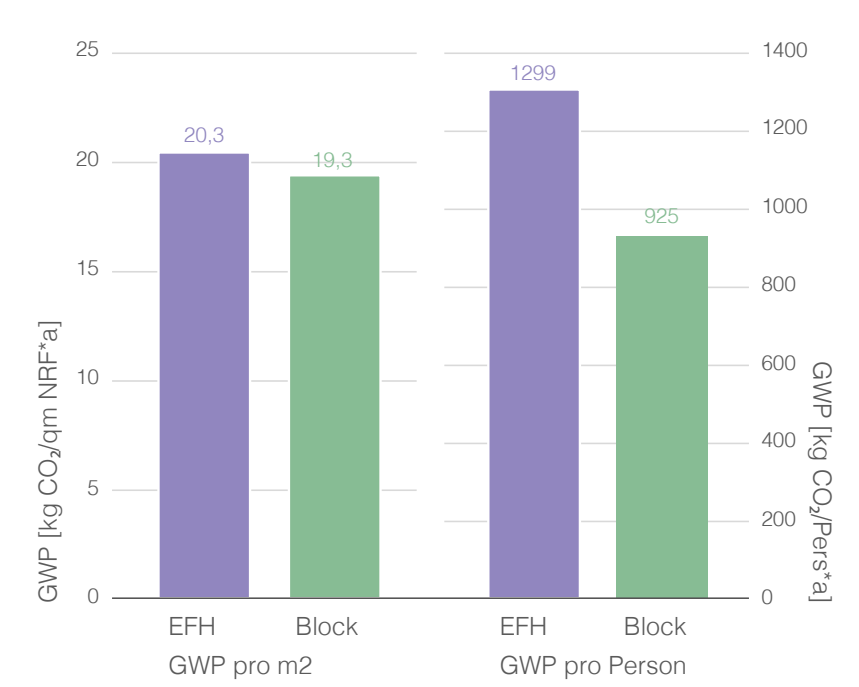


Abb. 2.3: GWP eines Einfamilienhauses und einer baugleichen Blockrandbebauung, berechnet pro Person und pro Nutzfläche [in kg CO<sub>2</sub>äq/Pers\*a und kg CO<sub>2</sub>äq/m<sup>2</sup> NRF\*a].

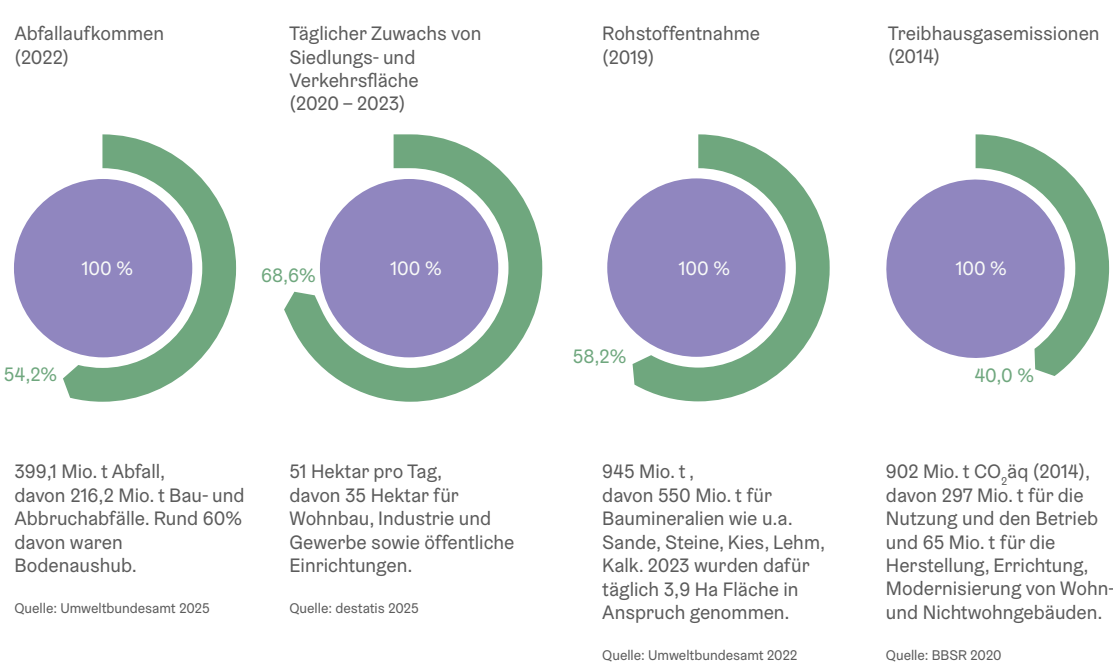


Abb. 2.4: Ausgewählte Umweltauswirkungen des Gebäudesektors (Herstellung und Nutzung) und ihr Anteil am bundesdeutschen Gesamtaufkommen [in Prozent].

Wie groß die Einsparungspotenziale solcher Entscheidungen hinsichtlich des GWP eines Quartiers sind, wird in Kapitel 4 ausführlich dargestellt.

Für das vorliegende Forschungsprojekt wurde die sonst übliche flächenbezogene Darstellung von Treibhausgaspotenzialen (kg CO<sub>2</sub>äq/m<sup>2</sup> NRF) um eine personenbezogene Darstellung ergänzt (kg CO<sub>2</sub>äq/Pers.). Durch diese beiden Perspektiven kann nicht nur ein größeres Spektrum an möglichen Einsparpotenzialen identifiziert werden, sie deuten auch darauf hin, von welchen Akteursgruppen diese realisiert werden können. Dies soll anhand von Abbildung 2.3 verdeutlicht werden, in der die durchschnittlichen Treibhausgasemissionen von Einfamilienhaussiedlungen mit denen von Blockrandbebauungen über einen Zeitraum von 50 Jahren verglichen wird. Die Balken auf der linken Seite zeigen das GWP beider Bebauungstypen pro

Flächeneinheit. Bei dieser Betrachtung ist die Blockrandbebauung nur leicht im Vorteil. Dieser Vorteil ist auf die vergleichsweise geringen Konstruktionsanteile und das bessere A/V-Verhältnis zurückzuführen. Berechnet man das GWP hingegen pro Person, ist der Unterschied zwischen den beiden Bebauungstypen deutlich größer. Der Grund dafür ist, dass die Bewohner\*innen von Geschosswohnungsbauten im Durchschnitt weniger Wohnfläche beanspruchen (41 m<sup>2</sup>) als Bewohner\*innen von Einfamilienhäusern (51m<sup>2</sup>) oder Reihen- und Doppelhäusern (47 m<sup>2</sup>) (Wegener et al. 2024). In diesem Fall sind die Effizienzvorteile in erster Linie auf die Wohnsituation der Bewohner\*innen zurückzuführen, während sie im ersten Fall durch die konstruktiven und geometrischen Eigenschaften der Gebäude zustande kommen.

## Andere Umweltauswirkungen und ihre Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen

Neben der Emission von Treibhausgasen gehen mit der Herstellung und Nutzung von Quartieren auch andere ökologische Belastungen einher, die im Vergleich zu anderen Sektoren zum Teil erhebliche Ausmaße annehmen (s. Abb. 2.4). Sie sollen auch deshalb hier thematisiert werden, da sie sich indirekt auch auf die zentrale Kategorie dieser Publikation, d.h. auf das GWP von Quartieren, auswirken (s. Abb. 2.4). Diese indirekten Auswirkungen sind teilweise in den Berechnungen des Forschungsprojektes Q-LCA enthalten. Um zu verdeutlichen, wie diese Auswirkungen in der Planung von Quartieren berücksichtigt werden können, werden sie in den folgenden Abschnitten kurz skizziert.

### Rohstoffentnahme

Die Bauwirtschaft verbraucht jährlich rund 600 Millionen Tonnen Rohstoffe, was sich auf unterschiedliche Weise auf Natur und Umwelt auswirkt (Umweltbundesamt 2024a). In manchen Fällen entstehen diese Auswirkungen bereits bei der Entnahme der Rohstoffe aus der natürlichen Umwelt. Zum Beispiel führt der Abbau mineralischer Rohstoffe wie Sand, Kies und Gestein vielerorts zu großflächigen Zerstörungen von Landschaften und natürlichen Lebensräumen. Im Jahr 2023 betrug die täglich für den Abbau von Baumineralien benötigte Fläche 3,9 Hektar (Umweltbundesamt 2025b). Hinzu kommt, dass mineralische Rohstoffe de facto nicht erneuerbar sind, da ihre natürlichen Entstehungsprozesse Jahrtausende in Anspruch nehmen. Die gegenwärtig verbrauchten Rohstoffe können somit nicht auf natürlichem Wege regeneriert werden. Ungeachtet dessen gilt Sand inzwischen als der zweitmeistverbrauchte Rohstoff der Welt – nach Wasser. Die Umstände, unter denen dieser begehrte Rohstoff gewonnen und gehandelt wird, entsprechen vielerorts nicht den hierzulande gültigen ökologischen und ethischen Standards (Beiser 2021). Auch Stein oder Holz werden nicht selten unter ethisch und ökologisch bedenklichen Bedingungen gewonnen.

Andere Baustoffe wie Zement, Kalk, Gips, Stahl, Aluminium, Glas und Ziegel entfalten ihre schädlichen Auswirkungen auf die Umwelt vorwiegend während der Herstellung. Einerseits kommt es, wie beispielsweise bei der Zementherstellung, zu einer prozessbedingten Freisetzung von Klimagasen. Andererseits werden für die Herstellung aller oben genannten Baustoffe hohe Temperaturen benötigt, die bisher vorzugsweise unter Verwendung fossiler Energieträger erzeugt werden. Eine vollständige Vermeidung dieser prozessbedingten Treibhausgasemissionen ist auf breiter kommerzieller Basis derzeit noch nicht möglich. Durch einen sparsamen Materialeinsatz im Bausektor sowie die Verwendung erneuerbarer oder rezyklierter Baustoffe kann jedoch der Bedarf an nicht erneuerbaren Baustoffen reduziert und somit die Auswirkungen auf Natur und Klima gesenkt werden.

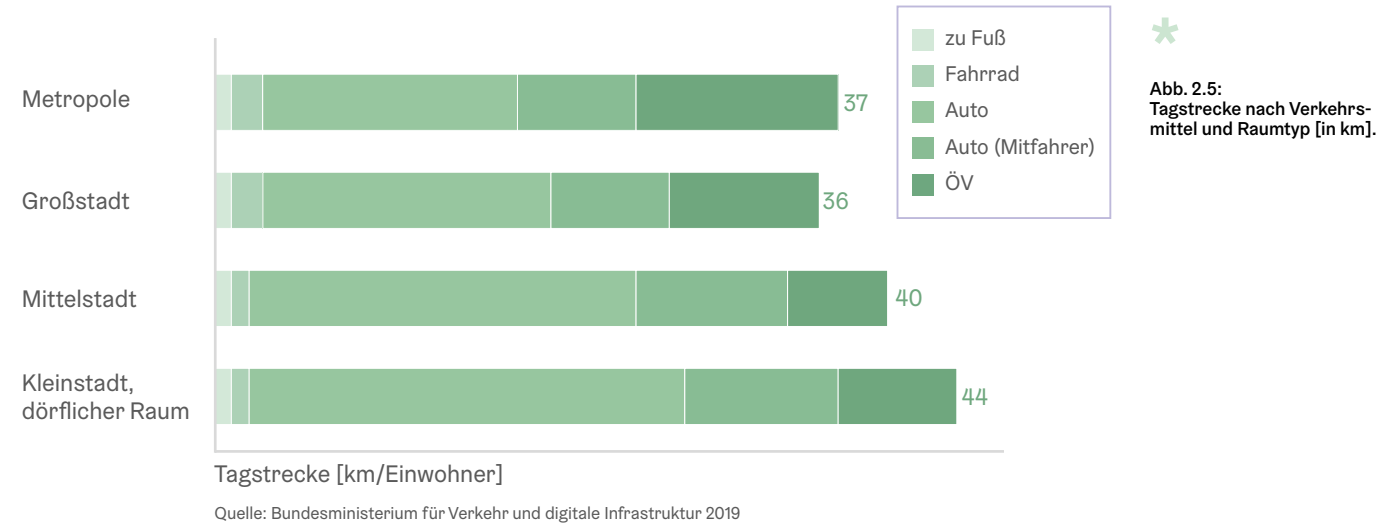
### Abfallaufkommen

Auch hinsichtlich der Reduzierung von Abfällen besteht im Bausektor erheblicher Optimierungsbedarf. Mehr als 50 Prozent aller Abfälle in Deutschland entstehen rund um das Bauen (Umweltbundesamt 2025a). Etwa 60 Prozent dieser Menge entfallen auf die Kategorie „Bodenaushub“ und entstehen beim Bau von Kellern, Tiefgaragen oder im Straßenbau. Das Erdreich muss mit großem Energieaufwand ausgehoben und transportiert werden, um es anschließend zu deponieren oder an anderer Stelle wieder einzubringen. Die übrigen 40 Prozent des Abfallaufkommens entstehen beim Bau oder Abriss von Gebäuden. Zwar nimmt die Abfallwirtschaft für sich in Anspruch, Bauabfälle mit einer Quote von 90 Prozent zu rezyklieren. Bei der Wiederverwendung dieser Abfallstoffe handelt es sich aber meistens nicht um ein Recycling im engeren Sinne (d.h. um eine gleichwertige Wiederverwendung), sondern um eine Verwertung für minderwertige Zwecke, wie z. B. im Deponiebau oder zur Verfüllung von Abgrabungen. Nur ein sehr geringer Anteil der Bauabfälle wird heute zu gleichwertigen Zwecken wiederverwendet (Umweltbundesamt 2022). Diesem Umstand muss durch eine Verbesserung der Kreislauffähigkeit von Baustoffen begegnet werden. Auch das Bauen im Bestand trägt zu einer Verringerung des Abfallaufkommens bei und verringert den Rohstoffverbrauch im Bausektor.

### Flächeninanspruchnahme

Schließlich ist noch die Überbauung und Versiegelung von Böden zu nennen, die auf die Errichtung neuer Gebäude oder Infrastrukturen zurückzuführen ist. Nach Angaben des Statistischen Bundesamts haben sich Siedlungs- und Verkehrsflächen von 1992 bis 2023 von 40.305 auf 52.074 Quadratkilometer ausgedehnt (Destatis 2025a). Dies entspricht einem Zuwachs von fast 30 Prozent. Der größte Teil dieses Zuwachses ist auf die Ausdehnung des Anteils der Siedlungsfläche zurückzuführen (+ 41,6 Prozent). Insgesamt war der Flächenverbrauch für Siedlungen und Verkehr aber rückläufig und erreichte seinen vorläufigen Tiefstand in den Jahren 2019 bis 2022 mit 49 Hektar pro Tag. Mehr als zwei Drittel dieser Flächeninanspruchnahme wird durch Wohnbau, Industrie und Gewerbe verursacht (Destatis 2025b). Bereits 2016 hat die Bundesregierung im Rahmen der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie das Ziel vorgegeben, den täglichen Zuwachs der Siedlungs- und Verkehrsfläche bis zum Jahr 2030 auf unter 30 Hektar zu senken (Bundesregierung 2018: 55).

Die Versiegelung von Böden kann sich vielfach negativ auswirken: Sie zerstört oder zerschneidet natürliche Lebensräume von Pflanzen und Tieren, erhöht die Umgebungstemperatur (insbesondere bei der Verwendung dunkler, mineralischer Bodenbeläge) und verhindert die Versickerung von Regenwasser. Mit Blick auf den durch den Klimawandel bedingten Anstieg von Außentemperaturen und die Zunahme von Starkregenereignissen sind diese Effekte besonders problematisch. Darum sollte die Schaffung von zusätzlichem Wohnraum wo immer möglich auf bereits erschlossenen Flächen realisiert werden und nicht auf neu ausgewiesenem Bauland. Dadurch würden nicht nur Böden geschützt,



sondern auch Treibhausgasemissionen im Siedlungsbau eingespart werden, die für die Bereitstellung der Flächen und für den Bau neuer Infrastrukturen (z. B. Straßen, Kanalisation, Wasserversorgung) notwendig sind.

*Neben der Emission von Treibhausgasen wirkt sich der Bausektor auch anderweitig auf die Umwelt aus. Zu nennen sind insbesondere der große Rohstoffbedarf, die Erzeugung großer Abfallmengen und die zunehmende Versiegelung von Böden.*

### Mobilitätsinduzierte Treibhausgasemissionen

Der Bau von Gebäuden und Quartieren wirkt sich auch auf die verkehrsbedingten Treibhausgasemissionen aus, sofern diese Orte mit dem Pkw oder anderen Fahrzeugen erschlossen werden müssen. Andere Studien zeigen, dass Verkehrsemissionen bis zu 50 Prozent der Gesamtemissionen eines Haushalts ausmachen können (Anderson 2015). Wie groß dieser Anteil ist, liegt unter anderem an der Länge der zurückgelegten Strecken, die wiederum maßgeblich von der Lage des betreffenden Gebäudes im Stadtgebiet abhängig sind. Befindet sich der Ort im suburbanen oder ländlichen Raum und wird er nicht hinreichend durch öffentliche Verkehrsmittel

erschlossen, sind die Bewohner\*innen auf den Individualverkehr angewiesen und müssen tendenziell weitere Strecken zurücklegen. Umgekehrt verhält es sich mit Orten im Innenbereich, die besser an das öffentliche Verkehrsnetz angebunden sind und über Nahversorgungsangebote in fußläufiger Distanz verfügen (s. Abb. 2.5) (BMV 2019: 28).

Eine vollständige Reduktion der verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen ist jedoch weder dann möglich, wenn sich ein Quartier in zentraler Lage befindet, noch wenn der gesamte Individualverkehr durch erneuerbare Energien und ohne Ausstoß klima- und gesundheitsschädlicher Gase betrieben würde. Denn durch die Herstellung der Fahrzeuge und der benötigten Verkehrsinfrastrukturen und Stellplätze werden auch weiterhin Umweltbelastungen verursacht (s. Seite 40).

*Der Bausektor nimmt indirekt Einfluss auf die Emissionen des Verkehrssektors. Je weiter ein Gebäude bzw. ein Quartier im suburbanen oder im ländlichen Raum gelegen ist, desto mehr Personen-kilometer legen die Bewohner\*innen mit dem Pkw zurück.*



# 3. METHODIK



# METHODIK

## LCA für eine klimaorientierte Quartiersplanung

Die Senkung des Primärenergiebedarfs von Gebäuden ist seit den 1970er Jahren ein zentrales Thema in Forschung und Entwicklung. Ausgelöst durch die Erfahrungen aus der Ölkrise und vorabgetrieben durch immer strengere Verordnungen und Gesetze zur Energieeinsparung im Gebäudebereich, konnten seither große Fortschritte erzielt werden. Während ein vor Inkrafttreten der ersten Wärmeschutzverordnung im Jahr 1976 errichtetes Gebäude noch einen Primärenergiebedarf von schätzungsweise 200 bis 300 kWh/m<sup>2</sup>a hatte, lag der klimabereinigte Wärmeverbrauch im Jahr 2023 im Durchschnitt bei 158,4 kWh pro m<sup>2</sup> (Dena 2024: 66). Bei Neubauten, die dem heute geltenden Gebäudeenergiegesetz (GEG) entsprechen, liegt der Primärenergiebedarf nur noch zwischen 75 und 50 kWh/m<sup>2</sup>a (s. Abb. 2.2). Auch die grauen Emissionen, die bei der Herstellung von Gebäuden freigesetzt werden, sind seit einigen Jahren Gegenstand intensiver Bemühungen in der Forschung und im baupolitischen Diskurs.

Im Rahmen dieser Bemühungen, den Energiebedarf und die dadurch verursachten Emissionen von Treibhausgasen zu senken, wurden auch Instrumente zur Bilanzierung der ökologischen Auswirkungen von Gebäuden entwickelt. Besonders etabliert hat sich das Verfahren der Lebenszyklusanalyse (engl. Life Cycle Assessment, LCA), um die Umweltauswirkungen von Gebäuden oder Bauteilen inklusive der darin gebundenen grauen Energie über den Lebenszyklus zu erfassen (Spreng 1994, Frischknecht 2004, Sohn et al. 2020). Die methodischen Ansätze zu einer ganzheitlichen Betrachtung von Energie- und Stoffströmen sowie Lebenszykluskosten von Gebäuden wurden bereits in den 1990er Jahren entwickelt (u. a. Kohler 1998, Lützkendorf 2000, Kohler 2002) und in den nachfolgenden Jahren systematisch verfeinert. Mithilfe von Lebenszyklusanalysen konnten wichtige Erkenntnisse im Bereich des nachhaltigen Bauens gewonnen werden (vgl. z. B. Mahler et al. 2018, König 2017). Außerdem sind sie ein grundlegender Bestandteil von Nachhaltigkeitszertifizierungen im Hochbau geworden. Inzwischen sind zahlreiche computergestützte LCA-Anwendungen auf dem Markt, mit denen Lebenszyklusanalysen auch in der Breite Anwendung finden (z. B. LEGEP, eLCA, CAALA).

Während sich die Lebenszyklusanalyse im Gebäudebereich etabliert hat, ist sie im Bereich der Stadt- und Quartiersplanung noch wenig verbreitet. In der Forschung gibt es einige Beispiele, in denen Stoffströme, Materialmengen oder Energiebedarfe von Siedlungen oder Stadtraumtypen ermittelt wurden (z. B. Hegger und Dettmar 2014, Schiller 2004, Stadt Zürich 2009). Auch sind für die Planungspraxis Tools erhältlich (z. B. District-ECA, EQ-Tool, EQ-City, nPRO), die aber ein großes Vorwissen voraussetzen und sich mehrheitlich auf

*Die vorliegende Studie stellt städtebauliches Wissen zur Verfügung, um Stadtquartiere über ihren gesamten Lebenszyklus klimaorientiert planen zu können.*

Aspekte der Energie- und Wärmeversorgung konzentrieren. Die räumlichen Informationen, die in diesen Tools verarbeitet werden, sind eher abstrakt; qualitative und kleinräumige Aspekte der Quartiersplanung stehen nicht im Zentrum. Hier setzt das Forschungsprojekt Q-LCA an: Es verfolgt einen ganzheitlichen Ansatz und betrachtet dabei die städtebaulichen Eigenschaften von Quartieren explizit als einen Hebel zur Reduktion von Treibhausgasemissionen.

## Einflussfaktoren

Die Faktoren, die potenziell einen Einfluss auf die Menge der Treibhausgasemissionen haben, die über den Lebenszyklus eines Quartiers freigesetzt werden, sind zu zahlreich, um sie vollständig erfassen und bilanzieren zu können. Sie umfassen die Herstellungsprozesse von Baustoffen und Bauteilen sowie deren Transport, Einbau und Instandhaltung (graue Emissionen). Hinzu kommt die Erzeugung von Heizwärme und Nutzerstrom (Betriebsemissionen). Auch die Treibhausgase, die durch Fahrten zu oder von einem Quartier freigesetzt werden (mobilitätsinduzierte Emissionen), werden indirekt durch den Bau von Quartieren verursacht. Viele dieser Faktoren können durch Planungsentscheidungen direkt oder indirekt beeinflusst werden, beispielsweise durch die Wahl des Standorts, die angebotenen Wohnungstypen, die Bauweise, den energetischen Standard der Gebäude oder die bauliche Dichte des Quartiers.

Dem Forschungsprojekt Q-LCA wurden verschiedene Einflussfaktoren zugrunde gelegt, die nach folgenden Kriterien ausgewählt wurden: Erstens sollte von den ausgewählten Einflussfaktoren eine signifikante Wirkung auf das Treibhausgaspotenzial von Quartieren zu erwarten sein. Weniger wirkmächtige Einflussfaktoren wurden ausgeschlossen. Zweitens sollten die Einflussfaktoren durch städtebauliche bzw. hochbauliche Entscheidungsträger\*innen (Architekt\*innen, Planer\*innen, Bauherr\*innen etc.) oder durch die für sie geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen (z. B. Bauordnungen, Satzungen) gesteuert werden können. Diesen Auswahlkriterien folgend wurden sechs Einflussfaktoren ausgewählt, die jeweils in zwei bis sechs qualitative bzw. quantitative Abstufungen unterteilt wurden (s. Abb 3.1). Durch die Kombination aller Faktoren und ihrer Abstufungen standen insgesamt 972 Bilanzierungsvarianten zur Verfügung.

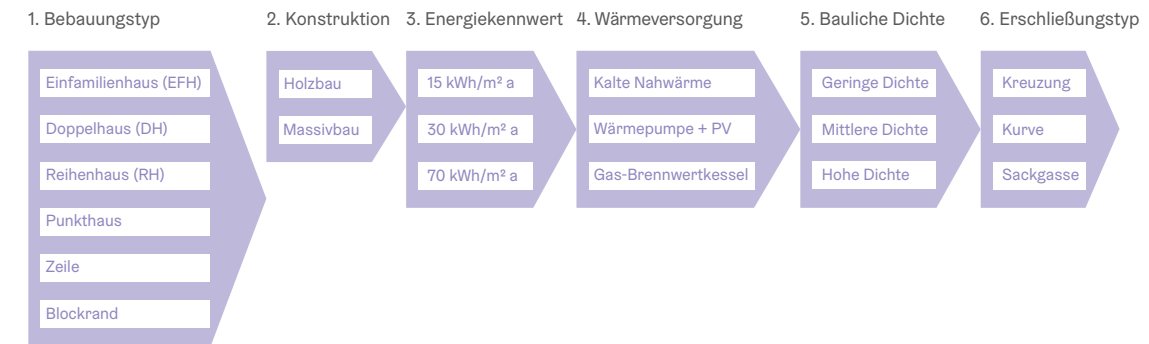


Abb. 3.1: Sechs Einflussfaktoren wurden für die Bilanzierungen im Forschungsprojekt Q-LCA herangezogen.

*In der Studie werden sechs Faktoren berücksichtigt: 1. Bebauungstypen, 2. Konstruktionsweisen, 3. Energiekennwerte, 4. Wärmeversorgung, 5. bauliche Dichte und 6. Erschließungstypen.*

Während für die Bilanzierung von Gebäuden auf standardisierte Daten aus einschlägigen Datenbanken zurückgegriffen werden konnte, standen keine vergleichbaren Daten für die Bilanzierung von Straßen und technischen Infrastrukturen zur Verfügung. Um eigene Kennwerte für die Infrastruktur von Quartieren bestimmen zu können, musste auf andere wissenschaftliche Arbeiten zurückgegriffen werden (Schuchardt 2006, Hügel 2000). Nicht berücksichtigt wurden in Q-LCA die mobilitätsinduziert Treibhausgasemissionen, die durch ein Quartier ausgelöst werden. Ebenfalls unberücksichtigt blieben die Auswirkungen von Grünanlagen, die sich einerseits positiv auf die Ökobilanz eines Quartiers auswirken können (durch die CO<sub>2</sub>-Entnahme aus der Atmosphäre, die Versickerung von Regenwasser oder die Förderung der Biodiversität), aber andererseits durch ihre Herstellung und Instandhaltung zumindest geringfügig zum Gesamt-GWP beitragen. Der Grund für den Ausschluss dieser beiden Themen war, dass die Beschaffung der notwendigen Daten und Informationen im Rahmen des Forschungsprojektes nicht leistbar war. Erdaushub und Bauabfälle, die bei der Herstellung baulicher Anlagen anfallen und sich GWP-erhöhend auf die Ökobilanz eines Quartiers auswirken, konnten zumindest teilweise berücksichtigt werden. In diesem Punkt unterscheidet sich die vorliegende Bilanzierungsmethode von den gängigen Lebenszyklusanalysen im Hochbau, in denen Aushübe und Abfälle nicht eingerechnet werden.

Auch externe Einflussfaktoren wirken sich auf das GWP von Quartieren aus (s. Abb. 3.2). Zu nennen sind beispielsweise die Voraussetzungen, die auf kommunaler Ebene für ein Quartier geschaffen werden, um dessen Versorgung sicherzustellen. Erwähnenswert sind außerdem die rechtlichen und fiskalischen Instrumente der Stadtplanung. So regelt eine Stellplatzsatzung beispielsweise nicht nur die Anzahl der pro Wohneinheit erforderlichen Stellplätze, sondern hat auch erheblichen Einfluss auf die Auslegung von Gebäuden und Freiflächen und damit auch auf das GWP des

Quartiers (s. Seite 44). Gleiches gilt für die Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt), welche die Dimensionierung der Straßenquerschnitte unterschiedlicher Straßentypen festlegt. Auch die in den Landesbauordnungen (LBO) festgelegten Abstandsregelungen wirken sich deutlich auf das GWP eines Quartiers aus, da sie den Faktor der baulichen Dichte einschränken (s. Seite 37). Darüber hinaus können auch gesellschaftliche Trends signifikante Auswirkungen auf das GWP von Siedlungen haben. Beispiele dafür sind das bereits erwähnte Mobilitätsverhalten (s. Seite 19) oder die Belegungsdichte von Wohnungen. Letztere ist wiederum auf die Entwicklung von Haushaltsstrukturen, Wohnpräferenzen und Lebensstilen zurückzuführen (s. Seite 39).

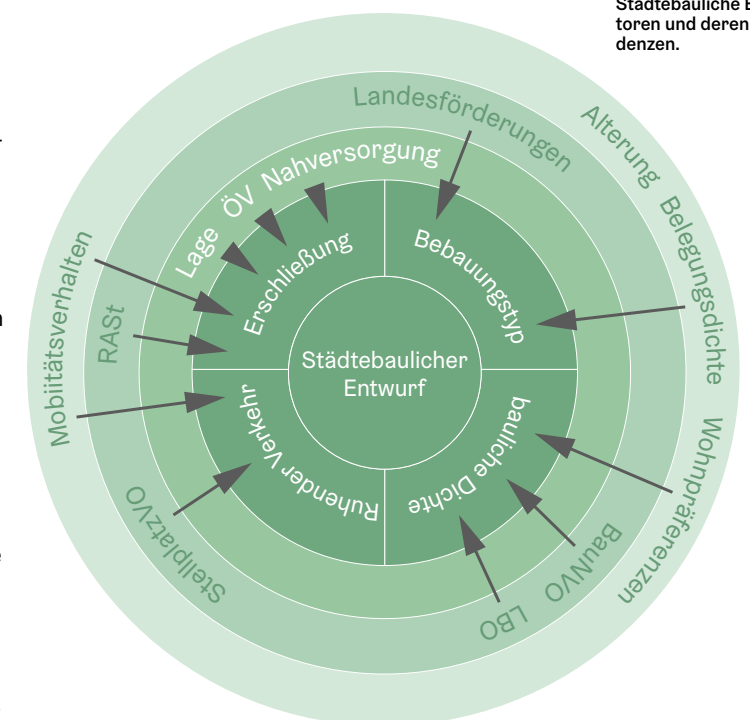


Abb. 3.2: Städtebauliche Einflussfaktoren und deren Interdependenzen.

- Gesellschaftliche Trends
- Rechtliche und fiskalische Instrumente
- Kommunale Planung
- Städtebau

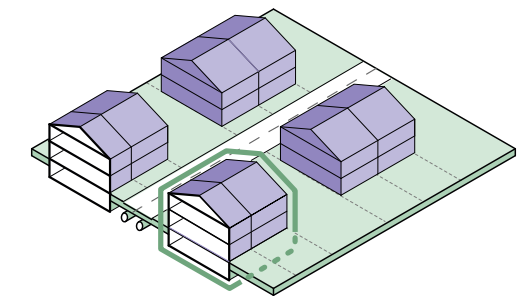
Um dem Umstand gerecht zu werden, dass die Einflussfaktoren nicht unabhängig voneinander wirken, sondern in ein komplexes System von Wechselwirkungen eingebunden sind, wurden sie nicht isoliert betrachtet, sondern im Kontext aller sechs Einflussfaktoren. D.h., ein Einflussfaktor (z. B. der Faktor Bebauungstyp) wurde im Kontext aller anderen Einflussfaktoren bilanziert und dabei gemäß seiner Abstufung variiert (Einfamilienhaus, Doppelhaus, Reihenhaushaus, Punkthaus, Zeile, Block). So konnte dargestellt werden, wie groß der Einfluss des „Bebauungstyps“ auf das Gesamt-GWP eines Quartiers ist. Die übrigen Einflussfaktoren flossen als Durchschnittswerte in die Bilanzierung ein. Die Wirkung eines Einflussfaktors, die auf diese Weise berechnet wurde, ist daher nur als Orientierung zu verstehen. Würde derselbe Einflussfaktor nicht im Kontext von Durchschnittswerten, sondern in einem anderen Szenario berechnet werden, könnte seine Wirkung deutlich von dem Ergebnis abweichen, das nach dem oben beschriebenen Verfahren ermittelt wurde.

System- und Betrachtungsgrenzen

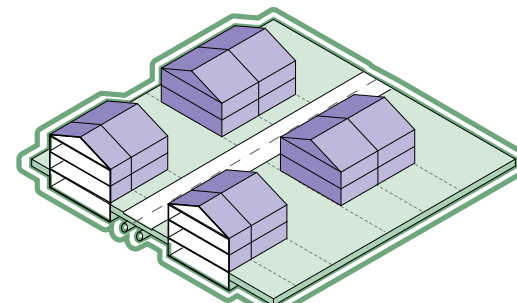
Hinter der Ökobilanz eines Gebäudes oder einer anderen baulichen Anlage verbergen sich zahlreiche hoch differenzierte Herstellungsprozesse und Lieferketten. Diese reichen von der Gewinnung von Rohstoffen und ihrer Weiterverarbeitung zu Baustoffen und Bauteilen über verschiedene Transportwege bis hin zur Verarbeitung auf der Baustelle. An der Herstellung eines Bauteils oder Baustoffs sind häufig mehrere Firmen beteiligt, und die Lieferketten erstrecken sich oft über nationale Grenzen hinweg. Schon die Bilanzierung eines einzigen Bauteils wäre daher mit großem Aufwand verbunden. Ähnliches gilt für die Bilanzierung des Betriebs eines Gebäudes. Um Heizwärme, Haushaltsstrom, Wasser und Kommunikationstechnik beziehen zu können, ist ein Gebäude in komplexe Ver- und Versorgungsnetzwerke eingebunden. Der Aufwand für eine exakte Bilanzierung dieser Netzwerke und Verbräuche stünde in keinem angemessenen Verhältnis zum Nutzen.

Um mit geringerem Aufwand Aussagen über die ökologischen Auswirkungen eines Gebäudes treffen zu können, bedient sich die Forschung zweier methodischer Vereinfachungen. Die erste besteht darin, dass die ökologischen Auswirkungen von Bauteilen und Baustoffen nicht individuell berechnet, sondern normierten Datensätzen (z. B. ÖKOBAUDAT, ecoinvent oder GABI) entnommen werden. Zweitens gilt für die Lebenszyklusanalyse eines Gebäudes eine Systemgrenze. Durch diese wird definiert, welche Bestandteile oder Prozesse des Systems in die Analyse eingeschlossen werden und welche nicht. Konkret bedeutet das für die Bilanzierung eines Gebäudes, dass durch die Systemgrenze festgelegt wird, welche Materialien und Prozesse, die direkt oder indirekt für die Herstellung und den Betrieb des Gebäudes aufgewendet werden, bei der Bewertung der Umweltauswirkungen berücksichtigt werden. Dies umfasst im Wesentlichen die vorgelegten Herstellungsprozesse, den Transport und die Errichtung, die Nutzung, den Rückbau und die Entsorgung. Außerdem gilt ein zeitlicher Rahmen. Für den Lebenszyklus eines Gebäudes wird üblicherweise eine Dauer von 50 Jahren angesetzt.

Im Forschungsprojekt Q-LCA wurden die gleichen Systemgrenzen und Lebensdauern wie bei der Bilanzierung von Hochbauten angenommen. Im Unterschied dazu musste jedoch die Betrachtungsgrenze ausgeweitet werden. Die Betrachtungsgrenze definiert den Raum bzw. das Objekt, dessen Umweltauswirkungen über den Lebenszyklus bewertet werden sollen. Im Falle eines Gebäudes kann die räumliche Betrachtungsgrenze mit der Hülle des Gebäudes gleichgesetzt werden. Um jedoch ein Quartier bilanzieren zu können, muss die Betrachtungsgrenze entsprechend erweitert werden (s. Abb. 3.3). Im Forschungsprojekt Q-LCA wurde sie so weit ausgedehnt, dass alle relevanten Teilsysteme des Quartiers einbezogen werden. Dazu gehören der Hochbau (Gebäude inklusive Bauteile, Kostengruppe 300), die technische Gebäudeausrüstung (KG 400, beispielsweise Heizungs- und Haustechnik) sowie die Infrastruktur des Quartiers (KG 500, Erschließungsflächen wie Straßen, Ver- und Entsorgungsleitungen sowie Stellplätze).



Betrachtungsgrenze LCA: Gebäude



Betrachtungsgrenze Q-LCA: Siedlungssegment mit Gebäuden, Verkehrsflächen und drunterliegenden Infrastrukturen

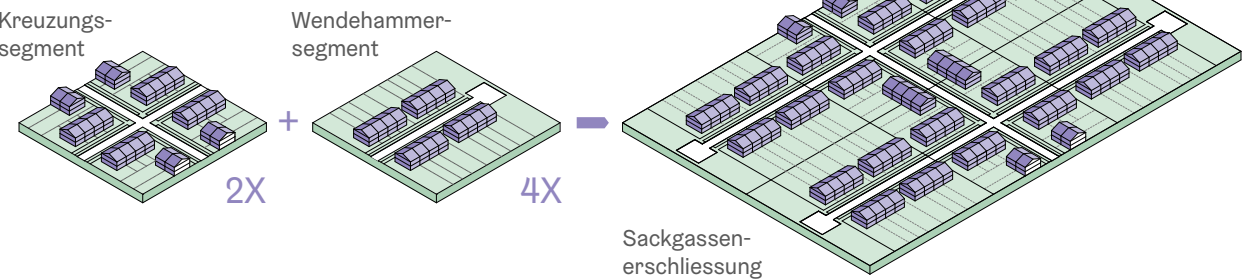
Der vorliegenden Studie liegt ein abstrahiertes Mengenmodell eines Quartiers zugrunde. Die auf dieser Grundlage gewonnen Erkenntnisse haben sowohl für städtebauliche Neuplanungen als auch für Bestandsquartiere Gültigkeit.

Abb. 3.3: Betrachtungsgrenzen von LCA und Q-LCA.

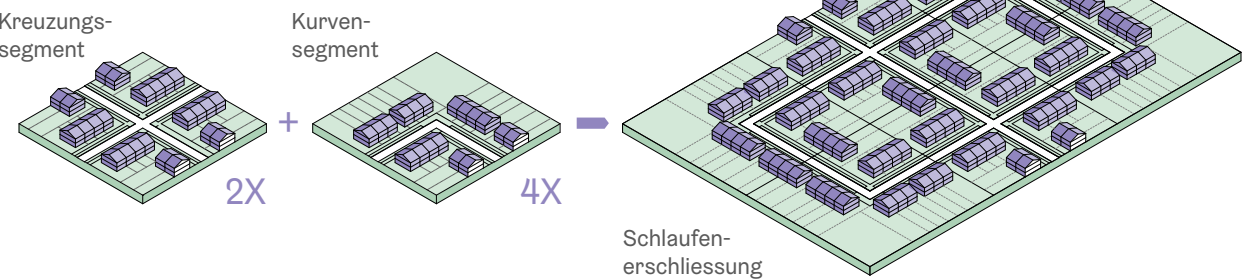
Siedlungssegmente

Aufbauend auf der erweiterten Betrachtungsgrenze wurden sogenannte Siedlungssegmente entwickelt. Diese haben eine Kantenlänge von 100 mal 100 Metern und sind morphologisch so ausgelegt, dass sie beliebig miteinander kombiniert werden können. Die Siedlungssegmente basieren auf der Analyse von 104 Neubausiedlungen in Deutschland mit Baubeginn zwischen den Jahren 2010 und 2020. Deren hochbauliche und städtebauliche Merkmale wurden ausgewertet und sind in Form von Durchschnittswerten in das Modell eingeflossen. Auf dieser Grundlage konnten 54 unterschiedliche Siedlungssegmente entwickelt werden, die jeweils mit einem Bebauungstyp, einem Erschließungstyp und einer spezifischen baulichen Dichte modelliert wurden (s. Abb. 3.5). Schließlich wurden diese Segmente hinsichtlich ihrer spezifischen GWP bewertet.

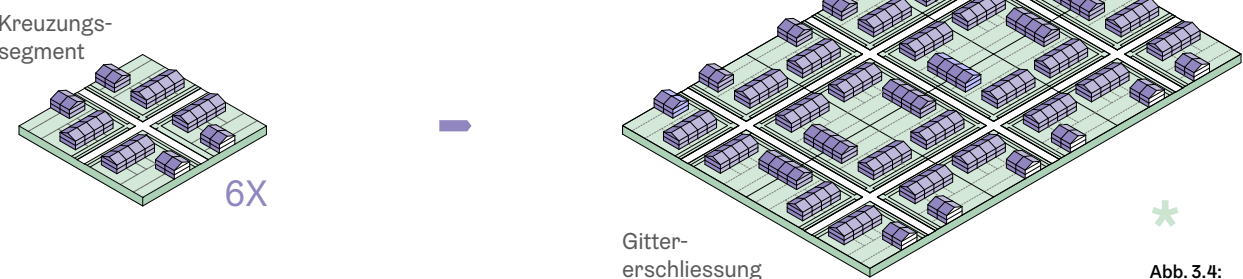
Die 54 Siedlungssegmente können zu verschiedenen Siedlungsstrukturen kombiniert werden. Sie ermöglichen einerseits, reale Quartiere in vereinfachter Form nachzubilden und zu bilanzieren. Andererseits können die Segmente zu idealtypischen Siedlungsstrukturen zusammengefügt werden (z. B. vorstädtische Einfamilienhaus-siedlung geringer Dichte; städtische Blockrandbebauung hoher Dichte; Nachkriegs-Zeilenbebauung mittlerer Dichte usw.) und hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen miteinander verglichen werden (s. Abb. 3.4). Zu erwähnen ist, dass für dieses Verfahren erhebliche Vereinfachungen in der Darstellung und Bilanzierung der Siedlungsstrukturen in Kauf genommen werden mussten. Durch diese Vorgehensweise war es jedoch möglich, die hochbaulichen und städtebaulichen Merkmale von Quartieren systematisch zu variieren und zu bilanzieren. So konnten grundlegende Erkenntnisse über die Treibhausgasemissionen von Quartieren gewonnen werden, die sowohl auf Neuplanungen als auch auf Bestandsquartiere anwendbar sind.



Sackgassenerschließung



Schlaufenerschließung



Gittererschließung

Abb. 3.4: Beispielhafte Kombinationen von Siedlungssegmenten zu größeren Siedlungszusammenhängen mit unterschiedlichen Erschließungstypen.



| <div>Erschließungssegment</div> <div>Gebäudetyp</div> | Segmente mit Wendehammer |                 |             | Segmente mit Kurven |                 |             | Segmente mit Kreuzungen |                 |             |
|-------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------|-------------|---------------------|-----------------|-------------|-------------------------|-----------------|-------------|
|                                                       | geringe Dichte           | mittlere Dichte | hohe Dichte | geringe Dichte      | mittlere Dichte | hohe Dichte | geringe Dichte          | mittlere Dichte | hohe Dichte |
| Einfamilienhaus                                       |                          |                 |             |                     |                 |             |                         |                 |             |
| Doppelhaus                                            |                          |                 |             |                     |                 |             |                         |                 |             |
| Reihenhaus                                            |                          |                 |             |                     |                 |             |                         |                 |             |
| Punkthaus                                             |                          |                 |             |                     |                 |             |                         |                 |             |
| Zeile                                                 |                          |                 |             |                     |                 |             |                         |                 |             |
| Block & Winkel                                        |                          |                 |             |                     |                 |             |                         |                 |             |

# **4. EMPFEHLUNGEN FÜR EINEN KLIMAORIENTIERTEN STÄDTEBAU**



# EMPFEHLUNGEN FÜR EINEN KLIMA-ORIENTIERTEN STÄDTEBAU

## Wirkmächtigkeit der Einflussfaktoren

In diesem Kapitel wird eingehender betrachtet, wie sich bestimmte architektonische und städtebauliche Eigenschaften auf das GWP eines Quartiers auswirken. Für diese Betrachtung wurden solche Eigenschaften ausgewählt, die nach Berechnungen aus dem Forschungsprojekt Q-LCA eine signifikante Auswirkung auf das GWP haben können und deshalb im Zentrum einer klimaorientierten Quartiersplanung stehen sollten. Außerdem werden in diesem Kapitel Hinweise gegeben, wie diese architektonischen und städtebaulichen Eigenschaften im Sinne der Einsparung von Treibhausgasen optimiert werden können.

Wie aus der Forschung hervorging, bestehen zwischen diesen Faktoren etliche Interdependenzen, die sich in Bezug auf die Senkung von Treibhausgasemissionen synergetisch, aber auch kontraproduktiv auswirken können. Ein Beispiel: Wird die Geschossflächenzahl auf einem Grundstück erhöht, werden Grund und Boden und auch die für das Gebäude benötigten Baustoffe effizienter genutzt. Die Folge ist ein geringeres GWP pro Person. Eine hohe Geschossflächenzahl kann aber gleichzeitig dazu führen, dass Stellplätze für eine größere Anzahl an Fahrzeugen auf begrenztem Raum benötigt werden, was häufig zum Bau einer Tiefgarage und damit einer deutlich verschlechterten Bilanz führt (s. Abb. 4.17). Wie dieses Beispiel nahelegt, könnte ein unvollständiges Bild von den Wirkungsweisen der architektonischen und städtebaulichen Einflussfaktoren entstehen, würde man diese isoliert betrachten. Darum werden die sie diesem Kapitel in relevanten Wirkungszusammenhängen dargestellt.

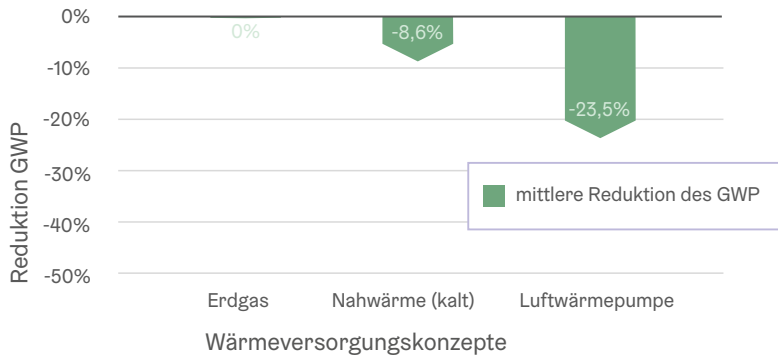
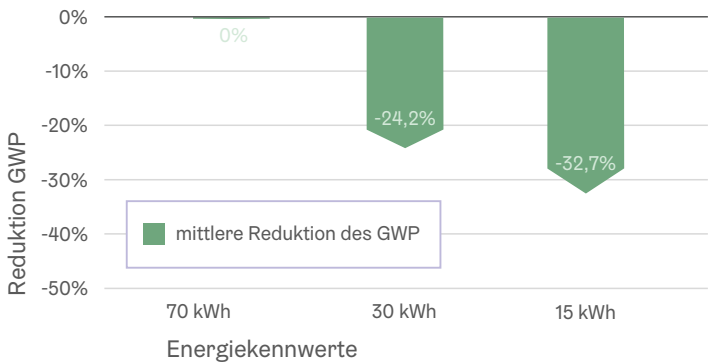
Neben den städtebaulichen Einflussfaktoren werden in diesem Kapitel auch anderer Faktoren angesprochen, denn auch sie können erhebliche Auswirkungen auf das GWP von Quartieren haben. Manche Einflussfaktoren können sich unter bestimmten Bedingungen so stark auf das GWP eines Quartiers auswirken, dass andere Faktoren – auch die städtebaulichen – im Verhältnis dazu an Wirkung verlieren. Vergleicht man z. B. ein Quartier, dessen Gebäude über einen Energiekennwert von 15 kWh verfügen, mit einem städtebaulich identischen Quartier, dessen Gebäude einen Energiekennwert von 70 kWh aufweisen, werden dort über den Lebenszyklus hinweg

durchschnittlich 33 Prozent weniger Treibhausgase emittiert (s. Abb. 4.1). Ähnlich stark kann sich die Wärmeversorgung auf das GWP eines Quartiers auswirken. Durch eine Versorgung mit Luftwärmepumpen können gegenüber einer Versorgung mit Gasheizungen Effizienzvorteile von durchschnittlich 23,5 Prozent erzielt werden (s. Abb. 4.2). Eine ähnlich große Wirkung kann der Haushaltsstrom haben. In sehr energieeffizienten Gebäuden mit geringem Heizwärmebedarf macht der Stromverbrauch der Bewohner (bei dem heute üblichen Strommix) nahezu die Hälfte des GWP aus.



Abb. 4.1: Durchschnittliche Einsparungen am Gesamt-GWP von Quartieren in Abhängigkeit vom Energiekennwert der Gebäude [in Prozent].

Abb. 4.2: Durchschnittliche Einsparungen am Gesamt-GWP von Quartieren in Abhängigkeit vom Wärmeversorgungskonzept [in Prozent].



Diese Beispiele verdeutlichen, dass die Wirkung eines Einflussfaktors auf das Gesamt-GWP einer Siedlung nicht eindeutig bestimmt werden kann, weil seine Wirkung stark von der Gewichtung anderer Einflussfaktoren abhängig ist. Um dennoch einen Eindruck davon zu gewinnen, wie groß der Einfluss ist, der durch architektonische und städtebauliche Entscheidungen genommen werden kann, soll Abb. 4.4 als Beispiel dienen. Diese Grafik zeigt das Gesamt-GWP von sechs Quartieren, bestehend aus unterschiedlichen Bebauungstypen. Zunächst ist deutlich erkennbar, wie stark sich die Gesamt-GWP dieser Quartiere voneinander unterscheiden. Quartiere bestehend aus mehrgeschossigen Bebauungstypen (Punkthaus-, Zeile und Blockrandbebauung) haben in Summe ein deutlich geringeres GWP als Quartiere mit kleineren, erdgeschossgebundenen Bebauungstypen (Einfamilien-, Doppel- oder Reihenhausbauung). Die niedrigsten Werte weist die Blockrandbebauung auf. In der vorliegenden Berechnung ist das GWP pro Person um 31 Prozent geringer als in einer vergleichbaren Einfamilienhaus-siedlung.

Der Anteil am Gesamt-GWP, der von Architekt\*innen und Planer\*innen unmittelbar beeinflusst werden kann (z. B. bei der Planung der öffentlichen Erschließung, Stellplätze und Gebäude) ist in Abb. 4.4 grün dargestellt und umfasst etwa die Hälfte der gesamten GWP. Betrachtet man die Faktoren separat, so haben die Herstellung der Gebäude und deren Wärmeversorgung durchgängig den größten Anteil am GWP, gefolgt von der Haustechnik. Auffallend ist, dass der durch den Bau von Stellplätzen erzeugte Anteil am GWP bei Quartieren mit kleinen Gebäudetypen (Einfamilienhaus-, Doppelhaus-, Reihenhausbauung) verschwindend gering ist, bei Quartieren mit großen Gebäudetypen (Punkthaus-, Zeilen-, Blockbebauung) aber deutlich über 10 Prozent liegt. Dieser Umstand ist auf den größeren Bedarf an Garagenstellplätzen zurückzuführen, der auf Seite 44 eingehender betrachtet wird.

*Architekt\*innen und Planer\*innen können durch ihre Planungsentscheidungen einen erheblichen Einfluss auf das Gesamt-GWP eines Quartiers nehmen.*

Zu beachten ist, dass in der für Abbildung 4.4 angewendeten Berechnung alle anderen Einflussfaktoren als Durchschnittswerte eingesetzt wurden. Dies erlaubt die Vergleichbarkeit aller Bebauungstypen untereinander, zeigt aber nicht, welche Varianzen auftreten können, wenn einzelne Einflussfaktoren von den Durchschnittswerten abweichen. So kann eine Einfamilienhaussiedlung mit emissionsarmer Konstruktion und Energieversorgung (z. B. Passivhäuser mit Solarwärme) und einer hohen Belegungsdichte ein niedrigeres Gesamt-GWP aufweisen als eine Blockrandbebauung mit ungünstiger Konstruktion und schlechter Ausnutzung.

## Wahl der Bebauungstypen

Durch die Wahl der Bebauungstypen wird das Aussehen und der Charakter eines Quartiers in besonderer Weise geprägt. Architektonische Grundzüge eines Quartiers, wie die Größe, die Kubatur oder die Dachformen der Gebäude, werden bereits mit der Wahl des Bebauungstypen vorweggenommen. Gleiches gilt für etliche städtebauliche Eigenschaften: Die bauliche Dichte, die Abstände oder die Nutzung von Erdgeschossen, Freiflächen und öffentlichen Räumen, stehen eng mit den Bebauungstypen des Quartiers in Zusammenhang. Auch sozial relevante Aspekte werden mit der Wahl der Bebauungstypen antizipiert, wie z. B. Wohnungstypen und Wohnungsgrößen, die angeboten werden können, die Kauf- und Mietpreise und einhergehende damit auch die soziale Zusammensetzung der zukünftigen Wohnbevölkerung (s. Abb. 4.3).

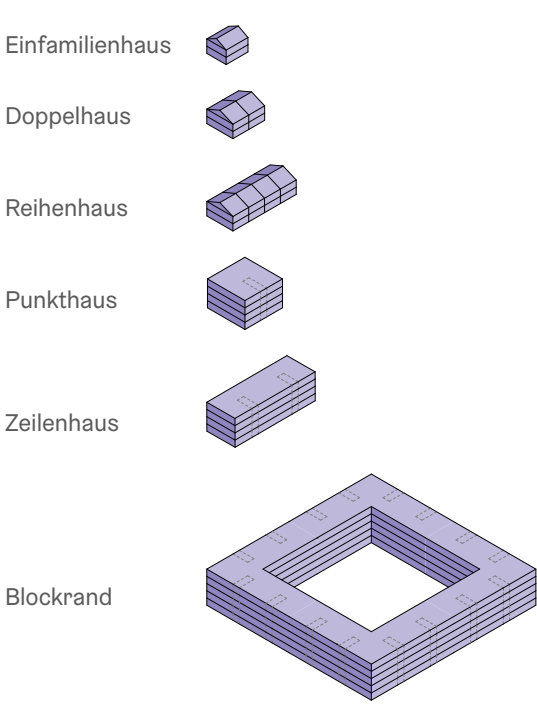


Abb. 4.3: Es wurden sechs Bebauungstypen miteinander verglichen. Diese wurden in jeweils drei Varianten modelliert, die sich in ihrer Geschossigkeit und (bei Reihenhausbauung und Zeilenbauungen) in ihrer Grundfläche unterscheiden.

Wie Abb. 4.4 zeigt, kann die Wahl des Bebauungstyps signifikante Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen eines Quartiers haben. Wenn bei der Quartiersplanung ein möglichst geringes GWP pro Person im Fokus steht, weisen Geschosswohnungsbauten mit hoher Dichte (Punkthaus-, Zeilen- und Blockrandbebauung) eine bessere Bilanz auf. Stehen hingegen andere Umweltziele im Fokus, die auf große und unversiegelte Flächen angewiesen sind, im Fokus – beispielsweise zur Regenwasserretention, zur Gewinnung regenerativer Energie oder zur Förderung der Biodiversität –, können Bebauungstypen mit geringerer Dichte von Vorteil sein. Zusammengefasst machen diese Betrachtungen deutlich, dass es keinen idealen Bebauungstyp gibt – weder in Bezug auf den städtebaulichen Charakter und die sozialen Qualitäten, noch in Bezug auf die Klima- und Umweltauswirkungen. Daher erfordert die Wahl des Bebauungstyps in jeder Quartiersplanung eine individuelle Abwägung aller relevanten Aspekte.

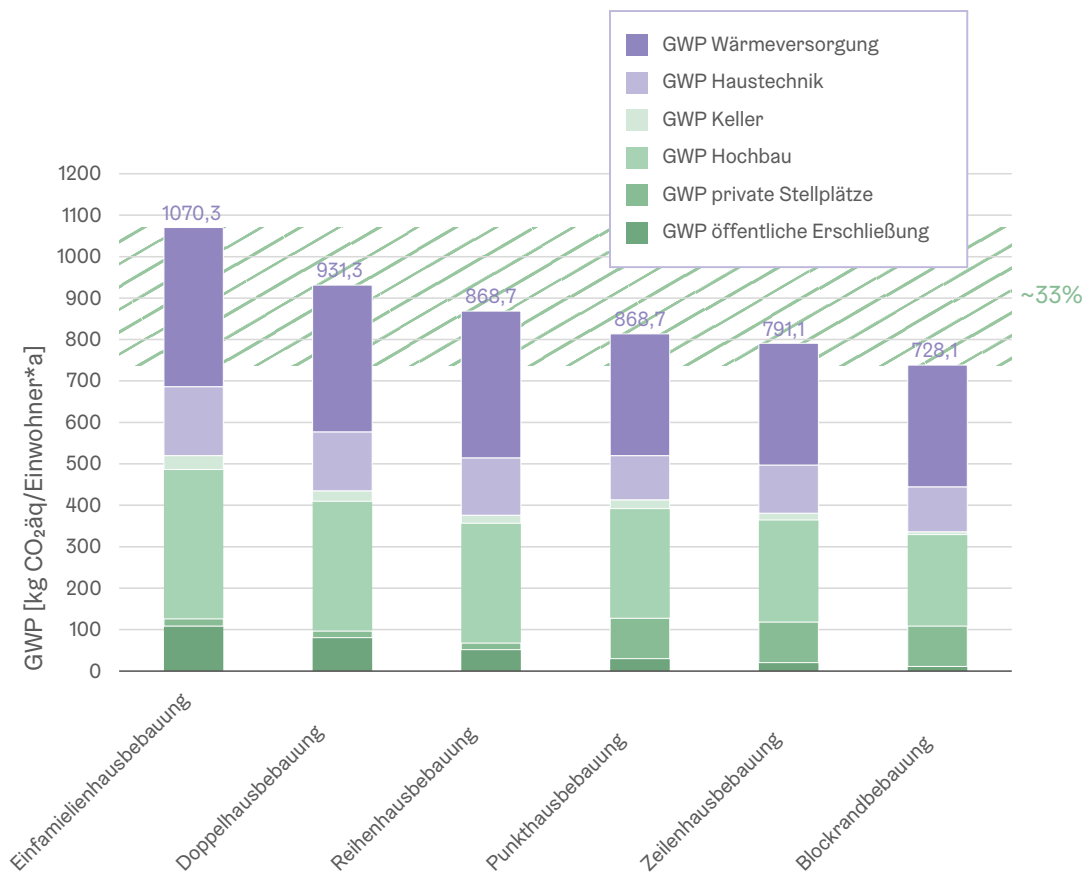


Abb. 4.4  
Gesamt-GWP unterschiedlicher Bebauungstypen [in kg CO<sub>2</sub>-äq/Einwohner\*a] und dessen Bestandteile (Durchschnittswerte)

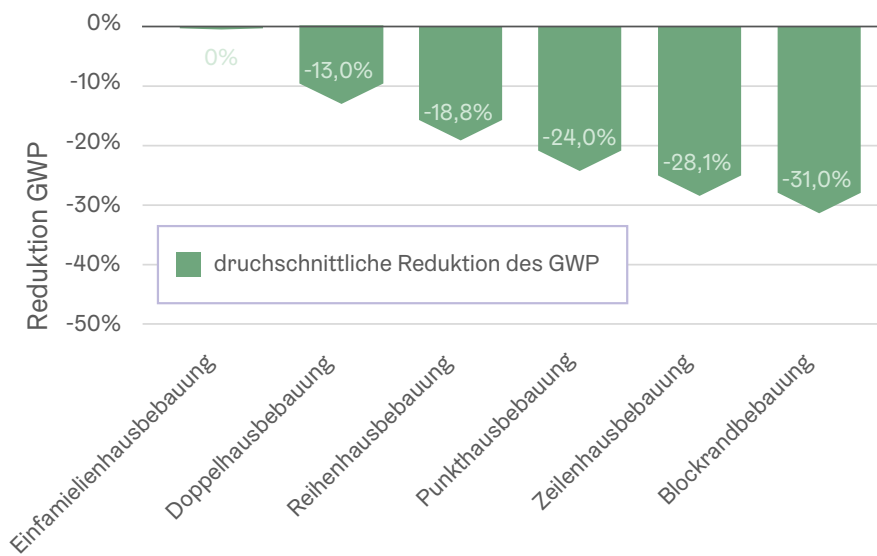


Abb. 4.6:  
Durchschnittliche Reduktion des Pro-Kopf-GWP unterschiedlicher Bebauungstypen im Vergleich zu einer Einfamilienhaussiedlung [in Prozent].

Dass Quartiere mit größer dimensionierten Gebäuden eine durchschnittlich bessere Energiebilanz pro Person aufweisen als Quartiere mit kleineren Bebauungstypen, ist neben der höheren Belegungsdichte dieser Gebäude auch auf die geometrischen Eigenschaften der betreffenden Bebauungstypen zurückzuführen. Großvolumige Gebäude verfügen über ein günstigeres Verhältnis zwischen Hüllfläche und Nutzfläche als kleinere Gebäude. Zum Vergleich: Die Hüllfläche der hier untersuchten Einfamilienhäuser fällt pro Kopf im Durchschnitt knapp viermal größer aus als bei der analysierten Blockrandbebauung (s. Abb. 4.5). Das hat zur Folge, dass Wohnungen in kleinteiligen Wohnungsbauten über größere Außenflächen verfügen als Wohnungen in Geschosswohnungsbauten. Wohnungen in kleinteilige Wohnungsbauten weisen entsprechend höhere Heizwärmeverluste pro Quadratmeter Nutzfläche auf bzw. benötigen einen größeren Konstruktionsaufwand für den baulichen Wärmeschutz, um den gleichen Energiekennwert zu erreichen wie eine Wohnung im Geschosswohnungsbau.

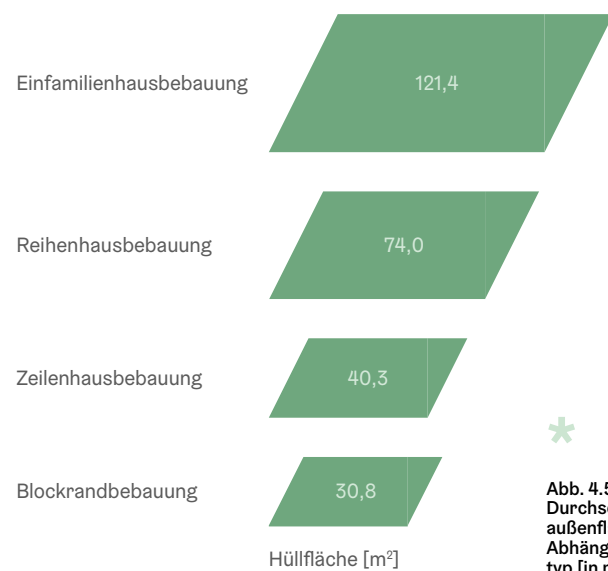


Abb. 4.5:  
Durchschnittliche Gebäudeaußenfläche pro Person in Abhängigkeit vom Bebauungstyp [in m²].

Auch die grauen Emissionen sind im Geschosswohnungsbau durchschnittlich geringer, da Baustoffe, Erschließungsflächen und Haustechnik in Bezug auf die Anzahl der Bewohner\*innen effizienter genutzt werden können. Dieser Effekt lässt sich nicht nur durch die kompaktere Bauform von Geschosswohnungsbauten erklären, sondern auch durch die durchschnittlich höhere Belegungsdichte ihrer Wohnungen sowie durch die höhere bauliche Dichte, die in Quartieren mit diesen Bebauungstypen erreicht werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Geschosswohnungsbauten einen höheren Effizienzgrad hinsichtlich der für ihre Herstellung und ihren Betrieb eingesetzten Ressourcen aufweisen. Allerdings nehmen die Effizienzvorteile mit zunehmender baulicher Dichte der Bebauungstypen ab, wie aus Abb. 4.6 hervorgeht. Die Hintergründe dafür werden auf Seite 36 vertieft.

*Geschosswohnungsbauten verfügen über einen höheren Effizienzgrad hinsichtlich der für Herstellung und Betrieb eingesetzten Ressourcen auf als kleinteiliger und niedriggeschossiger Wohnungsbau. Die Effizienzvorteile nehmen aber mit zunehmender baulicher Dichte ab.*

die Erzeugung von Heizwärme entstehen über die gesamte Nutzungsphase des Quartiers. Geht man von einem rechnerischen Lebenszyklus von 50 Jahren aus, wird mehr als die Hälfte des gesamten GWP durch die Herstellung und Sanierung des Quartiers verursacht (s. Abb. 4.8). Daran wird deutlich, dass ein erheblicher Anteil am Gesamt-GWP in der Bauphase eines Quartiers (inkl. der vorgelagerten Herstellungsprozesse von Baustoffen und Bauteilen) und damit in vergleichsweise kurzer Zeit emittiert wird und maßgeblich durch Entscheidungen von Bauherr\*innen, Planer\*innen und Ingenieur\*innen beeinflusst wird.

*Bei einer angenommenen Lebensdauer von 50 Jahren wird rund die Hälfte des gesamten GWP eines Quartiers während der Herstellungsphase verursacht (graue Emissionen).*

Entscheidungen, die im Zuge der hochbaulichen und städtebaulichen Planung getroffen werden, lassen sich später nur schwer oder gar nicht mehr korrigieren. Einmal geplant und gebaut, werden die Gebäude und Infrastrukturen eines Quartiers über Jahrzehnte hinweg in nahezu unveränderter Form betrieben. Im Unterschied dazu kann der Faktor Wärmeversorgung auch nach Fertigstellung des Quartiers auf unterschiedliche Weise angepasst werden. So kann etwa ein sparsames Heizverhalten der Bewohner\*innen ebenso zur Verringerung der Treibhausgasemissionen beitragen wie die Optimierung der Haustechnik. Außerdem ist davon auszugehen, dass die Art der Wärmeversorgung nicht über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes bzw. eines Quartiers unverändert bleibt, sondern aufgrund von technischen Fortschritten, Energiepreisentwicklungen oder gesetzlichen Vorgaben im Sinne des Klimaschutzes angepasst wird. Hinzu kommt, dass der Anteil erneuerbarer Energien am deutschen Strommix weiter zunimmt. Dies wirkt sich nicht nur positiv auf die

Treibhausgasemissionen beim Betrieb von Haushaltsgeräten, sondern auch bei der Erzeugung von Heizwärme aus, sofern dies durch ein strombasiertes Heizsystem, wie beispielsweise eine Luft-Wasser-Wärmepumpe, erfolgt.

Eine statische Betrachtung des GWP über den Lebenszyklus, wie in Abbildung 4.8 dargestellt, projiziert lediglich die gegenwärtigen GWP-Emissionen, die durch die Herstellung und den Betrieb von Gebäuden verursacht werden, in die Zukunft. Sie bildet aber nicht ab, wie sich Veränderungen an der Wärmeversorgung oder am Strommix auf die Bilanz des Quartiers auswirken werden. Solche Veränderungen werden in den Abbildungen 4.9 und 4.10 dargestellt, denen zwei verschiedene Entwicklungsszenarien zugrunde gelegt wurden. In beiden Fällen wurde ein Quartier in Zeilenbauweise mit identischen baulichen Merkmalen untersucht (mittlere bauliche Dichte, Massivbauweise, Energiekennwert von 30 kWh/m²a, Gittererschließung). Die erste Variante wurde mit einem strombasierten Heizsystem berechnet (Luft-Wärmepumpe), die zweite Variante mit einem fossilen Heizsystem (Gasheizung). Da nicht vorhersehbar ist, zu welchem Zeitpunkt und in welcher Weise die Wärmeversorgung im Verlauf des Lebenszyklus angepasst wird, wurde in den beiden Szenarien davon ausgegangen, dass die Art der Wärmeversorgung unverändert bleibt. Es kann aber mit großer Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass der Anteil der erneuerbaren Energien am Strommix weiter zunimmt. Um diese Entwicklung abzubilden, wurde in beiden Szenarien von einer jährlichen Reduktion des GWP im Energiesektor von 12 Prozent ausgegangen, die rechnerisch zur gesetzlich angestrebten Klimaneutralität im Jahr 2045 führen würde. Außerdem wurde für Instandhaltungsprozesse (z. B. Ersatz von Bauteilen, Anlagen-erneuerung) eine Reduktion des GWP von 5 Prozent über 50 Jahre angenommen.

Im Vergleich mit Abbildung 4.8 machen die Abbildungen 4.9 und 4.10 deutlich, wie sich die Dekarbonisierung des Strommix positiv auf die grauen Emissionen auswirken, die durch zukünftige Sanierungs- und Modernisierungsmaßnahme an dem betrachteten Quartier entstehen werden. Baustoffe und Bauteile, deren Herstellung bereits heute strombasiert erfolgt, profitieren unmittelbar von der Dekarbonisierung. Hinzu kommt die geplante Umstellung der Herstellungsprozesse auf regenerative Energieträger, z. B. bei Zement, Stahl, Glas und anderen energieintensiven Baustoffen.

Strombasierte Systeme werden folglich stark von der Dekarbonisierung des Energiesektors profitieren und sich nach rund 20 Jahren Betriebszeit nicht mehr auf die Klimabilanz des Quartiers auswirken. Die Wärmeversorgung durch Erdgas bleibt von der Dekarbonisierung des Strommix hingegen unberührt und würde, sofern keine Umstellung erfolgt, bis zum Ende des Lebenszyklus des Quartiers kontinuierlich Treibhausgase emittieren. Unverändert bleiben auch die grauen Emissionen, die aktuell durch die Herstellung eines Quartiers entstehen, da diese nicht von der zu erwartenden Dekarbonisierung des Energiesektors profitieren kann. Das bedeutet, dass der Anteil der grauen Emissionen am Gesamt-GWP eines Quartiers in einem dynamischen Szenario deutlich höher ist als in einem statischen. Diese Betrachtung macht deutlich, wie

wichtig eine weitsichtige Planung über den gesamten Lebenszyklus eines Quartiers ist – insbesondere mit Blick auf die Faktoren „Wärmeversorgung“ und „graue Energie“.

*Geht man von einer Dekarbonisierung des Energiesektors bis 2045 aus, wird das GWP, das zukünftig durch die Wärmeerzeugung und durch Sanierungsmaßnahmen entsteht, kontinuierlich abnehmen. Demgegenüber kann das GWP, das heute durch die Herstellung eines Quartiers entsteht, nicht von der zukünftigen Dekarbonisierung des Energiesektors profitieren.*

Neben dem Energiesektor gibt es noch zahlreiche andere, sich dynamisch verändernde Parameter, die langfristig das GWP von Quartieren beeinflussen können. Zu nennen sind insbesondere die abnehmenden Haushaltsgrößen in Deutschland. Wohnten Ende der 1970er-Jahre im Durchschnitt etwa 2,5 Personen in einem Haushalt zusammen, waren es 2024 nur noch 2,02 Personen (BpB 2021). Dieser Trend wird sich in den kommenden Jahren weiter fortsetzen (BiB 2023) und dazu beitragen, dass das GWP, das bei der Herstellung und Nutzung von Quartieren entsteht, auf immer weniger Personen verteilt wird (s. Seite 39).

Im Gegensatz dazu dürften sich die zu erwartenden Verschärfungen der nationalen und europäischen Klimaschutzpolitiken positiv auswirken. Von besonderem Interesse ist hierbei, wie die Bundespolitik die angestrebte Beschleunigung im Wohnungsbau – und die damit verbundene Belastung von Klima und Umwelt – gegenüber den Zielen der nationalen Klimaschutzpolitik abwägen wird. Diese politischen Weichenstellungen werden sich signifikant auf das GWP von Quartieren auswirken, lassen sich im Rahmen dieser Studie jedoch nicht antizipieren.

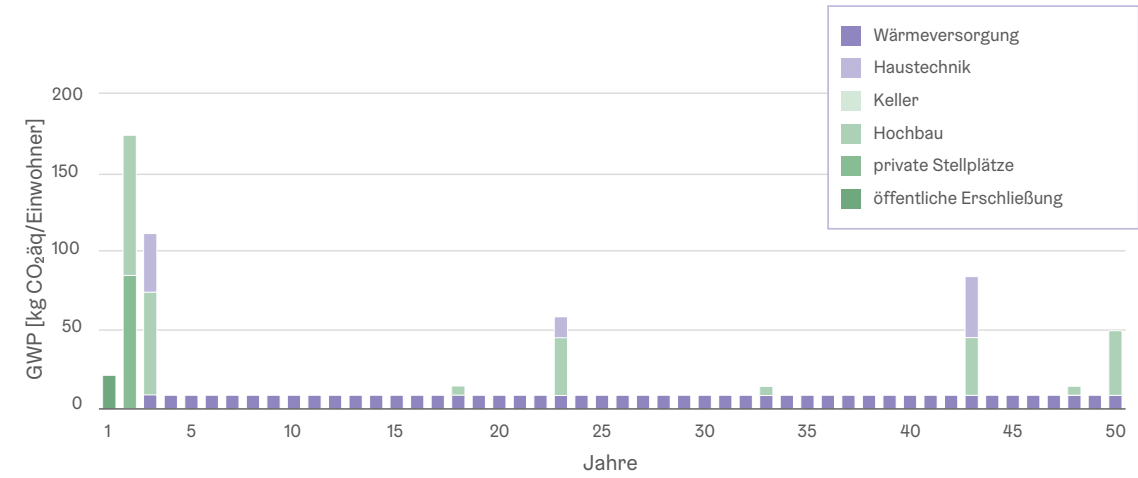


Abb. 4.8: Schematische Verteilung des GWP einer Neubausiedlung über einen Lebenszyklus von 50 Jahren, gruppiert nach Einflussfaktoren [in kg CO₂-äq/m² NRF]. Szenario 1: Wärmeversorgung durch Gasheizung, ohne Dekarbonisierung des Energiesektors.

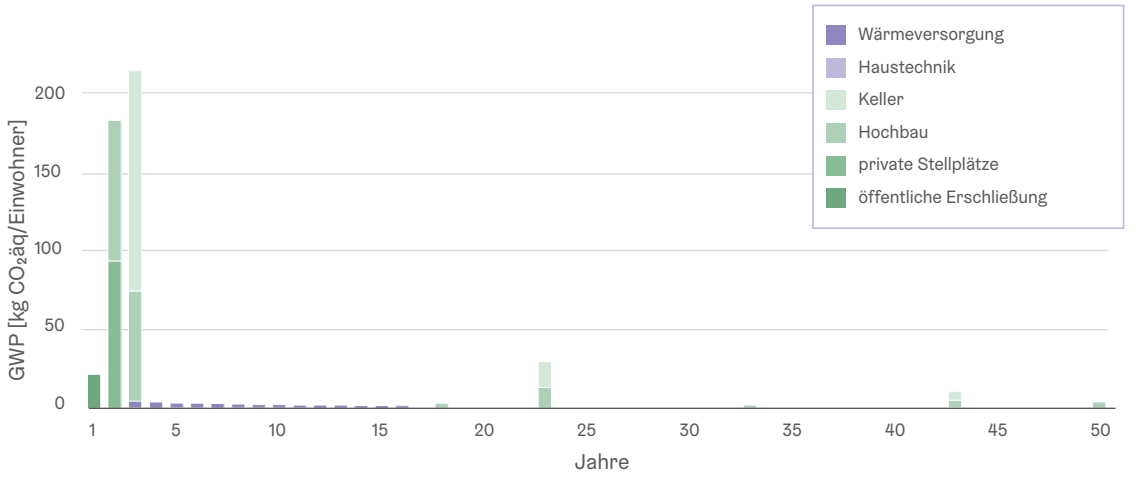


Abb. 4.9: Schematische Verteilung des GWP eines Neubauquartiers über einen Lebenszyklus von 50 Jahren, gruppiert nach Einflussfaktoren [in kg CO₂-äq/m² NRF]. Szenario 2: Wärmeversorgung durch Luft-Wasser-Wärmepumpe bei Dekarbonisierung des Energiesektors.

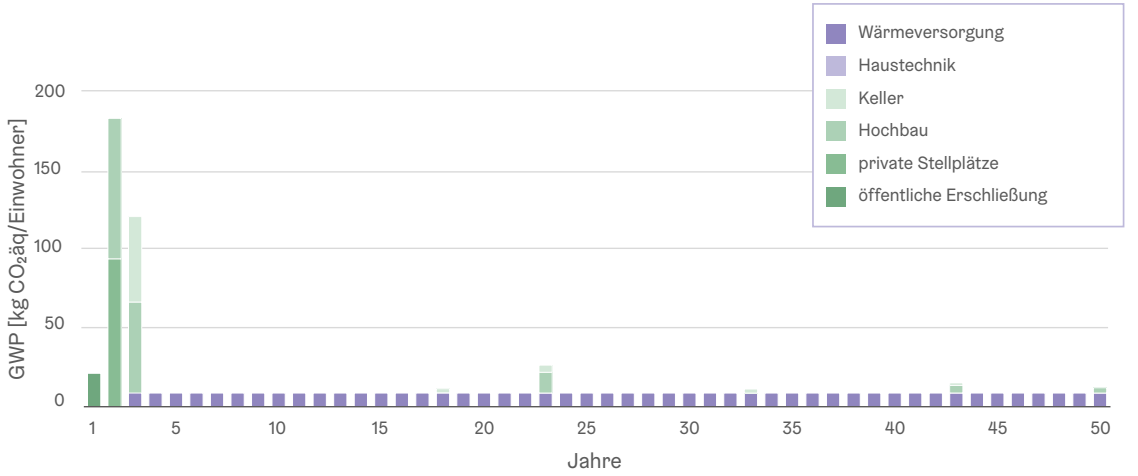


Abb. 4.10: Schematische Verteilung des GWP eines Neubauquartiers über einen Lebenszyklus von 50 Jahren, gruppiert nach Einflussfaktoren [in kg CO₂-äq/m² NRF]. Szenario 3: Wärmeversorgung durch Gasheizung bei Dekarbonisierung des Energiesektors.



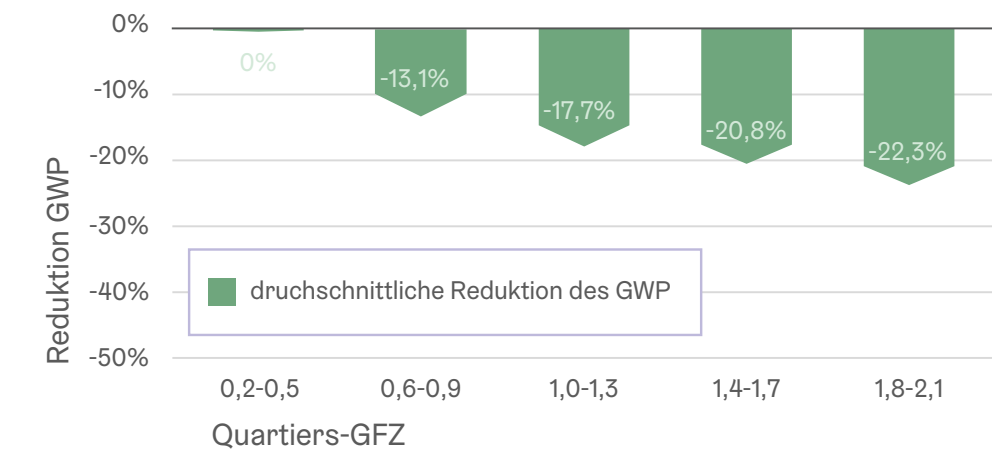


Abb. 4.11: Durchschnittliche Reduktion des Gesamt-GWP eines Quartiers durch höhere Quartiersdichten im Vergleich zu einem Quartier mit geringer Dichte (Quartiers-GFZ 0,2 – 0,5) [in Prozent].

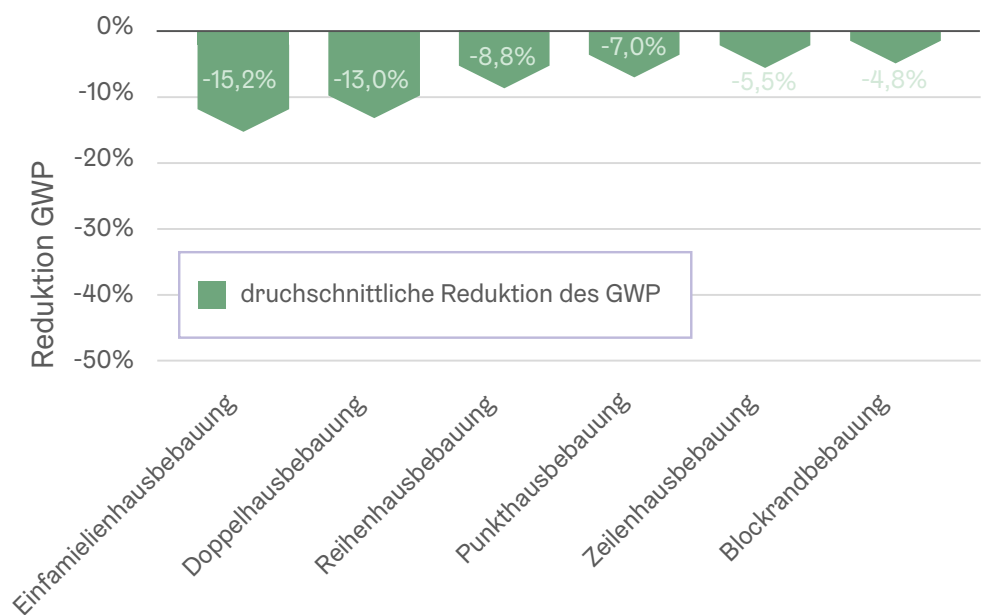


Abb. 4.12: Durchschnittliche Reduktion des Gesamt-GWP eines Quartiers durch Nachverdichtung (hier: Verdoppelung der GFZ) nach Bebauungstypen [in Prozent].

## Bedeutung und Grenzen der baulichen Dichte

Soll ein möglichst niedriges GWP pro Person erzielt werden, schneiden erwartungsgemäß jene Bebauungstypen besser ab, die eine hohe bauliche Dichte ermöglichen (v.a. Zeilenhaussiedlungen und Blockrandbebauungen). Dies ist deutlich erkennbar, wenn man das Pro-Kopf-GWP in einem Quartier in Abhängigkeit von dessen baulicher Dichte betrachtet: Quartiere mit einer hohen Dichte (Quartiers-GFZ 1,8-2,1) haben gegenüber Quartieren mit geringer Dichte (0,2-0,5) einen mittleren Effizienzvorteil von 22,3 Prozent. (s. Abb. 4.11).

Folglich sind die Einsparpotenziale, die durch eine Erhöhung der baulichen Dichte eines Quartiers erzielt werden können bei Bebauungstypen mit geringerer Dichte (also vor allem Einfamilienhaus-, Doppelhaus- und Reihenhausbauungen) wesentlich größer als bei Zeilen- oder Blockrandbebauungen. Ein Beispiel: Wird die bauliche Dichte eines Quartiers mit einer Blockrandbebauung in etwa verdoppelt (in der vorliegenden Berechnung von einer GFZ von 1,0 auf 2,1), verringert sich das GWP dieses Quartiers lediglich um 4,8 Prozent ab. Verdoppelt man dagegen die städtebauliche Dichte einer Doppelhaussiedlung (hier von einer GFZ von

0,2 auf 0,4), kann das GWP dieser Siedlung um 13 Prozent reduziert werden (s. Abb. 4.12).

### Nachverdichtung

Diese Berechnung zeigt, welches Klimaschutzpotenzial in der Nachverdichtung städtebaulicher Strukturen liegt. Dem kann gegenübergestellt werden, dass bei einer geringeren baulichen Dichte eine geringere gegenseitige Verschattung der Gebäude zu erwarten ist und die Baukörper darüber hinaus besser zur Sonne ausgerichtet werden können. Durch diese Maßnahmen kann der winterliche Heizwärmebedarf der Gebäude mithilfe solarer Warmegewinne gesenkt werden, was zu einer Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen beiträgt. Dass eine geringe bauliche Dichte auch bessere Möglichkeiten für flächenintensive Umweltschutz- und Klimafolgenanpassungen bieten kann – z. B. für die Bereitstellung von Grünanlagen und Retentionsflächen – wurde bereits erwähnt.

Der Umstand, dass sich in Quartieren mit Geschosswohnungsbau durch eine Erhöhung der baulichen Dichte nur verhältnismäßig geringe Effizienzvorteile erzielen lassen, liegt unter anderem daran, dass durch die zunehmende Dichte kontraproduktive Effekte ausgelöst werden, die

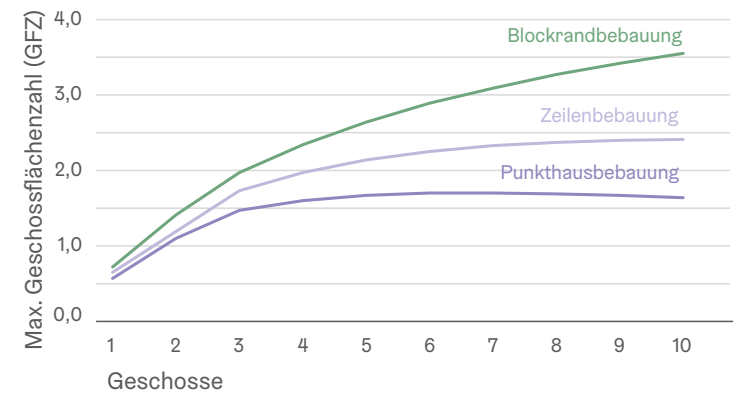
sich nachteilig auf das Gesamt-GWP auswirken. Dies ist z. B. dann der Fall, wenn durch eine zunehmende Gebäudehöhe größere Konstruktionsanteile erforderlich werden oder erhöhte Anforderungen an den Brandschutz erfüllt werden müssen (Weidner 2020). Auch der zusätzliche Bedarf an Stellplätzen kann sich negativ auf das Gesamt-GWP auswirken, insbesondere dann, wenn dieser Bedarf durch bauliche Anlagen wie Hoch- oder Tiefgaragen gedeckt wird (s. Seite 44).

### Abstandsflächen

Ein weiterer Faktor, der die positive Wirkung der baulichen Dichte auf das GWP von Quartieren einschränkt, sind die bauordnungsrechtlich geforderten Abstandsflächen. Der Mindestabstand, den ein Gebäude zum Nachbargrundstück oder Nachbargebäude einhalten muss, wird durch einen Umrechnungsfaktor (F) bestimmt, der auf die Gebäudehöhe und die Dachneigung angerechnet wird. Je nach Lage und Nutzung eines Gebäudes schreiben die Landesbauordnungen einen Umrechnungsfaktor von 0,25 bis 1 vor. In reinen Wohngebieten ist ein Umrechnungsfaktor von 0,4 H üblich. Ein Gebäude mit 10 Metern Höhe und Flachdach muss demnach einen Abstand von mindestens 4 Metern einhalten.

*Die Einsparungen von Ressourcen und Treibhausgasemissionen, die durch eine Erhöhung der baulichen Dichte erzielt werden, steigen nicht proportional zur Höhe der Gebäude, sondern nähern sich je nach Bebauungstyp einem rechnerischen Maximalwert an.*

Bestimmt man den Abstand durch eine Linie, die im rechten Winkel von der Fassade des betreffenden Gebäudes in Richtung des Nachbargebäudes verläuft, verhält sich die Länge dieser Linie proportional zur Gebäudehöhe ( $a = F \times h$ ). Bestimmt man den Abstand jedoch als Fläche, die sich rings um das Gebäude erstreckt, verhält sich diese Fläche exponentiell zur Höhe des Gebäudes ( $A = F \times h^2 \times 4 \times a \times b$ ). Das bedeutet, dass die gemäß Bauordnung freizuhaltende Fläche schneller wächst als die Gebäudehöhe (s. Abb. 4.14). Dies ist ein wesentlicher Grund dafür, dass die bauliche Dichte eines Quartiers nicht proportional zur Gebäudehöhe steigen kann, sondern sich mit zunehmender Gebäudehöhe einem Maximalwert annähert. Wann dieser Maximalwert erreicht wird, hängt zum einen vom Umrechnungsfaktor, zum anderen von den geometrischen Eigenschaften der Gebäude ab (s. Abb. 4.13). Bei den hier betrachteten Bebauungstypen wird die maximale GFZ einer Punkthausbebauung bei einem Umrechnungsfaktor von 0,4 H bereits nach sechs Geschossen erreicht - und damit auch die optimale Wirkung in Bezug auf Ressourcenverbrauch und Treibhausgasemissionen. Eine Zeilenbebauung nähert sich dem Maximalwert erst nach ca. zehn Geschossen, und eine Blockrandbebauung kann eine noch höhere Dichte erzielen (vgl. Weidner 2020).



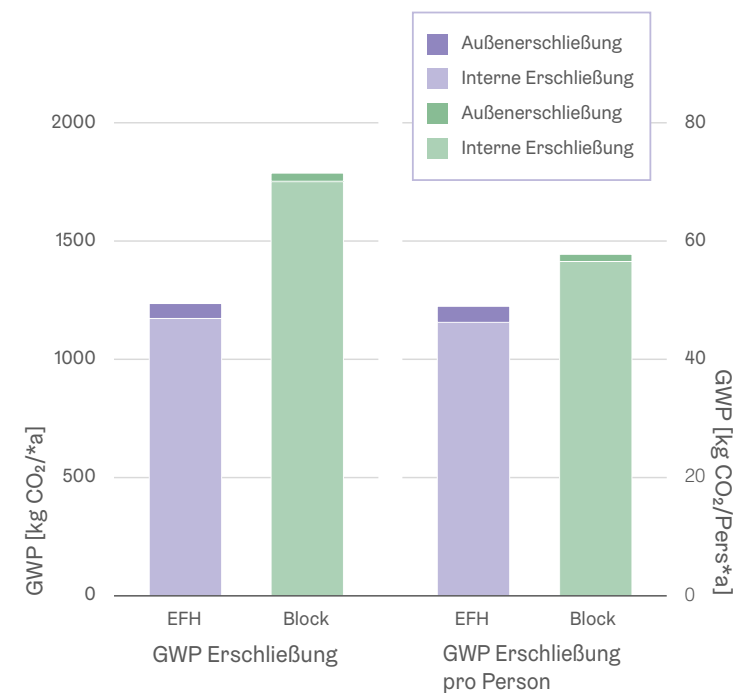
### Interne Erschließung

Ein weiterer Faktor, der das GWP der verschiedenen Bebauungstypen bestimmt, ist die Organisation der internen vertikalen Erschließungen. Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal bei diesen Erschließungen besteht darin, dass es sich entweder um gemeinschaftlich genutzte Treppenhäuser im Geschosswohnungsbau handelt oder um private, nur vom jeweiligen Haushalt genutzte Treppen in niedriggeschossigen Wohnungsbauten. Um diesen Unterschied näher zu betrachten, wurden beispielhaft die GWP-Werte berechnet, die auf die äußere und die internen Erschließungen einer Reihenhausbauung und einer Zeilenbebauung zurückzuführen sind (s. Abb. 4.14). Für beide Bebauungen wurde die gleiche BGF und die gleiche Anzahl an Wohneinheiten angenommen.



Abb. 4.13 (oben): GFZ unterschiedlicher Bebauungstypen in Abhängigkeit von ihrer Geschosshöhe, bei Einhaltung von Abstandsflächen von 0,4 H.

Abb. 4.14 (unten): GWP der äußeren und der internen Erschließung einer Reihenhausbauung und einer Zeilenhausbauung [in kg CO<sub>2</sub>äq/a und kg CO<sub>2</sub>äq/Einwohner\*a].



Entgegen der naheliegenden Annahme, dass die gemeinschaftlich genutzte Erschließung im Geschosswohnungsbau einen höheren Effizienzgrad aufweist als die privat genutzte Erschließung in den kleineren Bebauungstypen, ist das Gegenteil der Fall: Für die interne Erschließung im Zeilenbau liegt das GWP rund 44 Prozent höher als bei den Reihenhäusern. Selbst dann, wenn das GWP nicht pro Wohneinheit, sondern pro Person berechnet wird, um die höhere Belegungsdichte im Geschosswohnungsbau zu berücksichtigen, liegt das GWP für



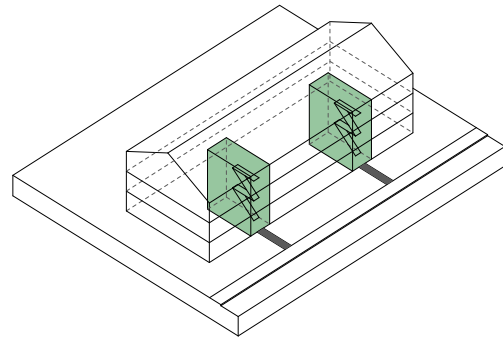
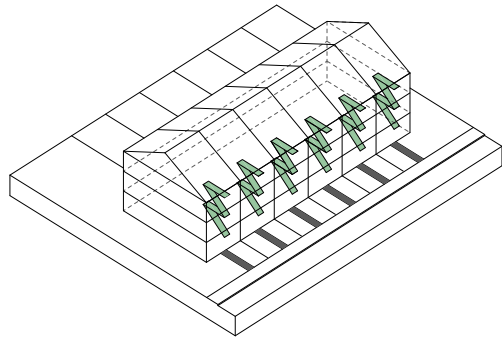


Abb. 4.15: Schematische Darstellung der äußeren Erschließung (grau) sowie der internen Erschließung (grün) einer Reihenhausbau- und einer Zeilenbebauung.

die Erschließung in der Zeilenbebauung 18 Prozent über dem der Erschließung in der Reihenhausbau. Der Grund dafür ist, dass die vertikale Erschließung im Geschosswohnungsbau (Treppen) durch horizontale Erschließungsflächen ergänzt werden muss (Flure, Treppenpodeste). Im Unterschied dazu sind solche Erschließungsflächen bei den kleineren Bebauungstypen in die Wohngrundrisse integriert (s. Abb. 4.15).

*Auch die interne Erschließung von Gebäuden hat Einfluss auf das GWP, wobei gemeinschaftlich genutzte Erschließungen im Geschosswohnungsbau tendenziell schlechter abschneiden als die privat genutzten Erschließungen in Einfamilien-, Zweifamilien- und Reihenhausbauungen.*

Erreicht der Geschosswohnungsbau eine kritische Größe, können gemäß den bauordnungsrechtlichen Bestimmungen zusätzliche Fluchtwege und Aufzüge erforderlich werden. Das verursacht nicht nur höhere Baukosten, sondern wirkt sich negativ auf das Gesamt-GWP des Gebäudes bzw. des Quartiers aus.

### Tiefgaragen

Steigt die bauliche Dichte eines Quartiers, wächst der Verwendungsdruck auf Freiflächen und öffentliche Verkehrsflächen, um dort die geforderte Anzahl an Stellplätzen zur Verfügung zu stellen. Reicht die Fläche nicht aus oder werden erhöhte Ansprüche an die Stellplätze gestellt (z. B. Nähe zum Wohnraum, Witterungsschutz etc.), kommen Hoch- oder Tiefgaragen zum Einsatz. Die Herstellung dieser Anlagen, insbesondere von Tiefgaragen, ist jedoch mit erheblichem Aufwand verbunden (Aushub und Konstruktion) und hat ein entsprechend hohes GWP. Bei den in der vorliegenden Studie analysierten Quartieren mit Blockrandbebauung nehmen die Tiefgaragen einen Anteil von 13 Prozent am Gesamt-GWP des Quartiers ein (Abb 4.16). Würde man jedoch die gleiche Anzahl an Fahrzeugen im Straßenraum oder auf Sammelstellplätzen unterbringen, hätte dies nicht nur negative Auswirkungen auf die Qualität der öffentlichen Räume, sondern wäre auch mit einem erheblichen Flächenbedarf verbunden, der sich einschränkend auf die bauliche Dichte des Quartiers auswirkt.

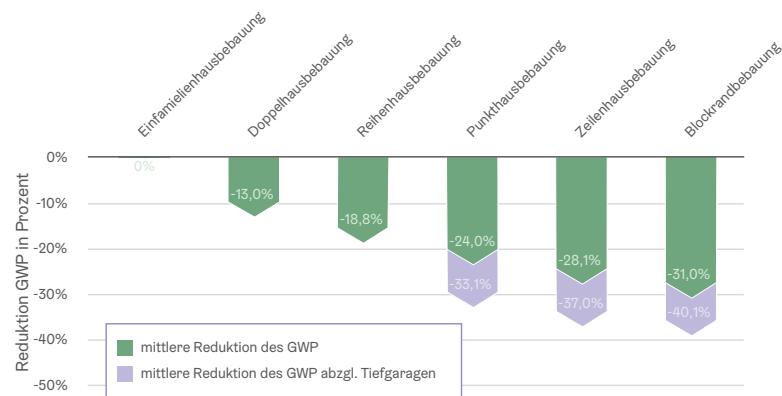


Abb. 4.16: Durchschnittliche Reduktion des Gesamt-GWP eines Quartiers in Abhängigkeit vom Bebauungstyp, verglichen mit einer Einfamilienhaussiedlung [in Prozent].

*Stellplätze in Form von Garagen und Tiefgaragen können sich stark auf das Gesamt-GWP von Quartieren niederschlagen. In einem Quartier mit Blockrandbebauung und Tiefgaragen haben die Stellplätze einen Anteil von 13 Prozent am Gesamt-GWP.*

### Wohnflächenbedarf

Zwischen 1993 und 2023 ist die Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland von 81,3 auf 83,5 Millionen Einwohner\*innen gewachsen, was einem Zuwachs von 2,6 Prozent entspricht. Gemessen an der damaligen durchschnittlichen Haushaltsgröße von 2,3 Personen pro Haushalt wären zwischen 1993 und 2023 912.000 neue Wohnungen erforderlich gewesen, um der zusätzlichen Bevölkerung Wohnraum zu bieten. Tatsächlich wurden in diesem Zeitraum jedoch über 8,6 Millionen neue Wohnungen gebaut, was einem Zuwachs von knapp 25 Prozent entspricht.

Eine wesentliche Ursache dafür, dass der Zuwachs an Wohnungen den Bevölkerungszuwachs um ein Vielfaches überstiegen hat, liegt in der seit Jahrzehnten rückläufigen durchschnittlichen Haushaltsgröße in Deutschland. Betrug sie 1993 noch 2,27 Personen pro Haushalt, waren es 2024 nur noch 2,02 (BpB 2021). Wenn aber immer weniger Personen pro Wohneinheit zusammenleben, werden immer mehr Wohnungen benötigt – selbst dann, wenn das Bevölkerungswachstum nahezu stagniert.

Diese Entwicklung hat vor allem demografische und gesellschaftliche Ursachen: Der Anteil der Bevölkerung, der in Familien lebt, nimmt seit Jahren ab, während die Anzahl alleinlebender Menschen zunimmt. Über den Zeitraum der letzten 30 Jahre nahm nur noch die Zahl der Einpersonenhaushalte zu, während die Zahl der Haushalte mit zwei

und mehr Bewohner\*innen abnimmt (Destatis 2025a). Diese Entwicklung wird sich laut demografischer Vorausberechnungen auch in den kommenden Jahren fortsetzen (BiB 2023).

Die Zunahme kleiner Haushalte geht jedoch nicht mit einer entsprechenden Verkleinerung der Wohnfläche einher. Das liegt zum einen daran, dass ältere Wohneigentümer\*innen häufig in ihren Wohnungen verbleiben, nachdem ihre Kinder den Haushalt verlassen haben (Remanenzeffekt). Hier verteilt sich die Wohnfläche, die ursprünglich für eine Familie geplant war, nur noch ein bis zwei Personen. Zum anderen ist der große Wohnflächenbedarf kleiner Haushalte darauf zurückzuführen, dass selbst kleine Wohnungen ein Mindestmaß an Infrastrukturen benötigen (Erschließung, Küche, Bad), die im Vergleich mit größeren Haushalten einen überdurchschnittlich großen Anteil an der Wohnfläche beanspruchen.

Wie einschlägige Wohnraumdaten zeigen, unterscheidet sich die durchschnittliche Pro-Kopf-Wohnfläche je nach Lage der Wohnung (Gemeindetyp), der Wohnverhältnisse (Miete oder Selbstnutzung), dem Alter und dem Familienstand der Bewohner\*innen (Singles, Paare, Familien). In Abhängigkeit von diesen Faktoren liegt der Wohnflächenbedarf zwischen unter 30 m<sup>2</sup> bis über 80 m<sup>2</sup> pro Person (Destatis 2023) (s. Abb. 4.17).

Der unterschiedliche Bedarf an Wohnflächen lässt sich auch mit Blick auf die verschiedenen Bebauungstypen festmachen. Dies wird auch in den Berechnungen der vorliegenden Studie berücksichtigt. Zwar sind die Haushaltsgrößen bei Wohnungen in Mehrfamilienhäusern durchschnittlich geringer als in Einfamilien-, Doppel- oder Reihenhäusern (1,9 Personen gegenüber 3,1 bis 3,2 Personen pro Wohneinheit), jedoch ist die Belegungsdichte (Bewohner\*innen pro m<sup>2</sup> Wohnfläche) im Geschosswohnungsbau um rund 20 Prozent höher gegenüber Wohneinheiten in Einfamilien-, Doppel- oder Reihenhäusern (Destatis 2021, Wegner et al. 2024).

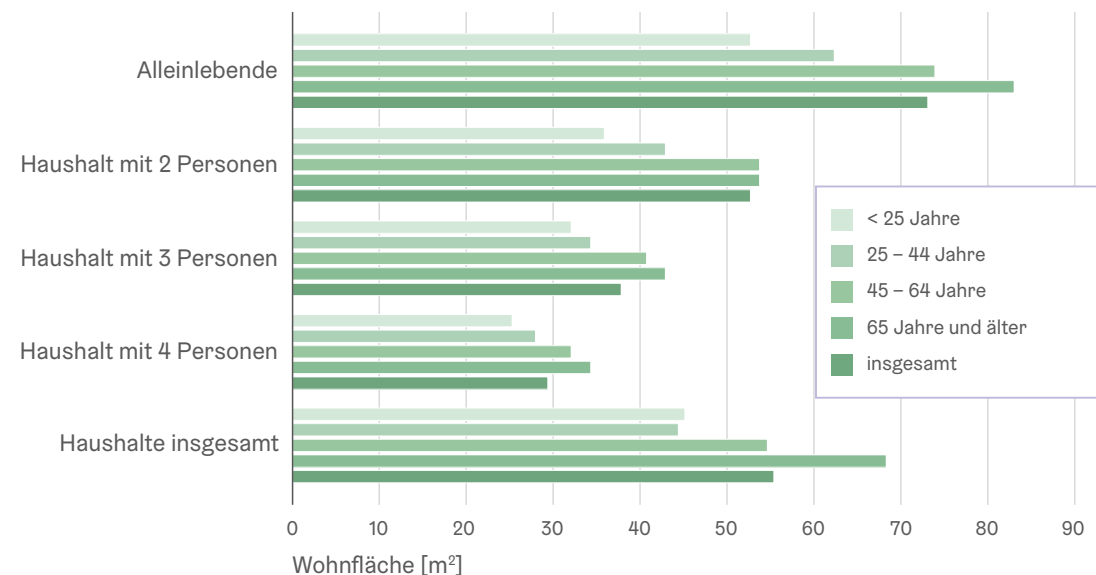


Abb. 4.17: Durchschnittliche Wohnfläche pro Person nach Haushaltsgröße und Altersgruppe (2022) [in m<sup>2</sup>].

Wie stark sich die Belegungsdichte auf das Gesamt-GWP eines Quartiers auswirkt, verdeutlicht die folgende Rechnung: Bei einer Reduktion der Wohnfläche um 5 m<sup>2</sup> pro Person im Vergleich zum heutigen Wohnflächenverbrauch sinkt das GWP pro Person und Jahr um rund 11 Prozent. Daran wird erkennbar, dass schon durch eine vergleichsweise kleine Reduktion der Wohnfläche erhebliche GWP-Einsparungen erzielt werden können, für die – im Vergleich zu technischen oder baulichen Maßnahmen, wie z. B. einer Optimierung der Gebäudehülle – keine zusätzlichen Investitionen erforderlich sind und auch keine grauen Emissionen verursacht werden.

*Bei einer Reduktion der durchschnittlichen Wohnfläche um 5 m<sup>2</sup>, sinkt das Pro-Kopf-GWP in einem Quartier im Jahr um rund 11 Prozent.*

Wie oben erwähnt, ist die Entwicklung der Haushaltsgrößen und die damit einhergehende Zunahme des Wohnflächenbedarfs vor allem auf demografische und gesellschaftliche Trends zurückzuführen. Sollte das Ziel darin bestehen, das GWP des deutschen Wohnungsbestandes durch eine Erhöhung der durchschnittlichen Belegungsdichte zu senken, müssten Veränderungen in eben diesen demografischen und gesellschaftlichen Entwicklungen herbeigeführt werden. Dies wäre in erster Linie Aufgabe der Politik. Doch auch Bauträger\*innen, Architekt\*innen und Planer\*innen können dazu beitragen, den Wohnflächenbedarf zu verringern. Beispielsweise können sie flächensparende Grundrisse und gemeinschaftliche Wohnformen entwickeln, die eine hohe Wohnqualität auf kleinerer Fläche ermöglichen. Durch gemeinschaftliche Wohnformen ist es möglich, den Bewohner\*innen ein ausreichendes Maß an räumlicher Privatsphäre (z. B. private Zimmer mit Nasszelle und Kochnische) einzuräumen und weniger sensible Nutzungen wie Küchen, Wohn- und Esszimmer zu gemeinschaftlich genutzten Räumen zusammenzufassen. Auf diese Weise lässt sich die Wohnfläche pro Person deutlich verringern (Prytula, Rexroth 2020).

Siedlungsflächenbedarf

Die Inanspruchnahme von Siedlungsfläche ist ein weiterer Indikator für die Umweltauswirkungen, die durch das Bauen und Wohnen verursacht werden. Neben den Umweltauswirkungen, die durch die Herstellung und den Betrieb einzelner Gebäude entstehen, berücksichtigt dieser Indikator auch die Infrastrukturen, Stellplätze und Freiflächen innerhalb eines Siedlungsgebietes. Aus städtebaulicher Sicht lässt sich die Inanspruchnahme von Siedlungsfläche insbesondere durch die Wahl des Bebauungstyps steuern (s. Abb. 4.19). Durch die Geometrie der Bebauungstypen wird maßgeblich bestimmt, welche baulichen Dichten erzielt werden können und folglich, wie viel Siedlungsfläche pro Person beansprucht wird. Nach der hier zugrunde liegenden Berechnung wird für die Errichtung einer Einfamilienhaussiedlung mittlerer Dichte für 1.000 Einwohner\*innen mehr

als neunmal so viel Fläche in Anspruch genommen wie für die Errichtung einer Blockrandbebauung mit gleicher Einwohnerzahl.

Öffentliche Erschließung

Technische Infrastrukturen, insbesondere Straßen und Stellplätze, prägen das Bild vieler Quartiere. Sie bilden das funktionale Rückgrat des Quartiers und übernehmen darüber hinaus die Funktion öffentlicher Räume. Weniger präsent als die Straßen und Stellplätze, aber ebenso wichtig, sind die technischen Infrastrukturen für Trinkwasser, Abwasser, Strom, Informations- und Kommunikationstechnik sowie gegebenenfalls für die Versorgung mit Gas, Fern- oder Nahwärme, die sich größtenteils unter der Erdoberfläche befinden. Trotz der Materialmengen und Herstellungsprozesse, die für den Bau dieser Infrastrukturen erforderlich sind, wurde ihr Anteil an den Umweltauswirkungen von Quartieren bisher nur wenig erforscht.

Ein zentrales Ergebnis des Forschungsprojektes Q-LCA war, dass die öffentliche Erschließung eines Quartiers (Straßen inklusive der unterhalb der Straßendecke verlegten Leitungen) im Durchschnitt einen Anteil von lediglich 5,3 Prozent am gesamten GWP eines Stadtquartieres hat. Der Anteil der Erschließung am Gesamt-GWP wirkt sich aber um so stärker aus, je geringer die bauliche Dichte des Quartiers ist. Der Grund dafür ist, dass ein Quartier mit geringer Dichte deutlich weniger Treibhausgasemissionen durch den Hochbau verursacht (d.h. durch die Gebäudekonstruktion und Haustechnik) als ein Quartier mit größeren Gebäuden und höherer Dichte. Auch in Bezug auf das Pro-Kopf-GWP schneiden Siedlungen mit geringer Dichte schlechter ab, weil für die öffentliche Erschließung eine ähnliche Gesamtlänge an Straßen benötigt wird, die sich aber auf weniger Bewohner\*innen verteilt. So liegt der Bedarf an Verkehrsfläche in einer Einfamilienhaussiedlung mit 53 m<sup>2</sup> pro Person rund sechsmal höher als in einem Quartier mit Blockrandbebauung (s. Abb. 4.18). Entsprechend liegen die durch die technischen Infrastrukturen verursachten Treibhausgasemissionen pro Kopf und Jahr bei Einfamilienhausbebauungen deutlich höher als bei Blockrandbebauungen. Sie beträgt dort durchschnittlich rund 108 kg CO<sub>2</sub>äq pro Person und Jahr, was einen Anteil von 10,1 Prozent des gesamten GWP der Einfamilienhaussiedlung ausmacht. Demgegenüber fallen auf die technischen Infrastrukturen bei Blockrandbebauungen lediglich rund 10 kg CO<sub>2</sub>äq pro Person an, was einen Anteil von nur 1,4 Prozent am gesamten GWP dieser Siedlung entspricht.

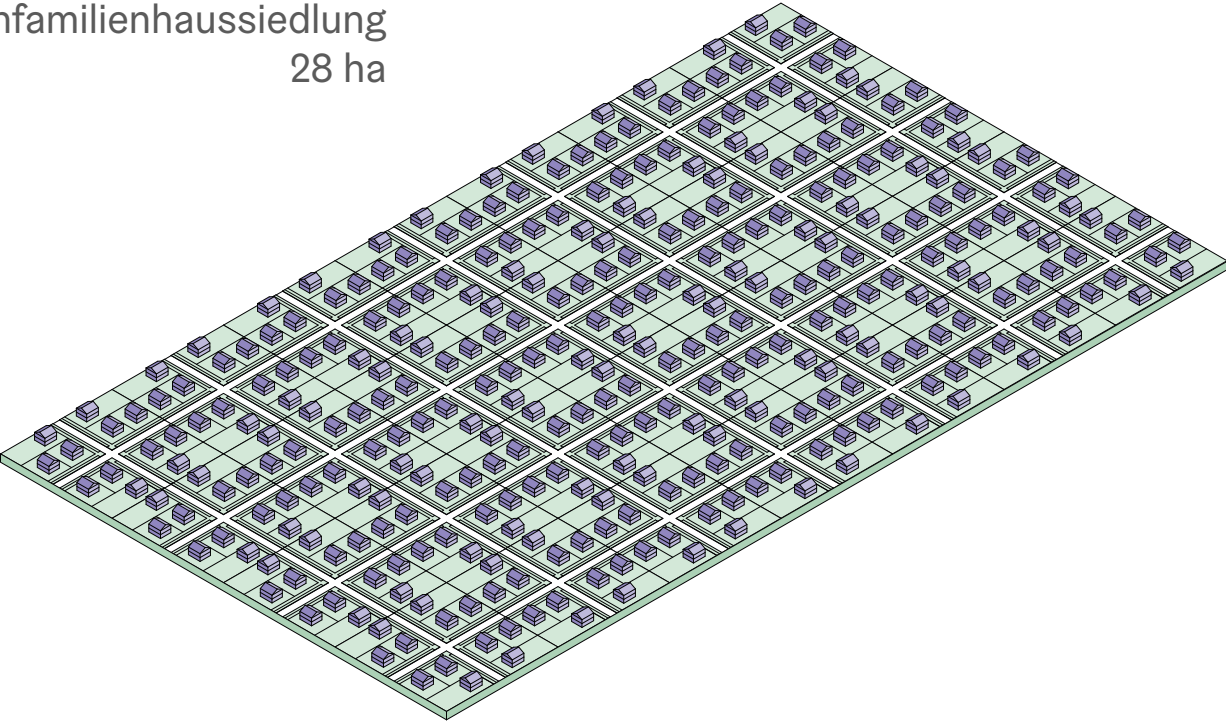
*Im Durchschnitt liegt der Anteil der Erschließung (Straßen inklusive der darunterliegenden Leitungen) am Gesamt-GWP eines Quartiers bei lediglich 5,35 Prozent. Bei Quartieren mit geringer Dichte kann der Anteil jedoch über 10 Prozent betragen.*

Durch eine Optimierung des Erschließungssystems, z. B. durch die Verkürzung der Straßenlänge oder die Verringerung der Straßenquerschnitte, lassen sich nur bei Quartieren geringer Dichte (d.h. bei Einfamilien-, Doppel- und Reihenhausbebauung) nennenswerte Vorteile in Bezug auf die Treibhausgasemissionen erzielen. Auch morphologische Veränderungen im Straßennetz wirken sich nur geringfügig aus. So unterschieden sich die drei in dem Forschungsprojekt untersuchten Erschließungstypen – Schlaufen-, Sackgassen- und Gittererschließung – in Bezug auf das Gesamt-GWP im Durchschnitt nur um 1,5 Prozent.

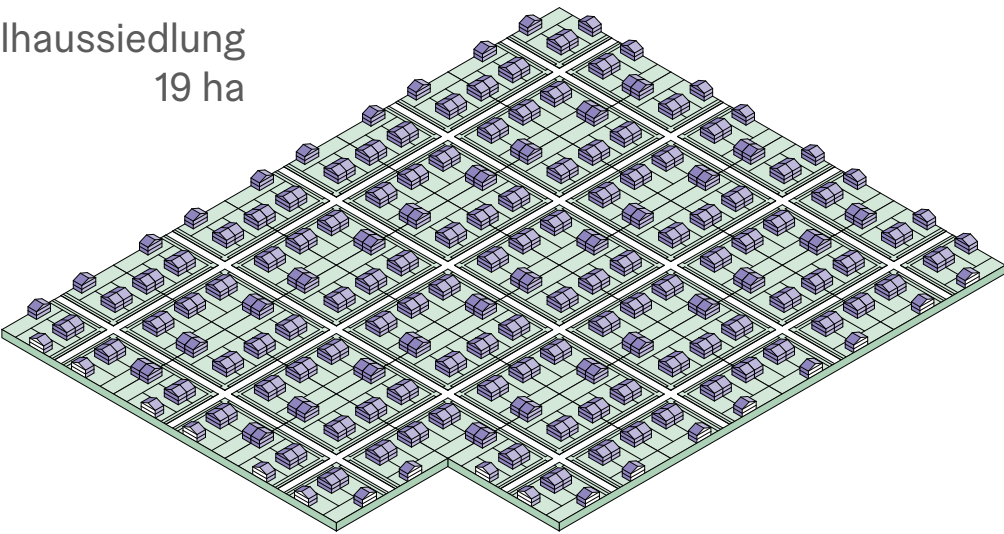




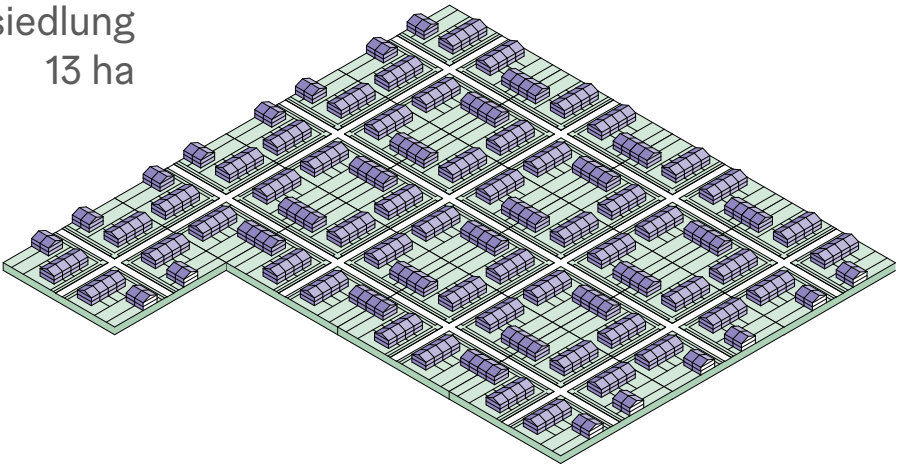
Einfamilienhaussiedlung  
28 ha



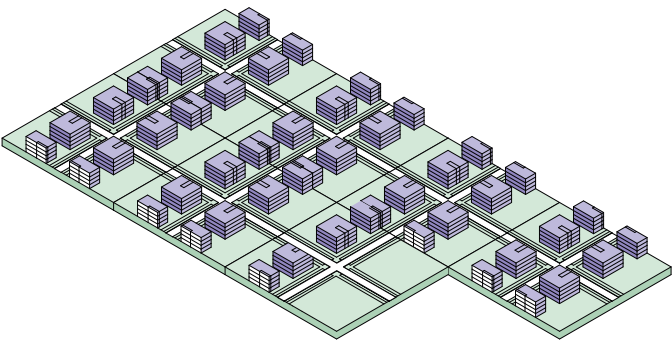
Doppelhaussiedlung  
19 ha



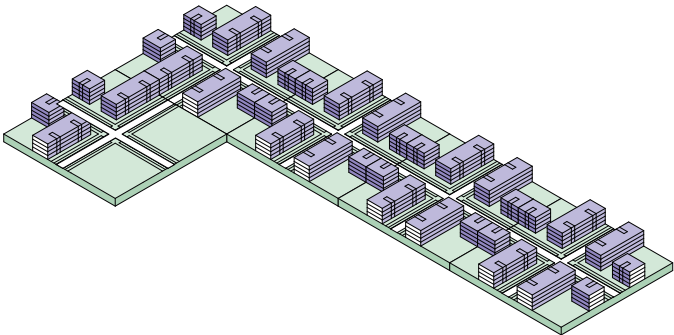
Reihenhaussiedlung  
13 ha



Punkthaussiedlung  
6,5 ha



Zeilenhaussiedlung  
4,5 ha



Blockrandbebauung  
3 ha

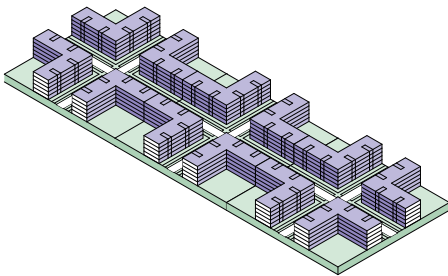
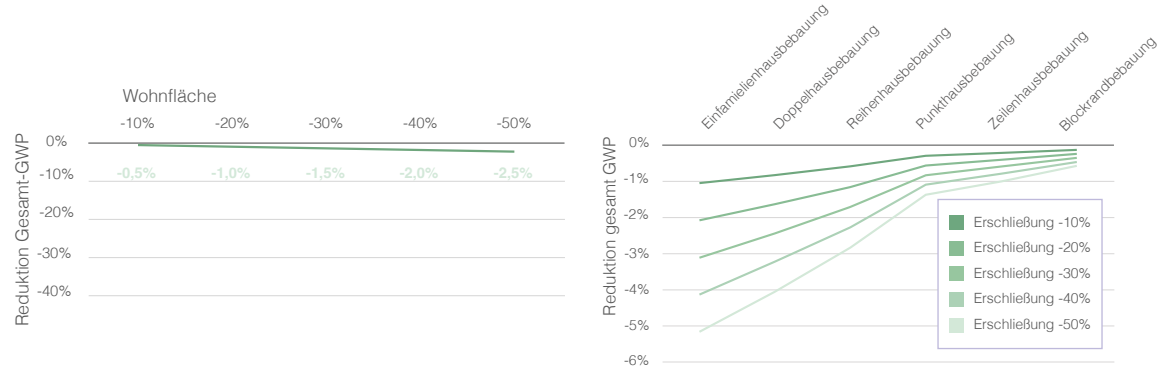


Abb. 4.19:  
Vergleich des Siedlungsflä-  
chenbedarfs von 1.000 Ein-  
wohner\*innen in Abhängigkeit  
vom Bebauungstyp (mittlere  
bauliche Dichte) [in ha].



## Ruhender Verkehr

Im Gegensatz zum fließenden Verkehr bietet die Organisation des ruhenden Verkehrs einen vergleichsweise großen Hebel zur Optimierung des Quartiers-GWP. Besonders signifikant sind die Auswirkungen des ruhenden Verkehrs dann, wenn die Fahrzeuge in größeren, eigens für diesen Zweck errichteten baulichen Anlagen (mehrgeschossige Parkgaragen oder Tiefgaragen) untergebracht werden. Dies ist vor allem in Quartieren mit hoher baulicher Dichte der Fall, denn je höher die Anzahl der Bewohner\*innen pro Flächeneinheit, desto größer ist auch die Zahl der Wohneinheiten, die gemäß geltender Stellplatzverordnungen einen Anspruch auf Stellplätze haben. Mit steigender Dichte verringern sich aber die Freiflächen, auf denen die Fahrzeuge abgestellt werden können. In der Praxis wird dieses Dilemma oftmals durch den Bau von Tiefgaragen gelöst, weil auf diese Weise der Bedarf an Stellplätzen gedeckt werden kann, ohne Kompromisse bei der baulichen Ausnutzung der Fläche eingehen zu müssen.

Im folgenden Rechenmodell wurde ein Stellplatzschlüssel von 1 angenommen (d.h. ein Stellplatz pro Wohneinheit) und dieser in vier verschiedenen Stellplatztypen nachgewiesen (Straßen-, Sammel-, Garagen- und Tiefgaragenstellplatz). Diese vier Stellplatztypen unterscheiden sich hinsichtlich ihres GWP, berechnet über einen Lebenszyklus von 50 Jahren, deutlich: Liegt es bei einem Straßenstellplatz bei lediglich 14,5 kg CO<sub>2</sub>-äq pro Jahr, ist es bei einem Tiefgaragenstellplatz zehnmal so hoch (s. Abb. 4.24). Dieser hohe Wert ist auf den Erdaushub und auf die aufwendige Konstruktion zurückzuführen, die für den Bau von Tiefgaragen erforderlich ist. Hinzu kommen die zusätzlichen Erschließungsflächen (z. B. Fahrspuren, Rampen und Treppenhäuser), die in Hochgaragen, Tiefgaragen und – in geringerem Umfang – auch auf Sammelparkplätzen vorgesehen werden müssen.

Das GWP eines Tiefgaragenstellplatzes ist rund zehnmal so hoch wie das GWP eines Straßenstellplatzes.

In den Abbildungen 4.23 bis 4.26 wurde exemplarisch dargestellt, wie sich verschiedene Stellplatzkonzepte auf die Flächennutzung eines Quartiers auswirken. Dafür wurde angenommen, dass eine Blockrandbebauung mit 400 Wohneinheiten entsteht und dafür 400 Stellplätzen gefordert werden. Abgesehen davon, dass sich die verschiedenen Konzepte sehr unterschiedlich auf das Straßenbild und die Qualität der öffentlichen Räume auswirken, die in der Planung eines Quartiers gut abgewogen werden müssen, weisen sie auch einen höchst unterschiedlichen Flächenbedarf auf (s. Abb. 4.27). Werden die Stellplätze in Tiefgaragen angeboten, muss für den Bau zwar das höchste GWP pro Stellplatz in Kauf genommen werden (s. oben), dafür aber im vorliegenden Beispiel mit 1,95 Hektar der geringste Siedlungsflächenbedarf. Den höchsten Siedlungsflächenbedarf beansprucht die Variante mit Sammelparkplatz. Straßenstellplätze, die in der Herstellung das geringste GWP aufweisen, führen zu einem etwas geringeren Siedlungsflächenbedarf von 2,45 Hektar. Der Grund dafür ist, dass Straßenstellplätze im Vergleich zu Sammelparkplätzen keine zusätzlichen Erschließungsflächen benötigen.

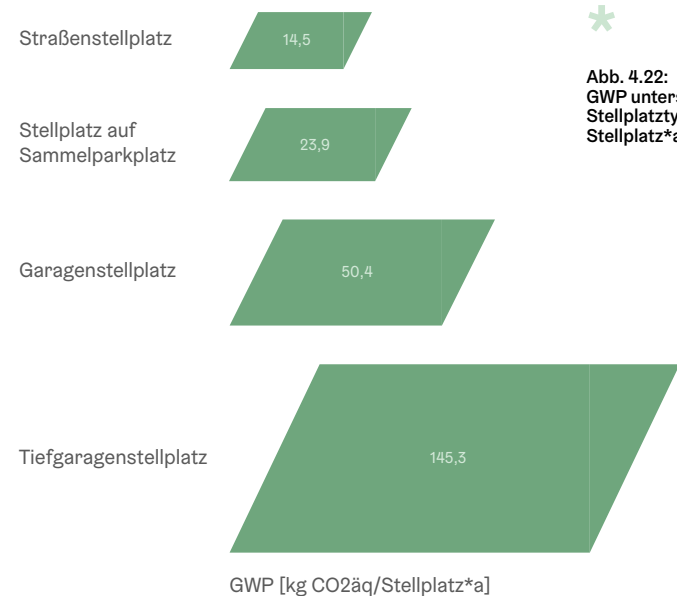


Abb. 4.20 (links): Durchschnittliche Reduktion des Gesamt-GWP eines Quartiers durch die Verringerung der Wohnfläche [in Prozent].

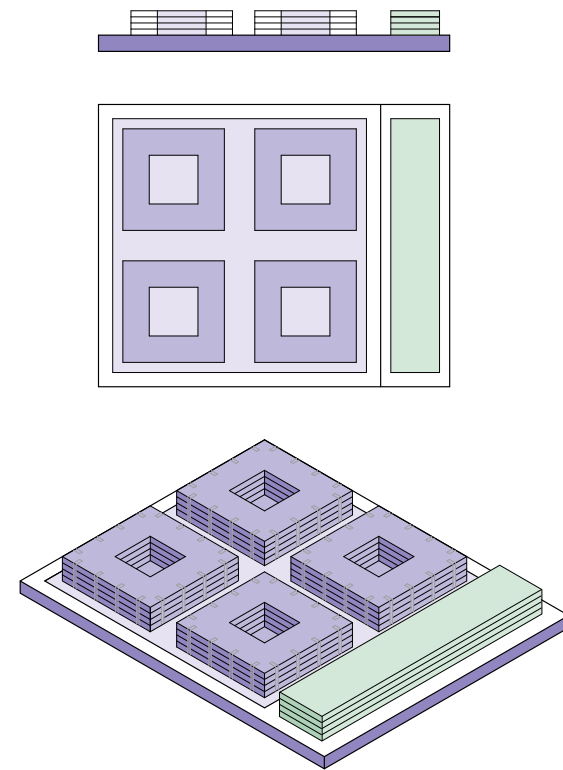


Abb. 4.21 (rechts): Durchschnittliche Reduktion des Gesamt-GWP eines Quartiers durch die Verringerung öffentlicher Erschließungsflächen [in Prozent].

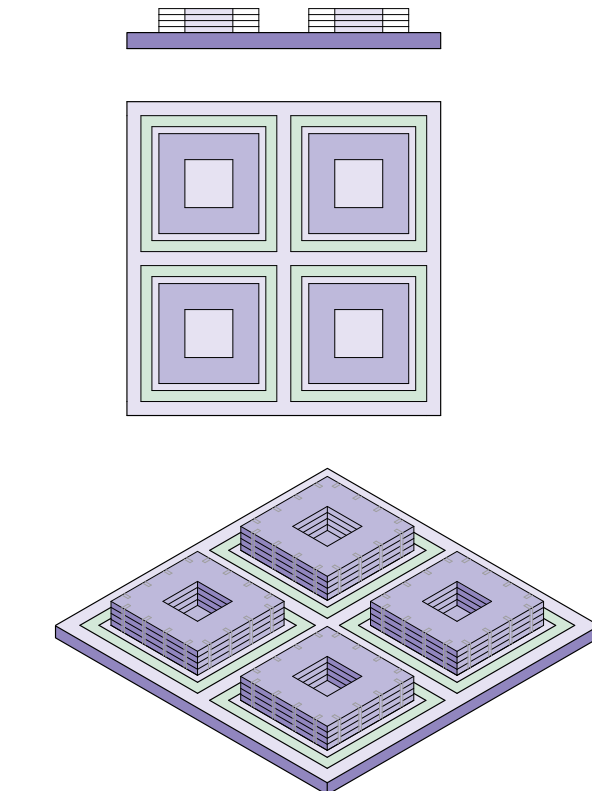


Abb. 4.22: GWP unterschiedlicher Stellplatztypen [in kg CO<sub>2</sub>-äq/Stellplatz\*a].

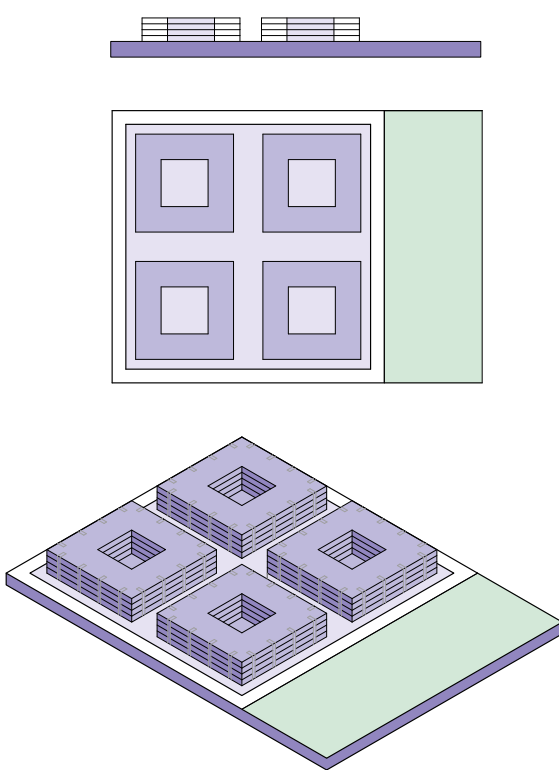
Parkhaus, viergeschossig  
Fläche Quartier: ca. 24.000 m<sup>2</sup>  
bei 400 WE, Stellplatzschlüssel 1,0



Straßenstellplätze, Schrägaufstellung  
Fläche Quartier: ca. 24.500 m<sup>2</sup>  
bei 400 WE, Stellplatzschlüssel 1,0



Sammelparkplatz  
Fläche Quartier: ca. 26.000 m<sup>2</sup>  
bei 400 WE, Stellplatzschlüssel 1,0



Tiefgarage, eingeschossig  
Fläche Quartier: ca. 19.500 m<sup>2</sup>  
bei 400 WE, Stellplatzschlüssel 1,0

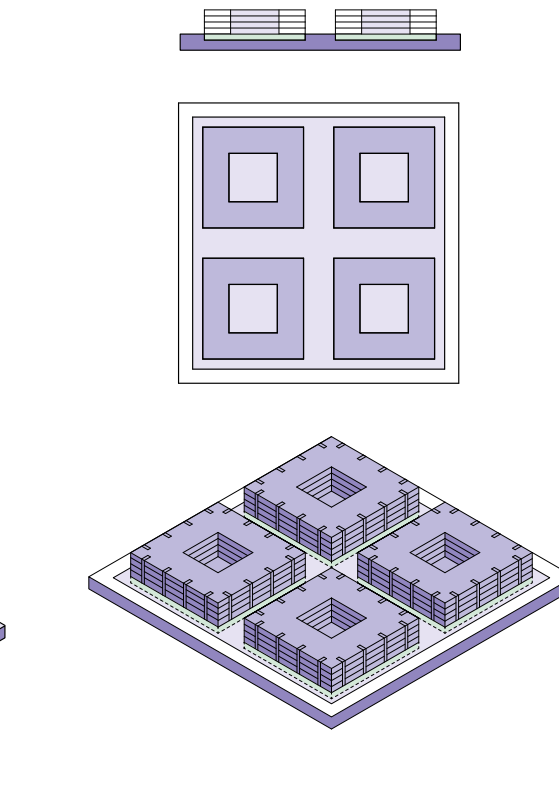


Abb. 4.23 - 4.26 : Siedlungsflächenbedarf einer Blockrandbebauung für 400 Einwohner und einem Stellplatzschlüssel von 1,0, in Abhängigkeit vom Stellplatztyp [in m<sup>2</sup>].



Es gibt verschiedene Möglichkeiten, um die Treibhausgasemissionen und andere Umweltauswirkungen zu reduzieren, die durch die Herstellung von Stellplätzen verursacht werden. So verfügen Kommunen mit der Stellplatzverordnung über ein effektives Instrument des öffentlichen Rechts, mit welchem die Anzahl von Stellplätzen gesteuert werden kann. Gleichzeitig können Kommunen dazu beitragen, das Angebot an gemeinschaftlich genutzten Verkehrsmitteln wie ÖPNV und Car-Sharing zu vergrößern sowie mehr Infrastrukturen für alternative Verkehrsmittel (Fahrrad, E-Roller, Microcars) anzubieten. Auch Architekt\*innen und Ingenieur\*innen können einen Beitrag leisten, indem sie z. B. einen geringen Material- und Flächenverbrauch anstreben und umweltfreundliche und kreislauffähige Konstruktionsweisen wählen. Bei Sammelstellplätzen können wasserdurchlässige Oberflächen die Versickerung von Regenwasser ermöglichen. Hochgaragen sollten zudem darauf ausgelegt werden, dass sie zu einem späteren Zeitpunkt für andere Zwecke (z. B. für Wohnen) umgenutzt werden können. Hierfür bedarf es einer weitsichtigen Planung, in der entsprechende Deckenhöhen und der nachträgliche Einbau von Erschließung und Schächten möglich ist.

Die negativen Auswirkungen des ruhenden Verkehrs auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz eines Quartiers können erheblich verringert werden, z. B. durch die Absenkung des Stellplatzschlüssels, die Reduzierung von Garagenstellplätzen sowie durch die Förderung nachhaltiger Mobilitätsangebote.

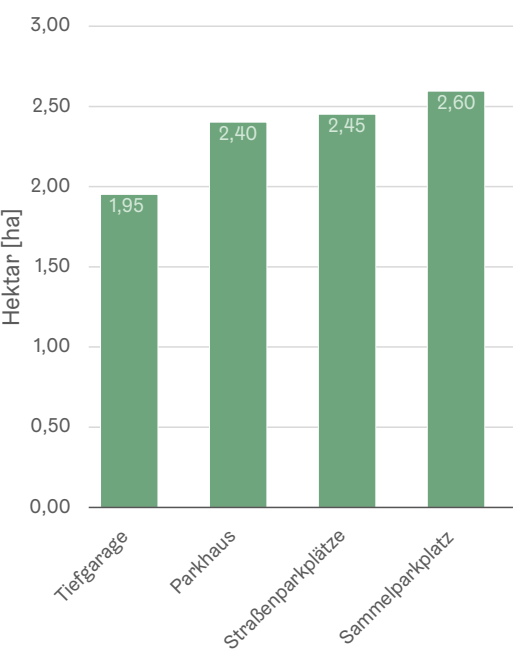


Abb. 4.27: Siedlungsflächenbedarf einer Blockrandbebauung für 400 Einwohner\*innen bei einem Stellplatzschlüssel von 1,0, in Abhängigkeit vom Stellplatztyp [in m<sup>2</sup>].

# ZUSAMMENFASSUNG

## Alle Einflussfaktoren in die Planung integrieren

Wichtig für eine erfolgreiche, klimasensible Quartiersplanung ist die ganzheitliche Betrachtung aller Einflussfaktoren. Nur wenn alle signifikant wirksamen Faktoren und deren Wechselwirkungen in der Planung berücksichtigt werden, kann das GWP, welches durch die Herstellung und Nutzung eines Quartiers verursacht wird, auf das mögliche Minimum reduziert werden.

## Langfristige Wirkungen berücksichtigen

Planungsentscheidungen können sich über Jahrzehnte auf das GWP eines Quartiers auswirken. Darum sollten Planer\*innen die Folgen von Planungsentscheidungen über den gesamten Lebenszyklus abschätzen. Folgende Aspekte sind dabei besonders relevant:

- Die Dauerhaftigkeit von Materialien, Bauteilen und Konstruktionen verlängern die Erneuerungszyklen und verringert die dadurch verursachten grauen Emissionen.
- Durch anpassungsfähige Konstruktionen, Grundrisse und Infrastrukturen können Reparatur- und Erneuerungsmaßnahmen ressourcensparender durchgeführt werden. Außerdem können Quartiere leichter an zukünftige Anforderungen angepasst werden (z. B. an veränderte Wohnformen und Haushaltsgrößen).
- Strombasierte Heizsysteme (z. B. Luft-Wärmepumpe) und emissionsarm hergestellte Baustoffe und Bauteile profitieren langfristig von der Dekarbonisierung des Energiesektors.

## Integrierte Lage wählen

Bei der Neuentwicklung eines Quartiers ist eine Lage im Innenbereich vorzuziehen. Kurze Wege zu Zielen des Alltagslebens (z. B. Nahversorgung, Arbeitsplätze, soziale und medizinische Infrastrukturen) und ein gutes Angebot an ÖV und anderen Mobilitätsangeboten (z. B. Sharing-Angebote) tragen zur Verringerung von verkehrsinduzierten Treibhausgasemissionen bei.

## Kompakte Bebauungstypen bevorzugen

Geschosswohnungsbau weist aufgrund eines günstigeren Verhältnisses von Hüll- zu Nutzfläche geringere Heizwärmeverluste auf als kleinere und freistehende Bebauungstypen. Auch der Ressourcenbedarf pro Person ist im Geschosswohnungsbau aufgrund eines günstigeren Verhältnisses von Konstruktion zu Nutzfläche geringer.

Geschosswohnungsbau hat einen geringeren Flächenbedarf. Besonders günstig verhält sich die Blockrandbebauung, die mehr als neunmal weniger Siedlungsfläche (und entsprechend weniger Infrastrukturen) als eine Einfamilienhaussiedlung beansprucht. In der Regel ist im Geschosswohnungsbau auch der Wohnflächenbedarf pro Person geringer. Ursächlich dafür sind aber nicht die typologischen Merkmale dieser Gebäude, sondern der Umstand, dass Wohnung im Geschosswohnungsbau überdurchschnittlich oft im niedrigpreisigen Mietsegment angeboten werden, in welchem die Bewohner\*innen aus wirtschaftlichen Gründen weniger Wohnfläche in Anspruch nehmen.

## Kompakte Siedlungsformen mit mittlerer bis hoher Dichte anstreben

Durch eine hohe bauliche Dichte können Konstruktionen, Infrastrukturen, Haustechnik und Flächen effizienter ausgenutzt werden. Ein Quartier mit einer hohen baulichen Dichte (GFZ 1,8–2,1) hat ein um 22,3 Prozent niedrigeres Pro-Kopf-GWP als ein Quartier mit einer geringen baulichen Dichte (GFZ 0,2–0,5). Neben der direkten Reduzierung der Emissionen hilft eine hohe bauliche Dichte auch andere Umweltauswirkungen zu verringern, die durch den Verbrauch von Siedlungsfläche entstehen. Eine effiziente Bauweise wie die Blockrandbebauung hat einen um fast das Achtfache geringeren Flächenbedarf als eine vergleichbare Einfamilienhaussiedlung und ist daher unbedingt zu bevorzugen. Durch den geringeren Landverbrauch sinkt auch der Infrastrukturbedarf und tendenziell das Verkehrsaufkommen.

Die Effizienzvorteile nehmen jedoch nicht linear mit der baulichen Dichte zu, sondern werden mit zunehmender Gebäudehöhe weniger. Dies ist u.a. auf die höhere Konstruktionsanteile und größeren Erschließungsflächen in hohen Bauwerken zurückzuführen, sowie auf die gesetzlich geforderten Abstandsflächen. Außerdem ist zu beachten, dass mit zunehmender Dichte mehr Stellplätze erforderlich sind, die sich negativ auf das GWP auswirken, vor allem, wenn sie in Hoch- oder Tiefgaragen untergebracht werden.

## Emissionsarme Baustoffe und Konstruktionen wählen

Trotz moderater Effekte im Vergleich zu Betrieb und Städtebau sollten in Planung und Bauausführung nachhaltige Baustoffe bevorzugt werden. Wo möglich sollten Holz- und Hybridbauweisen, Recycling-Beton oder andere Sekundärbaustoffe eingesetzt werden. Selbst unter konservativen Modellierungsannahmen bringt ein Holzbau gegenüber einer mineralischen Bauweise ca. 6–8 Prozent GWP-Ersparnis. Insbesondere bei den massintensiven Bauteilen wie dem Tragwerk und der Gebäudehülle sollten energieintensive Materialien (Zement, Stahl) möglichst reduziert und durch nachwachsende Rohstoffe sowie innovative und materialsparsame Konstruktionen ersetzt werden.

## Suffizienz fördern: Wohnflächen pro Person reduzieren

Durch die Reduzierung von Wohnfläche sind erhebliche GWP-Einsparungen möglich. Schon bei einer Reduktion von 5 m<sup>2</sup> Wohnfläche pro Person sinkt das GWP pro Person und Jahr um rund 11 Prozent. Erzielt werden können solche Einsparungen durch effiziente Grundrisse, gemeinschaftliche Wohnformen (z. B. WGs, Mehrgenerationenhäuser, Cluster-Wohnungen) oder Flächen-Sharing (z. B. Gästewohnungen, Gemeinschaftsräume, gemeinschaftlich genutzte Waschküche). Da sich solche Maßnahmen jedoch direkt auf die Lebensumstände auswirken, ist hier die Akzeptanz der Bewohner\*innen von besonderer Bedeutung.

## Erschließung optimieren, vor allem in Siedlungen mit geringer Dichte

Durch die Verkürzung von Straßenlängen, die Verringerung von Straßenquerschnitten und die Verwendung nachhaltiger Baustoffe kann der Anteil der Erschließungsflächen am Gesamt-GWP eines Quartiers reduziert werden. Solche Maßnahmen wirken sich vor allem in Quartieren mit einer geringen baulichen Dichte aus, weil in solchen Quartieren überdurchschnittlich viel Erschließungsfläche benötigt wird. Der Anteil der Erschließungsflächen am Gesamt-GWP kann in solchen Fällen mehr 10 Prozent betragen. Ansonsten liegt er im Durchschnitt bei nur 5,3 Prozent.

## Anzahl von Stellplätzen minimieren und auf Garagen verzichten

Wirkungsvoller als die Optimierung der Straßen ist die Optimierung der privaten Stellplätze. Besonders stark wirkt sich die Verringerung des Stellplatzschlüssels (Stellplätze pro Wohneinheit) aus. So kann durch die Reduzierung von 1 auf 0 Stellplätze je Wohneinheit das Gesamt-GWP eines Quartiers um ca. 12 Prozent gesenkt werden. Auch hier ist die Akzeptanz der Bewohner\*innen unbedingt zu berücksichtigen. Ein gutes Angebot an öffentlichen Verkehrsmitteln und anderen Mobilitätsangeboten kann dazu beitragen, die Erschließung des Quartiers zu verbessern und die Akzeptanz für einen niedrigen Stellplatzschlüssel zu erhöhen.

Auch die Art der Stellplätze ist für eine klima- und umweltfreundliche Quartiersplanung von Bedeutung: Straßenstellplätze weisen mit 14,5 CO<sub>2</sub>äq/Stellplatz\*a die geringsten Treibhausgasemissionen auf, haben jedoch einen großen Bedarf an Siedlungsfläche und wirken sich entsprechend negativ auf die Qualität des öffentlichen Raums aus. Tiefgaragen haben mit 145,3 CO<sub>2</sub>äq/Stellplatz\*a zwar ein zehnfach höheres GWP, beanspruchen aber keine zusätzliche Siedlungsfläche. Die Wahl des richtigen Stellplatzkonzeptes müssen also weitere Kriterien hinzugezogen werden, wie zum Beispiel die angestrebte Dichte, die Qualität des Außenraums oder der Komfort der Fahrzeughalter.

Unabhängig von der Art der Stellplätze kann die Verwendung nachhaltiger und kreislauffähiger Materialien dazu beitragen, die Umweltauswirkungen zu reduzieren. Außerdem kann die Möglichkeit der Mehrfach- bzw. Nachnutzung von Garagen deren Lebenszyklus verlängern und damit langfristig zu einer Minimierung von GWP und Ressourcen beitragen.



**QUELLENANGABEN**



# QUELLENANGABEN

Anderson, John Erik (2014): Expanding the use of life-cycle assessment to capture induced impacts in the built environment, Dissertation an der Technischen Universität München, [online] <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1221435/document.pdf> [10/2025]

BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hg.) (2020): Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland. Kurzstudie zu sektorübergreifenden Wirkungen des Handlungsfelds „Errichtung und Nutzung von Hochbauten“ auf Klima und Umwelt, BBSR-Online-Publikation Nr. 17/2020, [online] [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2020/bbsr-online-17-2020-dl.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2020/bbsr-online-17-2020-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=3) [6/2025]

BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2025): Zentrale Ergebnisse der BBSR- Wohnungsbedarfsprognose. Neubaubedarfe in Deutschland bis 2030, BBSR-Analysen KOMPAKT 05/2025, [online] <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/analysen-kompakt/2025/ak-05-2025.html#:~:text=ist%20barrierefrei/%20barrierearm-,Herunterladen-,Mit%20der%20BBSR> [3/2025]

BiB – Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung (2023): Zahl der Privathaushalte und durchschnittliche Haushaltsgröße in Deutschland (1991-2040), [online] <https://www.bib.bund.de/DE/Fakten/Fakt/L50-Privathaushalte-Haushaltsgroesse-1991-Vorausberechnung.html?nn=1279832> [7/2025]

BMV – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.) (2019): Mobilität in Deutschland MiD. Ergebnisbericht, [online] [https://www.mobilitaet-in-deutschland.de/archive/pdf/MiD2017\\_Ergebnisbericht.pdf](https://www.mobilitaet-in-deutschland.de/archive/pdf/MiD2017_Ergebnisbericht.pdf) [07/2025]

BpB – Bundesamt für politische Bildung (2021): Bevölkerung und Haushalte, [online] <https://www.bpb.de/kurz-knapp/zahlen-und-fakten/soziale-situation-in-deutschland/61584/bevoelkerung-und-haushalte/> [9/2025]

Beiser, Vince (2021): Sand. Wie uns eine wertvolle Ressource durch die Finger rinnt, München, oekom Verlag.

Bundesregierung, Presse- und Informationsamt (Hg.) (2018): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Aktualisierung 2018, [online] <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975274/1546450/65089964ed4a2ab07ca8a4919e09e0af/2018-11-07-aktualisierung-dns-2018-data.pdf> [9/2025]

Dena – Deutsche Energie-Agentur (2024): Dena-Gebäudereport 2025. Zahlen, Daten, Fakten zum Klimaschutz im Gebäudebestand, [online] [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2025/Gebaudereport\\_2025\\_BF.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2025/Gebaudereport_2025_BF.pdf) [9/2025]

Destatis – Statistisches Bundesamt (2023): Haushalte der Altersgruppe 65+ haben pro Kopf den meisten Wohnraum zur Verfügung, Pressemitteilung Nr. N 035 vom 14. Juni 2023, [online] [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/06/PD23\\_N035\\_12.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/06/PD23_N035_12.html) [9/2025]

Destatis – Statistisches Bundesamt (2025a): Siedlungs- und Verkehrsfläche wächst jeden Tag um 51 Hektar. Pressemitteilung Nr. 286 vom 5. August 2025, [online] [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2025/08/PD25\\_286\\_412.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2025/08/PD25_286_412.html) [9/2025]

Destatis – Statistisches Bundesamt (2025b): Haushalte nach Haushaltsgrößen im Zeitvergleich, [online] <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Haushalte-Familien/Tabellen/1-3-privathaushalte-neuer-zeitvergleich.html> [9/2025]

Empirica (2023): Regionalisierte Prognose in drei Varianten mit Ausblick bis 2035, empirica-Paper Nr. 271 2023, [online] [https://www.empirica-institut.de/fileadmin/Redaktion/Publikationen\\_Referenzen/PDFs/emp271rbjag.pdf](https://www.empirica-institut.de/fileadmin/Redaktion/Publikationen_Referenzen/PDFs/emp271rbjag.pdf). [3/2025]

Frischknecht, Rolf (2024): Methoden der Umweltbewertung technischer Systeme. Teil 1: Ökobilanzen (Life cycle assessment, LCA), [online] <https://p2infohouse.org/ref/37/36512.pdf> [3/2025]

Gengnagel, Christoph / Apellániz, Diego (2023): Lebenszyklusanalyse und parametrischer Raumentwurf, [online] <https://www.nbau.org/2023/04/17/lebenszyklusanalyse-und-parametrischer-raumentwurf/> [3/2025]

Hegger, Manfred (2011): Nachhaltiges und Zukunftssicheres Bauen, [online] [https://www.dgfm.de/fileadmin/downloads/06\\_Verband/Mauerwerkskongress/2011/Hegger.pdf](https://www.dgfm.de/fileadmin/downloads/06_Verband/Mauerwerkskongress/2011/Hegger.pdf) [9/2025]

Hegger, Manfred / Dettmar, Jörg (2014): Energetische Stadtraumtypen. Strukturelle und energetische Kennwerte von Stadträumen, Stuttgart, Frauenhofer IRB Verlag.

Hügel, Katrin (2000): Ökobilanzen in der Siedlungswasserwirtschaft, Dissertation an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich.

ifo Institut (2025): Europäischer Bau wächst 2025 nur schwach. Ausgewählte Ergebnisse der EUROCONSTRUCT-Sommerkonferenz 2025, [online] <https://www.ifo.de/publikationen/2025/aufsatz-zeitschrift/europaeischer-bau-waechst-2025-nur-schwach> [10/2025]

König, Holger (2017): Lebenszyklusanalyse von Wohngebäuden. Lebenszyklusanalyse mit Berechnung der Ökobilanz und Lebenszykluskosten. Endbericht im Auftrag des Bayerischen Landesamts für Umwelt, [online] <https://www.lbb-bayern.de/fileadmin/quicklinks/Quick-Link-Nr-98300000-LfU-Inhalt-Lebenszyklusanalyse.pdf>

Mahler, Boris et al., Umweltbundesamt (Hrsg.) (2018): Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus, Abschlussbericht, Dessau-Roßlau, [online] [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Forschungsdatenbank/fkz\\_3715\\_41\\_111\\_energieaufwand\\_gebaeudekonzepte\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Forschungsdatenbank/fkz_3715_41_111_energieaufwand_gebaeudekonzepte_bf.pdf)

Müller-Wenk, Ruedi (1991): Ökologische Buchhaltung - Eine Einführung, In: Seidel E., Strebel H. (Hrsg.) Umwelt und Ökonomie, Wiesbaden, Gabler Verlag.

Pestel-Institut (2022): Bezahlbarer Wohnraum 2022. Neubau - Umbau – Klimaschutz, [online] [https://mieterbund.de/app/uploads/2023/06/Pestel-Studie\\_Bezahlbarer\\_Wohnraum\\_2022.pdf](https://mieterbund.de/app/uploads/2023/06/Pestel-Studie_Bezahlbarer_Wohnraum_2022.pdf) [3/2025]

Pestel-Institut (2024): Bauen und Wohnen 2024 in Deutschland, [online] <https://mieterbund.de/app/uploads/2024/01/Bauen-und-Wohnen-im-Jahr-2024.pdf> [10/2025]

Prytula, Michael / Rexroth, Susanne / Lutz, Manuel / May, Friedrich, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.) (2020): Clusterwohnen. Eine neue Wohnungstypologie für eine anpassungsfähige Stadtentwicklung, [online] [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2023/bbsr-online-34-2023-dl.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2023/bbsr-online-34-2023-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=3)

Prytula, Michael / Rieniets, Tim / Rosenberger, Joachim / Hack, Jana / Stallmann, Luzia / Gebhardt, Niclas, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.) (2025): Q-LCA. Analyse der ökologischen Auswirkungen unterschiedlicher Siedlungstypen in Neubauquartieren über ihren Lebenszyklus, vrs. 2025

Schiller, Georg (2004): Siedlungsentwicklung und Infrastrukturaufwendungen, IÖR-pdf-Download, [online] [https://www2.ioer.de/recherche/pdf/2004\\_schiller\\_siedlungsentwicklung.pdf](https://www2.ioer.de/recherche/pdf/2004_schiller_siedlungsentwicklung.pdf) [3/2023]

Schuchardt, Rüdiger (2006): Primärenergetische Analyse der Infrastruktur von Wohnsiedlungen, Dissertation an der Ruhr-Universität Bochum, [online] <https://hss-opus.ub.ruhruni-bochum.de/opus4/frontdoor/deliver/index/docId/1174/file/diss.pdf>

Sohn, Joshua / Kalbar, Pradip / Goldstein, Benjamin / Birkved, Morten (2020): Defining Temporally Dynamic Life Cycle Assessment: A Review. Integrated Environmental Assessment and Management, 16 (3): 314–323. DOI: 10.1002/ieam.4235.

Spreng, Daniel (1994): Graue Energie, Zürich, Hochschulverlag Zürich

Stadt Zürich (Hrsg.) (2009): Ressourcenstrategie .Bauwerk Stadt Zürich. Materialflüsse und Energiebedarf bis 2050, Zürich, [online] [https://www.energie-ressourcen.ch/Downloads/Ressourcenstrategie\\_Stadt\\_Zuerich.pdf](https://www.energie-ressourcen.ch/Downloads/Ressourcenstrategie_Stadt_Zuerich.pdf)

Umweltbundesamt (Hg.) (2022): Stoffstrommanagement im Bauwesen, [online] <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/urban-mining/stoffstrommanagement-im-bauwesen#verwertung-von-baurestmassen> [07/2025]

Bundesumweltamt (Hg.) (2024a): Bauabfälle, [online] <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/bauabfaelle> [01/2024]

Umweltbundesamt (Hg.) (2024b): Siedlungs- und Verkehrsfläche, [online] <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/siedlungs-verkehrsflaeche#anhaltender-flachenverbrauch-fur-siedlungs-und-verkehrszwecke-> [07/2025]

Umweltbundesamt (2025a): Abfallaufkommen, [online] <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/abfallaufkommen#deutschlands-abfall> [09/2025]

Umweltbundesamt (2025b): Flächenverbrauch für Rohstoffabbau, [online] <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/flaechenverbrauch-fuer-rohstoffabbau> [09/2025]

Wegener, Bernd / Fedkenheuer, Moritz / Drexler, Hans / Schupp, Laura, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.) (2024): Funktionswandel des Wohnens. Bestandsaufnahme der aktuellen Wohnpraxis mit dem Ziel der Projektion zukünftigen Wohnbedarfs, [online] <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2024/bbsr-online-15-2024-dl.pdf> [03.2025]

Weidner, Stefanie Barbara (2020): Grundlagen für die Planung von ressourcenminimalen urbanen Strukturen, Dissertation an der Universität Stuttgart, [online] <https://elib.uni-stuttgart.de/bitstreams/303556f7-c2bf-498f-8e28-160c92006f43/download>

Wuppertal Institut (Hrsg.) (2020): Schlüsselergebnisse der Studie des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie zu einem Beitrag Deutschlands zur Einhaltung der 1,5-°C-Grenze, [online] [https://wupperinst.org/fileadmin/redaktion/downloads/projects/CO2neutral\\_2035\\_Factsheet.pdf](https://wupperinst.org/fileadmin/redaktion/downloads/projects/CO2neutral_2035_Factsheet.pdf), [10/2025]



