2

GRÜNE STADT
DER ZUKUNFT
KLIMARESILIENTE QUARTIERE IN EINER WACHSENDEN STADT

GRÜNE UND GRAUE MASSNAHMEN FÜR DIE SIEDLUNGS-ENTWICKLUNG

Klimaschutz und Klimaanpassung in wachsenden Städten

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen der Leitinitiative Zukunftstadt

IMPRESSUM

HAUPTAUTOR:INNEN
Farzan Banihashemi, Sabrina Erlwein, Hannes Harter, Christina Meier-Dotzler, Teresa Zölch

MITWIRKENDE AUTOR:INNEN
Amelie Bauer, Gilles Jean-Louis, Werner Lang, Simone Linke, Julia Mittermüller, Stephan Pauleit, Andreas Putz

DESIGN UND LAYOUT
Valentina Arros, Nuria Roig

PROJEKTLAUFZEIT
2018 bis 2021

STAND
September 2021

HERAUSGEBERIN
Technische Universität München
Lehrstuhl für Strategie und Management der Landschaftsentwicklung
Emil-Rahmann-Str. 6
85354 Freising

Projektleitung: Prof. Dr. Stephan Pauleit
Koordination: Andrea Skiba

Weitere Informationen und Materialien zum Projekt unter:

- www.cee.ed.tum.de/enpb/gsdz/
- www.ioew.de/gruene_stadt
- www.lokale-passung.de/gruene-stadt-der-zukunft

Technische Universität München
LMU Ludwig-Maximilians-Universität München
i ö w Institut für ökologische Wirtschaftsforschung
Landeshauptstadt München
GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

INHALT

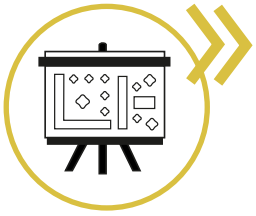
Highlights 4
Einleitung 5
Methodisches Vorgehen 6
Nachverdichtungsmöglichkeiten 7
Grüne und graue Maßnahmen für die Quartiersentwicklung 8
Grüne Maßnahmen 8
Graue Maßnahmen 10
Vorstellung der Reallabore 12
Sanierungsgebiet Moosach 13
Neubauquartier Heltauer Straße 14
Maßnahmensteckbriefe grüne Maßnahmen 15
Baumpflanzungen 15
Strategische Gestaltung und Platzierung 16
Dachbegrünung (extensiv, bis 20 cm Substratauflage) 17
Dachgarten 18
Fassadenbegrünung 19
Freiflächen und Entsiegelung 21
Maßnahmensteckbriefe graue Maßnahmen 23
Passive Maßnahmen 25
Sanierung eines Bestandsquartiers bei gleichbleibender Gebäudekubatur 26
Sanierung eines Bestandsquartiers mit Aufstockung um zwei Geschosse in Holzrahmenbauweise 27
Neubau in Bestandsgebieten oder auf einer Freifläche in Holzbauweise 29
Neubau in Bestandsgebieten oder auf einer Freifläche in Massivbauweise 30
Synergien zwischen grünen und grauen Maßnahmen 31
Erfordernisse in der Planung von grünen und grauen Maßnahmen 34
Schlussfolgerungen und Fazit 36
Literatur 37
Abbildungsverzeichnis 40

HIGHLIGHTS

- Der zielgerichtete Einsatz von Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen kann negative Folgen von Nachverdichtung reduzieren.
- Der Altbaumbestand erfüllt eine wichtige mikroklimatische Funktion, die Neupflanzungen nur langfristig und unter guten Wachstumsbedingungen ersetzen können. Vitale Altbäume sind daher möglichst zu erhalten.
- Die Durchlüftung auf Quartiersebene spielt für die nächtliche Abkühlung eine wichtige Rolle.
- Die ressourcenschonende und emissionsreduzierte Errichtung, Nutzung und Entsorgung von Gebäuden muss bereits in frühen Planungsphasen berücksichtigt werden.
- Die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen für gebäudebezogene Nachverdichtungsmaßnahmen (Aufstockungen, Neubauten, etc.) leistet einen positiven Beitrag zur Emissionsvermeidung und -reduktion.
- Der Einsatz von erneuerbaren Energien trägt zur Steigerung der energieeffizienten Nutzung von Gebäuden bei und sorgt durch die Verwendung von Umweltenergien für eine Emissionsvermeidung und -reduktion.
- Mobilitätskonzepte und Anpassungen des Stellplatzschlüssels sind ein wesentlicher Ansatzpunkt, um den Grünanteil zu erhöhen und vitale grüne Infrastruktur umzusetzen.

MEHR ERFAHREN?

Weitere Broschüren des Projekts Grüne Stadt der Zukunft



Broschüre 1
DIE PLANUNG DER GRÜNEN STADT DER ZUKUNFT.
Handlungsmöglichkeiten und Instrumente für Planung und Verwaltung

Broschüre 3
GRÜN IN DER WACHSENDEN STADT.
Perspektiven und Aktivierung der Stadtgesellschaft

Broschüre 4
WACHSENDE STÄDTE IM KLIMAWANDEL GESTALTEN.
Zukunftsbilder für grüne, klimaresiliente Quartiere

EINLEITUNG

Um dem Klimawandel erfolgreich begegnen zu können, muss eine klimaangepasste und klimaneutrale Stadtentwicklung angestrebt werden. Hierfür ist es notwendig, stadtplanerische Entwicklungskonzepte inter- und transdisziplinär zu gestalten sowie Nachhaltigkeit wirksam zu verankern. Dies kann durch die Umsetzung von grünen, wie grauen Maßnahmen erzielt werden. Bäume als ein Beispiel für eine grüne Maßnahme senken die gefühlte Temperatur im Freiraum durch Verdunstung und Verschattung um bis zu 10° C. Das entspricht der Kühlleistung einer Klimaanlage von 2,3 kW. Diese Leistung reicht aus, um einen Raum mit rund 35 m^2 zu klimatisieren (Rahman 2016). Eine graue Maßnahme kann beispielsweise die Verwendung von Holz als Konstruktionsmaterial für Nachverdichtungsmaßnahmen sein. Der nachwachsende Rohstoff bindet über den Lebenszyklus eines Gebäudes hinweg Kohlenstoff und trägt somit zur Emissionsvermeidung und -reduktion bei.

Die vorliegende Broschüre gibt einen Überblick über grüne und graue Maßnahmen für die klimaangepasste und klimaneutrale Stadtentwicklung. Die Umsetzung dieser, auch im Rahmen des Forschungsprojektes „Grüne Stadt der Zukunft“ eingesetzten Maßnahmen wurde in Stadtquartieren, sogenannten Reallaboren, untersucht, die Gegenstand realer Planungsprozesse in der Landeshauptstadt München sind. Dabei wurde im engen Austausch mit dem zuständigen Planer:innen von Seiten der Landeshauptstadt München zusammengearbeitet.

Da jedoch die Entwicklung von grünen und grauen Maßnahmen allein nicht ausreicht, um ein klimaschützendes und -resilientes Quartier zu schaffen, ist die vorliegende Publikation eng mit den Themengebieten der anderen Broschüren verzahnt: Broschüre 1 behandelt die Einbindung dieser Maßnahmen in den Planungsprozess. Broschüre 3 thematisiert die Wahrnehmung der Nutzer:innen und in Broschüre 4 werden mit Zukunftsbildern Gestaltungsmöglichkeiten zur Aktivierung der Stadtgesellschaft für grüne, lebenswerte Quartiere aufgezeigt.

Nachfolgend wird kurz das methodische Vorgehen erläutert und die untersuchten Formen der baulichen Nachverdichtung vorgestellt. Neben den Begriffsdefinitionen der grünen und grauen Maßnahmen werden anschließend auch die betrachteten Reallabore hinsichtlich ihrer Bebauungs- und Begrünungsstrukturen sowie ihrer Entwicklungsszenarien beschrieben. All dies bildet die Grundlage für die Erarbeitung der nachfolgenden Maßnahmensteckbriefe.

Abb. 1 Dachgärten in München

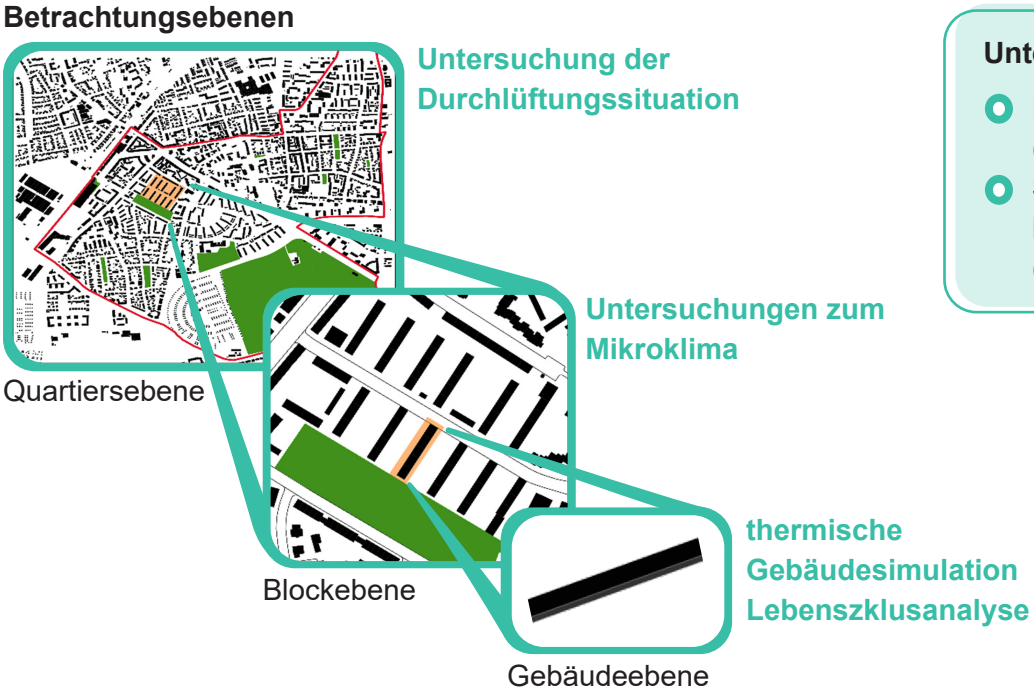
METHODISCHES VORGEHEN

Grüne und graue Maßnahmen wurden in urbanen Nachverdichtungs- und Neubauszenarien mithilfe von mehreren Methoden auf verschiedenen räumlichen Betrachtungsebenen analysiert und optimiert (Abb. 2).

Auf Stadtquartiersebene wurden die Durchlüftungssituationen untersucht, dann auf Blockebene das Mikroklima. Abschließend erfolgte die thermische Gebäudesimulation sowie eine ökologische und energetische Lebenszyklusanalyse auf Gebäudeebene. Dabei ließen sich Ergebnisse für das Mikroklima als Grundlage für die darauffolgende thermische Gebäudesimulation verwenden. Die Ergebnisse dieser Gebäudesimulation können somit den Einfluss widerspiegeln, den verschiedene Begrünungsszenarien auf das Außenklima und damit auf das thermische Empfinden im Innenraum von Gebäuden haben.

INTEGRATION DER ERGEBNISSE IN DIE PRAXIS

Die Untersuchungsergebnisse dienten zunächst als Entscheidungsunterstützung und Kommunikationsmittel bzw. Entscheidungsgrundlage für Wettbewerbsausschreibungen. Ferner wurden die Erkenntnisse zur Wirksamkeit von grünen und grauen Maßnahmen in Maßnahmensteckbriefen aufbereitet. Diese beschreiben grüne und graue Maßnahmen sowie deren Einfluss auf die klima-angepasste und klimaneutrale Quartiersentwicklung. Auf der Basis dieser Steckbriefe können Planer:innen anderer Quartiersprojekte nachhaltige Quartierskonzepte entwickeln.



Untersuchte Reallabore

- Heltauer Straße (Neubau)
- Sanierungsgebiet Moosach (Sanierungsfall)

Abb. 2 Übersicht zum methodischen Vorgehen

NACHVERDICHTUNGSMÖGLICHKEITEN

In Deutschland soll die Neuinanspruchnahme von Flächen als Siedlungs- und Verkehrsflächen bis 2030 von derzeit 180 Hektar (Stand 2021) auf unter 30 Hektar pro Tag gesenkt werden (Bundesregierung 2018; Umweltbundesamt 2021). Kompakte, nutzungsdurchmischte Stadtstrukturen sparen Flächen, verbessern die Verkehrseffizienz und die Auslastung der Infrastruktur. Das Leitbild der sogenannten doppelten Innenentwicklung hat neben der baulichen Entwicklung zum Ziel, Grün- und Freiflächen in den Städten zu erhalten und aufzuwerten. Vor diesem Hintergrund unterscheidet diese Broschüre zwischen drei Arten der baulichen Nachverdichtung (Abb. 3).

Die kleinteiligste Art der Nachverdichtung findet durch Aufstockung des Bestands mit mindestens einem Geschoss statt. Bei Erhalt der Bestandsbebauung müssen die konstruktiven Voraussetzungen für die zusätzliche Last gegeben sein oder im Zuge einer Gebäudesanierung erreicht werden. In einer Studie wurde ermittelt, dass die Aufstockung von Mehrfamilienhäusern in deutschen Wachstumsregionen 1,1 Mio. zusätzliche Wohnungen mit 84,2 Mio. m² Wohnfläche schaffen kann (Tichelmann et al. 2016).

Bei der zweiten Nachverdichtungsart wird Wohnraum durch die Errichtung von weiteren Gebäuden im Anschluss an den Gebäudebestand geschaffen. Die Umsetzungsmöglichkeiten wie etwa Gebäudeanbau, Bauen in zweiter Reihe oder Blockrand- und Zeilenschließungen unterscheiden sich je nach Siedlungstyp und Umgebungsbebauung. Zeilenbebauungen stehen im Fokus dieser Broschüre, da sie aufgrund der Häufigkeit des Wohntyps, der meist homogenen Eigentümerstruktur und des relativ hohen Anteils an Freiflächen großes Potenzial für die doppelte Innenentwicklung bieten.

Die dritte Nachverdichtungsart umfasst den Neubau auf Grün- und Freiflächen innerhalb des Stadtkörpers. Hierzu zählt auch die Entwicklung von Brachflächen. Die Konversion von ehemaligen Bahnanlagen und Militärflächen birgt großes Potenzial, das von wachsenden Städten bereits vielfach genutzt und deshalb bereits oft ausgeschöpft ist, jedoch im Rahmen dieses Forschungsprojekts nicht betrachtet wurde. Teile dieser Erkenntnisse, wie etwa Hinweise zur strategischen Platzierung von grüner Infrastruktur, lassen sich aber auf die Umstrukturierung solcher Flächen übertragen.

Abb. 3 Schemadarstellung Nachverdichtungsmöglichkeiten

GRÜNE UND GRAUE MASSNAHMEN FÜR DIE QUARTIERSENTWICKLUNG

GRÜNE MASSNAHMEN

Grüne Maßnahmen sind alle Maßnahmen, die mithilfe von Vegetation umgesetzt werden. Darunter fallen neben Baumpflanzungen auch Gebäudebegrünungen an Fassaden und Dächern sowie Maßnahmen, die den Anteil unversiegelter Fläche in der Stadt steigern. In wachsenden Städten sind Grünflächen oft rar, hier gilt es vorhandene Grün- und vor allem Baumbestände zu erhalten oder, wenn das nicht möglich ist, durch Neupflanzungen zu ersetzen. Auch vertikale Flächen können mithilfe von bodengebundenen Formen oder durch innovative Module mit integrierten Bewässerungssystemen begrünt werden. Bei der Nutzung von Dachflächen wird zwischen verschiedenen Begrünungsarten unterschieden, von extensiver über intensive Begrünung bis hin zu Dachgärten, die als Aufenthalts- und Erholungsflächen fungieren. Unterschiede bestehen meist bezüglich der Pflanzenausstattung, Substratstärke und Nutzfläche.

Die grünen Maßnahmen kommen auf verschiedenen Maßstabsebenen zum Einsatz, vom Gebäude bis hin zu Freiflächen, die für ganze Quartiere klimarelevant sind.

URBANE GRÜNE INFRASTRUKTUR

Die grünen Maßnahmen, auch als urbane grüne Infrastruktur bezeichnet, leisten neben dem Klimaschutz besonders einen Beitrag zur Klimaanpassung und zur klimaresilienten Quartiersentwicklung. Sie erbringen wichtige Ökosystemleistungen, wenn sie zum Beispiel ihre Umgebung kühlen oder den Rückhalt von Regenwasser ermöglichen. In den Maßnahmensteckbriefen sind diese Ökosystemleistungen in Form von Kriterien aufgeführt, die eine schnelle Einschätzung der grünen Maßnahme erlauben. Die Kriterien werden in Abb. 5 definiert und erläutert.

Abb. 4 Fassadenbegrünung mit Efeu

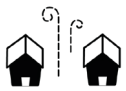
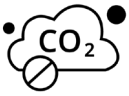
Kriterium und Einheit	Beschreibung
thermischer Komfort [°C] (außen)	Die thermische Behaglichkeit im Außenraum ist bedeutsam für die menschliche Gesundheit (v.a. im Hinblick auf Hitzestress) und die Aufenthaltsqualität des Außenraums. Sie wird in dieser Broschüre durch die PET ausgedrückt.
Physiologische Äquivalenz-temperatur [°C] (Tag)	Die physiologische Äquivalenztemperatur (engl. Physiological Equivalent Temperature – PET) ist ein biometeorologischer Index zur Beschreibung des thermischen Komforts im Außenraum. Die PET berücksichtigt die meteorologischen Größen Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, relative Luftfeuchte, mittlere Strahlungstemperatur sowie physiologische Faktoren (z. B. Bekleidung). Die als angenehm empfundene PET-Spannweite des Menschen beträgt 13 – 30 °C (Ketterer & Matzarakis 2014). Darunter wird sogenannter Kältestress, darüber Hitzestress empfunden.
 **übergeordnete Durchlüftung [m³/ms]**	Durchlüftung reduziert durch den Luftaustausch mit dem kühleren Umland die urbane Hitze und verbessert die Luftqualität, indem Schadstoffe abtransportiert werden. Bedeutsam für die Durchlüftung sind Kaltluftentstehungsgebiete und Leitbahnen, über die Kaltluft in bebaute Gebiete hineinströmen kann. Unter dem Kaltluftvolumenstrom versteht man das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite).
Lufttemperatur [°C] (Nacht)	Die nächtliche Lufttemperatur beeinflusst die Temperatur im Gebäudeinneren und ist damit entscheidend für die Schlafqualität und die nächtliche Erholung des Menschen. Bei mehreren, aufeinanderfolgenden Tropennächten mit mehr als 20 °C bestehen erhebliche Gesundheitsrisiken.
kleinräumiger Luftaustausch [m/s] (Nacht)	Der kleinräumige Luftaustausch sorgt für einen Ausgleich zwischen überwärmten und kühleren Bereichen und ist somit bedeutend für die nächtliche Abkühlung im Quartier. Strömungshindernisse wie Gebäude und Bäume können den Austausch behindern. Bewertungsparameter ist die bodennahe Windgeschwindigkeit in m/s.
Niederschlags-wasser-retention [mm]	Der Rückhalt von Regenwasser trägt bei Starkregenereignissen dazu bei, das Kanalsystem vor Überlastung zu schützen. Zurückgehaltenes Wasser kann zudem zur Versorgung von Stadtgrün genutzt werden und durch Verdunstung zur Kühlung beitragen.
Niederschlags-wasserver-sickerung [mm]	Die Versickerung von Niederschlag ist von großer Bedeutung für die Bewältigung von Starkregenereignissen sowie die Grundwasserneubildung.
subjektive Wahrneh-mung und Aufenthalts-qualität	Die subjektive Wahrnehmung der Maßnahmen aus Bewohner:innensicht ist ein wichtiger Faktor, da sie darüber entscheidet, ob die Maßnahmen akzeptiert (zum Beispiel Fassadenbegrünung) und genutzt werden (zum Beispiel wohnungsnahe Grünflächen). Die subjektive Wahrnehmung ist situativ verschieden und sollte lokal erhoben werden. Die Einschätzungen im Folgenden basieren auf Erhebungen in München (siehe Broschüre 3).
 **Klimaschutz-effekte**	positive Auswirkungen der Maßnahmen im Hinblick auf den Klimaschutz

Abb. 5 Kriterien zur Bewertung der grünen Maßnahmen

GRAUE MASSNAHMEN

Als graue Maßnahmen werden bauliche Maßnahmen an den Baukonstruktionen und/oder den gebäudetechnischen Anlagen (ohne Außenanlagen) von Gebäuden bezeichnet. Sie leisten einen Beitrag zum Klimaschutz bzw. zur Klimaanpassung von Quartieren.

Bei der Gebäudesanierung zählen beispielsweise die nachträgliche Dämmung der Gebäudehülle oder der Wechsel auf eine Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen zu den grauen Maßnahmen. Die Maßnahmen sollten dabei nicht einzeln, sondern gemeinsam in Szenarien betrachtet werden, da sie Wechselwirkungen besitzen. Sowohl beim Neubau als auch bei der Sanierung erweist sich eine einführende Prüfung einer weitestgehend klimaschonenden und energieeffizienten Bauweise als wichtig. Das Ziel der grauen Maßnahmen ist die Realisierung eines Wohnquartiers, das bei der Herstellung, der Nutzung und beim Rückbau möglichst wenig stoffliche sowie energetische Ressourcen verbraucht und Emissionen verursacht. Zudem sollte man bei der Planung unbedingt prognostizierte Klimaveränderungen berücksichtigen, um eine klimaresiliente Bebauung gewährleisten zu können, die auch noch in 50 bis 100 Jahren funktioniert.

Die lebenszyklusbasierte energetische und ökologische Bewertung der grauen Maßnahmen erfolgt mithilfe einer Lebenszyklusanalyse (engl. Life Cycle Assessment – LCA) anhand verschiedener Kriterien.

Bei der Lebenszyklusanalyse rechnet man mit einer Standardnutzungsdauer der Gebäude von 50 Jahren. Phase A bezeichnet die Herstellung des Gebäudes, Phase B die Nutzung und Phase C den Rückbau sowie die Entsorgung des Gebäudes. Zusätzlich können Recycling- oder Wiederverwendungspotenziale der Gebäudekomponenten durch die Phase D beschrieben werden.

LEBENSZYKLUSANALYSE

Grundlagen für die Lebenszyklusanalyse/Ökobilanz stellen DIN EN ISO 14 040:2021-02 und DIN EN ISO 14 044:2021-02 dar. Sie regeln die Grundsätze, Rahmenbedingungen, Anforderungen und Anleitungen, um potenzielle Umweltauswirkungen eines Produktsystems über seinen gesamten Lebensweg berechnen und beurteilen zu können. DIN EN 15 978:2012-10 bietet darüber hinaus eine Berechnungsmethode zur Bewertung der umweltbezogenen Qualität eines Gebäudes sowie Hilfsmittel für das Berichtswesen und die Kommunikation des Bewertungsergebnisses an.

Abb. 6 Neubau eines Wohngebäudes

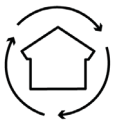
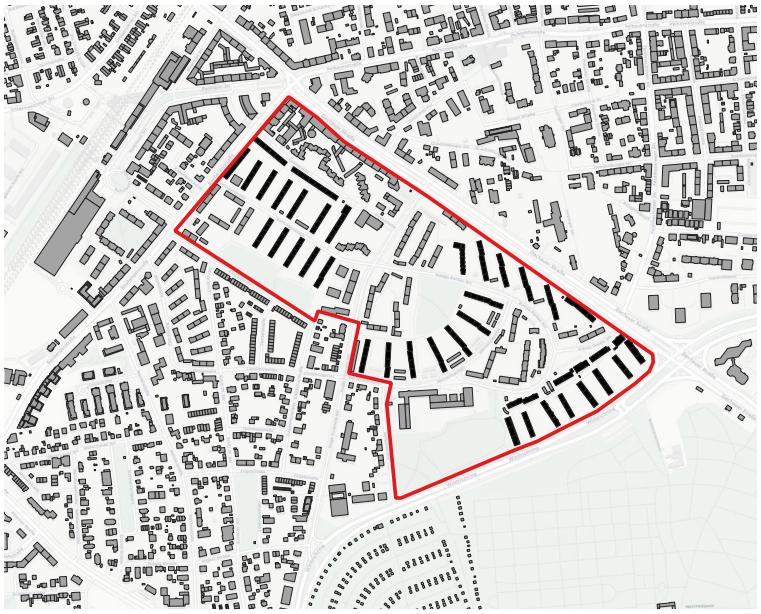
Kriterium und Einheit	Beschreibung
Treibhauspotenzial [kg CO_2-Äq.]	Das Treibhauspotenzial (engl. Global Warming Potenzial – GWP) ist der mögliche Beitrag eines Stoffs zur Erwärmung der bodennahen Luftschichten, das heißt zum sogenannten Treibhauseffekt in einem Zeitraum von 100 Jahren und wird relativ zum Treibhauspotenzial von CO_2 angegeben (BMUB 2015; DIN EN 15804:2020-03).
Nicht erneuerbare Primärenergie [MJ oder kWh]	Als gesamte nicht-erneuerbare Primärenergie (engl. Primary Energy Non-Renewable Total – PENRT) wird der Gesamteinsatz nicht erneuerbarer Primärenergie bezeichnet. Der Wert beinhaltet den Anteil an Primärenergie, der aus nicht-erneuerbaren stofflichen und energetischen Ressourcen (zum Beispiel Erdgas) bereitgestellt wird (DIN EN 15804:2020-03). In der Regel wird die PENRT in MJ (Megajoule) ausgewiesen, aber auch kWh (Kilowattstunden; 1 kWh = 3,6 MJ) sind zum besseren Vergleich mit dem Nutzenergiebedarf üblich.
 **Primärenergie [MJ oder kWh]**	Unter der gesamten Primärenergie (engl. Primary Energy Total – PET) versteht man den Gesamteinsatz an Primärenergie, also die Summe aus erneuerbarer und nicht erneuerbarer Primärenergie (Achtung, nicht zu verwechseln mit PET [°C]; siehe S. 9).
thermischer Komfort innen [°C]	Die thermische Behaglichkeit im Innenraum ist bedeutsam für die menschliche Gesundheit (vor allem im Hinblick auf Hitzestress) und die Aufenthaltsqualität im Innenraum. Die Grenztemperatur der thermischen Behaglichkeit entspricht dem menschlichen Wohlbefinden in Abhängigkeit der Temperatur und ist anhand von Klimaregionen nach DIN 4108-2:2013-02 geregelt.
Heizenergiebedarf [kWh]	Als Heizenergiebedarf wird nach DIN V 18599-1:2018-09 der Nutzenergiebedarf für das Heizen eines Gebäudes bezeichnet.
Kühlenergiebedarf [kWh]	Der Kühlenergiebedarf bezeichnet den Nutzenergiebedarf für das Kühlen eines Gebäudes nach DIN V 18599-1:2018-09. Nur sehr wenige Wohngebäude in Deutschland werden aktuell aktiv gekühlt. Dieser Energiebedarf soll auch in Zukunft möglichst vermieden werden, da aktive Kühlung durch Klimaanlagen zusätzlichen hohen Energieverbrauch verursacht und den Treibhausgassaustoß weiter erhöht.

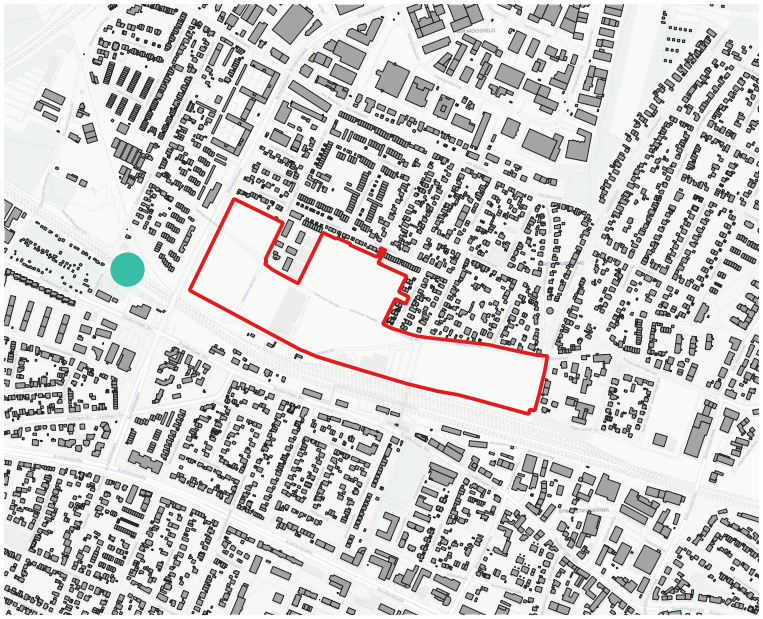
Abb. 7 Kriterien zur Bewertung der grauen Maßnahmen

VORSTELLUNG DER REALLABORE



Bestandsgebäude im Sanierungsgebiet Moosach

Planareal



Bestandsgebäude im Neubauquartier Heltauer Straße

Planareal

geplante Lärmschutzwand

0 100 200 m

Abb. 8 und 9: Die beiden untersuchten Reallabore Moosach und Heltauer Straße im Schwarzplan der jeweiligen Stadtgebiete. Für die Heltauer Straße ist die Lage der zu errichtenden Lärmschutzwand dargestellt.

Für die beiden Reallabore Sanierungsgebiet Moosach und Neubaugebiet Heltauer Straße wurden vertiefende Untersuchungen zur Umsetzung der grünen und grauen Maßnahmen durchgeführt.

Der Gebäudebestand des Sanierungsgebiets Moosach erlaubt die Untersuchung verschiedener Nachverdichtungs- und Begrünungsszenarien. Die Szenarien variieren zwischen Aufstockung und Zusatzbauten, der Begrünung mit Dach- und/oder Fassadenbegrünung sowie zwischen verschiedenen Konstruktionsmaterialien und Energiesystemen.

Beim Neubaugebiet Heltauer Straße werden die Auswirkungen von Holz- und Massivbauweisen sowie verschiedener Energieversorgungsszenarien gegenübergestellt. Der Neubau auf der Freifläche eröffnet einige Gestaltungsfreiheiten. Gleichzeitig soll sich aber die klimatische Ausgangslage der Nachbarbebauung nicht wesentlich verschlechtern.

Abb. 10 Sanierungsgebiet Moosach und seine Grünausstattung

SANIERUNGSGEBIET MOOSACH

Das Sanierungsgebiet Moosach ist geprägt von aufgelockerten Zeilenbebauungen, die in kleinere Parks, Grün- und Freiflächen eingebettet sind. Das Gebiet dient vorrangig der Wohnnutzung. Da die drei- bis siebengeschossigen Gebäude überwiegend aus der Zeit zwischen 1940 und 1970 stammen, ist der Sanierungs- und Aufwertungsbedarf hoch. Das Gebiet wird im Rahmen des Städtebauförderprogramms „Sozialer Zusammenhalt“ gefördert. In diesem Zuge wurde auch ein städtebaulich-landschaftsplanerischer Wettbewerb mit dem Zweck durchgeführt, Sanierungsziele als Rahmenplanung festzulegen. Dabei ist eine zentrale Frage, wie sich die bestehende Wohnbebauung nachverdichten lässt, während gleichzeitig Ziele der Klimaanpassung und des Klimaschutzes erreicht sowie eine hohe Aufenthaltsqualität im Quartier geschaffen werden können.

Im Reallabor Moosach wurde untersucht, welche Umweltwirkungen und Energiebedarfe eine Sanierung mit oder ohne einer Geschossaufstockung der Gebäude (Nachverdichtungsmaßnahme) bewirkt. Ferner wurde gegenübergestellt, mit welchen Umweltwirkungen und Energiebedarfen der Abriss der Bestandsgebäude und ein Ersatzneubau (entweder in Holz- oder in Massivbauweise) einhergeht. Für eine klimaschonende Quartiersentwicklung wird der Niedrigstenergiestandard und eine erneuerbare Energieversorgung angestrebt, da im Bestand der Energiebedarf aktuell maßgeblich durch Erdgas gedeckt wird.

Im Südosten grenzt der Westfriedhof als übergeordnete Grünfläche mit hoher bioklimatischer Bedeutung als Kaltluftentstehungsgebiet an das Sanierungsgebiet an.

Abb. 11 Eindrücke aus dem Sanierungsgebiet Moosach

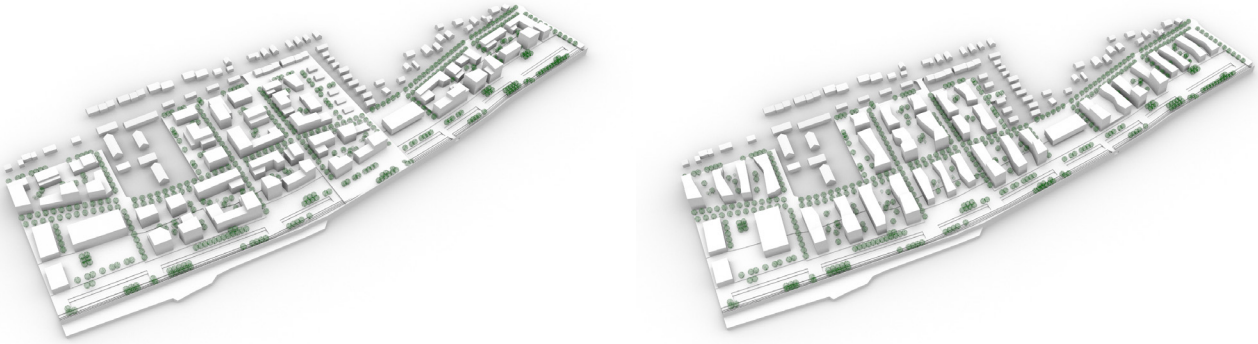


Abb. 12 Erste Planungsentwürfe der Neubebauung an der Heltauer Straße als Blockbebauung (links) und als Zeilenbebauung (rechts). Die Planungsentwürfe wurden vom lokalen Planungsteam der Stadt entworfen und zur Verfügung gestellt.

NEUBAUQUARTIER HELTAUER STRASSE

Das Gebiet Heltauer Straße besteht aus einer bisher unbebauten Freifläche, die von umliegender Bebauung, meist Wohnsiedlungen, eingerahmt wird. Das Gebiet liegt in einer übergeordneten Grünverbindung, der „Truderinger Frischluftschneise“. Die bisherige Nutzung der Fläche ist landwirtschaftlich geprägt, mit einigen wenigen Gewerbestandorten. Das Areal zeichnet sich durch eine sehr gute ÖPNV-Anbindung aus und soll daher mit einer Wohnbebauung mit hoher baulicher Dichte überplant werden. Ein städtebauliches Strukturkonzept und eine Machbarkeitsstudie liegen bereits vor, der städtebaulich-landschaftsplanerische Wettbewerb war zum Zeitpunkt der Erstellung der Broschüre in Vorbereitung. Ziele waren einen sinnvollen Übergang zur angrenzenden locker bebauten Einfamilienhaussiedlung herzustellen und die Auswirkungen auf die stadtklimatischen Funktionen der Kaltluftleitbahn möglichst gering zu halten.

Für den Planungsentwurf „Blockbebauung“ (Abb. 12) wurde eine Lebenszyklusanalyse durchgeführt, um die Umweltwirkungen verschiedener Bauweisen und die Wahl der Energieversorgung zu ermitteln. Gleichzeitig entstanden für beide Planungsentwürfe stadtklimatische Bewertungen.

Eine Besonderheit am Neubaugebiet Heltauer Straße ist die direkte Lage an der Bahntrasse Rosenheim–München. Für die weitere Entwicklung des Gebiets ist daher der Bau einer Lärmschutzwand unumgänglich. Vorgesehen ist ein Erdwall mit Lärmschutzwand, um Freiflächen im Süden des Plangebiets als Erholungsflächen anrechnen zu können (Abb. 9, S. 12).

Abb. 13 Die bestehende Freifläche an der Heltauer Straße

BAUMPFLANZUNGEN

Abb. 14 Baumbestand in Moosach

Thermischer Komfort außen (Tag)

Effektivstes Mittel zur Verringerung von Hitzestress; Kühlung durch Verschattung und Verdunstung; Kühlleistung abhängig von Art, Alter, Standort, Klima; ermittelte Kühlleistung im Reallabor: 13–5 °C PET

Kleinräumiger Luftaustausch und nächtliche Lufttemperatur

Luftaustausch von überwärmten Bereichen kann durch Kronenüberschirmung verringert werden. Dies betrifft vor allem Baumpflanzungen in geschlossenen Baustrukturen; dadurch auch erhöhte Lufttemperatur unter den Baumkronen.

Übergeordnete Durchlüftung (Nacht)

Bäume können als Strömungshindernis fungieren, wenn sie als Cluster oder Gruppen in Durchlüftungsschneisen gepflanzt werden. Einzelbäume und insbesondere hochkronige Arten führen kaum zu einer Beeinflussung.

Niederschlagswasserretention und -versickerung

Interzeption beschreibt das Abfangen von Wasser durch Blattoberflächen, und damit den Rückhalt des Niederschlagswassers in der Baumkrone. Dieses Wasser kann lokal verdunsten, das Regenwasser in der Baumgrube versickern.

Klimaschutzeffekte

Verschattung der Fassade und der Fensterflächen, was zu geringeren Wärmeeinträgen in die Innenräume führt und so Überhitzung vorbeugt sowie den potenziellen Kühlenergiebedarf senkt. CO_2-Speicherung durch Baumwachstum.

Subjektive Wahrnehmung und Aufenthaltsqualität

Wichtigstes urbanes Grün für subjektiven thermischen Komfort. Sehr positive Auswirkung auf Wahrnehmung von Temperatur und Aufenthaltsqualität, besondere Wertschätzung von alten Bäumen aufgrund des größeren Schattenwurfs. Kombination von Bäumen mit Sitzbänken im Wohnumfeld empfehlenswert für weniger mobile beziehungsweise ältere Personen.

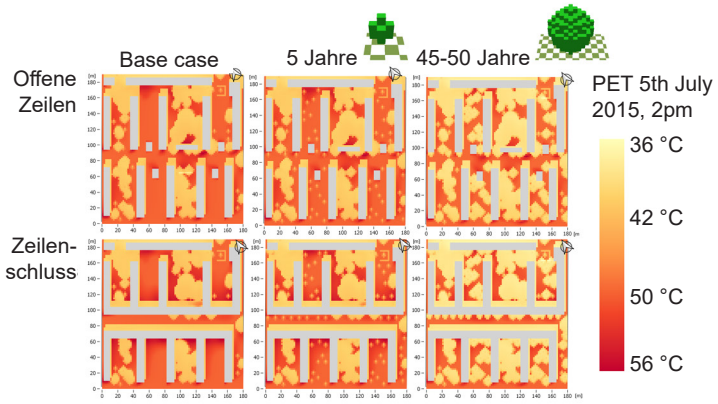


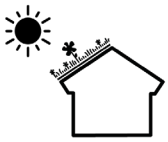
Abb. 15 unterschiedliche Wirkung von jungen (Mitte) und älteren Bäumen (rechts) auf den thermischen Komfort im Außenraum (Baumstandorte zu erkennen als gelbe, kühlere Bereiche)

STRATEGISCHE GESTALTUNG UND PLATZIERUNG

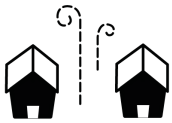
Bei der Umsetzung von Begrünungsmaßnahmen gilt es, deren strategische Platzierung und Gestaltung sicherzustellen, um mit möglichst geringem Einsatz eine größtmögliche Wirkung für die Anpassung an klimatische Veränderungen zu erreichen. Dies kann durch die richtige Standortwahl zur optimalen Versorgung der Vegetation realisiert werden (Wasserversorgung, Dimensionierung des Standorts/ Raumbedarf, Pflegeaufwand), sodass sich die Pflanzen langfristig vital entwickeln können. Darüber hinaus erhöht sich die positive klimatische Wirkung durch folgende Maßnahmen:

Abb. 16 Beispiel für Fassadenbegrünung

Verschattung thermisch hochbelasteter Freiflächen mit hoher Sonneneinstrahlung, vor allem nachmittags.



Verschattung sonnenexponierter Gebäudeoberflächen durch Dach- und Fassadenbegrünung.



Freihalten wichtiger Durchlüftungskorridore für den nächtlichen Luftaustausch und die Kaltluftzufuhr, anstatt Luftbewegungen durch dichte Baumpflanzungen zu behindern.

Ästhetisch und bedarfsgerecht angelegte und leicht zugängliche Grünräume sorgen neben den positiven klimatischen Aspekten außerdem für eine höhere Akzeptanz in der Bevölkerung und werden als Erholungsorte und grüne Oasen genutzt.

Broschüre 3

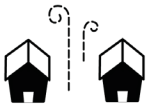
Abb. 17 Aufenthaltsplätze im Baumschatten

DACHBEGRÜNUNG (EXTENSIV, BIS 20 CM SUBSTRATAUFLAGE)

Abb. 18 Dachbegrünung im Olympiadorf

Thermischer Komfort außen (Tag)
Kein Einfluss auf Fußgängerebene durch räumliche Entfernung von Aufenthaltsorten.

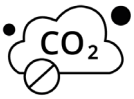
Kleinräumiger Luftaustausch und nächtliche Lufttemperatur
Nächtliche Wärmerückstrahlung wird bei begrünten Dächern reduziert, geringer Einfluss auf Luftströmung über Dachniveau.



Übergeordnete Durchlüftung (Nacht)
Kein Einfluss, da kein zusätzliches Strömungshindernis und nur geringe Auswirkungen auf Luftströmungen über Dachniveau.

Niederschlagswasserretention und -versickerung
Bedeutsam für die Starkregenretention. Wasserspeichervermögen abhängig von Substratstärke, Bepflanzung und Dachaufbau (100 % Speicherung von zwei und zehn-jährigen Ereignissen bei 20 cm Substratstärke). Durch Rückhalt des Niederschlags kann eine größere Wassermenge der Verdunstung zurückgeführt werden.

Factsheet 01: Starkregen-management



Klimaschutzeffekte
Reduktion der Oberflächentemperatur des Dachs (bis zu -20 °C), Isolierung des Dachs und somit auch Reduktion des Heiz- und Kühlenergiebedarfs (16,7 – 2,2 % nach Besir et al. 2018).

Subjektive Wahrnehmung und Aufenthaltsqualität
Von Bewohner:innen positiv bewertet (vor allem Aufwertung, Biodiversität). Keine direkte Wirkung auf die Aufenthaltsqualität, wenn nicht sichtbar oder begehbar beziehungsweise nutzbar.

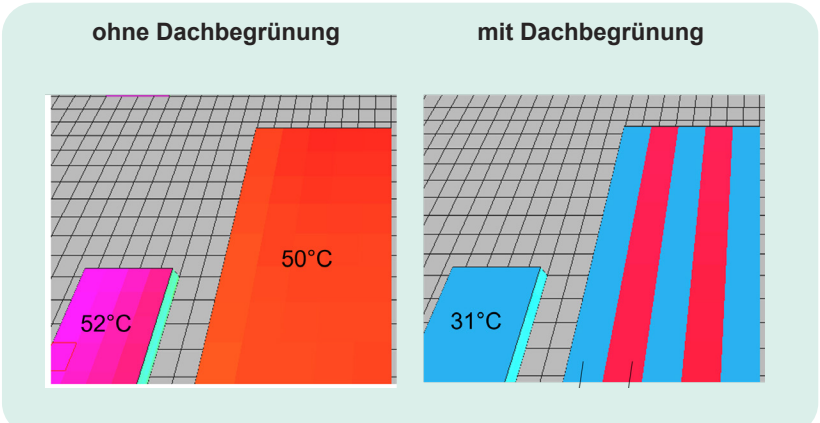


Abb. 19 Unterschiede in der Oberflächentemperatur von Gebäude und Garage mit und ohne Dachbegrünung (rechts in Streifen angelegt).

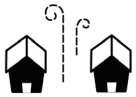
DACHGARTEN

Dachgärten mit mehr als 20 cm Substratstärke schaffen auf begehbaren Flachdächern nutzbare Freiflächen, zusätzlich zu den Flächen im Außenraum. Um die Sicherheit auf den Dachgärten sicherzustellen, gelten bestimmte Anforderungen an Statik, Abgrenzungen und Zugänge (FLL 2018). Die Auswahl der Begrünungsformen erfolgt abhängig von Substrataufbau, Bewässerungsmöglichkeiten, Windlast und Nutzung.

Abb. 20 Dachgarten Wohngenossenschaft wagnis

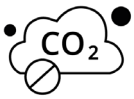
Thermischer Komfort außen (Tag)
Rückzugsorte für Bewohner:innen; keine Kühlwirkung auf Fußgängerebene; Verschattungs- und Windschutzmöglichkeit (zum Beispiel Pergola) sollte gegeben sein, um thermischen Komfort und Windschutz zu gewährleisten.

Kleinräumiger Luftaustausch und nächtliche Lufttemperatur
Nächtliche Wärmerückstrahlung wird bei begrünten Dächern reduziert, geringer Einfluss auf Luftströmung über Dachniveau. Durch begehbare und damit versiegelte Flächen höhere Wärmespeicherung als bei vollständig begrüntem Dach.



Übergeordnete Durchlüftung (Nacht)
Kein bis geringfügiger Einfluss durch die zusätzliche Überbauung über Dachniveau.

Niederschlagswasserretention und -versickerung
Gegenüber dem extensiven Gründach höheres Potenzial für Starkregenrückhalt und für die Speicherung von Niederschlägen aufgrund des höheren Substrataufbaus.



Klimaschutzeffekte
Gegenüber extensivem Gründach höhere Dämmwirkung durch höhere Substratauflage.

Subjektive Wahrnehmung und Aufenthaltsqualität
Oft gewünscht, vielfältige Nutzungen werden als großer Mehrwert gesehen; meist profitieren nur Hausbewohner:innen; wenn Dachgärten aufgrund von Haftungs-/ Brandschutzfragen nicht öffentlich zugänglich sind.

Abb. 21 Gemeinschaftsdachgarten

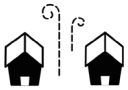
FASSADENBEGRÜNUNG

Für die Fassadenbegrünung stehen bodengebundene oder modulare Aufbauten zur Verfügung, die sich hinsichtlich der Ansprüche an die Fassadenmaterialien, die eingesetzten Pflanzen, den Pflegeaufwand und die Kühlwirkung unterscheiden. Mit der richtigen Auswahl lassen sich Vorteile nutzen und Schäden vermeiden (Brune et al. 2017).

Abb. 22 Selbstklimmer an Balkonkonstruktion

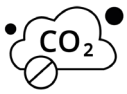
Thermischer Komfort außen (Tag)
Kühlung durch Verdunstungskühlung ist beschränkt auf unmittelbare Umgebung der Fassade; in den Reallaboren wurde eine Reduzierung der Lufttemperatur um bis zu 0,4 °C bis vier Meter Entfernung ermittelt.

Kleinräumiger Luftaustausch und nächtliche Lufttemperatur
Durch Verschattung der Fassade geringere Wärmespeicherung am Tag und dadurch positiver Effekt für nächtliche Abkühlung durch geringere Wärmeabgabe der Fassade. Durch Nähe zur Fassade keine Strömungsbehinderung.



Übergeordnete Durchlüftung (Nacht)
Kein Einfluss, da kein Strömungshindernis.

Niederschlagswasserretention und -versickerung
Abhängig vom verwendeten System: Mögliche Interzeption durch Blattoberflächen, aber insgesamt geringer Einfluss, bei bodengebundenen Systemen zusätzliche Versickerungsmöglichkeiten in der Pflanzgrube.



Klimaschutzeffekte
Deutliche Reduktion der Oberflächentemperatur der Fassade, bei Gerüstkonstruktionen auch Verschattung der Fensterflächen möglich. Dadurch verringerter Wärmeeintrag in den Innenraum und Reduktion des potenziellen Kälteenergiebedarfs.

Abb. 23 Fassadenbegrünung mit Efeu

Subjektive Wahrnehmung und Aufenthaltsqualität
Steigert Attraktivität des Straßenraums und wird als „optisch kühlend“ wahrgenommen. Höhere Akzeptanz bei Mieter:innen, Jüngeren und in Vierteln mit wenig Grün.

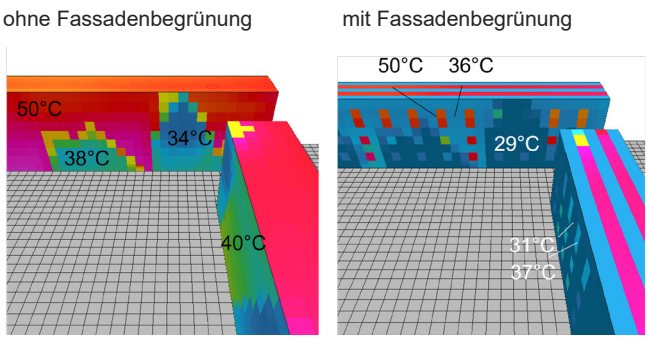


Abb. 24 Unterschiede in der Oberflächentemperatur mit und ohne Fassadenbegrünung

DETAILSTUDIE MOOSACH: BEGRÜNUNG UND NACHVERDICHTUNG

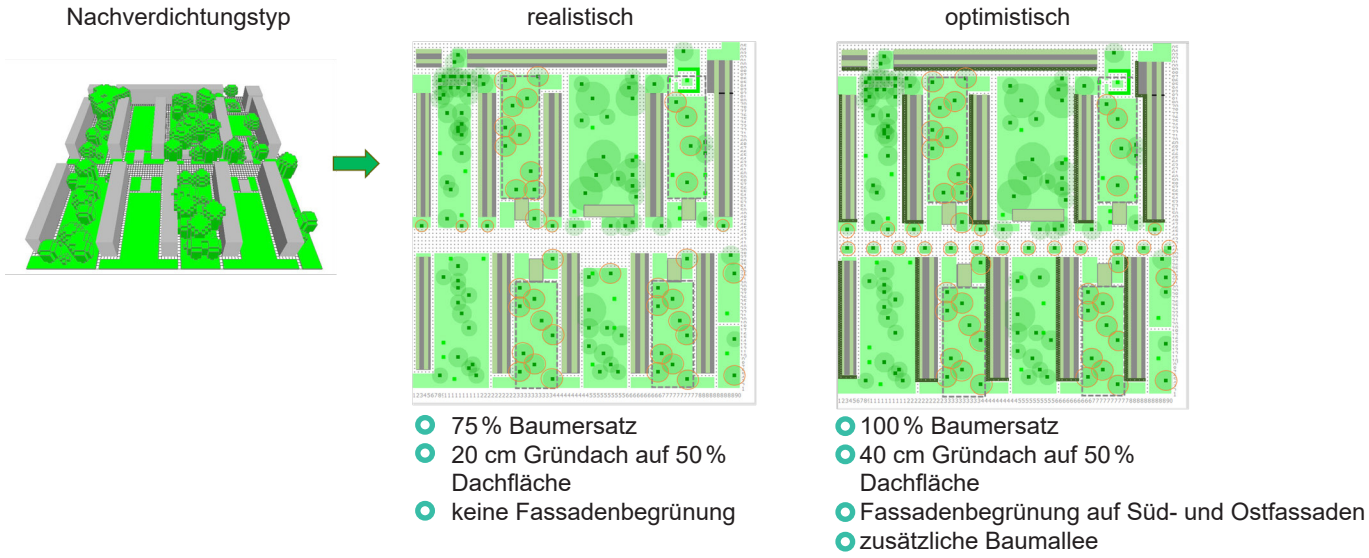


Abb. 25 Gegenüberstellung der „realistischen“ und „optimistischen“ Begrünungsstrategie für den Nachverdichtungstyp „Aufstockung“

Im Reallabor Moosach wurden für die Nachverdichtungstypen Aufstockung und Zeilenschluss zwei mögliche Grünplanungsstrategien betrachtet: die realistische Strategie orientiert sich an aktuellen Richtwerten und Vorgaben zur Begrünung der Stadt München, während die optimistische Strategie zusätzlich Fassadenbegrünung betrachtet und durch eine Neuordnung der Straßennutzung Platz für eine Baumallee schafft. Zusätzlich wurde die Klimawirkung von jungen, neu gepflanzten Bäumen mit 50 Jahre alten Bäumen verglichen (Abb. 15, S. 15).

Wesentliche Ergebnisse:

- Die negativen Auswirkungen von Nachverdichtung (bis +4,7 °C) gegenüber dem Ist-Zustand lassen sich mit Begrünungsmaßnahmen kompensieren.
- Junge Bäume haben gegenüber alten Bäumen eine deutlich reduzierte Klimawirkung.
- Aus diesem Grund ist der Erhalt von Großbäumen im Bestand wichtig; dies kann durch eine Reduktion des Stellplatzschlüssels erreicht werden.
- Neupflanzungen sind in thermischen Hotspots außerhalb von Durchlüftungskorridoren zu platzieren.

Welche positive Wirkung Begrünung und Entsiegelung im Hinblick auf Starkregenereignisse haben, ist für das Fallbeispiel Moosach im Factsheet 01 dargestellt.

Factsheet 01: Starkregen-management

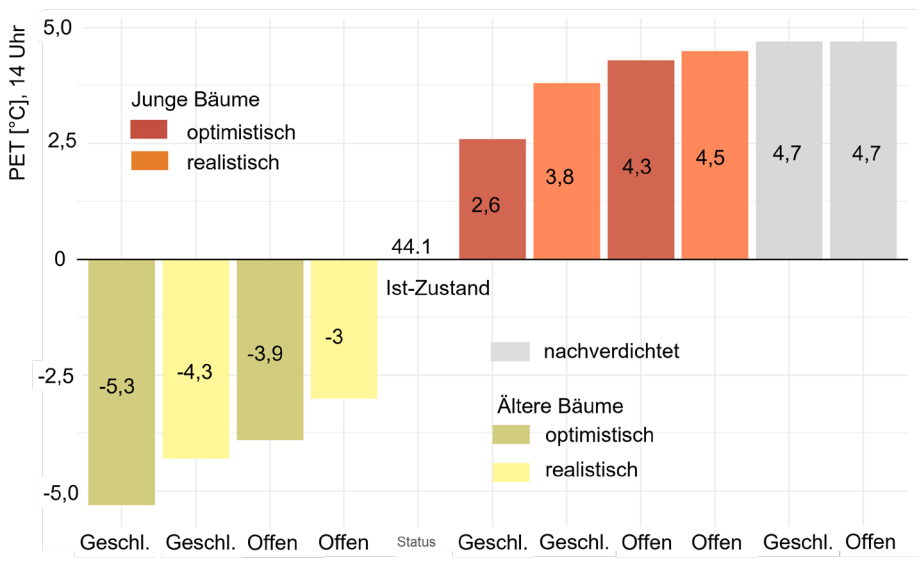


Abb. 26 Modellierungsergebnisse auf Blockebene für alle Begrünungsszenarien inklusive Berücksichtigung.

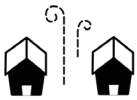
FREIFLÄCHEN UND ENTSIEGELUNG

Maßnahmen für Freiflächen und Entsiegelung unterscheiden sich vor allem in ihrem räumlichen Ausmaß, aber auch in Gestaltung und Bepflanzung. Großräumige, begrünte Flächen erreichen dabei die größten Klimaanpassungseffekte. Kleinräumige Maßnahmen sind insbesondere in dicht bebauten Gebieten wichtig.

Abb. 27 Gemeinschaftsgarten im Innenhof

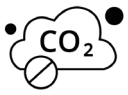
Thermischer Komfort außen (Tag)
Mit begrünten Oberflächen: geringere Wärmespeicherung und Rückstrahlung als bei überbauten Flächen, bei ausreichend Wasserverfügbarkeit zusätzliche Kühlung durch Verdunstung. Ohne Begrünung: Der Effekt ist abhängig von der Albedo der Oberfläche, je heller das Material, desto weniger heizt es sich auf.

Kleinräumiger Luftaustausch und nächtliche Lufttemperatur
Schnellere nächtliche Abkühlung als bei überbauten und versiegelten Flächen, dadurch Potenzial zur Kaltluftentstehung; Reduktion des städtischen Wärmeinseleffekts.



Übergeordnete Durchlüftung (Nacht)
Freiflächen können als Kaltluftentstehungsgebiete fungieren, da sie nachts deutlich schneller abkühlen als überbaute Flächen. Je größer die Fläche, desto größer ist der Effekt.

Niederschlagswasserretention und- versickerung
Versickerung und Grundwasserneubildung werden verbessert; gezielte Speicherung und Rückhalt von Niederschlägen beispielsweise in Form von Regengärten möglich (siehe Factsheet 01: Starkregenmanagement).



Klimaschutzeffekte
Grünes Netz an Freiflächen und Wegeverbindungen kann indirekte Klimaschutzeffekte erzielen, da Fuß- und Radverkehr gefördert und unterstützt und so der motorisierte Individualverkehr (MIV) vermieden wird.

Subjektive Wahrnehmung und Aufenthaltsqualität
Hohe Akzeptanz von Entsiegelung, besonders bei zusätzlicher Begrünung.

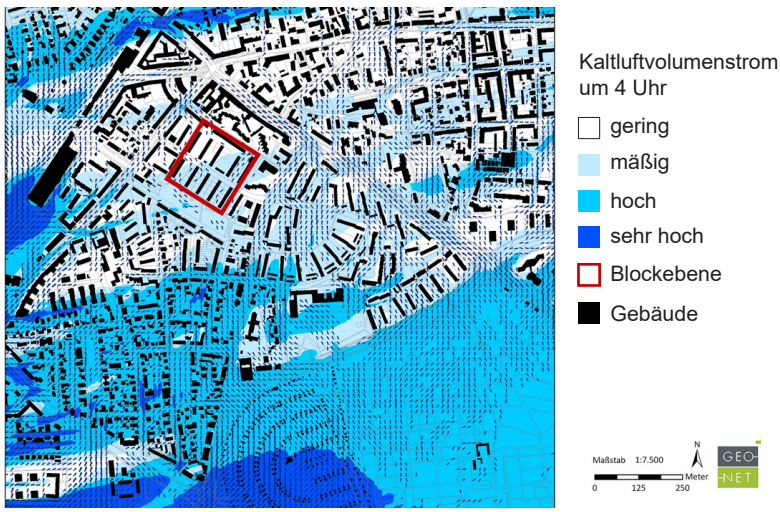


Abb. 28 Der Münchner Westfriedhof in Moosach fungiert als Kaltluftentstehungsgebiet

DETAILSTUDIE HELTAUER STRASSE: ERHALT DER DURCHLÜFTUNG IN NEUBAUGEBIETEN

Für beide Planungsentwürfe, mit offener Blockbebauung und mit Zeilenbebauung, wurde überprüft, inwieweit die Neubebauung Veränderungen in der nächtlichen Durchlüftungssituation hervorruft. Die Modellergebnisse für eine Hauptanströmung aus Süden zeigen Folgendes:

- Durch die Neubebauung reduziert sich der nächtliche Luftaustausch von Süden über das Plangebiet in nördlich angrenzende Wohnbebauungen. Die Auswirkungen für Teilbereiche der Bestandsbebauung sind so hoch, dass erhebliche Reduktionen von über 10 % erreicht werden. Die mittlere Lufttemperatur steigt dadurch um 1,2 – 1,4 °C.
- Durch die Vermeidung von geschlossenen Bauweisen sowie Gebäuderiegeln in Durchlüftungsrichtung sind im klimaoptimierten Entwurf mit offener Zeilenbebauung die Auswirkungen auf den Bestand geringer, liegen jedoch weiterhin über der Erheblichkeitsschwelle von 10 %.
- Der klimaoptimierte Entwurf mit offener Zeilenbebauung verbessert das Mikroklima in den Innenhöfen.
- Die lokale Überhitzung in der geschlosseneren Blockbebauung lässt sich durch die Umsetzung von Begrünungsmaßnahmen, vor allem in Form von Bäumen und Fassadenbegrünung, reduzieren.
- Durch die besondere Lage des Plangebiets an einer Bahntrasse verringert bereits der zu errichtende Lärmschutzwall die nächtliche Kaltluftzufuhr.

Die Bebauung einer Freifläche beschränkt also den nächtlichen Luftaustausch. Die Berücksichtigung der übergeordneten Durchlüftungssituation bei der Entwurfsplanung sowie eine gute Grünausstattung können aber helfen, die negativen stadtklimatischen Veränderungen zu verringern.

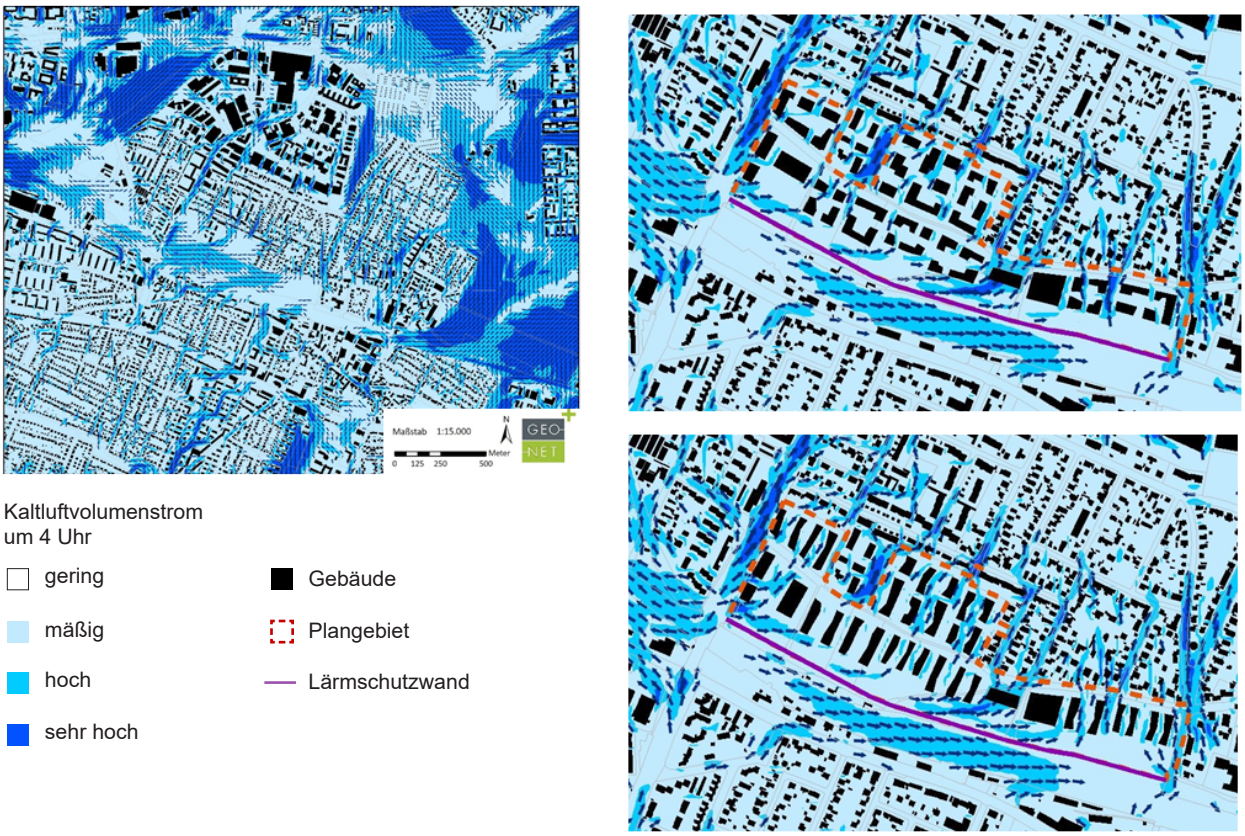


Abb. 29 Der nächtliche Kaltluftvolumenstrom wird in beiden Planvarianten abgeschwächt. Gegenüber dem Ist-Zustand (links oben) sind die Reduktionen in der klimaoptimierten Variante (rechts unten) jedoch etwas geringfügiger als in der Planvariante mit Blockbebauung (rechts oben)

MASSNAHMENSTECKBRIEFE
GRAUE MASSNAHMEN

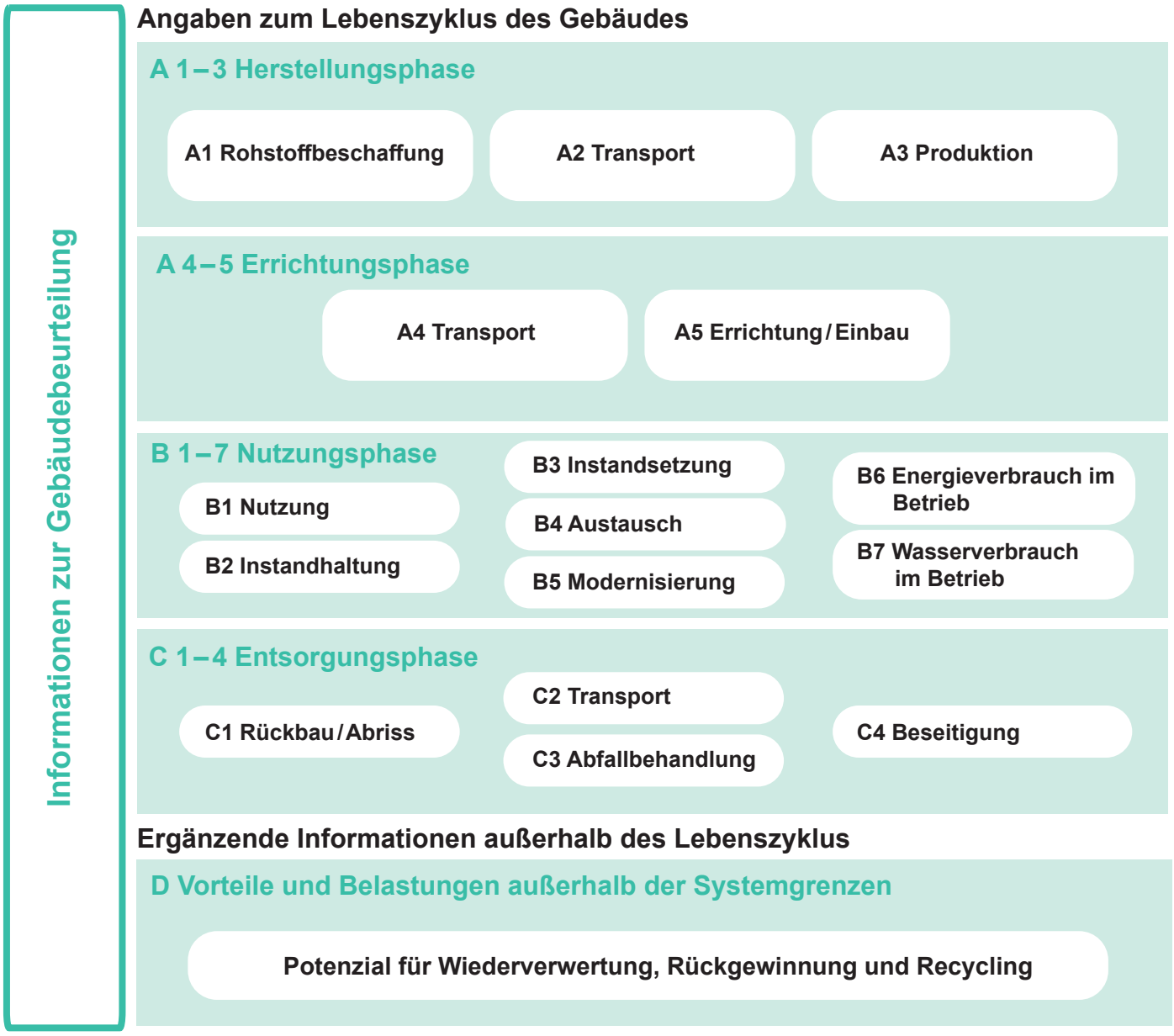


Abb. 30 Informationen zur Gebäudebeurteilung – Lebenszyklusphasen eines Gebäudes nach EN 15978:2012-10, Bild 6

Im Gegensatz zu den grünen Maßnahmen werden die grauen Maßnahmen direkt am Beispiel der Reallabore dargestellt, da ihre Wirkung (mit Ausnahme der passiven Maßnahmen, siehe S. 25) stark von den vorgegebenen Rahmenbedingungen abhängig ist.

Ob die eine oder andere Bauweise oder Energieversorgung ökologisch sinnvoll ist, wird von vielen Faktoren wie der angesetzten Lebensdauer der Gebäude oder den Einzelkomponenten beeinflusst. Ferner haben Schall- und Brandschutz oder statische Erfordernisse Auswirkungen, die sich aber nicht verallgemeinern lassen und im Einzelfall zu unterschiedlichen Materialerfordernissen und Ausführungsstandards führen.

Gemäß der Nachverdichtungsmöglichkeiten in Abb. 3 (S. 7) wurden gemeinsam mit den kommunalen Partnern Entwicklungsszenarien erarbeitet, die dem realen Planungsprozess entsprangen und leicht auf andere städtische Strukturen übertragbar sind. Sie sollen einen Überblick über die Möglichkeit verschiedener Ausführungsvarianten und deren Auswirkungen geben.

METHODISCHER HINTERGRUND

Die im Forschungsprojekt entwickelten Methoden basieren auf digitalen 3D-Stadtmodellen im CityGML-Standard, die bereits heute deutschlandweit flächendeckend im Detaillierungsgrad LoD 2 (Level of Detail) vorhanden sind. Die in diesen Stadtmodellen enthaltenen geometrischen Gebäudeeigenschaften wurden im Zuge der Projektarbeit um weitere gebäudespezifische Informationen (zum Beispiel Nutzungsart oder Baujahr) ergänzt. Anschließend wurden sie mit ökologischen und energetischen, ebenfalls für dieses Projekt entwickelten Kennwerten verknüpft. So ließen sich für frühe Planungsphasen automatisiert lebenszyklusbasierte ökologische und energetische Quartiersbewertungen durchführen.

Im Rahmen der Kennwerterstellung wurden über 1150 verschiedene Datensätze zu einzelnen Bauteilkonstruktionen im Bestand, der Sanierung und im Neubau sowie 315 Datensätze zur Technischen Gebäudeausrüstung (TGA) beziehungsweise zu Energieversorgungssystemen und deren Wärmeübergabesystemen erarbeitet. Bei der Erstellung der Datensätze berücksichtigte man baualterstypische Materialzusammensetzungen und traf, falls erforderlich, bauphysikalische Annahmen. Die Umweltwirkungen beziehungsweise der Ressourcenverbrauch (GWP, PENRT und PET nach Abb. 7, S.11) einzelner Bauteilschichten wurden geprüft und deren Wertebereiche (min./max.) ermittelt.

Für Bauteilschichten und Komponenten der TGA, die aufgrund ihrer energetischen Qualität abgerissen werden müssen, werden die Entsorgungsphasen (C3 und C4) berücksichtigt (siehe Abb. 30, S. 23). Bei den neuen Bauteilschichten und TGA-Komponenten fließen die Herstellung (Phasen A1–A3), die Nutzung (Phase B4) sowie die Entsorgung (Phase C3/C4) mit ein. Die Phase B4 beinhaltet dabei den standardisierten Austausch und Ersatz von Materialien und TGA-Komponenten innerhalb des angegebenen Lebenszyklus (50 Jahre) nach Vorgaben des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen. Bei einem angesetzten Lebenszyklus von 50 Jahren und einer Standardnutzungsdauer eines Wärmedämmverbundsystems von 40 Jahren wird dieses beispielsweise einmal innerhalb des Lebenszyklus rückgebaut, entsorgt und neu erstellt. Die Herstellungsphasen der Bestandskonstruktionen und der technischen Gebäudeausrüstung sowie deren bisherige Nutzungsphase bleiben unberücksichtigt. Auch Oberflächenbekleidungen und -beschichtungen, wie Anstriche und Bodenbeläge, fließen nicht mit in die Bilanzierung ein. Deren Umweltwirkungen sind separat zu betrachten, wobei diese deutlich Einfluss nehmen können. Die Daten der TGA umfassen die Kenndaten für verschiedene Wärmeerzeuger (konventionell sowie erneuerbar), Wärmeverteilungs-, Wärmespeicherungs- und Wärmeübergabesysteme. Anschließend wurde die ökologische und energetische Qualität des Bestands sowie verschiedener Planungs- und Entwicklungsszenarien der eingangs vorgestellten Reallabore mithilfe dieser Daten ermittelt.

Grundsätzlich unterscheidet man beim Neubau der Baukonstruktion zwischen Holz- und Massivbauweise, wobei die Holzbauweise sowohl den Holzrahmenbau als auch den massiven Holzbau mit Brettsperrholzplatten umfasst Für die Massivbauweise wurden Mauerwerkskonstruktionen und Stahlbetonkonstruktionen analysiert. In die Bilanzierungen flossen hier die Umweltwirkungen von Mauerziegeln, Porenbeton- sowie Kalksandsteinen mit ein. Bei den Stahlbetonbauteilen wurden die ökologischen Auswirkungen verschiedener Bewehrungsgehalte (1 und 2 %) sowie gängige Betonfestigkeitsklassen (C20/25 bis C30/37) berücksichtigt. Bei der TGA wird der Einsatz konventioneller Energieversorgungsvarianten (Öl- und Gas-Kessel in Kombination mit Radiatoren) im Bestand im Vergleich zur Verwendung erneuerbarer Energieversorgungsvarianten (Wärmepumpen und Solarthermie in Kombination mit Fußbodenheizungen) in den Entwicklungsszenarien ausgewertet. Dabei nehmen die Änderungen bei der Baukonstruktion unmittelbar Einfluss auf den Energiebedarf und die Heizlast der Gebäude und somit auch auf die Dimensionierung der Wärmeerzeuger. Die Ermittlung der Umweltwirkungen und Energiebedarfe basiert auf den ökologischen Datensätzen der Ökobaudat, Stand 2020 (www.oekobaudat.de). Auch die Auswirkungen des Klimawandels auf den Energiebedarf und den Innenraumkomfort in 50 Jahren (2070) bei sich verändernden Außentemperaturen wurden untersucht. Die Energiebedarfsberechnung erfolgte nach DIN 4108-2:2013-02.

PASSIVE MASSNAHMEN

Durch den Klimawandel werden die Winter in Deutschland immer milder. Dieser Effekt kann auch positive Auswirkungen – zum Beispiel die Reduzierung des Heizbedarfs – haben. Andererseits werden die Sommer immer wärmer. Da ein Großteil der Wohngebäude in Deutschland mit keiner aktiven (maschinellen) Kühlung ausgestattet ist, können Überhitzungen im Innenraum auftreten. Dieser Problematik wird mit dem Einsatz aktiver Kühlgeräte entgegengewirkt. Das führt jedoch wiederum zu einem höheren Energiebverbrauch und damit zu mehr Emissionen, die das Klima weiter negativ beeinflussen. Der Fokus sollte auf passiven Maßnahmen liegen, die sich in jeden Neubau oder bei der Sanierung integrieren lassen und den aktiven Kühlbedarf reduzieren beziehungsweise vermeiden.

Um sinnvolle Maßnahmen entwickeln zu können, müssen zuerst die Wärmezu und -abflüsse im Gebäude quantifiziert werden. Dazu zählen solare Gewinne, die durch die transparente Fassade (zum Beispiel Fenster) eindringen oder interne Wärmegewinne, die Elektrogeräte und Menschen verursachen. Auch Lüftungswärmeströme durch Fensterlüftung oder Lüftungsanlagen sowie Transmissionswärmeströme über die Fassade sind zu berücksichtigen.

Abb. 31 zeigt einige der effektivsten passiven Anpassungsmaßnahmen, die zur Senkung des potenziellen Kühlbedarfs in Gebäuden in Betracht ziehen kann.

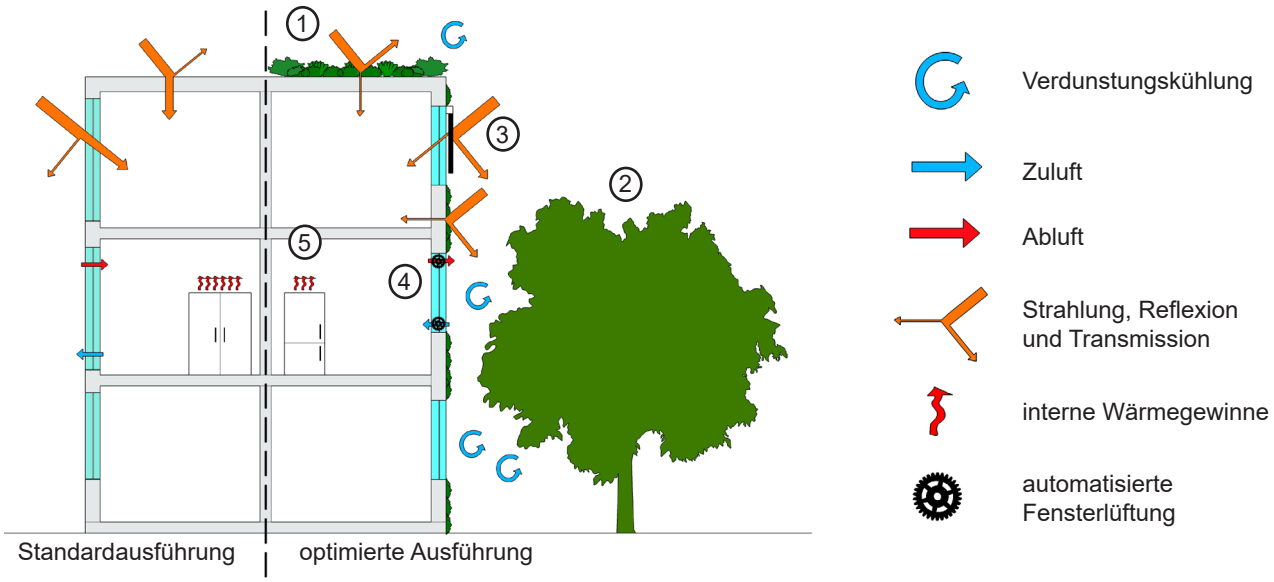


Abb. 31 Gebäudeausführung: Standardausführung (links); optimierte Ausführung durch passive Maßnahmen, die zur Senkung des potenziellen Kühlbedarfs beitragen (rechts)

① Gründächer und Fassadenbegrünungen reduzieren den Wärmedurchgang durch die Fassade und tragen zur Verdunstungskühlung bei.

② Großbäume liefern neben der Verdunstungkühlung große Verschattungsflächen auf die Gebäudehülle und reduzieren somit den Kühlenergiebedarf.

③ Fassadenflächen, die nicht von Großbäumen verschattet werden können (zum Beispiel in höheren Geschossen), sollten Beschattungssysteme (zum Beispiel außen liegende Jalousien) erhalten. Diese reduzieren die Sonneneinstrahlung durch die Fenster und somit auch den Wärmeeintrag im Innenraum.

④ Die Automatisierung des Lüftungssystems (zum Beispiel Fensterfalzlüfter) tragen zu einem effizienten Luftaustausch bei.

⑤ Energieeffiziente Geräte geben weniger Wärme in den Innenraum ab und verringern somit den potenziellen Kühlbedarf.

SANIERUNG EINES BESTANDSQUARTIERS BEI GLEICHBLEIBENDER GEBÄUDEKUBATUR

Die wärmeübertragende Umfassungsfläche der betrachteten Wohngebäude ist nach KfW-55-Standard gedämmt, wobei alle Dachgeschosse nach Sanierung beheizt und Kellergeschosse nicht beheizt werden. Die Fenster sind komplett erneuert. Zusätzlich werden die bisherigen konventionellen Wärmeerzeuger durch eine erneuerbare Energieversorgung ersetzt (Fernwärmeanschluss mit Fußbodenheizung und Solarthermie für Trinkwarmwasser).

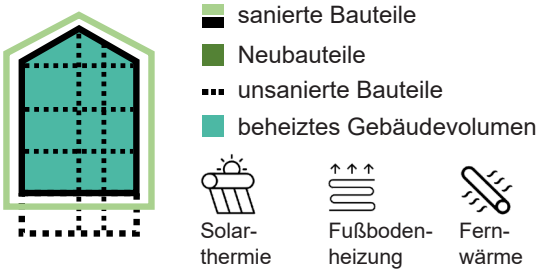


Abb. 32 schematische Darstellung des Sanierungsszenarios

Thermischer Komfort innen

Die Wirkung passiver Maßnahmen sollte bereits in der Planungsphase berücksichtigt werden; dadurch lässt sich der thermische Innenraumkomfort deutlich steigern.

Heizwärmebedarf

- Der Heizwärmebedarf kann durch Sanierung auf Niedrigstenergiestandard signifikant reduziert werden.
- Die Senkung des Heizenergiebedarfs ist eine wichtige Stellschraube zur Emissionsreduktion, auch unter Berücksichtigung zukünftiger Klimaveränderungen.

Kühlenergiebedarf

Klimaveränderungen lassen Kühlenergiebedarfe bis 2070 um bis zu 55 % gegenüber heute steigen. Passive Maßnahmen vermeiden zusätzlichen Kühlenergiebedarf, der zum Beispiel durch elektrisch betriebene Klimaanlagen gedeckt werden müsste (Reduktion um bis zu 65 % erreichbar).

Ökologische Lebenszyklusanalyse

Baukonstruktion (BauKo)

- Maßgebende Treiber der Umweltwirkungen der BauKo sind Dach-, Außenwand- und Fenstersanierung.
- Außenwände haben einen hohen Gesamtflächenanteil und ein hohes Optimierungspotenzial.
- Fenster besitzen hohe spezifische Umweltwirkungen je m² Bauteil.
- Bei geringer Geschossanzahl ist die ökologische Qualität der Dachausführung relevant.
- Thermische Verwertung von Holz(werkstoffen) führen zu hohem GWP am Lebensende (siehe S. 28).

Technische Gebäudeausrüstung (TGA)

- Maßgebende Treiber der Umweltwirkungen der TGA sind Wärmeerzeuger und Fußbodenheizung.
- Der Einsatz erneuerbarer Energiesysteme steigert die energetische, emissions- und kostenbezogene Effizienz von Gebäuden.

Betrieblicher Energiebedarf für Heizen

- Die Umweltwirkungen des betrieblichen Energiebedarfs haben den größten Einfluss auf das Gesamtergebnis.
- Der Einsatz erneuerbarer Energien mit geringen Primärenergiefaktoren senkt nicht nur die Primärenergiebedarfe in der Nutzungsphase, sondern auch signifikant deren GWP-Anteil am gesamten Lebenszyklus.

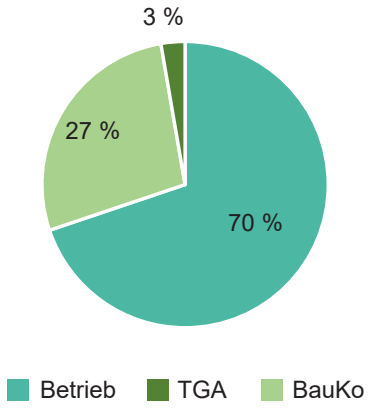


Abb. 33 durchschnittliche Verteilung des lebenszyklusbasierten GWP: betrieblicher Energiebedarf, BauKo und TGA

Fazit

- Die BauKo und TGA verursachen jeweils rund ein Drittel des lebenszyklusbasierten GWP (Abb. 33) und des erneuerbaren Primärenergiebedarfs.
- Aus ökologischer Sicht ist eine Gebäudesanierung einem Ersatzneubau in jedem Fall vorzuziehen.

SANIERUNG EINES BESTANDSQUARTIERS MIT AUFSTOCKUNG UM ZWEI GESCHOSSE IN HOLZRAHMENBAUWEISE

Die Wohngebäude werden energetisch saniert (im KfW-55-Standard) und um zwei Geschosse in Holzrahmenbauweise aufgestockt (in Passivhausstandard). Das Kellergeschoss ist unbeheizt. Die Bestandsfenster werden komplett erneuert. Zusätzlich erfolgt der Ersatz des bisherigen konventionellen Wärmeerzeugers durch eine erneuerbare Energieversorgung (Fernwärmeanschluss mit Fußbodenheizung und Solarthermie für Trinkwarmwasser).

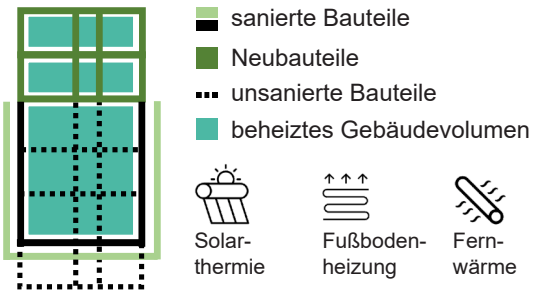


Abb. 34 schematische Darstellung des Sanierungsszenarios

Thermischer Komfort innen

Die Holzrahmenbauweise weist gegenüber dem Massivbau eine niedrigere Wärmespeicherkapazität auf, wodurch sich die Innentemperatur schneller an die Außentemperatur angleicht. Eine hohe Wärmespeicherkapazität der Konstruktion kann die Überhitzungsgefahr tagsüber reduzieren.

Heizwärmebedarf

- Durch das geringere Oberflächen-Volumen-Verhältnis (A/V-Verhältnis) des Gebäudes und die energetische Sanierung der BauKo und TGA (höhere Effizienz der Anlagen) lässt sich der Heizenergiebedarf signifikant senken.
- Durch die Klimaänderung ergibt sich ein geringerer Heizwärmebedarf.

Kühlenergiebedarf

Der Anteil des Kühlenergiebedarfs kann sich durch die Klimaveränderung im Gegensatz zum Heizenergiebedarf um bis zu 5 % erhöhen.

Ökologische Lebenszyklusanalyse

Baukonstruktion (BauKo)

- Durch die Sanierung mit Aufstockung können die Umweltwirkungen je m² Wohnfläche gegenüber einem Neubau geringgehalten werden.
- Maßgebenden Einfluss haben die Fenstersanierung, die Außenwände und das neue Flachdach.
- Bei steigender Geschosszahl steigt der Flächenanteil der Innenwände und Geschossdecken und somit deren Einfluss auf die Umweltwirkungen.

Technische Gebäudeausrüstung (TGA)

Die Heizlast der Gebäude sinkt trotz der Aufstockung und des dadurch gestiegenen Gebäudevolumens und der Wohnfläche aufgrund des hohen energetischen Standards. Das hat geringer dimensionierte TGA-Komponenten zur Folge, was sich positiv auf den Bedarf an grauen Energien und Emissionen auswirkt.

Betrieblicher Energiebedarf für Heizen

Trotz Aufstockung sinkt wegen der energetischen Sanierung der Gebäudehülle und des Einsatzes erneuerbarer Energiesysteme der absolute Energiebedarf im Vergleich zum Ausgangszustand.

Fazit

Die graue Energie (PET) und die grauen Emissionen (GWP), die für die Herstellung, Nutzung und Entsorgung der BauKo und TGA anfallen, können 23 bis 58 % des Gesamtenergiebedarfs bzw. 13 bis 41 % der Gesamtemissionen über den Lebenszyklus hinweg betragen (Abb. 35).

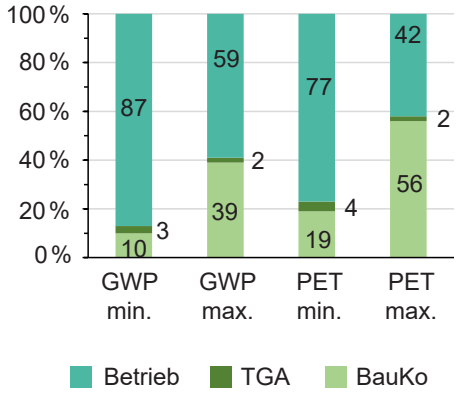


Abb. 35 Anteile BauKo, TGA und betrieblicher Energiebedarf an grauer Energie (PET) und grauen Emissionen (GWP)

GUTSCHRIFTEN FÜR HOLZ UND HOLZWERKSTOFFE

Standardmäßig wird von einer energetischen Verwertung von Holz und Holzwerkstoffen am Ende des Lebenszyklus (engl. End of Life – EoL) ausgegangen. Das bedeutet, dass der im Holz gebundene Kohlenstoff bei der Verbrennung in Form von CO_2 wieder freigesetzt wird. Das lässt Holzbauweisen in der Lebenszyklusbilanz im Vergleich zu Massivbauweisen wie Stahlbeton zunächst nicht unmittelbar besser dastehen. Jedoch ersetzt die energetische Verwertung von Holz und Holzwerkstoffen fossile Energieträger und ist zudem ein erneuerbarer beziehungsweise nachwachsender Energielieferant.

Wird das Bauholz am Ende seines Lebenszyklus weiterverwendet und nicht thermisch verwertet (Kaskadennutzung), bleibt der Kohlenstoff sogar langfristig gebunden. Diesen gebundenen Kohlenstoff kann man in der Bilanzierung somit als Kompensationsmaßnahme beziehungsweise als Gutschrift für andere Baukonstruktionen heranziehen. Die Recycling-, Wiederverwendungs- und Wiederverwertungspotenziale werden bei einer Ökobilanzierung in der Regel separat ausgewiesen und berücksichtigt.

EINSATZ ERNEUERBARER ENERGIEN

Der Einsatz erneuerbarer Energiesysteme für die Raumheizung und -kühlung sowie zur Trinkwarmwasserbereitung sorgt für viele positive energetische und ökologische Effekte. Die Systeme nutzen nämlich regenerative Energiequellen wie etwa Solarenergie, Umweltwärme oder nachwachsende Rohstoffe. Das führt unter anderem dazu, dass die Systeme mit weniger Einsatz an konventionellen Energiequellen (zum Beispiel deutscher Strommix zum Betrieb von Wärmepumpen) auskommen und folglich weniger Emissionen durch die Nutzung konventioneller Energiequellen in die Umwelt entlassen werden. Zudem lassen sich diese Systeme in den meisten Fällen kostengünstiger betreiben, da die regenerativen Energiequellen kostenfrei von der Umwelt zur Verfügung stehen. In Kombination mit modernen TGA-Komponenten zur Wärmespeicherung, -verteilung und -übergabe führt das in Summe, bezogen auf die Energie, die Emissionen und Kosten, zu einem effizienteren Betrieb von Gebäuden mit erneuerbaren Energiesystemen.

Abb. 36 Baumaterial Holz

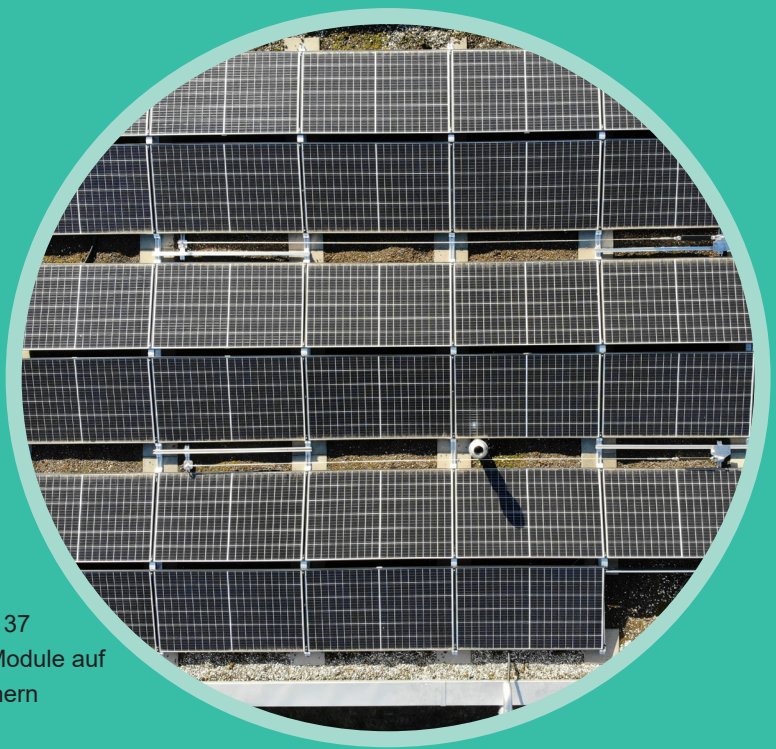


Abb. 37
PV-Module auf Dächern

NEUBAU IN BESTANDSGEBIETEN ODER AUF EINER FREIFLÄCHE IN HOLZBAUWEISE

Bestehende Wohngebäude werden abgerissen. Auf gleicher Grundfläche oder einer Freifläche entstehen neue Wohngebäude mit Nachverdichtungspotenzial. Die Neubauten sind in Holzbauweise errichtet, nach Passivhausstandard gedämmt und erhalten ein Flachdach (zum Beispiel mit intensiver Dachbegrünung). Die bisherigen konventionellen Wärmeerzeuger werden durch eine erneuerbare Energieversorgung (Fernwärme-anschluss mit Fußbodenheizung und Solarthermie für Trinkwarm-wasser) ersetzt.

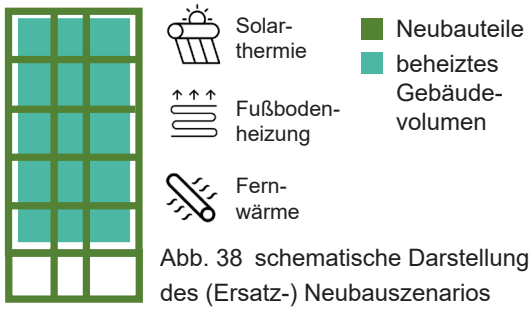


Abb. 38 schematische Darstellung des (Ersatz-) Neubauszenarios

Thermischer Komfort innen

Fehlt ein Großbaumbestand oder ist der Erhalt nicht möglich, sollten vor allem ein außen liegender Sonnenschutz und andere passive Maßnahmen in die Planung integriert werden. Dabei spielen etwa die Fenstergröße oder die Orientierung des Gebäudes eine wichtige Rolle.

Heizwärmebedarf

- Ein Niedrigstenergiestandard in Kombination mit einer erneuerbaren Energieversorgung reduziert nicht nur den Heizenergiebedarf signifikant, sondern auch die grauen Emissionen der TGA.
- Die Integration der passiven Maßnahmen in die Planung, besonders bei transparenter Gebäudehülle, kann zu zusätzlichen Einsparungen beim Heizwärmebedarf führen.

Kühlenergiebedarf

Passive Maßnahmen reduzieren den potenziell erforderlichen Kühlenergiebedarf deutlich.

Ökologische Lebenszyklusanalyse

Baukonstruktion (BauKo)

- Ein Holzrahmenbau führt im Vergleich zum Holzmassivbau ohne Berücksichtigung von Gutschriften zu geringeren Umweltwirkungen.
- Massiv ausgeführte Kellergeschosse besitzen im Holzbau immer noch einen merklichen Einfluss auf das GWP (durchschnittlich 23 %); Tiefgaragen und die Berücksichtigung von Gutschriften für Holz erhöhen den Anteil massiver Kellergeschosse weiter.
- Die Umweltwirkungen eines Gebäudeabrisses dürfen nicht vernachlässigt werden (Abb. 39).
- Die ökologischen Vorteile von intensiven Dachbegrünungen sind aktuell noch nicht bilanziell erfassbar, aber von Nutzer:innen deutlich wahrnehmbar (siehe Maßnahme Dachgarten auf S. 18).

Technische Gebäudeausrüstung (TGA)

Der Einsatz von Fernwärme sorgt durch den geringen Primärenergiefaktor und die geringen Emissionswerte für eine deutliche Reduktion des Primärenergiebedarfs und der Emissionen für Heizen und Trinkwarmwasser.

Betrieblicher Energiebedarf für Heizen

Durch den erzielten Passivhausstandard sinkt der Energiebedarf deutlich im Vergleich zum Ausgangszustand. In Bezug auf die Primärenergie ist das im Speziellen auf den niedrigen Primärenergiefaktor der Fernwärme in München zurückzuführen.

Fazit

Durch einen ökologisch und energetisch optimierten Holzneubau auf Freifläche lässt sich der graue Anteil der BauKo und TGA am gesamten GWP auf 8 bis 26 % reduzieren, wenn zusätzlich die Recycling- und Wiederverwertungspotenziale der BauKo berücksichtigt werden. Beim Massivbau liegen hier die Anteile bei 24 bis 43 %, wobei das GWP des Betriebs in beiden Fällen gleich ist.

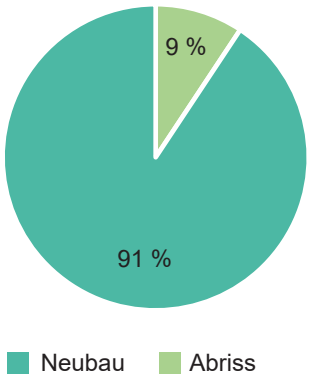


Abb. 39 durchschnittlicher Anteil Abriss Bestandsgebäude und Neubau in Holzbauweise am lebenszyklusbasierten GWP der BauKo

NEUBAU IN BESTANDSGEBIETEN ODER AUF EINER FREIFLÄCHE IN MASSIVBAUWEISE

Bestehende Wohngebäude werden abgerissen. Auf gleicher Grundfläche oder einer Freifläche entstehen neue Wohngebäude mit Nachverdichtungspotenzial. Die Neubauten sind in Massivbauweise errichtet, nach Passivhausstandard gedämmt und erhalten ein Flachdach (z. B. mit intensiver Dachbegrünung). Die bisherigen konventionellen Wärmeerzeuger werden durch eine erneuerbare Energieversorgung ersetzt. Dabei werden zwei Szenarien der Wärmeversorgung untersucht: ein Fernwärmeanschluss sowie eine Sole–Wasser–Wärmepumpe, jeweils mit Fußbodenheizung und Solarthermie für Trinkwarmwasser.

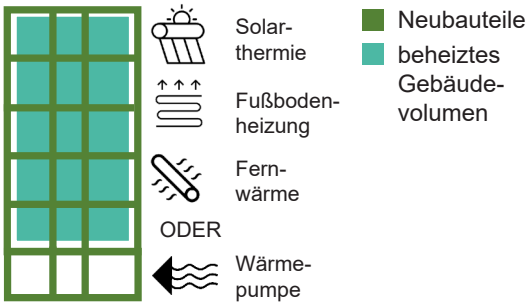


Abb. 40 schematische Darstellung des (Ersatz-) Neubauszenarios

Thermischer Komfort innen

Die Massivbauweise ist aufgrund ihrer hohen Wärmespeichermasse an sich eine passive Maßnahme, die zur Minderung des Überhitzungsrisikos beitragen kann.

Heizwärmebedarf

Die Wärmepumpe hat im Vergleich zur Fernwärme einen besseren Wirkungsgrad bei der Bereitstellung der Heizwärme. Hierdurch ergibt sich bei der Variante mit Wärmepumpe weniger Endenergiebedarf für Heizen und Trinkwarmwasser.

Kühlenergiebedarf

Die Massivbauweise gibt aufgrund ihrer Wärmespeichermasse die Tageshitze nachts in den Innenraum ab; nutzerunabhängige Lüftungskonzepte wie gering technisierte Lüftungssysteme verringern hier den Kühlenergiebedarf.

Ökologische Lebenszyklusanalyse

Baukonstruktion (BauKo)

- Mauerwerk weist gegenüber Stahlbeton geringere Umweltwirkungen auf.
- Bei der Massivbauweise ist auf ökologische Optimierungsmöglichkeiten zu achten (zum Beispiel Materialverbrauch).
- Treibende Bauteile sind die Außenwände, Innenwände und Geschossdecken; je höher die Gebäude sind, umso mehr treten diese in den Vordergrund (wachsender Flächenanteil).

Technische Gebäudeausrüstung (TGA)

- Die Wärmeversorgungsvariante mit Wärmepumpe führt gegenüber der Versorgung mit Fernwärme zu höheren Grauen Energien und Emissionen: die PET in den Phasen A1–A3, B4, C3 und C4 ist um 46 % höher, das GWP um 44 %.
- Trotz deutlich geringerer Effizienz der Fernwärme im Betrieb im Vergleich zur Wärmepumpe liegt die PET für die Wärmeversorgungsvariante mit Fernwärme unter dem der Variante mit Wärmepumpe. Das liegt an dem deutlich geringeren Primärenergiefaktor für Fernwärme im Vergleich zum deutschen Strommix, der für den Betrieb der Wärmepumpe benötigt wird.
- Die Emissionswerte für Fernwärme liegen ebenfalls deutlich unter denen für den deutschen Strommix.
- Primärenergiefaktoren und Emissionswerte (zum Beispiel pro Kilowattstunde Fernwärme) müssen regional- und projektspezifisch angepasst werden.

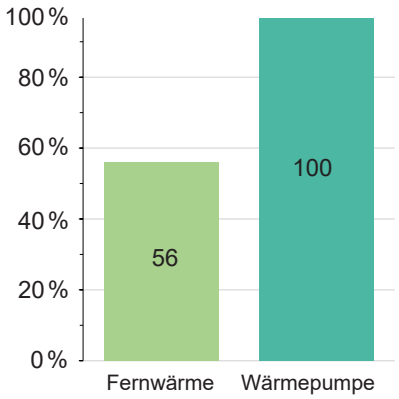


Abb. 41 prozentualer Vergleich des GWP bei den Wärmeversorgungsvarianten Fernwärme und Wärmepumpe

Betrieblicher Energiebedarf für Heizen

Durch den vermehrten Einsatz erneuerbarer Energien im Quartier (zum Beispiel Eigenstromnutzung durch PV-Flächen) können die Emissionen in der Nutzungsphase weiter reduziert werden.

Fazit

Eine klimaneutrale Massivbauweise kann mithilfe von weiteren Kompensationsmaßnahmen erreicht werden (zum Beispiel Finanzierung von nachhaltigen Wiederaufforstungsprojekten oder Grünerhalt im Quartier).

SYNERGIEN ZWISCHEN GRÜNEN UND GRAUEN MASSNAHMEN

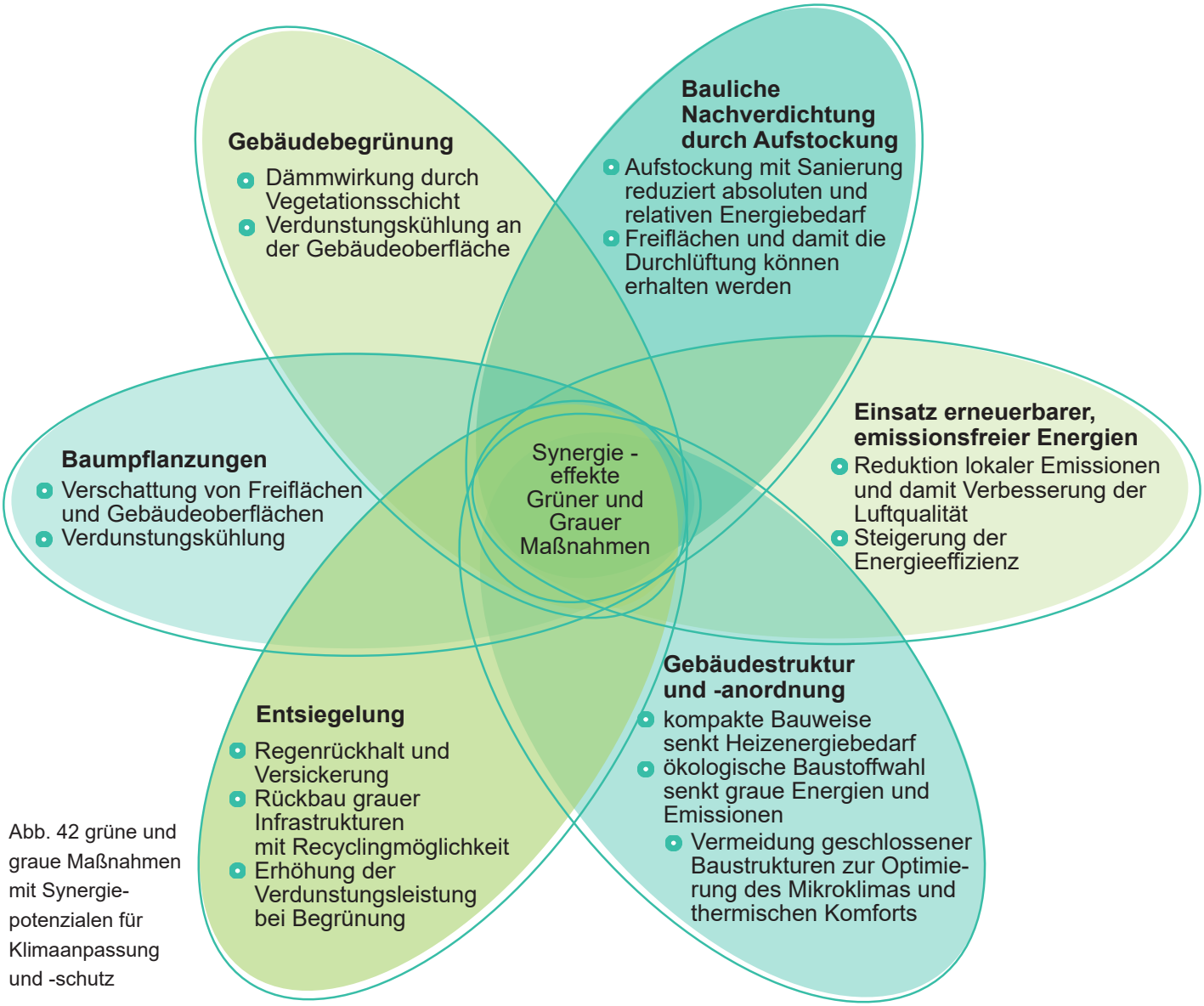


Abb. 42 grüne und graue Maßnahmen mit Synergiepotenzialen für Klimaanpassung und -schutz

Die auf S. 15–30 vorgestellten grünen und grauen Maßnahmen sind nicht isoliert zu betrachten, sondern bieten bei einer geschickten Kombination Synergieeffekte für eine klimaresiliente Quartiersentwicklung sowie das Erreichen von Klimaschutz- und Klimaanpassungszielen. Deshalb sollten sie von Beginn an immer gemeinsam geplant werden (siehe S. 34f.). Die Synergieeffekte lassen sich optimal ausschöpfen, wenn Maßnahmen berücksichtigt werden, die mehrere Ziele gleichzeitig verfolgen. Beispiele für diese multifunktionalen Maßnahmen sind in Abb. 42 zusammengefasst. Die Einzelkriterien, die durch die grünen und grauen Maßnahmen verbessert werden, kann man den Maßnahmenblättern entnehmen (S.15ff.). Dazu zählen Klimaschutzeffekte (Bedarfsreduktion, Effizienzsteigerung) sowie die Steigerung von thermischen Komfort im Innen- und Außenbereich.

WEITERE INFORMATIONEN ZU POTENZIELLEN SYNERGIEN

Veröffentlichung des Projekts netWORKS: Trapp & Winker (2020). Blau-grün-graue Infrastrukturen vernetzt planen und umsetzen: Ein Beitrag zur Klimaanpassung in Kommunen. https://repository.difu.de/jspui/bitstream/difu/281578/1/20200507_Sonderveroeffentlichung%20netWORKS4.pdf

ERKENNTNISSE AUS DER MODELLKOPPLUNG ZWISCHEN GRAUEN UND GRÜNEN MASSNAHMEN AM BEISPIEL DES REALLABORS MOOSACH

Klima heute und 2070

Die verschiedenen Nachverdichtungs- und Sanierungsszenarien (KfW 55- und Passivhausstandard) werden für das aktuelle Klima und ein zukünftiges Klimaszenario untersucht, das nach dem fünften Sachstandsbericht des Weltklimarats (IPCC) auf gemäßigt optimistischen Klimaschutzentwicklungen basiert (RCP4.5). Abb. 43 und 44 zeigen den simulierten Nutzenergiebedarf für Kühlen und Heizen in jedem Szenario des untersuchten Quartiers in Moosach. Die Ergebnisse belegen, dass bei höheren Energiestandards der Anteil des potenziellen Kühlbedarfs am Gesamtenergiebedarf durch den Klimawandel steigt. In diesen Szenarien wird der Einfluss der Vegetation nicht berücksichtigt.

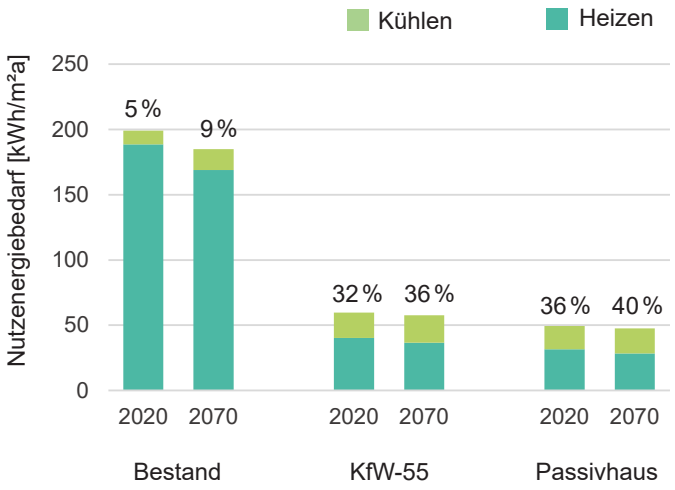


Abb. 43 mittlerer Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen pro Jahr und prozentualer Anteil des Kühlbedarfs einer Nachverdichtung nach KfW-55- und Passivhausstandard im Reallabor Moosach

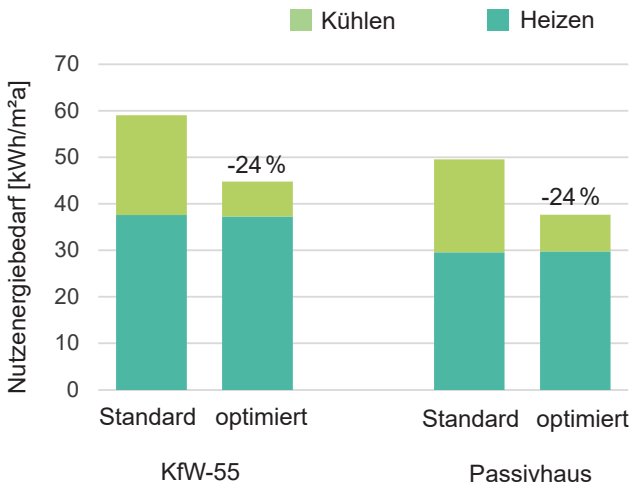


Abb. 44 Reduktion des Nutzenergiebedarfs für Heizen und Kühlen durch Klimaanpassung der Nachverdichtungs-konzepte für das Jahr 2070

Standard und optimierte Ausführung

Drei verschiedene passive Anpassungsmaßnahmen wurden kombiniert, um die Standardausführung zu optimieren:

- Beibehalten der aktuellen Vegetation (Baumbestand)
- natürliche Belüftung durch eine automatisierte Lüftungsanlage
- automatisierte Beschattungsanlage

Die Auswahl der Maßnahmen erfolgte so, dass der Einfluss des Nutzerverhaltens minimiert wird und damit das maximale Potenzial der ausgewählten passiven Maßnahmen für das zukünftige Klima im Jahr 2070 ausgeschöpft werden kann. Abb. 44 demonstriert das Potenzial der optimierten Ausführung im Stadtteil Moosach.

BEDEUTUNG DES STELLPLATZSCHLÜSSELS FÜR KLIMARESILIENTE STADTQUARTIERE

Der Stellplatzschlüssel ist ein wichtiger Ansatzpunkt für dichte und grüne Quartiere. Auch wenn Gebäude nur aufgestockt werden, findet durch die Notwendigkeit, Stellplätze für den neu geschaffenen Wohnraum herzustellen, eine zusätzliche Flächenversiegelung statt. In den Bauordnungen, etwa von Bayern und Baden-Württemberg, ist je Wohneinheit ein Stellplatz vorgesehen, unabhängig davon, ob sich die Wohnung auf dem Land oder in der Großstadt befindet. Dies verursacht einen erheblichen Flächenbedarf für den individuellen Automobilverkehr, vor allem in der Stadt.

Tiefgaragen stellen aus mehreren Gründen keine Lösung für das Stellplatzproblem dar:

- erhöhte Kosten für Planung, Umsetzung und Wartung.
- Geringere Flächeneffizienz als bei oberirdischen Stellplätzen (11,5 m² je Stellplatz oberdisch, 27 m² je TG-Stellplatz; Lehmbrock & Uricher 2009).
- Keine Eignung zur Bepflanzung mit klimawirksamen Großbäumen aufgrund der Wartungsintervalle; anspruchsvoller Standort für Baumpflanzungen.
- Die große Masse an Stahlbeton für den Bau von Tiefgaragen führt lebenszyklusbasiert zu hohen Aufwänden an grauen Energien und Emissionen.

Abb. 45 Baumpflanzung im Innenhof über einer Tiefgarage

Eine Reduzierung des Stellplatzschlüssels in gut angebundenen Stadtvierteln ermöglicht dagegen dichte und zugleich grüne Quartiere, erhöht die Sicherheit für Fußgänger:innen sowie Radfahrer:innen durch einen verringerten Durchgangverkehr und steigert die Attraktivität und Nutzbarkeit des Straßenraums für Bewohner:innen. Mobilitätskonzepte mit Sharingangeboten, Quartiersgaragen oder Parktürme stellen weitere mögliche Handlungsansätze dar.

Abb. 46 Platzbedarf für Stellplätze in der Münchner Innenstadt

ERFORDERNISSE IN DER PLANUNG VON GRÜNEN UND GRAUEN MASSNAHMEN

Klimarelevante Themen frühzeitig in die Planung einbringen

Essenziell für eine erfolgreiche Gestaltung klimaresilienter Quartiere ist die möglichst frühe Einbeziehung von Klimaanpassung und -schutz in der Planung. Unabhängig von Maßstab und Instrument sollten diese Maßnahmen von Beginn an berücksichtigt, geprüft und als wichtiger Bestandteil der städtebaulichen Rahmenbedingungen festgelegt werden. Je früher dies erfolgt, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass klimarelevante Maßnahmen auch umgesetzt werden.
Auch der Unterhalt der Maßnahmen sollte frühzeitig in der Planung berücksichtigt sein, um ihre Leistungsfähigkeit zu erhalten.

Broschüre 1

Flächenverfügbarkeit sicherstellen

Der Nutzungsdruck auf noch verfügbare Flächen in wachsenden Städten ist sehr groß. Es gilt hier verschiedene Raumansprüche zu erfüllen, unter anderem für Wohnraum, Verkehrsflächen und Freiräume, aber auch für Klimaanpassung und Klimaschutz. Die frühzeitige Kommunikation von Flächenbedarfen für grüne und graue Maßnahmen sowie deren Sicherstellung während der Planungen ist für eine erfolgreiche Umsetzung von großer Bedeutung.

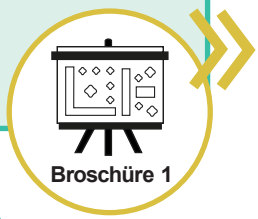
Multifunktionalität fördern

Da Raum in wachsenden Städten eine knappe Ressource ist, stellen Flächen, die sich mehrfach nutzen lassen, einen großen Vorteil dar. Grüne Infrastruktur in Stadtvierteln kann je nach Ausgestaltung nicht nur Hitzestress- und Starkregen regulieren, sondern auch einen Erholungs- und Begegnungsraum schaffen, Schadstoffe aus Luft und Wasser filtern, zur Nahrungsproduktion dienen sowie Biodiversität- und Artenvielfalt stärken. Um solche Synergien voll auszuschöpfen, sind multifunktionale Nutzungsmöglichkeiten in der Planung früh zu berücksichtigen.

Abb. 47 Frühzeitige und integrative Herangehensweisen in der Planung als zentrale Stellschrauben in der Planung

In Planungsverfahren integrieren

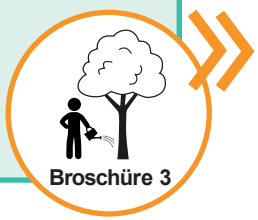
Jedes Verfahren bzw. jedes Instrument bietet verschiedene Möglichkeiten, Klimaanpassung durch grüne und graue Maßnahmen in die Planungsprozesse zu integrieren. Aber auch hier gilt: je früher Klimabelange in jedem einzelnen Prozess berücksichtigt werden, desto erfolgversprechender das Ergebnis. Häufig erweist sich jedoch bereits die Grundlagenermittlung als die entscheidende Weichenstellung. Diese frühe Phase ist wichtig, reicht aber nicht aus: die konsistente Berücksichtigung der Klimabelange während des gesamten Verfahrens spielt ebenso eine wichtige Rolle. Ansonsten besteht die Gefahr, dass die klimaorientierten Zielsetzungen im Laufe der Zeit „aufgeweicht“ werden oder im Prozess der städtebaulichen Abwägung sogar ganz aus dem Fokus geraten.



Bedürfnisse von Nutzergruppen durch verschiedene Arten von Grün berücksichtigen

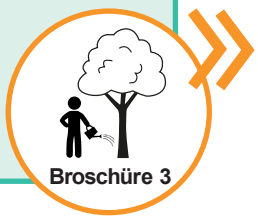
In der wachsenden Stadt im Klimawandel nimmt für die Bevölkerung vor allem die Bedeutung von Grün- und Freiflächen zur Anpassung an urbanen Hitze- und Dichtestress zu. Dabei erfüllen verschiedene Arten von Grün verschiedene Funktionen:

- In größeren öffentlichen Grünflächen ist der wahrgenommene Hitzestress am geringsten. Diese sind für die Stadtbevölkerung wichtige Ressource, um mit Hitze umzugehen und dem urbanen Dichtestress auszuweichen.
- Auch kleinere, öffentliche oder halböffentliche Grünflächen können dem Ausgleich von urbaner Hitze und Dichte dienen, wenn sie attraktiv gestaltet sind. Besonders in dichten Quartieren bieten sie weniger mobilen Personen wertvolle Rückzugsräume und Erholungsmöglichkeiten.
- Selbst einzelne Begrünungsmaßnahmen wie Straßenbäume, Fassadenbegrünung oder Pflanzkübel unterstützen die Bevölkerung bei der Anpassung an urbane Hitze und Dichte, indem sie die Aufenthaltsqualität erhöhen und Stress reduzieren.
- Wohnungsnahes Grün ist besonders wichtig für weniger mobile Personen, denen kaum alternative Ressourcen zur Anpassung zur Verfügung stehen (zum Beispiel aufgrund der finanziellen Situation, hoher Arbeitsbelastung, wenig Zeit, gesundheitlicher Einschränkungen oder fehlendem lokalen Wissen).



Über Umsetzungsmöglichkeiten inklusive finanzieller Anreize informieren

Eine gute Grünausstattung im Quartier wird auch durch das Engagement privater Akteur:innen unterstützt (zum Beispiel Hauseigentümer:innen, Bewohner:innen, nachbarschaftliche Initiativen). Diesen Akteur:innen stehen verschiedene Finanzierungs- und Unterstützungsmöglichkeiten zur Verfügung, etwa Förderungen durch die öffentliche Hand, Nutzung von Crowdfunding-Plattformen oder eingesparte Regenwassergebühren für Grundstücksbesitzer, aber auch Beratungsangebote oder die Hilfe bei der Gründung eines Vereins. Darüber hinaus lassen sich eine Reihe von Formaten gezielt dazu nutzen, um diese verschiedenen Akteurs-Gruppen effektiv zu aktivieren.



SCHLUSSFOLGERUNGEN UND FAZIT

- Durch die gemeinsame Betrachtung von grüner und grauer Infrastruktur bei der Energiebedarfsberechnung lässt sich der positive Verschattungseinfluss von Großbäumen quantifizieren. Denn neben effektiver Belüftung des Innenraums senkt gebäudenahe Begrünung durch Verschattung das Überhitzungsrisiko und den potenziellen Kühlenergiebedarf an heißen Sommertagen.

- Eine grüne Stadt der Zukunft beginnt mit der Reduktion der Emissionen sowie der stofflichen und energetischen Ressourceneinsätze. Ökobilanzierungen sollten zukünftig früh in den Planungsprozess integriert werden, um Optimierungspotenziale identifizieren und quantifizieren zu können.

- Eine Kombination aus klein- und großräumigen grünen Maßnahmen ist notwendig für eine effektive Klimaanpassung in wachsenden Städten.

- Der Altbaumbestand erfüllt eine wichtige mikroklimatische Funktion, die Neupflanzungen nur langfristig ersetzen können.

- Konzepte zur Steuerung des ruhenden und fließenden Verkehrs sind notwendig für Klimaanpassung, Erhalt und Erweiterung der grünen Infrastruktur.

- Der Erhalt und die Verbesserung der Durchlüftung auf Quartiersebene, zum Beispiel durch die Freihaltung von Kaltluftleitbahnen, spielt für die nächtliche Abkühlung eine wichtige Rolle.

- Der zielgerichtete Einsatz von grünen und grauen Maßnahmen kann die negativen Folgen von Nachverdichtung kompensieren. Multifunktional geplante und umgesetzte Maßnahmen leisten einen besonders hohen Beitrag zur Klimaanpassung.

Abb. 48 Zukunftsbild grüne Stadt

LITERATUR

BMUB (Hrsg.): Bewertungssystem nachhaltiges Bauen (BNB): Büro- und Verwaltungsgebäude – Ökologische Qualität – Wirkungen auf die globale Umwelt – Treibhausgaspotential (GWP). 2015. Online verfügbar: https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/steckbriefe/verwaltungsgebaeude/neubau/v_2015/BNB_BN2015_111.pdf

BBSR (Hrsg.): Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). 2017. Zuletzt abgerufen am 22.04.2021 von https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/Nutzungsdauer_Bauteile/BNB_Nutzungsdauern_von_Bauteilen_2017-02-24.pdf

Besir, A. B.; Cuce, E.: Green roofs and facades: A comprehensive review. In Renewable and Sustainable Energy Reviews 82, S. 915–939. 2018. DOI: 10.1016/j.rser.2017.09.106.

Bundesregierung: Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie – Aktualisierung 2018. 2018. Zuletzt abgerufen am 30.06.2021 von https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/publikationen/deutsche-nachhaltigkeitsstrategie-aktualisierung-2018-1559086

Brune, M., Bender, S., Groth, M.: Gebäudebegrünung und Klimawandel. Anpassung an die Folgen des Klimawandels durch klimawandeltaugliche Begrünung. Report 30. Climate Service Center. Hamburg. 2017

Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie: Aktualisierung 2018. Berlin. 2018. Online verfügbar: www.deutsche-nachhaltigkeitsstrategie.de

DIN 4108-2:2013-02: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden: Teil 2 – Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. https://dx.doi.org/10.31030/1929159

DIN EN ISO 14040:2021-02: Umweltmanagement: Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006 + Anm 1:2020); Deutsche Fassung EN ISO 14040:2006 + A1:2020. https://dx.doi.org/10.31030/3179655

DIN EN ISO 14044:2021-02: Umweltmanagement: Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006 + Anm 1:2017 + Anm 2:2020). Deutsche Fassung EN ISO 14044:2006 + A1:2018 + A2:2020. https://dx.doi.org/10.31030/3179656

DIN EN 15804:2020-03: Nachhaltigkeit von Bauwerken: Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012+A2:2019. https://dx.doi.org/10.31030/3054172

DIN EN 15978:2012-10: Nachhaltigkeit von Bauwerken: Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode; Deutsche Fassung EN 15978:2011. https://dx.doi.org/10.31030/1917049

DIN V 18599-1:2018-09: Energetische Bewertung von Gebäuden: Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger. https://dx.doi.org/10.31030/2874317

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V (FLL): Dachbegrünungsrichtlinien. Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von Dachbegrünungen. 6. Ausgabe. Bonn. 2018

Hansen, R., Rolf, W., Pauleit, S., Born, D., Bartz, R., Kowarik, I., Lindschulte, K. & Becker, C. W.: Urbane Grüne Infrastruktur. Grundlage für attraktive und zukunftsfähige Städte. Hinweise für die kommunale Praxis. Bonn: Bundesamt für Naturschutz. 2017

Ketterer, C., Matzarakis, A.: Human-biometeorological assessment of heat stress reduction by replanning measures in Stuttgart, Germany. In: Landscape and Urban Planning 122, S. 78–88. 2014. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2013.11.003.

Lehmbrock, M.; Uricher, M.: Pilotvorhaben Parkhäuser und Park-and-Ride. Ergebnisbericht zum Arbeitspaket 2 im Forschungs-und Entwicklungsvorhaben „ParkenBerlin“. Berlin. 2009. Online verfügbar: https://difu.de/sites/difu.de/files/bericht_difu_parkhaeuser_0.pdf

Pauleit, S.; Liu, L.; Ahern, J.; Kazmierczak, A.: Multifunctional Green Infrastructure Planning to Promote Ecological Services in the City. – In: J. Niemelä (Hrsg.), Urban Ecology. Patterns, Processes, and Applications (S. 272–285). Oxford: Oxford University Press. 2011

Rahman, M.: Comparing the cooling benefits of different urban tree species at contrasting growth conditions. In: Gesellschaft für Ökologie e.V. (Hrsg.): Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Band 46. Jahrestagung der Gesellschaft für Ökologie, 5.–9. Görich & Weiershäuser, Marburg, S. 367–368. 2016

Tichelmann, K.U.; Groß, K.; Günther, M.: Deutschlandstudie 2015. Wohnraumpotenziale durch Aufstockungen. 2016. Online verfügbar: https://www.baustoffindustrie.de/fileadmin/user_upload/bbs/Dateien/Downloadarchiv/Bauwirtschaft/Aufstockung_Langfassung.pdf

Umweltbundesamt: Siedlungs- und Verkehrsfläche. 2021 Online verfügbar: https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/siedlungs-verkehrsflaeche#anhaltender-flachenverbrauch-fur-siedlungs-und-verkehrszwecke

Verein deutscher Ingenieure: Umweltmeteorologie: Lokale Kaltluft, Richtlinie 3787, Blatt 5. 2008. https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-3787-blatt-5-umweltmeteorologie-lokale-kaltluft-1

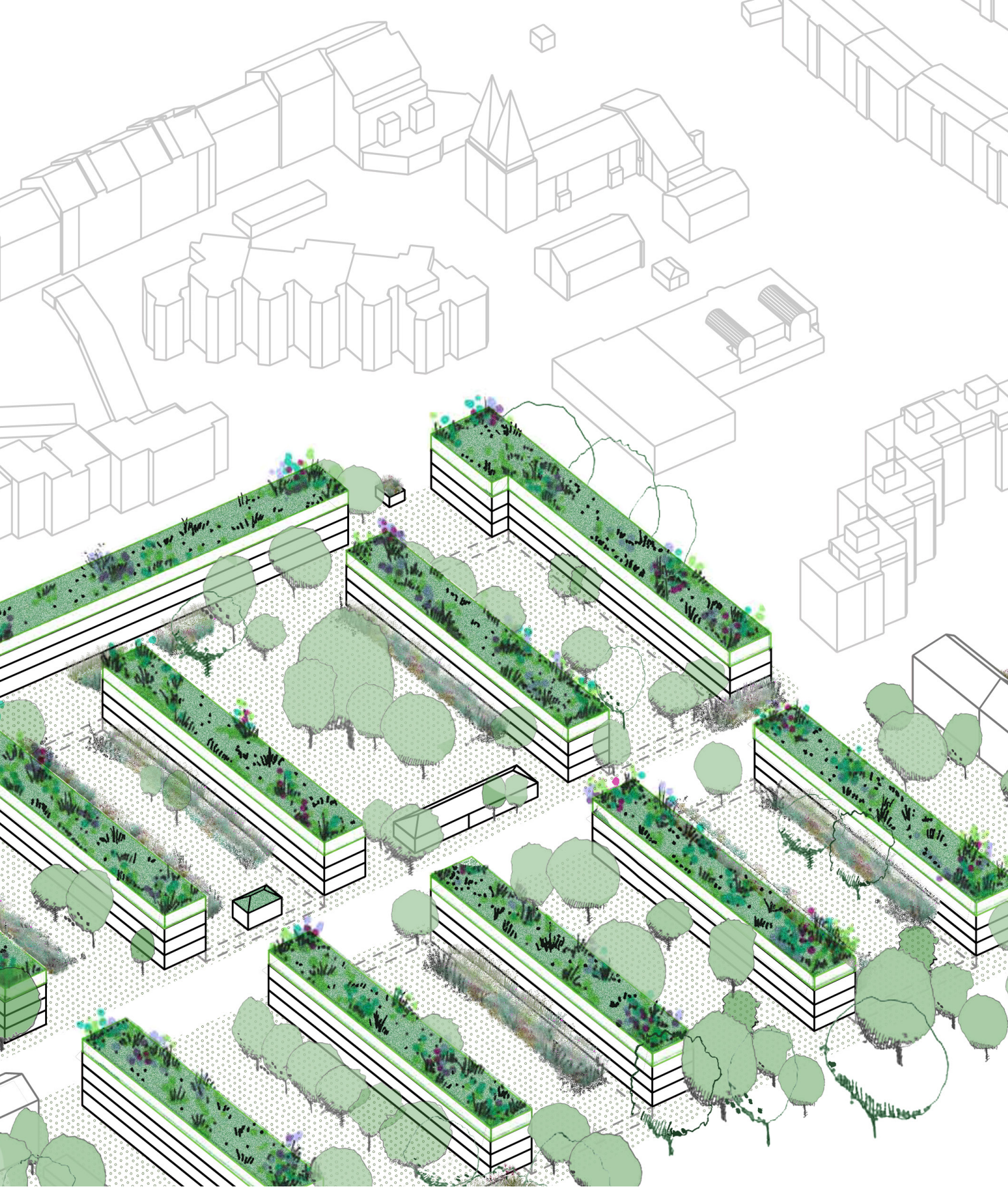
Bildnachweise

Deckblatt: N. Roig
Abb. 2, 3, 11, 13, 14, 15, 18, 19, 20, 22, 24, 25, 26, 45: S. Erlwein
Abb. 4, 16, 21, 23, 27: W. Heidenreich
Abb. 6, 32, 34, 38, 40: C. Meier-Dotzler
Abb. 8, 9: T. Dehmel
Abb. 10, 12, 31, 43, 44: F. Banihashemi
Abb. 17: S. Pauleit
Abb. 28, 29: Geo-Net
Abb. 30: DIN EN 15978:2012-10, Bild 6
Abb. 33, 35, 39, 41: C. Meier-Dotzler & H. Harter
Abb. 36: I. Samkov, www.pexels.com
Abb. 37: L. Berli, www.pexels.com
Abb. 42, 47: V. Arros
Abb. 46: TUM, Zentrum Stadtnatur und Klimaanpassung, TP1
Abb. 48: IÖW

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1 Dachgärten in München 5
Abb. 2 Übersicht zum methodischen Vorgehen 6
Abb. 3 Schemadarstellung Nachverdichtungsmöglichkeiten 7
Abb. 4 Fassadenbegrünung mit Efeu 8
Abb. 5 Kriterien zur Bewertung der grünen Maßnahmen 9
Abb. 6 Neubau eines Wohngebäudes 10
Abb. 7 Kriterien zur Bewertung der grauen Maßnahmen 11
Abb. 8 und 9 Reallabore Moosach und Heltauer Straße im Schwarzplan der jeweiligen Stadtgebiete. Für die Heltauer Straße ist die Lage der zu errichtenden Lärmschutzwand dargestellt. 12
Abb. 10 Sanierungsgebiet Moosach und seine Grünausstattung 13
Abb. 11 Eindrücke aus dem Sanierungsgebiet Moosach 13
Abb. 12 Erste Planungsentwürfe der Neubebauung an der Heltauer Straße als Blockbebauung und als Zeilenbebauung 14
Abb. 13 Die bestehende Freifläche an der Heltauer Straße 14
Abb. 14 Baumbestand in Moosach 15
Abb. 15 unterschiedliche Wirkung von jungen und älteren Bäumen auf den thermischen Komfort im Außenraum 15
Abb. 16 Beispiel für Fassadenbegrünung 16
Abb. 17 Aufenthaltsplätze im Baumschatten 16
Abb. 18 Dachbegrünung im Olympiadorf 17
Abb. 19 Unterschiede in der Oberflächentemperatur von Gebäude und Garage mit und ohne Dachbegrünung. 17
Abb. 20 Dachgarten Wohngenossenschaft wagnis 18
Abb. 21 Gemeinschaftsdachgarten 18
Abb. 22 Selbstklimmer an Balkonkonstruktion 19
Abb. 23 Fassadenbegrünung mit Efeu 19
Abb. 24 Unterschiede in der Oberflächentemperatur mit und ohne Fassadenbegrünung 19
Abb. 25 Gegenüberstellung der „realistischen“ und „optimistischen“ Begrünungsstrategie für den Nachverdichtungstyp „Aufstockung“ 20
Abb. 26: Modellierungsergebnisse auf Blockebene für alle Begrünungsszenarien inklusive Berücksichtigung. 20
Abb. 27 Gemeinschaftsgarten im Innenhof 21

Abb. 28 Der Münchner Westfriedhof in Moosach fungiert als Kaltluftentstehungsgebiet 21
Abb. 29 Der nächtliche Kaltluftvolumenstrom wird in beiden Planvarianten abgeschwächt 22
Abb. 30 Informationen zur Gebäudebeurteilung – Lebenszyklusphasen eines Gebäudes nach EN 15978:2012-10, Bild 6 23
Abb. 31 Gebäudeausführung: Standardausführung; optimierte Ausführung durch passive Maßnahmen, die zur Senkung des potenziellen Kühlbedarfs beitragen 25
Abb. 32 schematische Darstellung des Sanierungsszenarios 26
Abb. 33 durchschnittliche Verteilung des lebenszyklusbasierten GWP: betrieblicher Energiebedarf, BauKo und TGA 26
Abb. 34 schematische Darstellung des Sanierungsszenarios 27
Abb. 35 Anteile BauKo, TGA und betrieblicher Energiebedarf an grauer Energie (PET) und grauen Emissionen (GWP). 27
Abb. 36 Baumaterial Holz 28
Abb. 37 PV-Module auf Dächern 28
Abb. 38 schematische Darstellung des (Ersatz-) Neubauszenarios 29
Abb. 39 durchschnittlicher Anteil Abriss Bestandsgebäude und Neubau in Holzbauweise am lebenszyklusbasierten GWP der BauKo. 29
Abb. 40 schematische Darstellung des (Ersatz-) Neubauszenarios 30
Abb. 41 prozentualer Vergleich des GWP bei den Wärmeversorgungs- 30
varianten Fernwärme und Wärmepumpe. 30
Abb. 42 grüne und graue Maßnahmen mit Synergie-potenzialen für Klimaanpassung und -schutz 31
Abb. 43 mittlerer Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen pro Jahr und prozentualer Anteil des Kühlbedarfs einer Nachverdichtung nach KfW-55- und Passivhausstandard im Reallabor Moosach 32
Abb. 44 Reduktion des Nutzenergiebedarfs für Heizen und Kühlen durch Klimaanpassung der Nachverdichtungs-konzepte für das Jahr 2070 32
Abb. 45 Baumpflanzung im Innenhof über einer Tiefgarage 33
Abb. 46 Platzbedarf für Stellplätze in der Münchner Innenstadt 33
Abb. 47 Frühzeitige und integrative Herangehensweisen in der Planung als zentrale Stellschrauben in der Planung 34
Abb. 48 Zukunftsbild grüne Stadt 36



Webseiten des Projekts:

www.cee.ed.tum.de/enpb/gsdz/

www.ioew.de/gruene_stadt

Technische Universität München

LMU Ludwig-Maximilians-Universität München

i ö w Institut für ökologische Wirtschaftsforschung

Landeshauptstadt München

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung