

Klimaneutralitätsstudie

für das neue Stadtquartier Münchner Nordosten



© reinfliigel severin / bbz landschaftsarchitekten

Abschlussbericht

06.05.2025

Impressum

Klimaneutralitätsstudie für das neue Stadtquartier Münchner Nordosten, München

Abschlussbericht, 06.05.2025



Landeshauptstadt
München

Landeshauptstadt München, vertreten durch das

Referat für Stadtplanung und Bauordnung
Planungsteam Sonderplanungen Nordosten (HAI/ 62P)
Klimaneutrale Stadtentwicklungsplanung (HAI/ 23)
Blumenstr. 28
80331 München

Beauftragtes Büro

BURO HAPPOLD

Buro Happold GmbH
Ridlerstraße 31, 80339 München

Dr. Sebastian Seelig
Anja Meschenmoser
Jochen Müller
Bruna Lourenco
Daniel Cortés
Felicitas Leithner
Jingyi Xiao
Katharina Stümpfig

München, 06.05.2025

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Zielstellung	1
1.2	Untersuchungsgebiet	2
1.3	Aufgabenstellung und Arbeitspakete	2
1.4	Methodisches Vorgehen innerhalb der Arbeitspakete	3
2	Baustein A: Bestandsaufnahme von Grundlagen und Rahmensetzungen	5
2.1	A1. Grundlagen der Bilanzierung	5
2.1.1	Verständnis Klimaneutralität	5
2.1.2	Gesetzliche Rahmenbedingungen	6
2.1.3	Übersicht internationaler und nationaler Berechnungstools	7
2.1.4	Datengrundlage	9
2.2	A2. Definition der Betrachtungsgrenzen	9
2.2.1	Räumlicher Betrachtungsrahmen	9
2.2.2	Zeitlicher Betrachtungsrahmen	11
2.3	A3. Methodik der Bilanzierung	12
2.3.1	Methodik Betriebsemissionen (Baustein B)	14
2.3.2	Methodik – Graue Emissionen (Baustein C – Städtebau-, Siedlungs- u. Freiraumstruktur)	15
2.3.3	Methodik – Kohlenstoffsenken	18
2.3.4	Methodik – Mobilität (Baustein E)	21
3	Baustein B: Energieversorgung	24
3.1	B1. Abschätzung der Energiebedarfe im MNO	24
3.2	B2. Energiequellen in und um den MNO	29
3.2.1	Solarenergie	29
3.2.2	Grundwasser	31
3.2.3	Tiefen-Geothermie	32
3.2.4	Fernwärme	32
3.2.5	Andere erneuerbare Energiequellen	33
3.3	B3. Erarbeitung von Versorgungsvarianten	38
3.4	B4. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die Versorgungsvarianten	40
3.4.1	Investitionskosten (CAPEX)	41
3.4.2	Betriebskosten (OPEX)	42
3.4.3	Levelized Cost Energy (Energiegestehungskosten)	43
4	Baustein C: Städtebau und Siedlungs- und Freiraumstruktur	45
4.1	Maßnahmenübersicht Städtebau	45
5	Baustein D: Zukünftiges/Klimaneutrales Bauen – Gebäude	48
5.1	Maßnahmenübersicht Gebäudeebene	48
6	Baustein E: Treibhausgasneutrale Mobilität	50

6.1	Maßnahmen für Mobilität	50
7	Baustein F: Klimaneutrale Nutzung, Akzeptanz und Nutzerverhalten	53
7.1	Maßnahmen	53
8	Baustein G: Treibhausgas-Quartiersbilanzen für das Planungsgebiet MNO	55
8.1	Betriebsemissionen	55
8.2	Graue Emissionen	56
8.3	Natürliche Kohlenstoffsenken	59
8.4	Mobilitätsemissionen	60
8.5	Gesamtbilanz	61
9	Einordnung der Gesamtbilanz	63
9.1	Auswertung der Gesamtbilanz	63
9.2	Abgleich mit der Zielstellung	63
10	Schlussfolgerungen	66
10.1	Ausblick & weitere Studien	70
11	Anhang	72
	Anhang 1 Checkliste Münchner Nordosten mit Handlungsmaßnahmen für die Bausteine B / C / D / E / F Maßnahmenkatalog über die CO ₂ -Einsparpotenziale	73
	Anhang 2 Liste der Dokumente zur Bestandsanalyse	74
	Anhang 3 Eingangsparameter Energiebedarfsermittlung	75
	Anhang 4 Nutzenergiebedarf	78
	Anhang 5 Rahmenbedingungen und Parameter zur Ermittlung Solarpotenzial	80
	Anhang 6 Voruntersuchungen Grundwasserpotenzial	81
	Anhang 7 Wirkungsgrad der Erzeugungsanlagen	83
	Anhang 8 Prognose CO ₂ -Faktoren Energieträger	84
	Anhang 9 Prognose CO ₂ -Faktoren Mobilitätsemissionen	86
	Anhang 10 Kostenangaben zur OPEX	87
	Anhang 11 Kostenangaben zur CAPEX	88
	Anhang 12 Übersicht bilanzierte Flächen – Graue Emissionen	89
12	Literaturverzeichnis	92

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Übersichtsplan für den neuen Stadtteil Münchner Nordosten mit 30.000 Einwohnenden © rheinflügel severin / bbz Landschaftsarchitekten.....	1
Abbildung 2 Arbeitspakete Klimaneutralitätsstudie Münchner Nordosten © Buro Happold.....	3
Abbildung 3 Übersicht der Handlungsfelder und Legende der Checkliste © Buro Happold.....	3
Abbildung 4 Gegenüberstellung von Begrifflichkeiten in Hinblick auf klimabewusste Quartiere © Buro Happold.....	6
Abbildung 5 Übersicht der geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen © Buro Happold.....	6
Abbildung 6 Übersicht der Datengrundlage vom MNO © Buro Happold	9
Abbildung 7 1. Preis überlagert mit Darstellung möglicher Teilabschnitte (lila) © rheinflügel severin, Düsseldorf mit bbz landschaftsarchitekten berlin gmbh, Berlin/ LHM München.....	11
Abbildung 8 Zeitliche Einteilung Phasen und Teilabschnitte © Buro Happold	12
Abbildung 9 Übersicht der Bilanzierungsansätze der Betriebsemissionen © Buro Happold	14
Abbildung 10 Dekarbonisierungspfade der Energieträger Strom und Fernwärme bis 2050 gem. Öko-Institut e. V. (2022), eigene Darstellung	15
Abbildung 11 Lebenszyklusphasen nach DIN EN 15978:2012-10, in der Bilanzierung berücksichtigte Phasen in grün © Buro Happold	16
Abbildung 12 Bilanzierungsmethodik graue Emissionen © Buro Happold.....	17
Abbildung 13 Städtebauliche Dichte der Nutzungen © rheinflügel severin / bbz Landschaftsarchitekten, Überlagerung © Buro Happold	17
Abbildung 14 Vegetationsflächen innerhalb und außerhalb der Entwicklungsschollen © GFN – Umweltplanung, München, LHM München.....	18
Abbildung 15 Einteilung der natürlichen Kohlenstoffspeicherpotenziale (eigene Darstellung basierend auf Klingenfuß, 2020) © Buro Happold.....	20
Abbildung 16 Bilanzierungsmethodik Mobilität © Buro Happold	21
Abbildung 17 CO ₂ -Faktoren Mobilität 2017, Quelle: UBA Ökologische Bewertung von Verkehrsarten © Buro Happold	22
Abbildung 18 Prognose CO ₂ -Faktoren Mobilität, 2050 © Buro Happold.....	23
Abbildung 19 Prognose Entwicklung der CO ₂ -Faktoren © Buro Happold	23
Abbildung 20 Input und Output Energieversorgung © Buro Happold.....	25
Abbildung 21 Input-Parameter Mobilität © Buro Happold	26
Abbildung 22 Jährlicher Gesamtnutzenergiebedarf in [GWh/a] im MNO © Buro Happold	26
Abbildung 23 Jährlicher Nutzenergiebedarf der einzelnen Teilabschnitte in [GWh/a] © Buro Happold	27
Abbildung 24 Energiedichte der Teilabschnitte und Gegenüberstellung © Buro Happold	28
Abbildung 25 Strombedarf der einzelnen Teilabschnitte in [GWh/a] © Buro Happold.....	28
Abbildung 26 Stromlasten der einzelnen Teilabschnitte aus E-Mobilität in [MW] © Buro Happold	29
Abbildung 27 Übersicht der Versorgungsvarianten © Buro Happold.....	39

Abbildung 28 Bilanzierung der Endenergie (eigene Darstellung basierend auf DIN V 18599) © Buro Happold	39
Abbildung 29 Vergleich der Endenergie nach Endenergieträgern © Buro Happold	40
Abbildung 30 Berechnung Betriebskosten (OPEX) und Investitionskosten (CAPEX) © Buro Happold.....	41
Abbildung 31 Unterschiede in den Anfangsinvestitionskosten © Buro Happold.....	42
Abbildung 32 Gegenüberstellung annualisierte Betriebskosten (50 Jahre) © Buro Happold	42
Abbildung 33 Dekarbonisierungspfade der Energieträger Strom und Fernwärme bis 2050 gem. Öko-Institut e. V. (2022) © Buro Happold	43
Abbildung 34 Gesamtenergieversorgung durch Heizen und Kühlen über 50 Jahre © Buro Happold.....	44
Abbildung 35 LCOE aller Versorgungsvarianten © Buro Happold.....	44
Abbildung 36 Jährliche Betriebsemissionen der Energieversorgungsvarianten V1, V2 und V3 © Buro Happold	55
Abbildung 37 Kumulierte CO ₂ -Emissionen in t CO ₂ Äqv. unterteilt in Untergeschosse (UG) und oberirdische Geschosse (OG) © Buro Happold	56
Abbildung 38 Spezifische kumulierte CO ₂ -Emissionen in kg CO ₂ Äqv/m ² unterteilt in Untergeschosse (UG) und oberirdische Geschosse (OG) © Buro Happold	57
Abbildung 39 Kumulierte graue Gesamtemissionen nach Nutzung © Buro Happold.....	58
Abbildung 40 Kumulierte Gesamtemissionen in t CO ₂ -Äquivalent © Buro Happold	58
Abbildung 41 Kumulierte Gesamtemissionen der oberirdischen Geschosse © Buro Happold.....	59
Abbildung 42 Jährliche CO ₂ -Emissionen von 2047 bis 2053 © Buro Happold	61
Abbildung 43 Kumulierte CO ₂ -Emissionen für das optimierte Szenario mit Energieversorgungsvariante 1 Fernwärme und Mobilität © Buro Happold.....	61
Abbildung 44 Kumulierte Gesamtemissionen für das Referenzszenario und das optimierte Szenario mit den drei Energieversorgungsvarianten © Buro Happold	62
Abbildung 45 Visualisierung der Pro-Kopf-Treibhausgas-Emissionen des Untersuchungsgebiets bei unterschiedlichem Bilanzierungsumfang © Buro Happold	64
Abbildung 46 Ambitionen der Klimaneutralität, Abgleich der Bilanz für den MNO © Buro Happold	65
Abbildung 47 Integration der Handlungsempfehlungen bezogen auf den Baustein B Energieversorgung im Planungsprozess © Buro Happold	67
Abbildung 48 Möglichkeiten der Verankerung der Maßnahmen gemäß der Bausteine C und D im weiteren Prozess © Buro Happold	68
Abbildung 49 Möglichkeiten der Verankerung der Maßnahmen gemäß Baustein E Mobilität im weiteren Prozess © Buro Happold	70

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auswahl der national verfügbaren Ökobilanzberechnungstools nach DGNB, 2024.....	8
Tabelle 2 Auswahl der internationalen Ökobilanzberechnungstools nach DGNB, 2024.....	9
Tabelle 3 Abgleich der Bilanzierungsmethodik mit dem BSKO-Standard.....	13
Tabelle 4 Materialität der Bilanzierungsvarianten nach Nutzung	17
Tabelle 5 Flächenaufstellung für das Referenzszenario und für das optimierte Szenario	18
Tabelle 6 CO ₂ -Senken innerhalb der Entwicklungsschollen	19
Tabelle 7 Vegetationsflächen außerhalb der Entwicklungsschollen.....	19
Tabelle 8 Datengrundlage der CO ₂ -Senken der Vegetation	20
Tabelle 9 Datengrundlage der CO ₂ -Senken der Begrünung.....	20
Tabelle 10 Modal-Split-Anteile	22
Tabelle 11 Übersicht von Szenarien zur optimierten Auslegung von PV und PVT	30
Tabelle 12 Jahresertrag PV-Strom und Solarthermie	30
Tabelle 13 Deckungsanteile der Szenarien © Buro Happold.....	31
Tabelle 14 Vergleich der lokalen Energiepotenziale	37

Abkürzungsverzeichnis

AG	Auftraggeberin
A/V-Verhältnis	Oberflächen/Volumen-Verhältnis
AWM	Abfallwirtschaftsbetrieb München
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BH	Buro Happold
BIPV	Building Integrated Photovoltaic (dt. bauwerksintegrierte Photovoltaik)
BISKO	Bilanzierungssystematik Kommunal
BNB	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen
BQZ-Bilanz	Binnen-Quell-Ziel-Prinzip
CAPEX	Investitionskosten
CNG	Compressed Natural Gas (dt. komprimiertes Erdgas)
CO ₂ Äqv. (CO ₂ e)	Abkürzung für Kohlendioxid-Äquivalente
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
EE	Erneuerbare Energie
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EF	Elektrofahrzeug
EH40	Effizienzhausstufe 40
EWG Bln	Berliner Klimaschutz- und Energiewendegesetz
EPDs	Environmental Product Declarations (dt. Umweltproduktdeklaration)
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GEIG	Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz
GF	Grundfläche
GFZ	Geschossflächenzahl
GZF	Gleichzeitigkeitsfaktor
ICEV	Internal Combustion Engine Vehicle (dt. Verbrennungsmotor)
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
LCA	Life Cycle Analysis (dt. Lebenszyklusanalyse bzw. Ökobilanz)
LCOE	Levelized Cost of Energy (dt. Stromerzeugungskosten)

LHM	Landeshauptstadt München
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MNO	Münchner Nordosten
NECP	Nationaler Energie- und Klimaplan
NMIV	Nicht motorisierter Individualverkehr
OPEX	Energie- und Wartungskosten
O&M	Operation and Maintenance (dt. Betrieb und Wartung)
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
Pkm	Personenkilometer
PVT	Photovoltaisch-thermische Solarkollektoren
RKU	Referat für Klima- und Umweltschutz
STEP	Stadtentwicklungsplan 2024
SWM	Stadtwerke München
THG	Treibhausgasemissionen
TRY	Testreferenzjahr
TWW	Trinkwarmwasser
UBA	Umweltbundesamt
VDEW	Verband der Elektrizitätswirtschaft
WE	Wohneinheit
WP	Wärmepumpe
Q_D	Primärenergiebedarf
$Q_{D,REF}$	Primärenergiebedarf des entsprechenden Referenzgebäudes
\bar{U}_{opak}	mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient der opaken Außenbauteile
$\bar{U}_{Vorhang}$	mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient der Vorhangfassaden
$\bar{U}_{transparent}$	mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient der transparenten Außenbauteile
\bar{U}_{Licht}	mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient der Glasdächer, Lichtbänder und Lichtkuppeln

1 Einleitung

Die städtebauliche und landschaftsplanerische Entwicklung des Gebiets Münchner Nordosten zwischen Daglfing, Engelschalking und Johanneskirchen sieht ein neues Quartier auf einer Fläche von etwa 600 Hektar vor. Das Gebiet, das in der vorbereitenden Untersuchung berücksichtigt wird, umfasst rund 600 Hektar, wobei rund 350 Hektar davon für die Quartiersentwicklung überplant wurden. Hierbei handelt es sich um einen geplanten zukunftsorientierten Stadtteil am Rand der Landeshauptstadt München, der ab 2030 entstehen soll und je nach Dichte für bis zu 30.000 Menschen ausgelegt wird. Es ist eine Entwicklung von bis zu 11.500 neuen Wohnungen, zahlreichen Freizeitangeboten und weitläufigen Grünflächen vorgesehen. Die bestehenden Flächen für Landwirtschaft und Pferdesport sollen erhalten bleiben.

Aus der Neuentwicklung resultieren Umweltauswirkungen, die es entsprechend der übergreifenden Klimaschutzzielstellungen der Landeshauptstadt München zu erfassen und minimieren gilt. Durch Strategien hinsichtlich Energieeffizienz, Energieversorgung, des Städtebaus, der Mobilität sowie durch Ressourceneffizienz und den Einsatz von nachhaltigen Baustoffen sollen die Auswirkungen auf Natur und Umwelt reduziert werden.



Abbildung 1 Übersichtsplan für den neuen Stadtteil Münchner Nordosten mit 30.000 Einwohnenden © rheinflügel severin / bbz Landschaftsarchitekten

1.1 Zielstellung

Die **Klimaschutzzielstellung der Landeshauptstadt München** beinhaltet u. a. bis 2035 klimaneutrale und klimaresiliente Quartiere zu entwickeln. Ein zentrales Ziel ist die Reduktion der energiebedingten Treibhausgasemissionen¹ gesamtstädtisch im Mittel auf maximal 0,3 Tonnen CO₂-Äquivalent pro Person und Jahr.² Nachfolgende Schwerpunktthemen und Handlungsfelder wurden hierbei zum Erreichen der Zielstellung identifiziert: Der Anteil der nachhaltigen Mobilität soll auf mindestens 80 % gesteigert werden, indem Fußgänger- und Fahrradverkehr sowie öffentlicher Nahverkehr gefördert werden. Zudem sollen erneuerbare Energien perspektivisch den größten Anteil des Heiz- und Kühlbedarfs decken. Eine Verbesserung der grünen Infrastruktur erfolgt durch gezielte Maßnahmen wie Dach- und Fassadenbegrünung. Der soziale Zusammenhalt innerhalb der Nachbarschaften ist ebenfalls ein Schwerpunkt, wobei die Gemeinschaftsbindung und die Beteiligung an lokalen Entscheidungsprozessen gefördert werden. Darüber hinaus plant München, die Treibhausgasemissionen im Wirtschaftssektor, wozu der Betrieb von Nichtwohngebäuden gehört, zu reduzieren.³ Dabei wird sichergestellt, dass alle Neubauten strenge Energieeffizienzstandards erfüllen. Schließlich wird

¹ Im nachfolgenden Bericht werden die Umweltwirkungen unterschiedlicher Prozesse als CO₂-Emissionen quantifiziert. Die Zielstellungen der Klimaneutralität beziehen sich entsprechend auf die Minimierung der CO₂-Emissionen. Weitere Umweltwirkungen werden berücksichtigt und mitgedacht.

² Öko-Institut e. V., 2022

³ Timpe, C. et al., 2021

großer Wert auf die Mitgestaltung und gemeinsame Nutzung von Gemeinschaftsflächen gelegt, um nachhaltige Lebensstile unter den Bewohner*innen zu fördern. Diese ambitionierten Ziele spiegeln Münchens Engagement wider, umweltfreundliche Lebensräume zu schaffen und einen positiven Beitrag zu den globalen Bemühungen gegen den Klimawandel zu leisten.⁴

Ziel der vorliegenden Studie zur Klimaneutralität des neuen Stadtquartiers Münchner Nordosten ist die Darstellung seiner Auswirkungen mit Hilfe der Bilanz der CO_{2e}-Emissionen in Bezug auf graue Emissionen, Betriebs- und Mobilitätsemissionen. Mithilfe der Lebenszyklusbilanzierung werden im Rahmen der Studie zielgerichtet Maßnahmen abgeleitet, die den CO₂-Fußabdruck des Untersuchungsgebiets maßgeblich verringern.

1.2 Untersuchungsgebiet

Das neue Stadtquartier befindet sich am nordöstlichen Stadtrand Münchens in den Stadtbezirken Bogenhausen und Trudering-Riem. Zwischen Daglfing, Englschalking und Johanneskirchen gelegen, umfasst das beplante Areal etwa 350 der insgesamt 600 Hektar und gliedert sich in die acht Teilabschnitte A bis H. Das Gebiet ist westlich und südlich durch bestehende Wohnbebauung begrenzt. Des Weiteren befinden sich innerhalb des Areals bestehende Siedlungsstrukturen, die durch die Teilabschnitte ergänzt und in ein zusammenhängendes Siedlungsareal eingebunden werden. Im Osten befindet sich eine Anlage für Reitsport, die wie die bestehenden Wohnsiedlungen erhalten bleibt. Die zu entwickelnden Flächen werden bisher vor allem als landwirtschaftliche Anbauflächen genutzt. Als Grundlage der Klimaneutralitätsstudie wird der Wettbewerbsentwurf des Architekturbüros rheinflügel severin und bbz Landschaftsarchitekten⁵ herangezogen. Das Untersuchungsgebiet (siehe **Abbildung 1**) der vorliegenden Studie umfasst die innerhalb der acht Teilabschnitte liegende Neubebauung und alle in Beziehung stehenden Außenräume sowie die in die Entwicklung eingebundenen Grünflächen wie den Hüllgraben, das Aktivitätenband und das Erholungsgebiet mit den übergeordneten Grünzügen.

Die Entwicklung des neuen Stadtteils sieht eine schrittweise Bebauung und Fertigstellung der einzelnen Teilabschnitte ab 2030 vor. Alle Berechnungen und Analysen der vorliegenden Studie basieren auf diesen Entwicklungsschritten und richten sich nach einer für dieses Gutachten definierten zeitlichen Entwicklungs-Taktung.

1.3 Aufgabenstellung und Arbeitspakete

Im Rahmen dieser Studie werden die Handlungsfelder Energieversorgung und -erzeugung, Städtebau und Freiraum, Bauen und Gebäude, Mobilität und Verkehr sowie Akzeptanz und Nutzerverhalten für eine ganzheitliche Betrachtung der Klimaneutralität berücksichtigt.

Die Bearbeitung der beschriebenen Leistungen gliedert sich in die folgenden Arbeitspakete:

- **Baustein A:** Bestandsaufnahme von Grundlagen und Rahmensetzungen
- **Baustein B:** Energieversorgung
- **Baustein C:** Städtebau, Siedlungs- und Freiraumstruktur
- **Baustein D:** Zukünftiges/klimaneutrales Bauen – Gebäude
- **Baustein E:** Treibhausgasneutrale Mobilität
- **Baustein F:** Klimaneutrale Nutzung, Akzeptanz und Nutzerverhalten
- **Baustein G:** Treibhausgas-Quartiersbilanzen für Planungsgebiet MNO
- **Baustein H:** Schlussfolgerung und Ableitung von Empfehlungen

⁴ Timpe, C. et al., 2021

⁵ Münchner Nordosten Entwurf eines Stadtteils, rheinflügel severin und bbz Landschaftsarchitektur, 2020

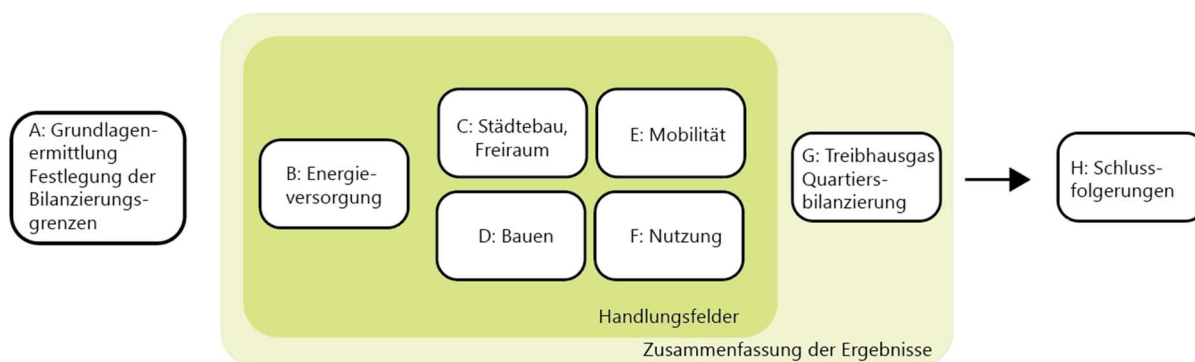


Abbildung 2 Arbeitspakete Klimaneutralitätsstudie Münchner Nordosten © Buro Happold

1.4 Methodisches Vorgehen innerhalb der Arbeitspakete

Das Hauptaugenmerk liegt auf der Energieversorgung (Baustein B) unter Betrachtung einer Energiebedarfsschätzung, von Energiequellen, einer Ausarbeitung von Energieversorgungsvarianten und einer wirtschaftlichen Bewertung dieser Energieversorgungsvarianten. Anschließend werden mithilfe einer Treibhausgas-Quartiersbilanzierung die CO₂-Emissionen aus Neubauten, Mobilität und Betrieb ermittelt und die CO₂-Reduktionspotenziale der natürlichen Kohlenstoffsenken dargestellt.

Darüber hinaus wurden für die Bausteine C (Städtebau und Freiraum), D (Klimaneutrales Bauen), E (Treibhausgasneutrale Mobilität) und F (Klimaneutrale Nutzung) Maßnahmen für ein nachhaltiges Quartier erarbeitet. Diese Maßnahmen zielen darauf ab, in den weiteren Planungsphasen des Quartiers angewandt zu werden. Die Handlungsempfehlungen werden in einer Checkliste dargestellt (**Anhang 1** Checkliste Münchner Nordosten mit Handlungsmaßnahmen für die Bausteine B / C / D / E / F) und geben Stellschrauben vor, die in der Quartiersplanung richtungsweisend genutzt werden können. Die Grundlage der Ergebnisse bildet unter anderem die durchgeführte Treibhausgasbilanzierung.

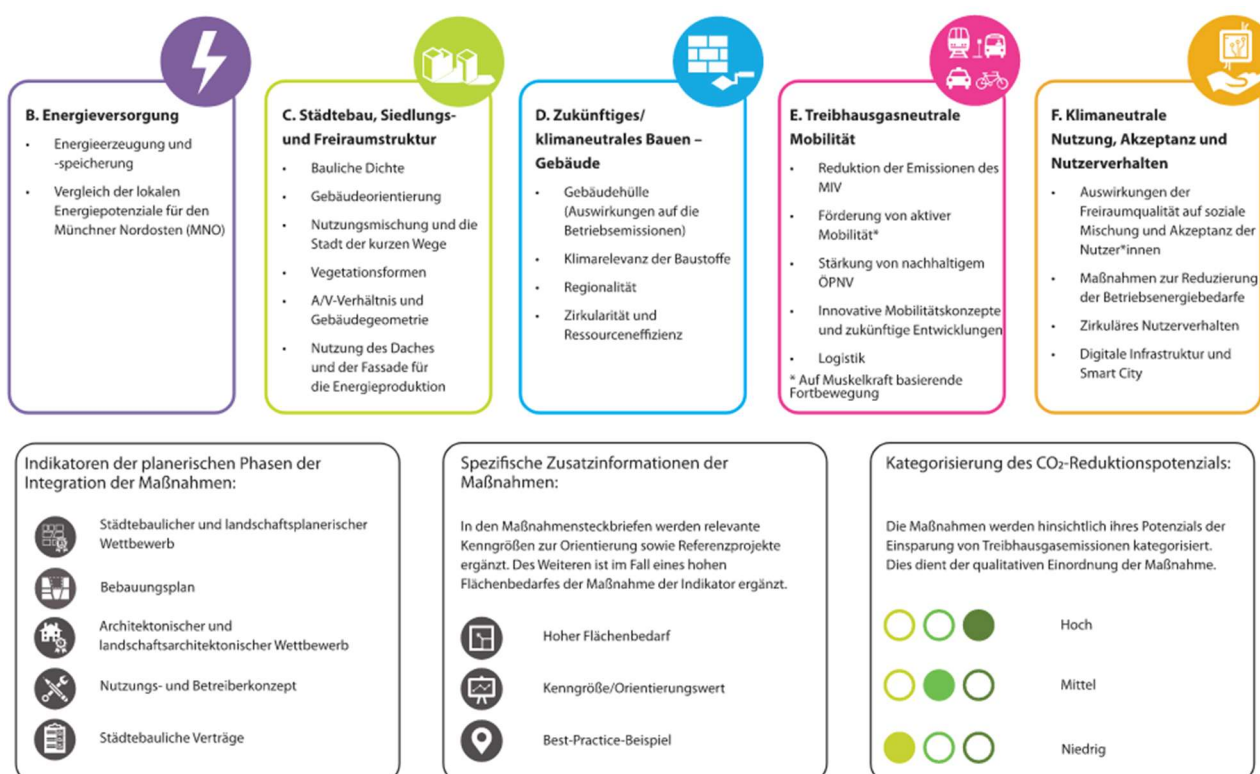


Abbildung 3 Übersicht der Handlungsfelder und Legende der Checkliste © Buro Happold

Neben der Beschreibung der Maßnahmen werden in der Checkliste die Umsetzungsstrategien anhand von Beispielen aufgeführt. Des Weiteren beinhaltet die Checkliste eine Einordnung des jeweiligen CO₂-Einsparpotenzials der Maßnahmen in Form eines Ampelsystems: Die Potenziale werden in ein niedriges, mittleres und hohes CO₂-Einsparpotenzial eingestuft. Die Bewertung der Einsparpotenziale erfolgt anhand einer Analyse vorliegender Studien (darunter *SNAP – Planungs- und Arbeitshilfen*⁶ und *Klimaneutrale Quartiere und Areale*⁷) sowie nach Abschluss der Treibhausgasbilanzierung des MNO-Quartiers mit dem Abgleich der Bilanzierungserkenntnisse. Dies zeigt, inwieweit die beschriebenen Maßnahmen zur Reduzierung des CO₂-Ausstoßes im Quartier beitragen. In einer weiteren Spalte („*Leistet Beitrag zu*“) werden Abhängigkeiten der Maßnahmen untereinander aufgezeigt. Ein weiterer wichtiger Aspekt in der Checkliste sind die Verantwortlichkeiten im Projekt. Es wird vorgeschlagen, wer für die Planung und Umsetzung der Maßnahmen verantwortlich ist und in welcher Phase dies als sinnvoll erachtet wird. Hierbei wird unterschieden zwischen der Integration der Maßnahmen im Bebauungsplan, dem städtebaulichen und landschaftsplanerischen Wettbewerb oder dem gebäudespezifischen Architektur- und Landschaftsarchitekturwettbewerb, dem städtebaulichen Vertrag und dem Nutzer- oder Betreiberkonzept. Soweit möglich, werden Orientierungswerte für die Integration in die weitere Planung und Umsetzung aufgeführt.

⁶ SNAP – Systematik für Nachhaltigkeitsanforderungen in Planungswettbewerben, BBSR, 2021

⁷ Dena Abschlussbericht – Klimaneutrale Quartiere und Areale, Deutsche Energie und Netzentur, 2021

2 Baustein A: Bestandsaufnahme von Grundlagen und Rahmensetzungen

Im Baustein A werden die wesentlichen Grundlagen und Rahmenbedingungen für die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen zusammengestellt. Hierzu gehören die Grundlagen der Bilanzierung einschließlich einer Erläuterung der Vorgehensweise der Bilanzierung. Außerdem werden Klimaneutralitätszielstellungen definiert und rechtliche Vorgaben und Rahmenbedingungen für die Erstellung von Klimabilanzen dargestellt. Dies umfasst nationale und internationale Gesetze, Verordnungen und Richtlinien. Zudem wird ein Überblick über die verschiedenen Tools und Methoden zur Berechnung von Treibhausgasemissionen gegeben. Es werden sowohl internationale als auch nationale Vorgaben berücksichtigt. Des Weiteren wird auf die zu Grunde liegenden Datenquellen eingegangen und die Festlegung der Betrachtungsgrenzen definiert, indem sowohl zeitliche als auch räumliche Betrachtungsgrenzen aufgeführt werden. Als Grundlage erfolgt eine Festlegung der Emissionen und Aktivitäten, die in der Gesamtbilanz berücksichtigt werden, sowie der Nutzungen und Aktivitäten, die außerhalb des Betrachtungsrahmens liegen. In einem weiteren Unterkapitel werden die methodischen Ansätze zur Berechnung der Emissionen und Senken beschrieben.

2.1 A1. Grundlagen der Bilanzierung

2.1.1 Verständnis Klimaneutralität

Durch die Umsetzung der ambitionierten Klimaschutzmaßnahmen können die CO₂e-Emissionen in Herstellung und Betrieb des Untersuchungsgebiets reduziert werden. Die Zielstellung des Klimaschutzes, die für den Münchner Nordosten angestrebt wird, richtet sich nach der Zielstellung der Landeshauptstadt München. Hierbei liegt der Fokus auf einer klimaneutralen Betriebsbilanz nach BSKO mit einem definierten Schwellenwert der energiebedingten Treibhausgasemissionen von **0,3 t CO₂e pro Kopf und Jahr**.

Aufgrund der zukünftigen Dekarbonisierung des Stromnetzes werden die bilanziellen Gutschriften, die beispielsweise durch die Einspeisung von erneuerbar generiertem Strom vor Ort möglich sind, über Zeit immer geringer. Eine positive Gesamtbilanz der Emissionen, in der die Emissionen der Gebäudeherstellung durch Gutschriften des Betriebs ausgeglichen werden, ist vor diesem Hintergrund in absehbarer Zukunft nicht mehr möglich. D. h., dass die Treibhausgasemissionen, die durch die Gebäude- und Infrastrukturherstellung entstehen, so weit wie möglich minimiert werden müssen.

Die Grundlagen für die vorliegende Untersuchung bilden die nationalen und bayerischen Klimaschutzziele. Die Klimaschutzambitionen des Untersuchungsgebietes Münchner Nordosten werden hierbei in die in **Abbildung 4** zusammengestellten Definitionen der Klimaschutzambitionen eingeordnet. Diese beziehen sich jeweils auf die Betrachtung des Klimaschutzes auf Quartiersebene und orientieren sich an allgemeingültigen Rahmenwerken (vergleiche *BSKO Bilanzierungs-Systematik Kommunal*⁸, *100 Klimaschutzsiedlungen in Nordrhein-Westfalen*⁹ und *Klimaneutrale Quartiere und Areale*¹⁰) oder an in der Praxis angewandte Definitionen. Diese Definitionen helfen, die verschiedenen Ansätze zur Erreichung der Klimaneutralität in urbanen Gebieten zu vergleichen. Ein Quartier ist laut Definition der dena (2021)¹¹ klimaneutral, wenn lediglich der jährliche Energiebedarf für den Betrieb des Quartiers über eine klimaneutrale Energieerzeugung gedeckt wird. Hierbei werden keine verursachten Emissionen für die Herstellung oder Entsorgung der Gebäude und der Infrastruktur betrachtet. Wenn mehr Energie im Quartier über erneuerbare Energien erzeugt als verbraucht wird und der Energieüberschuss gespeichert und/oder exportiert werden kann, wird von einem Plusenergie-

⁸ Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, 2019

⁹ EnergieAgentur.NRW GmbH, 2020

¹⁰ Deutsche Energie- und Netzagentur, 2021

¹¹ Deutsche Energie- und Netzagentur, 2021

Quartier gesprochen. Ein klimapositives Quartier liegt nach dem Umweltbundesamt (UBA) dann vor, wenn sowohl die Betriebsemissionen als auch die grauen Emissionen eine positive Bilanz ergeben.

Für die weitere Betrachtung sind vor allem die Definitionen für **Klimaneutrale Quartiere**, **Plusenergiequartier** und **Klimapositive Quartiere** ausschlaggebend.

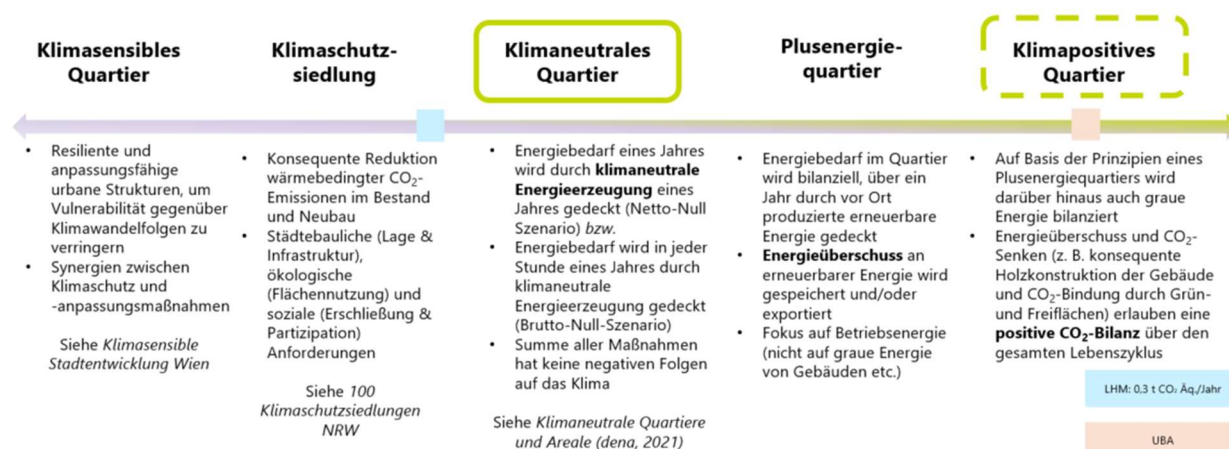


Abbildung 4 Gegenüberstellung von Begrifflichkeiten in Hinblick auf klimabewusste Quartiere © Buro Happold

2.1.2 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Die gesetzlichen Anforderungen, die im Untersuchungsgebiet umzusetzen sind, umfassen im Bereich der Klimaschutzziele auf europäischer (EU), nationaler (DE) und bundeslandweiter/bayerischer (BY) Ebene folgende Richtlinien und Gesetze: (siehe **Abbildung 5**).



Abbildung 5 Übersicht der geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen © Buro Happold

Als übergeordneter Vertrag setzt das **Pariser Klimaabkommen** (2015) die von 195 Vertragsparteien beschlossenen Ziele zur Eindämmung der Klimaerwärmung fest und bildet die übergeordnete Grundlage aller weiteren gesetzlichen Rahmenbedingungen. Die rechtlichen Rahmenbedingungen auf EU-Ebene bilden die Vorgaben und die Zielsetzung für die Gesetze auf nationaler Ebene. Die **Gebäudeeffizienzrichtlinie (EU) 2018/844** setzt neue Vorgaben für die energetische Sanierung von Gebäuden und für die Energieeffizienz von Neubauten. Mit dem **EU-Klimagesetz**, das ein Element des europäischen **Grünen Deals** ist, werden die Ziele der Klimaneutralität in der Gesetzgebung verankert – bis

spätestens 2050 soll die gesamte EU und somit jedes Mitgliedsland klimaneutral sein. Diese Richtlinie wird auf nationaler Ebene in nationales Recht überführt, was in Deutschland durch das **GEG** erfolgt.

Auf nationaler Ebene wird die verschärfte Vorgabe für die Minderung der Treibhausgas-Emissionen gegenüber 1990 im **Bundes-Klimaschutzgesetz** festgelegt: Bis 2030 ist eine Reduktion der Treibhausgase um mindestens 65 %, bis 2040 um mindestens 88 % und bis 2045 dann um 100 % zur Erreichung der Netto-Treibhausgasneutralität angestrebt. Das Ziel der Netto-Treibhausgasneutralität für Deutschland bis 2045 wurde der nachfolgenden Untersuchung als Mindestziel für den Münchner Nordosten zugrunde gelegt.

Neben den übergeordneten Zielen auf europäischer und nationaler Ebene sind die konkreten Anforderungen nach den folgenden Gesetzen einzuhalten:

- Auf nationaler Ebene wurde der **Energie- und Klimaplan (NECP)** formuliert, um die europäischen Vorgaben und Ziele zu erreichen. Die EU-Länder entwickelten 10-Jahres-Pläne und Energie- sowie Klimaziele der Europäischen Union für das Jahr 2030. Jedes europäische Land reicht einen detaillierten Fahrplan bei der Europäischen Kommission zur Bewertung ein. Die Umsetzung dieses Plans wird überwacht und zur Sicherstellung der Erreichung der Ziele angepasst.
- Das **Gebäudeenergiegesetz (GEG) 2023**: Das GEG definiert die energetischen Mindestanforderungen an Neubauten, Sanierungen sowie den Mindestanteil an erneuerbaren Energien bei der Energieversorgung von Gebäuden. Das GEG trat 2020 in Kraft, 2023 wurde das novellierte GEG mit verschärften Anforderungen z. B. an den Primärenergiebedarf verabschiedet. Die 2. Novelle des GEG wurde am 08.09.2023 verabschiedet und trat zum 01.01.2024 in Kraft. Mit dieser Novelle wird der Umstieg auf erneuerbares Heizen verbindlich. Demnach müssen in Neubauten innerhalb von Neubaugebieten eingebaute Heizungen Wärme künftig zu mindestens 65 % mit erneuerbaren Energien erzeugen. Bis 2045 müssen alle Heizungen vollständig mit erneuerbaren Energien betrieben werden. Dies ist eng an die kommunale Wärmeplanung gekoppelt.
- Das **Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG)** soll Anreize schaffen, um in effiziente und CO₂-sparende Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen zu investieren.
- **Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)**: Hier wurde eine Einspeisevergütung für Strom aus erneuerbaren Energiequellen festgelegt. Des Weiteren wirkt sich die fortschreitende Dekarbonisierung des deutschen Stromnetzes positiv auf die strombasierte Energieversorgung aus.
- **Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz (GEIG) 2021**: Das GEIG trat am 25.03.2021 in Kraft. Es regelt den Aufbau der Leitungsinfrastruktur (bspw. Leerrohre) und Ladeinfrastruktur (bspw. Ladesäulen) für die Elektromobilität im Gebäudebereich. Die Anforderungen an die Infrastruktur für Elektromobilität werden in der Bilanzierung der Emissionen aus Mobilität betrachtet (Kapitel 4.1.3).
- **Bayerisches Klimaschutzgesetz (2023)**: Das BayKlimaG legt rund 150 konkrete Maßnahmen fest, um die gesetzlichen CO₂-Minderungsziele zu erreichen. Des Weiteren werden ambitionierte Klimaschutzziele festgelegt, nach denen bis zum Jahr 2030 mindestens 65 % an Treibhausgasen pro Einwohner*in eingespart werden sollen.

2.1.3 Übersicht internationaler und nationaler Berechnungstools

Es wurde eine Auswahl der marktrelevanten nationalen (**Tabelle 1**) und internationalen (**Tabelle 2**) Berechnungstools für Ökobilanzen erstellt. Die relevanten Parameter der weiteren Bilanzierungsmethodik sind hierbei die betrachteten Lebenszyklusphasen (nachfolgend LCA-Phasen) sowie die zugrundeliegende Datenbasis. Auf Grundlage der zusammengestellten Berechnungstools und deren Methodik wurde die geeignete Bilanzierungsmethodik definiert.

Die Rahmenbedingungen der methodischen Vorgehensweise, die auch zur Auswahl der weiteren Bilanzierungsmethodik führten, orientieren sich an den Vorgaben der Ökobilanzierung nach DGNB- und BNB-Zertifizierung für Neubauten. Als Grundlage wird daher die im Zeitraum der Erarbeitung aktuelle Version der Ökobau.dat (2023-I) verwendet. Eine aktualisierte Version der Ökobaudaten 2024-1 erschien am 02.10.2024. Die betrachteten Lebenszyklusphasen sind A1-3, B4, B6, C3, C4, D1 und D2. Für die grundlegenden Berechnungen der sogenannten grauen Emissionen der Gebäude wurde die Berechnungssoftware OneClick LCA verwendet. Diese deckt die erwähnten Anforderungen der DGNB-Methodik ab und bietet gleichzeitig aufgrund der internationalen Ausrichtung eine breite Datenbank an Referenzwerten an.

Name	Anbieter	Betrachtete LCA-Phasen	Datenbasis
EVEBI (Modul Ökobilanz)	ENVISYS GmbH & Co. KG	A1-3, B1, B4, B6, C3-4, D1, D2	Ökobaudat, v2023 Rechenwerttabelle QNG
Ökobilanzierung nach QNG (Zusatzmodul zum BKI-Energieplaner 2023)	BKI GmbH	A1-3, B1, B4, B6, C3, C4, D1, D2	Rechenwerttabelle QNG
Concular GmbH	Concular	A, B, C, D – anpassbar	Ökobaudat 21 + 23, EPD Norge, QNG
Ökobilanzierung von Sanierungsmaßnahmen	Marvin Wach (KIT Karlsruhe, Masterthesis)	A1-A3, B6, C4, D,	primär Ökobaudat
CAALA Analyse Software	Caala GmbH	A1-5, B4, B6, C1-2, C3-4, D1-D2	Ökobaudat v2016 und v2020
GENERIS® Online-Software	Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP	A1-A3, B4, B6.1-B6.3, C3-C4, D	Ökobaudat, Rechenwerttabelle QNG, ESUCO, EPDs
Madaster GmbH	Madaster	A1-A5, B1-B5, C1-C4, D	Ökobaudat, Herstellerdaten, EPEA-Datenbank, IBU, Eco Platform
Hotthgenroth ECO CAD	Hotthgenroth Software AG	A1-3, B4, B6, C3-4, D	Ökobaudat, Rechenwerttabelle QNG
LCA-online	HOINKA GmbH	A1-A3, B6, C3-4, D	Ökobaudat, EPDs anpassbar
LEGEPA Bausoftware	LEGEPA Software GmbH	A, B, C, D, anpassbar	Ökobaudat, Ecoinvent 2.0, Datensätze sind importierbar
Dämmwerk (Modul E10 Ökobilanz (QNG))	KERN Ingenieurkonzepte	A1-A3, B4, B6, C3/C4, D1/D2	Rechenwerttabelle QNG, Ökobaudat, FNB, kbob.ch
ZUB Helena	ZUB Systems GmbH	A, B, C, D	Rechenwerttabelle QNG
Ökobilanz nach QNG (B70.M)	SOLAR- COMPUTER GmbH	A, B, C, D	Rechenwerttabelle QNG
eLCA	BMUB/BBSR	A, B, C, D	Ökobaudat
BIM&More	EPEA GmbH & Die Werkbank	Auswertung vollständig anpassbar (ab Oktober)	Ökobaudat, ECO-Portal EPDs
Ökobilanz 2.0	FBNB Inhaber: Dipl.- Ing. Bernd Landgraf	A1-A3, B1, B4, B6, C3-C4, D1, D2	Ökobaudat 2020-II und ausgewählte EPD (IBU), Rechenwerttabelle QNG
openLCA (Open Source)	GreenDelta		Derzeit 31 verschiedene Datenbanken verfügbar

Tabelle 1 Auswahl der national verfügbaren Ökobilanzberechnungstools nach DGNB, 2024¹²

¹² DGNB, 2024

Name	Anbieter	Betrachtete LCA-Phasen	Datenbasis
LCA FE Software (GaBi Software)	Sphera Solutions, Inc./USA		unterschiedliche Datenbanken / verfügbare Datenbanken: Sphera MLC data, Ecoinvent, U.S. LCI, Environmental Footprint Database v2.0/v3.0
TOTEM (Tool to Optimise the Total Environmental impact of Materials)	OVAM, SPW and Brussels Environment/ Belgien	A1–5, B1–7, C1–4, zukünftig D	Ecoinvent and B-EPDs
OneClickLCA	One Click LCA Ltd./ Finnland; UK; USA; Frankreich	Auswertung vollständig anpassbar	zahlreiche internationale und nationale Datenbanken verfügbar
LCAByg	BUILD (ehemaliges dänisches Bauforschungsinstitut)/ Dänemark	A, B, C, D	EPDs von EPD Dänemark sind importierbar
Sympheny	Urban Sympheny AG/ Schweiz	B6	

Tabelle 2 Auswahl der internationalen Ökobilanzberechnungstools nach DGNB, 2024¹³

2.1.4 Datengrundlage

Durch den aktuell geringen Detaillierungsgrad der Quartiersplanung werden für die Bilanzierung teilweise Annahmen für die Eingangsparameter getroffen. Dafür werden Erfahrungswerte aus vergleichbaren Projekten und referenzierten Studien als Grundlage genommen. Als Grundlage dienen die verfügbaren Projektdaten, Zielwerte, Strategien der LHM und Kennwerte aus weitergehenden Gutachten, die in **Anhang 2** Liste der Dokumente zur Bestandsanalyse aufgelistet wurden.

2.2 A2. Definition der Betrachtungsgrenzen

2.2.1 Räumlicher Betrachtungsrahmen

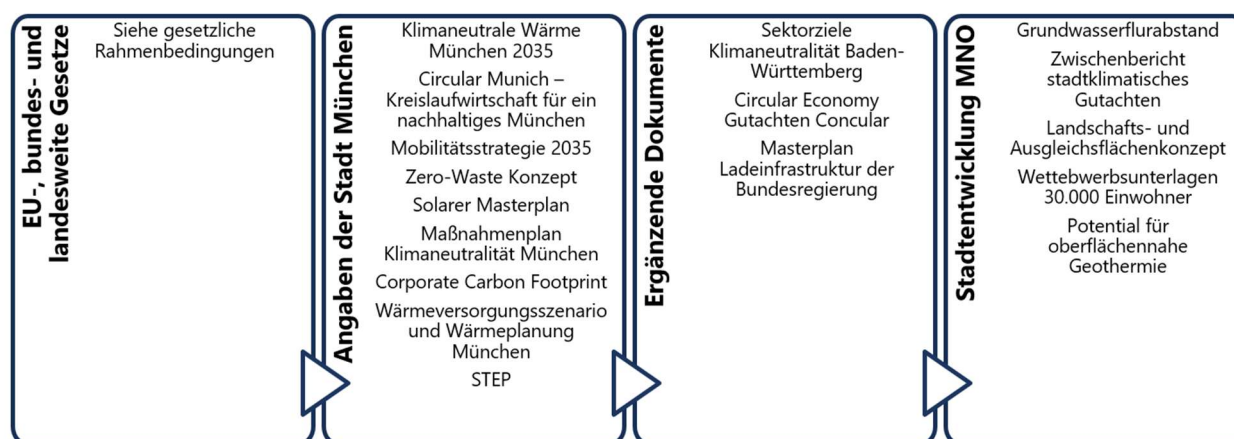


Abbildung 6 Übersicht der Datengrundlage vom MNO © Buro Happold

Für dieses Gutachten wird angenommen, dass das Stadtentwicklungsgebiet im Münchner Nordosten voraussichtlich in acht Teilabschnitten realisiert wird (siehe **Abbildung 7**). Als Bilanzierungsraum werden grundsätzlich die Nutzungen innerhalb dieser Abschnitte betrachtet. Hierfür wurden die Geschossflächen gemäß der Wettbewerbsgrundlage vom Gewinnerentwurf von rheinflügel severin verwendet und je nach Datengrundlage quantitativ in der Bilanzierung

¹³ DGNB, 2024

berücksichtigt oder bei einem frühen Planungsstand qualitativ in die Analyse miteinbezogen, ohne in der Bilanzierung aufgeführt zu werden.

Es erfolgt eine Einteilung in Gewerbe, Wohnen, Bildung und Sondernutzung gemäß dem Wettbewerbsentwurf für die Bilanzierung. Die Grundflächen wurden anhand von Referenzprojekten¹⁴ aus dem Stadtgebiet der LHM abgeleitet. Diese Flächen werden im weiteren Gutachten als „Zwillingsflächen“ bezeichnet. Für die Anzahl der Untergeschosse wurde für das gesamte Planungsgebiet im Mittel eine unterirdische GFZ von 0,6 mit der AG abgestimmt und in der Bilanzierung angesetzt.

Die Abschnitte B und G werden nicht in der Bilanzierung berücksichtigt, da für die dort geplanten Nutzungen derzeit keine ausreichenden Angaben vorliegen. Diese sollten zu einem späteren Zeitpunkt in weitergehenden Bilanzierungen gegebenenfalls integriert werden. Des Weiteren werden die nachfolgend aufgeführten Nutzungen auf dem Areal aus der Bilanzierung ausgeklammert. Dies ist auf den aktuellen Planungsstand und den vermutlich geringen Einfluss auf die Gesamtbilanz im Rahmen des aktuellen Detaillierungsgrades der Bilanzierung zurückzuführen.

- Abenteuerspielplatz (G14)
- Parken & Logistik (I11)
- Schulcampus Reserve (cr)
- Bezirkssport (G3 und G4)
- Park & Ride (I12)
- Umspannwerk (I6)
- Jugend- und Kulturzentrum (K3)
- Pferdewelt (P) / Reitverein (G15)
- Friedhof (G2), Stadtteilzentrum (K5)
- Grundschule Reserve (gr)

In der **quantitativen** Bilanzierung berücksichtigte Nutzungstypologien:

- Wohnen
- Gewerbe (es wird von einer Büronutzung ausgegangen)
- Schule
- Sondernutzungen

Weitere Flächen, die in der weiteren Betrachtung **qualitativ** berücksichtigt werden:

- Verkehrsflächen und zugehörige Infrastruktur (Busdepot, AWM-Potenzialfläche, Straßenreinigung, Steinlager und Wertstoffhof)
- Grünräume zwischen den Gebäuden
- Große Freiflächen und unterschiedliche Vegetationsformen im Quartier

Folgende Faktoren werden grundsätzlich nicht in der Quartiers-THG-Bilanzierung berücksichtigt, da zum derzeitigen Planungsstand nicht ausreichend Parameter bekannt sind:

- Bestandsgebäude
- Bahngelände und -gleise
- Aushub für Untergeschosse und Abbau der vorhandenen Böden
- Badeseen
- Infrastrukturflächen und große Freiflächen

¹⁴ *Flächenaufstellung im Gebiet MNO mit unterschiedlichen Nutzungen und Angaben zu Flächenanteilen (siehe **Anhang 12** Übersicht bilanzierte Flächen – Graue Emissionen)*

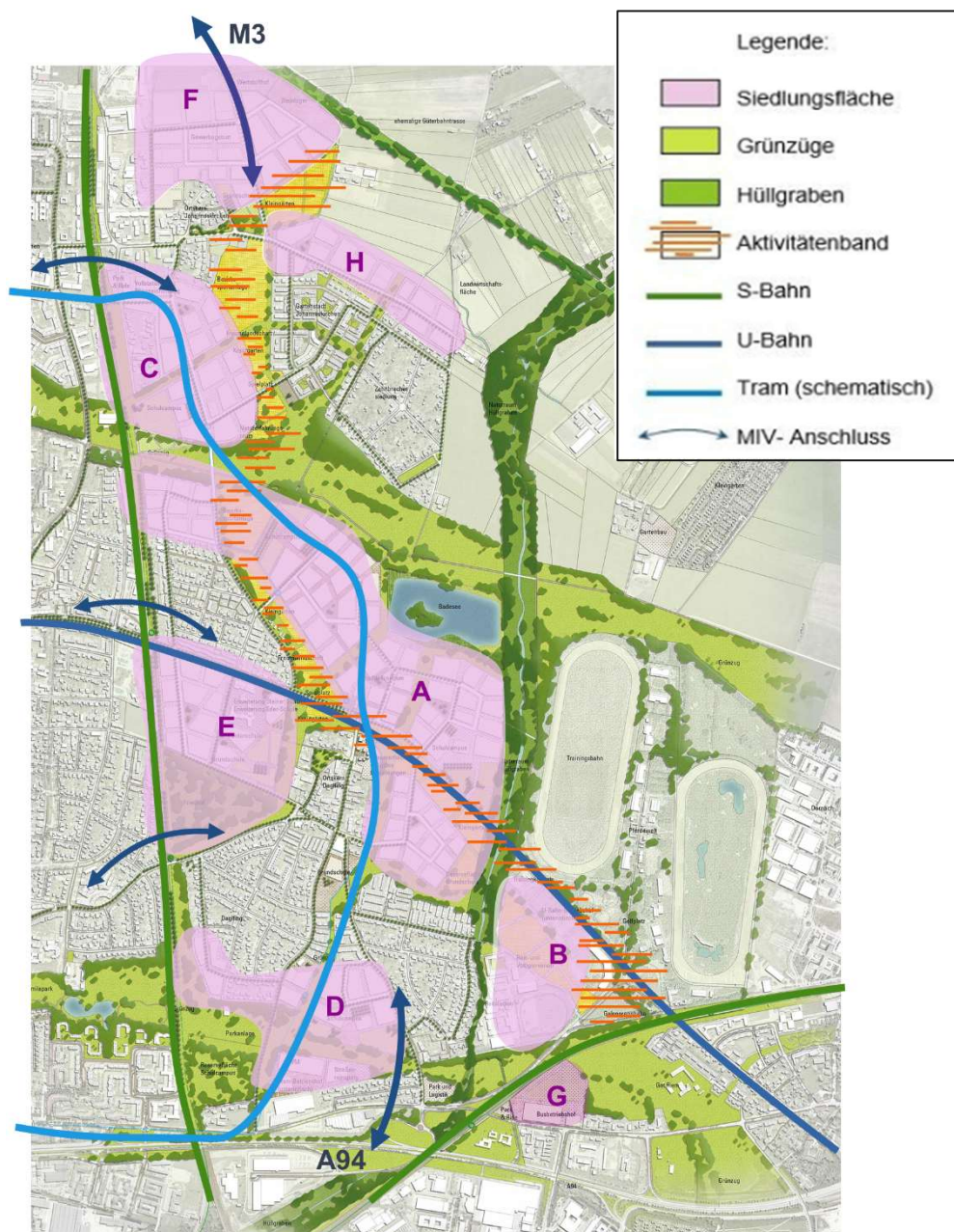


Abbildung 7 1. Preis überlagert mit Darstellung möglicher Teilabschnitte (lila)
 © rheinflügel severin, Düsseldorf mit bbz landschaftsarchitekten berlin gmbh, Berlin/ LHM München

2.2.2 Zeitlicher Betrachtungsrahmen

In Abstimmung mit der AG wurde ein voraussichtlicher Baustart für jeden Teilabschnitt festgelegt. Der Baustart für die Abschnitte A/E/D ist für das Jahr 2032 angesetzt, für die Abschnitte C/F/H das Jahr 2037. Es wird von einer Bauzeit der einzelnen Abschnitte von 15 Jahren ausgegangen und mit einem Nutzungsstart und dem Einzug der Einwohner*innen im Jahr 2047 (Abschnitte A, E und D) bzw. im Jahr 2052 (Abschnitte C, F und H) gerechnet. Darauf folgt eine Nutzungsdauer mit Instandhaltungsmaßnahmen von 50 Jahren und ein Rückbauzeitraum von ebenfalls 15 Jahren.¹⁵ Eine in der Realität länger anhaltende Nutzungsdauer ist wünschenswert und wird angestrebt. Eine Übersicht der Phasen der Baumaßnahmen im Gebiet kann **Abbildung 8** entnommen werden.

¹⁵ Die Betrachtung eines theoretischen Rückbauzeitraums erfolgt aufgrund der Bilanzierungsregeln DGNB, BNB sowie der Verwendung der ÖKOBAUDAT, nach denen die Bilanzierung hier erfolgt, vgl. **Kapitel 2.3.2 Methodik – Graue Emissionen (Baustein C – Städtebau-, Siedlungs- u. Freiraumstruktur).**

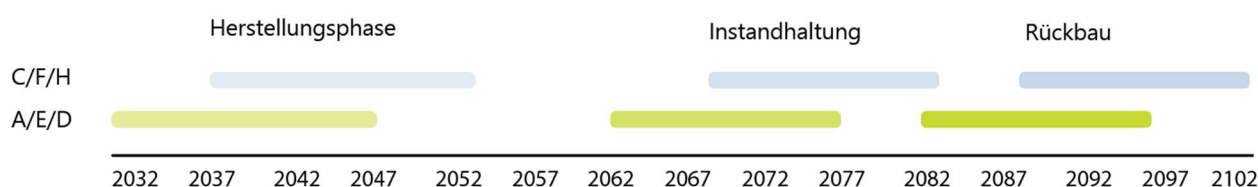


Abbildung 8 Zeitliche Einteilung Phasen und Teilabschnitte © Buro Happold

2.3 A3. Methodik der Bilanzierung

Die Bilanzierung der Szenarien erfolgt über einen Nutzungszeitraum der einzelnen Abschnitte von jeweils 50 Jahren. Die Herstellung und der Rückbau erfolgen sukzessiv über jeweils 15 Jahre. Durch die dargestellte zeitliche Phasierung ergibt sich ein Gesamtzeitraum der Bilanzierung von 2032 bis 2103. Die Bilanz umfasst die CO_{2e}-Emissionen, die aus den folgenden Sektoren bzw. Modulen resultieren:

- Energieversorgung des Gebäudebetriebs
- Herstellung, Instandhaltung und Rückbau der Gebäude und ausgewählter Infrastrukturen
- Mobilität
- CO_{2e}-Reduktionspotenziale durch natürliche Kohlenstoffsinken

Bei der Berechnung der Betriebsenergie wird das endenergiebasierte Territorialprinzip¹⁶ angesetzt. Im Bereich der Mobilität werden die Emissionen aus Quell- und Zielverkehren des Betrachtungsgebiets berücksichtigt. Dabei beschreibt der Quellverkehr im Quartier startende und außerhalb dessen endende Mobilität. Der Zielverkehr betrachtet die Mobilität, die außerhalb des Quartiers startet und innerhalb des zu betrachtenden Bereichs endet.

Für die Berechnung wird unter anderem ein durch Buro Happold entwickeltes Excel-basiertes Berechnungstool verwendet, in dem die Gesamtbilanzen der einzelnen CO_{2e}-Emissionen und -senken abgebildet und kumuliert bilanziert werden. In den nachfolgenden Kapiteln werden in den einzelnen Szenarien die Bilanzen in die oben genannten Module individuell aufgeschlüsselt und im Anschluss kombiniert als Gesamtbilanz dargestellt und ausgewertet.

Die durchgeführte Bilanzierung orientiert sich an der Bilanzierungs-Systematik Kommunal (BISKO-Methode). Sie weicht jedoch in einzelnen Aspekten davon ab, da sich das Projekt aktuell noch sehr früh in der Planung befindet und einige Aspekte der BISKO-Methode aufgrund fehlender Datengrundlage schwer zu integrieren sind. Außerdem werden anders als in der BISKO-Methode die grauen Emissionen berechnet. In der nachfolgenden **Tabelle 3** ist eine Gegenüberstellung der nach BISKO geltenden Konventionen und der in der Untersuchung des Gebietes MNO angesetzten Berechnung dargestellt.

¹⁶ Alle innerhalb der Betrachtungsgrenzen verbrauchten Energiemengen werden berechnet und die aus diesen Energieverbräuchen resultierenden CO₂-Emissionen ermittelt.

	BISKO	Im MNO verwendeter Ansatz
Systemgrenze	<p>Territorialbilanz: Es werden alle im betrachteten Territorium anfallenden Verbräuche auf Ebene der Endenergie berücksichtigt und den verschiedenen Verbrauchssektoren zugeordnet.</p> <p>Graue Emissionen werden nicht bilanziert.</p>	<p>Verkehr: Binnen-Quell-Ziel-Prinzip: Es werden alle Verkehrsaktivitäten erfasst, die durch den Personenverkehr, nicht aber Wirtschaftsverkehr (fehlende Angaben) im Quartier verursacht werden.</p> <p>Energie: Energiequellen außerhalb der Bausteine werden eingeschränkt betrachtet. Graue Emissionen werden bilanziert (LCA-Ansatz).</p>
Leitindikator	CO ₂ -Äquivalente	CO ₂ -Äquivalente
Berücksichtigung von Vorketten	Vorketten werden berücksichtigt.	<p>Graue Emissionen: Die LCA-Phasen A1–A3 berücksichtigen Rohstoffbeschaffung, Transport und Produktion.</p> <p>Mobilitätsemissionen: Vorketten aus Energiebereitstellung und Fahrzeugherstellung werden berücksichtigt. Infrastrukturherstellung ist vereinfachend bei den grauen Emissionen beinhaltet.</p>
Betriebsemissionen	Strom nach bundesdeutschem Mix	Strom und Fernwärme nach Prognosen des Öko-Instituts e. V. (2022)
Witterungskorrektur	Erfolgt eine Bilanzierung über mehrere Jahre, wird eine Witterungskorrektur empfohlen.	TRY2045 Medium für Standort München vom DWD (prognostizierte Wetterdaten für das Jahr 2045)
Aufteilung nach Endenergieverbrauchern und Energieträgern	Die Energiebilanz wird nach Endenergieverbrauchern und Energieträgern aufgeteilt.	Energie: Aufteilung nach Nutzung und Energieträger
Exergetische¹⁷ Bewertung von Strom, Fern- und Nahwärme	Die Berechnung der Stromerzeugung aus gekoppelten Prozessen erfolgt über die exergetische Allokation (Zuordnung) der THG-Emissionen, in der die Gesamtemissionen des KWK-Prozesses entsprechend dem Exergie-Gehalt (= hochwertiger Energieanteil) der Koppelprodukte aufgeteilt werden.	Energie: Aufteilung nach Nutzung und Energieträger
Ausweisung der Datengüte	Die gesamte Datengüte berechnet sich aus den Mengenverbräuchen der einzelnen Energieträger mit der jeweiligen Datengüte anhand der Datenherkunft.	Zuordnung erfolgt qualitativ ohne Berücksichtigung in der Berechnung aufgrund des frühen Planungsstands.

Tabelle 3 Abgleich der Bilanzierungsmethodik mit dem BISKO-Standard

¹⁷ Exergie: Teil der Gesamtenergie eines Systems, der Arbeit verrichten kann, wenn dieses in das thermodynamische (thermische, mechanische oder chemische) Gleichgewicht mit seiner Umgebung gebracht wird.

Die Rahmenbedingungen der einzelnen Szenarien werden in den folgenden Unterkapiteln jeweils gesondert für die betrachteten Bilanzen aufgeführt. Die Bilanzierung wird mithilfe von zuvor definierten und mit der AG abgestimmten Eingangsparametern durchgeführt. Die vollständige Zusammenstellung der angesetzten Eingangsparameter kann **Anhang 3** Eingangsparameter Energiebedarfsermittlung entnommen werden.

2.3.1 Methodik Betriebsemissionen (Baustein B)

In der Bilanzierung des Bausteins B werden die Betriebsemissionen des gesamten Quartiers berechnet. Dabei wird die Lebenszyklusphase B6 – Betrieblicher Energieeinsatz betrachtet und über einen Zeitraum von 50 Jahren dargestellt.

Der Bilanzierungsansatz der Betriebsemissionen ist in **Abbildung 9** dargestellt. Der Nutzenergiebedarf wird für alle Nutzungstypen des Quartiers für Heizen, Kühlen, Warmwasser und Strom ermittelt, hierbei wird der Strombedarf für die Gebäude und die E-Mobilität erfasst. Eine Ausnahme bildet dabei die Wohnnutzung, bei der bislang nicht von einer mechanischen Kühlung ausgegangen wird. Es wird angenommen, dass der Kühlbedarf in den Wohnungen über passive Maßnahmen (vgl. **3.1 B1. Abschätzung der Energiebedarfe im MNO**) abgedeckt werden kann. Der angesetzte Energiestandard der Neubauten entspricht dem Gebäudestandard EG/EH 40.¹⁸

Die jährlichen Endenergiebedarfe werden auf Basis der ermittelten Nutzenergie berechnet. Es werden die Energieverluste durch Erzeugung, Verteilung, Übertragung und Speicherung sowie die Effizienz der Erzeugungsanlagen berücksichtigt. Die Endenergie wird nach den Energieträgern getrennt berechnet. Aus dem Produkt der Endenergie und der CO₂-Faktoren der jeweiligen Energieträger ergeben sich die Betriebsemissionen.

Der Emissionsfaktor (entspricht CO₂-Faktor) beschreibt die Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) der zugehörigen Energieträger. Um die Betriebsemissionen über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes zu bilanzieren, wird die Entwicklung der CO₂-Faktoren für 2047 bis 2097 für den angenommenen Strommix und die Fernwärme prognostiziert. Als Grundlage für die Prognose dient der Datensatz des Öko-Institut e. V. (2022) (siehe **Abbildung 10**). Der Emissionsfaktor für den Strommix sinkt zwischen den Jahren 2025 und 2040 von 354 g CO₂-Äquivalent pro Kilowattstunde (Äqv./kWh) auf 35 g CO₂ Äqv./kWh um 90 %. Die CO₂-Faktoren von Fernwärme hingegen sind mit ca. 12 % der heutigen Emissionsfaktoren von 200 g CO₂ Äqv./kWh auf 23 g CO₂ Äqv./kWh im Jahr 2050 weitestgehend, aber noch nicht vollständig dekarbonisiert. In der Bilanzierung wird eine stetig lineare Dekarbonisierung bis zum Jahr 2088 angesetzt. Die angesetzte Prognose der CO₂-Faktoren für 2047 bis 2097 kann **Anhang 8** Prognose CO₂-Faktoren Energieträger entnommen werden.

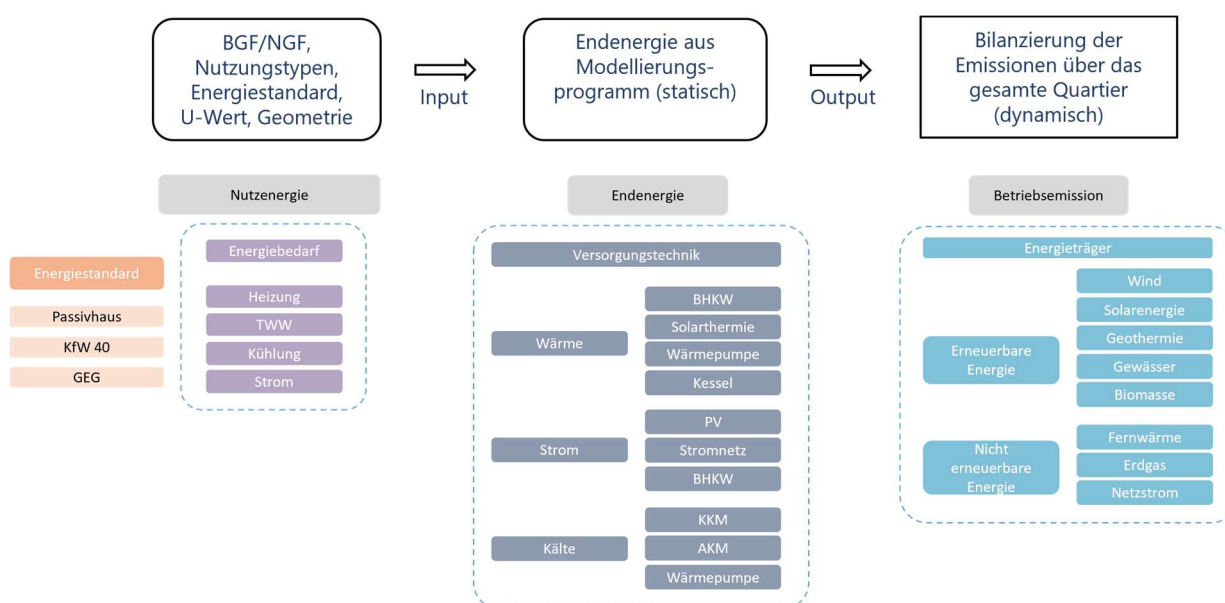


Abbildung 9 Übersicht der Bilanzierungsansätze der Betriebsemissionen © Buro Happold

¹⁸ EG/EH40: Effizienzhaus benötigt nur 40 % der Primärenergie im Vergleich zum Referenzgebäude nach GEG.

Die Teilabschnitte A, C, D, E, F und H werden in der Bilanzierung herangezogen und in der Ermittlung der Betriebsemissionen entsprechend berücksichtigt. Die Teilabschnitte B und G (u. a. Busdepot, Wertstoffhof) werden als unbebaute, aber versiegelte Fläche betrachtet. Die Betriebsemissionen dieser Abschnitte wurden in dieser Betrachtung entsprechend vernachlässigt (vgl. **2.2.1 Räumlicher Betrachtungsrahmen**). Des Weiteren gelten die Fertigstellungstermine und die Rahmenbedingungen der Siedlungsschollen (vgl. **2.2 A2. Definition der Betrachtungsgrenzen**).

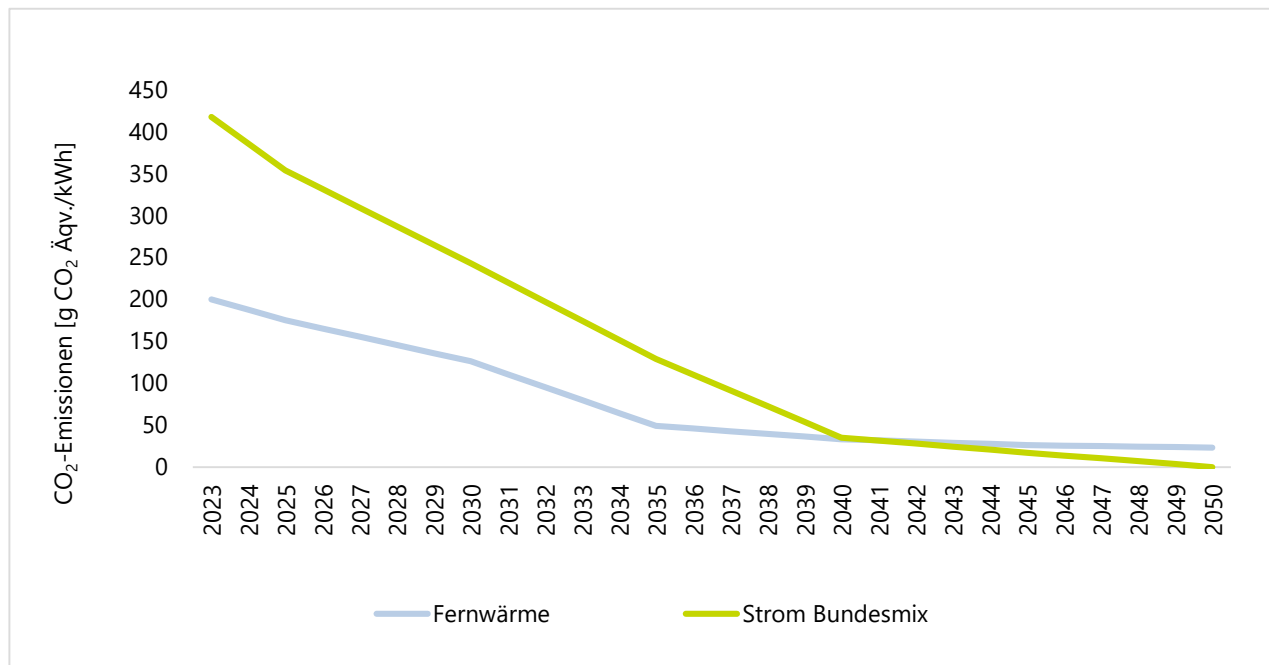


Abbildung 10 Dekarbonisierungspfade der Energieträger Strom und Fernwärme bis 2050 gem. Öko-Institut e. V. (2022), eigene Darstellung

2.3.2 Methodik – Graue Emissionen (Baustein C – Städtebau-, Siedlungs- u. Freiraumstruktur)

In diesem Kapitel werden die Bilanzierungsmethodik für die grauen Emissionen dargestellt. Unter grauen Emissionen werden die Emissionen verstanden, die aus den Prozessen der Ressourcengewinnung, der Herstellung der Gebäude, deren Instandhaltung und Rückbauprozessen resultieren. Dies wird in Form von Lebenszyklusphasen in der Bilanzierung abgebildet. Die Definition der Lebenszyklusphasen erfolgt nach DIN EN 15978 und ist in **Abbildung 11** dargestellt. Dabei sind die hier berücksichtigten Phasen in grün eingefärbt. Die Herstellungsphasen (Phase A1–A3) beschreiben die Rohstoffbeschaffung (A1), den Transport vom Abbauort zum Produktionsort (A2) sowie die Emissionen aus der Produktion (A3). Die Emissionen, die durch den Austausch der Materialien im Gebäude entstehen, werden mit der Phase B4 (Austausch) abgebildet. Die Emissionen, die durch den energetischen Betrieb der Gebäude entstehen, werden in Phase B6 beschrieben. Bei der Entsorgung der Gebäude (Abfallbehandlung C3 und Beseitigung C4) entstehen ebenfalls CO₂-Emissionen durch den Rückbau und die anschließende thermische Verwertung oder Deponierung der im Gebäude verbauten Materialien. Am Ende des Lebenszyklus besteht ein Potenzial für Wiederverwendung, Rückgewinnung und Recycling, bei dem möglicherweise Gutschriften erzielt werden (Phase D). Die Festlegung der Lebenszyklusphasen und der Lebenszyklusdauer der Gebäude basiert auf den Bilanzierungsregeln der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) und des Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB).

Die Lebensdauer des Gebäudes wird auf 50 Jahre festgelegt. Als Mindestklassifizierung wurde der EH40-Baustandard für alle Gebäude festgelegt.

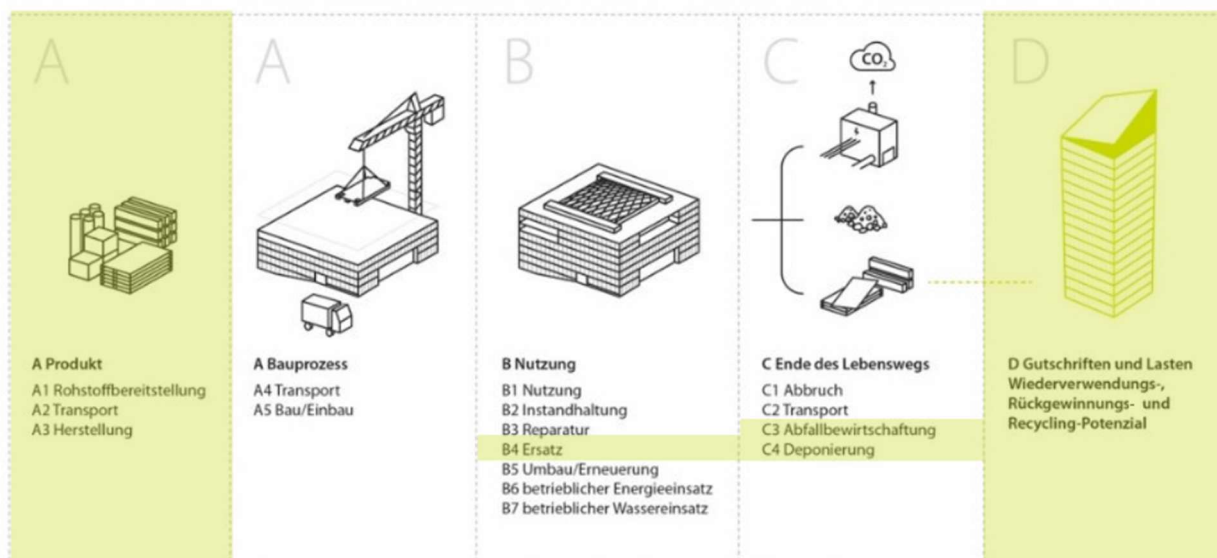


Abbildung 11 Lebenszyklusphasen nach DIN EN 15978:2012-10, in der Bilanzierung berücksichtigte Phasen in grün © Buro Happold

Die einzelnen Siedlungsschollen des Gebietes weisen unterschiedliche städtebauliche Qualitäten auf. Der Wettbewerbsentwurf sieht unterschiedliche Bebauungsdichten mit prozentualem Bebauungsanteil und durchschnittlichen Gebäudehöhen sowie Nutzungstypologien vor, die für die Bilanzierung herangezogen werden.

Zunächst erfolgt eine Aufstellung der zu bilanzierenden Bauweisen, Nutzungen und Flächen im Quartier. Dazu werden die Gebäude nach den Nutzungen Wohnen, Gewerbe, Bildung und Sondernutzung aufgeteilt und entsprechend eine Flächenaufstellung nach Nutzung und Bauweise erstellt. Aufgrund der frühen Planungsphase des Projekts werden Referenzwerte für graue Emissionen von relevanten Gebäudetypologien und Nutzungen aus Vergleichsprojekten als Inputparameter in der Bilanzierung verwendet. Hierfür wurden Referenzstudien herangezogen, die auf den Erkenntnissen der folgenden Untersuchungen basieren:

- Benchmarks für die Treibhausgasemissionen der Gebäudekonstruktion¹⁹; herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB), 2021
- Potenziale von Bauen mit Holz²⁰; herausgegeben durch das Umweltbundesamt, 2020
- Embodied Carbon Benchmarks for European Building²¹; Published by OneClick LCA, 2021
- Treibhausgasbilanzierung von Holzgebäuden – Umsetzung neuer Anforderungen an Ökobilanzen und Ermittlung empirischer Substitutionsfaktoren²²
- Wohnquartier in Holz, Mustersiedlung in München²³
- Buro Happold, eigene Erfahrungswerte aus internen Ökobilanzstudien und Auswertungen

¹⁹ Braune, A. et al., 2021

²⁰ Umweltbundesamt, 2020

²¹ One Click LCA, 2024

²² Ruhr-Universität Bochum, 2017

²³ Edition Detail, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, 2020

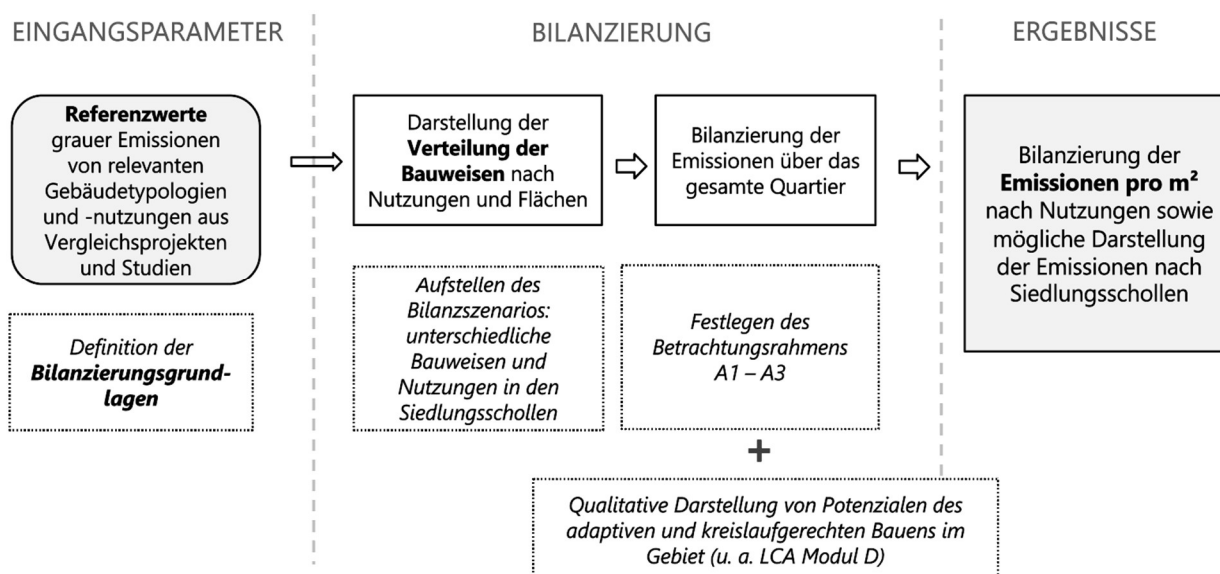


Abbildung 12 Bilanzierungsmethodik graue Emissionen © Buro Happold

Die Bilanzierung der grauen Emissionen aus den oben genannten Studien basieren auf generischen Materialdatensätzen der Ökobau.dat.²⁴ Diese vom Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen zur Verfügung gestellte Datenbank bildet eine einheitliche und anerkannte Grundlage für die Berechnung von Ökobilanzen im Bauwesen in Deutschland. In der Bilanzierung der grauen Emissionen werden zwei unterschiedliche Konstruktionstypen für das neue Quartier dargestellt und die resultierenden grauen Emissionen anschließend vergleichend gegenübergestellt. So können maßgebliche Hebel zur Reduktion der grauen Emissionen abgeleitet und Empfehlungen für den weiteren Planungsverlauf formuliert werden. In einem **Referenzszenario** werden alle Gebäudetypen und -nutzungen in Stahlbetonbauweise dargestellt (Untergeschosse und Obergeschosse). Vergleichend hierzu sind in einer ambitionierten Variante, nachfolgend als **optimiertes Szenario** bezeichnet, folgende Bauweisen angesetzt: Die Untergeschosse werden weiterhin aus Stahlbeton gefertigt, während die Obergeschosse in den Wohngebäuden mit einer GFZ von 1,0 und 2,0 als Holzbau und in Bildungs-, Gewerbe- und Wohngebäuden mit einer GFZ von 2,7 als Holz-Beton-Hybridbauweise angesetzt werden. Eine tabellarische Darstellung der Materialien beider Varianten ist in **Tabelle 4** zu sehen.

	Referenz-szenario	Optimiertes Szenario
Wohnen GFZ 1,0	Stahlbeton	Holzbau
Wohnen GFZ 2,0		
Wohnen GFZ 2,7		Holz-Beton-Hybridbauweise
Bildungsbauten		
Gewerbe und Büro		
Untergeschosse	Stahlbeton	Stahlbeton
Sondernutzungsflächen	Beton	Beton
Verkehrsflächen	Beton	Beton

Tabelle 4 Materialität der Bilanzierungsvarianten nach Nutzung

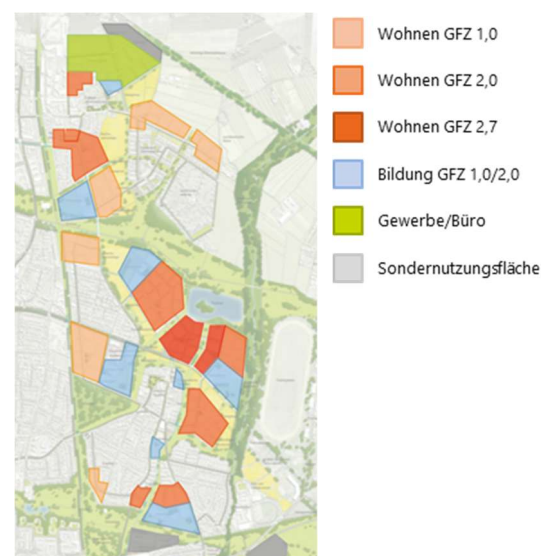


Abbildung 13 Städtebauliche Dichte der Nutzungen © reinflißel severin / bbz Landschaftsarchitekten, Überlagerung © Buro Happold

²⁴ Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), 2023

Es wurde eine Flächenaufstellung der Nutzungstypologie und Konstruktionsart erstellt (siehe **Tabelle 5**). Neben den Gebäuden werden zusätzlich 20 % der Teilabschnitte als Verkehrsflächen (versiegelte Flächen) und weitere unbebaute versiegelte Flächen mit Flächenanteil gemäß den Referenzprojekten der LHM berücksichtigt. Folgende Nutzungen werden als Sondernutzungsflächen definiert und zählen als unbebaute versiegelte Flächen in der Berechnung der grauen Emissionen, jedoch nicht der Betriebsenergieberechnung: Wertstoffhof, AWM-Potenzialfläche, Straßenreinigung, Busdepot, Steinlager.

Referenzszenario		Wohnen GFZ 1,0	Wohnen GFZ 2,0	Wohnen GFZ 2,7	Bildungs- bauten GFZ 1,0/ GFZ 2,0	Gewerbe und Büro	Sondernutzungs- fläche
Optimiertes Szenario							
Beton	Verkehrs- fläche	63.000 m²	84.400 m²	22.000 m²	65.200 m²	35.400 m²	131.000 m²
		63.000 m²	84.400 m²	22.000 m²	65.200 m²	35.400 m²	
	Versiegelte Flächen	50.400 m²	84.400 m²	9.680 m²	60.520 m²	42.800 m²	131.000 m²
		50.400 m²	84.400 m²	9.680 m²	60.520 m²	42.800 m²	
Stahlbeton		554.400 m² (UG + OG)	1.097.920 m² (UG + OG)	295.680 m² (UG + OG)	740.960 m² (UG + OG)	418.960 m² (UG + OG)	-
		302.400 m² (UG)	405.120 m² (UG)	105.600m² (UG)	312.960 m² (UG)	169.920 m² (UG)	-
Holz-Beton- Hybridbauweise		-	-	-	-	-	-
		-	-	190.080 m²	428.000 m²	249.040 m²	-
Holzbau		-	-	-	-	-	-
		252.000 m²	692.800 m²	-	-		-

Tabelle 5 Flächenaufstellung für das Referenzszenario und für das optimierte Szenario

2.3.3 Methodik – Kohlenstoffsenken

Die Vegetation, die durch die Realisierung des Vorhabens Münchner Nordosten entsteht, kann als Kohlenstoffspeicher und somit nachfolgend als CO₂-Speicher herangezogen werden. Dafür wurden die jeweiligen positiv zu berücksichtigenden Flächen auf Grundlage der Zwillingsflächen und auf Basis des landschaftsplanerischen Gutachtens ermittelt. Es wurde eine Unterteilung der Flächen in innerhalb und außerhalb der Siedlungsschollen vorgenommen und Vegetationsformen entsprechend definiert (siehe **Abbildung 14**).

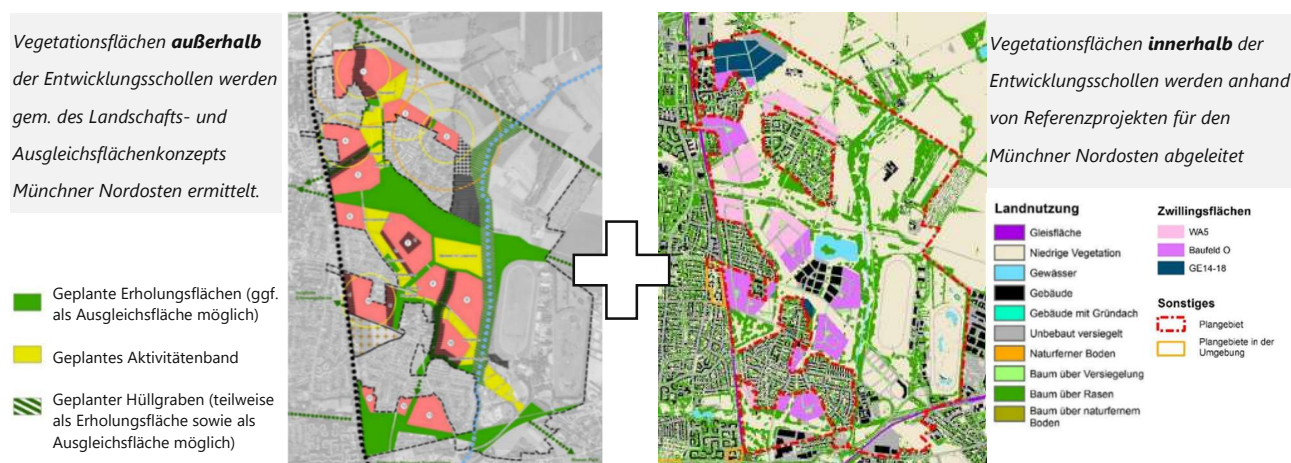


Abbildung 14 Vegetationsflächen innerhalb und außerhalb der Entwicklungsschollen © GFN – Umweltplanung, München, LHM München

Die Kohlenstoffspeicherpotenziale der Grünflächen im Quartier werden mithilfe von repräsentativen Vegetationsflächentypen für das Quartier dargestellt.

Hierbei werden außerhalb der Schollen die Erholungsflächen, das Aktivitätenband und der Hüllgraben mit unterschiedlichen Vegetationsintensitäten angesetzt. Die CO₂-Senken innerhalb der Schollen werden qualitativ anhand der Zwillingsflächen für die Grünräume zwischen den Gebäuden und den großen Freiflächen ermittelt. Der verwendete Prozentanteil an Grünflächen innerhalb der Siedlungsschollen ist in **Tabelle 6** dargestellt. Die relevanten Flächen außerhalb der Schollen sind in **Tabelle 7** aufgestellt.

	Wohnen GFZ 1,0	Wohnen GFZ 2,0	Wohnen GFZ 2,7	Bildung GFZ 1,0	Bildung GFZ 2,0	Gewerbe/Büro GFZ 1,2
Niedrige Vegetation	32,0 %	22,5 %	37,5 %	32,0 %	22,5 %	22,5 %
Baum über Versiegelung	7,0 %	8,0 %	4,0 %	7,0 %	8,0 %	10,0 %
Baum über Rasen	11,0 %	7,50 %	12,5 %	11,0 %	7,5 %	7,5 %

Tabelle 6 CO₂-Senken innerhalb der Entwicklungsschollen

Vegetationsflächen außerhalb der Schollen	Vegetationsform	Bezeichnung nach rheinflügel severin	Flächen
Hüllgraben	Nutzungstyp Wald	Ausgleichflächen/Biotope	44,20 ha
Erholungsfläche	Nutzungstyp Wald	Grünflächen Stadtteilebene	60,90 ha
Aktivitätenband	Nutzungstyp Park (Teilflächen)	Grünflächen Quartiersebene	34,10 ha
	Kleingärten (Kleingärten)	Kleingärten	10,8 ha

Tabelle 7 Vegetationsflächen außerhalb der Entwicklungsschollen

Die Kohlenstoffspeicherung durch Vegetation und Substrate im Untersuchungsgebiet wird mithilfe von Kohlenstoffspeicherpotenzialen bilanziert, die im Rahmen des Projektes „Entwicklung eines Planungsinstrumentes für das CO₂-Management der Kohlenstoffspeicher Berlins (NatKoS)“²⁵ der Humboldt-Universität zu Berlin zusammengestellt wurden. Hierbei werden jeweils die Kohlenstoffspeicherpotenziale unterschiedlicher städtischer Vegetationstypen ermittelt und ausgewiesen.²⁶ Die Kohlenstoffspeicherung der Vegetation nimmt von der Baumvegetation bis hin zu Gras- und Krautvegetation ab, wie **Abbildung 15** entnommen werden kann.

²⁵ Klingenuß, C. et al., 2020

²⁶ Diese Kohlenstoffspeicherung wird im Rahmen der NatKoS-Studie mithilfe des Faktors 3,67, der sich aus der Differenz der molaren Masse von Kohlendioxid zu der von Kohlenstoff ergibt, in die potenzielle Speicherung von CO₂ umgerechnet.



Abbildung 15 Einteilung der natürlichen Kohlenstoffspeicherpotenziale (eigene Darstellung basierend auf Klingenfuß, 2020) © Buro Happold

Für die nachfolgende Bilanzierung werden die CO₂-Speicherpotenziale für die unterschiedlichen Vegetationstypen in **Tabelle 8** herangezogen. Diese Potenziale setzen sich aus der Speicherung des Substrats und der Vegetation zusammen und werden in kg CO₂/m² angegeben. Sie sind für den gesamten Lebenszyklus im Quartier zu berücksichtigen (über einen Zeitraum von 50 Jahren).

Einsatzort	Ausführungs- detail	Speicherung Substrat	Speicherung Vegetation	Speicherung Summe	Einheit	Quelle
Baum (Durchschnitts- werte, allgemein: je schwerer der Baum, desto mehr C- Speicherung; <i>Rangliste: Buche, Eiche, Kiefer, Fichte</i>)	Einzelbaum in den ersten 20 Jahren		10,00	10,00	[kg/Baum* a]	Faktenblatt Bäume 2020, Plant for the Planet
	Bestandsbaum ab 20 Jahre		12,50	12,50	[kg/Baum* a]	Süddeutsches Klimabüro KIT, 2010
Fassadenbegrünung	20 cm tiefe Fassaden- begrünung	k. A.	k. A.	2,30	[kg/m ² *a]	Gutachten Fassadenbegrünung TU Darmstadt, 2016
Dachbegrünung	extensiv	0,20	0,31	0,50	[kg/m ² *a]	Carbon Sequestration Potential of Extensive Green Roofs (Michigan State University), 2009
	intensiv	k. A.	k. A.	2,40	[kg/m ² *a]	Schadstoffminimier- ung durch Moos- dächer, 2009, Frahm, Universität Bonn
	Moosdach	k. A.	k. A.	2,20	[kg/m ² *a]	

Tabelle 8 Datengrundlage der CO₂-Senken der Vegetation

Zusätzlich werden die CO₂-Speicherpotenziale nach dem baulichen Eingriff für die fortlaufende Speicherung von Begrünungen im Untersuchungsgebiet gemäß **Tabelle 9** angesetzt.

Einsatzort	Ausführungsdetail	Speicherung Substrat	Speicherung Vegetation	Speicherung Summe	Einheit	Quelle
Freiflächen (nur unversiegelte Flächen)	Nutzungstyp Siedlung	34,50	13,21	47,71	[kg/m ²]	Abschlussbericht Natkos (Natürliche Kohlenstoffspeicher)
	Nutzungstyp Park	34,87	18,35	53,22	[kg/m ²]	
	Nutzungstyp Kleingarten	66,43	5,51	71,93	[kg/m ²]	
	Nutzungstyp Straße (unversiegelte Fläche)	11,74	16,15	27,89	[kg/m ²]	
	Nutzungstyp Wald	27,16	35,60	62,76	[kg/m ²]	
	Nutzungstyp Landwirtschaft	27,53	3,30	30,83	[kg/m ²]	

Tabelle 9 Datengrundlage der CO₂-Senken der Begrünung

Die gespeicherten CO₂-Emissionen im vorhandenen Boden sind nicht Teil des Bilanzierungsumgriffs. Durch die Baumaßnahmen auf dem Areal wird der dort bisher im Boden gespeicherte Kohlenstoff freigesetzt. Für eine genauere Quantifizierung sollte eine Untersuchung des Bodens und des dort gespeicherten CO₂ durchgeführt werden. Potenzielle Verluste der natürlichen Kohlenstoffspeicher im Untersuchungsgebiet (landwirtschaftliche Nutzflächen) werden nachfolgend qualitativ aufgeführt. Eine quantitative Ermittlung der Verluste der natürlichen Kohlenstoffspeicher im Gebiet liegt außerhalb des Leistungsumfangs der Untersuchung. Für eine weitere Spezifizierung wird ein zusätzliches Gutachten empfohlen.

2.3.4 Methodik – Mobilität (Baustein E)

Abbildung 16 zeigt die Vorgehensweise der Bilanzierung der Mobilitätsmissionen. Hierbei dienen die dargestellten Benchmarks, Rahmenbedingungen, Prognose sowie Annahmen als Eingangsparameter.

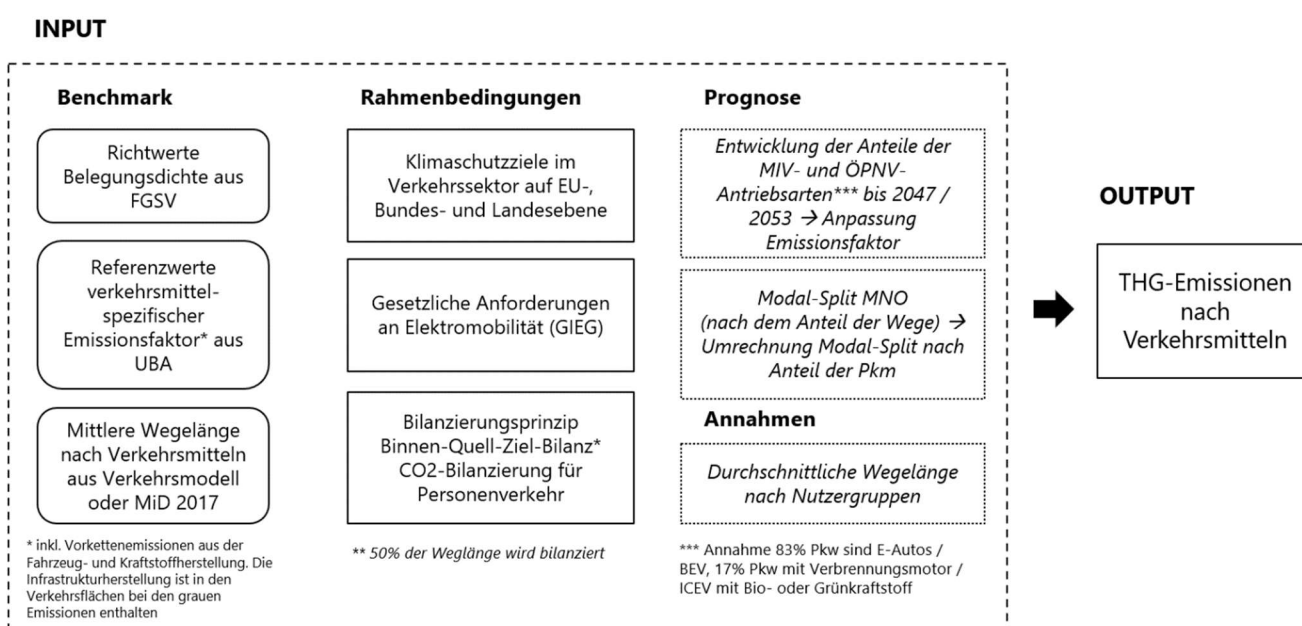


Abbildung 16 Bilanzierungsmethodik Mobilität © Buro Happold

Die Emissionen für den Verkehr werden erst ab der Fertigstellung der ersten Teilabschnitte (A, E, D gemäß **Abbildung 8**) des Quartiers berücksichtigt und in die einzelnen Entwicklungsschritte unterteilt. Die Emissionen aus Fahrzeugbetrieb und Vorketten (Energiebereitstellung und Fahrzeugherstellung) werden über die Emissionsfaktoren in CO_{2e}/Pkm erfasst. In der Bilanzierung wird der Personenverkehr berücksichtigt, nicht aber der Wirtschaftsverkehr innerhalb des neuen Quartiers. Das Bilanzprinzip entspricht dem Binnen-Quell-Ziel-Prinzip (BQZ-Bilanz) gemäß dem Praxisleitfaden Kommunaler Klimaschutz.²⁷ Dabei werden 100 % der Fahrstrecken des Binnenverkehrs und 50 % der Fahrstrecken des Quell- und Zielverkehrs mitbilanziert.

Die Mobilitätsmissionen berechnen sich aus dem Produkt der Personenkilometer (Pkm) einzelner Verkehrsmittel und der entsprechenden Emissionskennwerte der zugehörigen Verkehrsmittel. Hier unterscheiden sich die Verkehrsmittel in ÖPNV, MIV und Rad- sowie Fußverkehr.

$$\text{CO}_2\text{-Emissionen (g CO}_2\text{Äqv.)} = \text{Wegelänge (Pkm)} \times \text{Emissionsfaktor (g CO}_2\text{Äqv./Pkm)}$$

Um die Gesamtweglänge des Quartiers in Personenkilometern zu berechnen, sind die Personenanzahl und die durchschnittliche Wegelänge nach Nutzergruppen festzulegen. Anhand der Richtwerte der Belegungsdichte gemäß der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) wird die Personenanzahl nach Nutzergruppen ermittelt.

²⁷ Allekotte, M. et al., 2020

Für die Ermittlung der durchschnittlichen Wegelänge je Nutzergruppe werden Erfahrungswerte aus Referenzprojekten verwendet. Anhand des Modal Split nach Pkm werden die verkehrsspezifischen Pkm berechnet.

Der Modal Split nach Pkm wird anhand des Modal Split nach Wegeanteil umgerechnet. Der Modal-Split nach Wegeanteil wird aus dem Mobilitätsgutachten entnommen: 30 % MIV, 21 % Rad, 14 % Fußgängerverkehr, 35 % ÖPNV. Bei der Umrechnung des Modal Splits nach Weganteil auf Pkm fließt die mittlere Wegelänge nach Verkehrsmitteln mit ein. Diese wird auf Grundlage der Kennwerte in Bogenhausen sowie in der Stadt München aus dem Bericht „Mobilität in Deutschland“ (MiD) Regionalbericht München 2017²⁸ berechnet. Die Ergebnisse des umgerechneten Modal-Splits sind in **Tabelle 10** aufgeführt.

Umrechnung Modal Split			
	Anteil nach Wegen	mittlere Wegelänge [km]	Anteil [Pkm]
ÖPNV	35 %	16	42 %
MIV	30 %	22,7	51 %
Fuß	14 %	1,4	1 %
Rad	21 %	3,6	6 %

Tabelle 10 Modal-Split-Anteile

Um den Ausbau der Elektromobilität zu berücksichtigen, werden die Emissionskennwerte, ähnlich wie bei der Berechnung der CO₂-Faktoren der Energieträger, von 2017 bis 2053 anhand von Basisdaten prognostiziert. Als Basisdaten werden die Referenzwerte des UBA²⁹ verwendet (siehe **Abbildung 17**). Es wird angenommen, dass sich die Anteile der MIV- und ÖPNV-Antriebsarten im Quartier bis zum Jahr 2050 ändern werden, nämlich dass 83 % der Pkw elektrisch und 17 % der Pkw mit Verbrennungsmotor / Internal Combustion Engine Vehicle (ICEV) mit Bio- oder Grünkraftstoff (z. B. Bio-CNG³⁰) betrieben werden. Der Anteil der E-Autos von 83 % entspricht den Vorgaben der Landeshauptstadt München LHM – dementsprechend werden 5.600 Stellplätze mit einer Ladeinfrastruktur im gesamten Entwicklungsgebiet angesetzt.

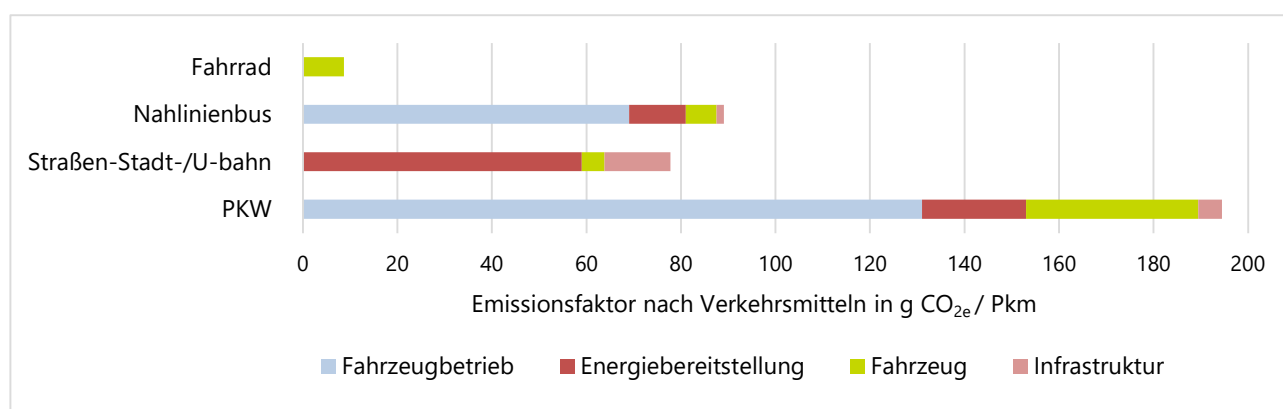


Abbildung 17 CO₂-Faktoren Mobilität 2017, Quelle: UBA Ökologische Bewertung von Verkehrsarten © Buro Happold

Der Emissionsfaktor der jeweiligen Verkehrsmittel im Jahr 2050 wird in

Abbildung 18 dargestellt. Ausgehend von einer vollständigen Elektrifizierung des ÖPNV und der Dekarbonisierung des Strommixes fallen die Emissionen aus Elektro-Fahrzeugbetrieb komplett aus. Darüber hinaus wird eine 30%ige Reduktion der Vorkettenemissionen aufgrund der Dekarbonisierung im Energiesektor angenommen.

²⁸ Belz, J. et al., 2020

²⁹ Allekotte, M., 2020

³⁰ Biological Compressed Natural Gas (Gas aus erneuerbaren Energiequellen, das einen emissionsfreien Energieträger darstellt)

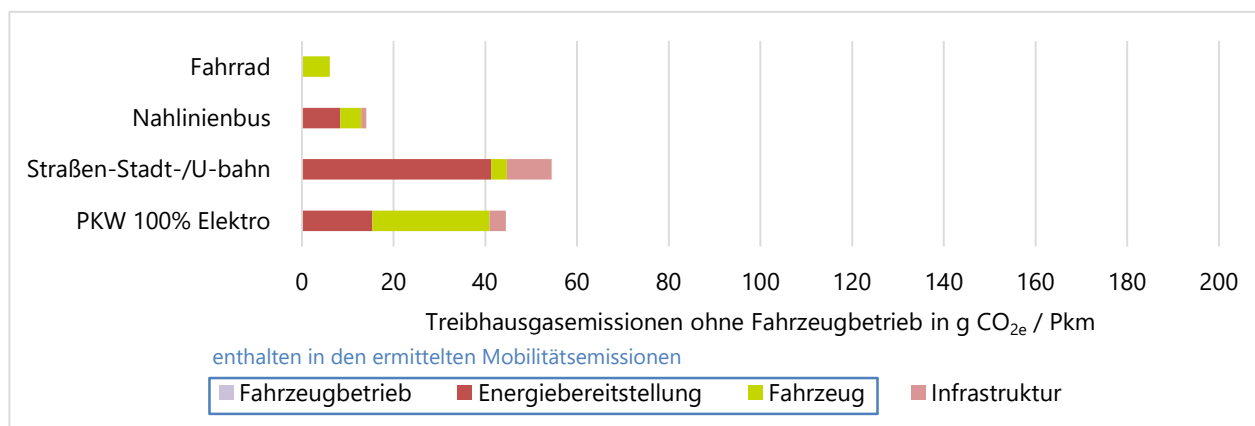


Abbildung 18 Prognose CO₂-Faktoren Mobilität, 2050 © Buro Happold

Die daraus ermittelten Emissionskennwerte des ÖPNV und MIV für 2017 bis 2053 können der **Abbildung 19** und dem **Anhang 9** Prognose CO₂-Faktoren Mobilitätsemissionen entnommen werden. Die Emissionsfaktoren ab 2053 werden als konstant bleibend angenommen.

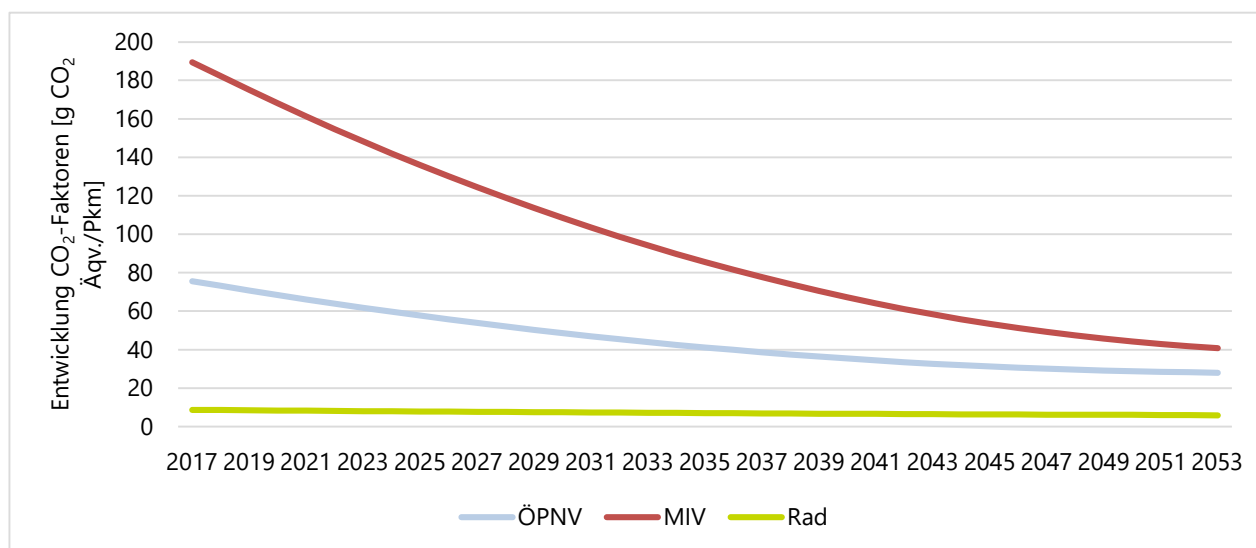


Abbildung 19 Prognose Entwicklung der CO₂-Faktoren © Buro Happold

3 Baustein B: Energieversorgung

3.1 B1. Abschätzung der Energiebedarfe im MNO

Für die Abschätzung der Energiebedarfe des neuen Quartiers Münchner Nordosten fließen Parameter der Baukörper und Gebäudetypologien sowie Richtwerte und spezifische Wetterdaten ein. Aus der Berechnung resultieren erste Orientierungswerte für die Gesamtenergiebedarfe und Spitzenlasten für Heizen, Kühlen (für Nichtwohngebäude), Trinkwarmwasser und Strom.

Eingangsparameter für Bedarfsermittlung

Die Eingangsparameter beziehen sich auf die vorgegebenen Nutzungsarten: Wohnen (GFZ 1,0 und GFZ 2,0), Gewerbe und Bildung (GFZ 1,0 und GFZ 2,0) sowie ein Mischgebiet (GFZ 2,7). Gebäudeparameter wie Grundfläche (GF) und Fassaden- und Fensterflächen werden basierend auf der Flächenauswertung vom Wettbewerbssieger rheinflügel severin und gemäß den Zwillingsflächen für den Münchner Nordosten festgelegt bzw. angenommen (siehe **Abbildung 7**). Die Angaben sind in **Anhang 3** aufgelistet. Für die Gebäudegeometrien wurden Annahmen gemäß der Wettbewerbspräsentation von rheinflügel severin getroffen und der Dämmstandard sowie Benchmark-Werte für die Energiebedarfe (Strom, Warmwasser) gemäß EH/EG 40 festgelegt. Es werden Standardlastprofile vom Verband der Elektrizitätswirtschaft VDEW für den Strombedarf angesetzt. Die Generierung der Lastprofile für Raumheizung und -kühlung erfolgt gem. DIN EN ISO 13790. Hierbei wird der Wetterdatensatz DWD TRY2045 medium angesetzt. Genauere Inputparameter können dem **Anhang 3** Eingangsparameter Energiebedarfsermittlung entnommen werden.

Für die Energiebedarfsschätzung wurde angenommen, dass durch passive Maßnahmen wie außenliegenden Sonnenschutz, Fensterlüftung und Gebäudegeometrie der Kältebedarf in Wohngebäuden weitestgehend reduziert wird und von einer mechanischen Kühlung abgesehen werden kann. Es wird davon ausgegangen, dass auch bei klimawandelbedingten ansteigenden Temperaturen durch weitere passive Maßnahmen (Begrünung, Verschattungsmaßnahmen, Nachtauskühlung) die entsprechenden Komforttemperaturen nur an wenigen Tagen/Wochen überschritten werden. BH empfiehlt die Durchführung einer weitergehenden Studie (siehe **10.1** „Gutachten Notwendigkeit mechanische Kühlung unter Berücksichtigung von Zukunftswetterszenarien“) für die Notwendigkeit einer mechanischen Kühlung für Wohnungen unter Betrachtung zukünftiger Klimadaten.

Hinsichtlich der Ausgabeparameter (Output, siehe **Abbildung 20**) wird im Wesentlichen unterschieden zwischen den Energiebedarfen und den Spitzenlasten. Dabei bezieht sich der Energiebedarf allgemein auf die thermische und elektrische Energie in Kilowattstunden (kWh) bzw. flächenspezifisch in kWh/m², die für die Versorgung der Gebäude benötigt wird. Hierbei sind die Nutzenergie für Raumheizwärme, Raumkälte (bei Gewerbe und Schulen), Trinkwarmwasser und elektrischen Strom relevant. Die für die Berechnung relevanten Randbedingungen werden aus den Blättern der DIN 18599 für den Energie-, Strom- und Warmwasserbedarf herangezogen. Bezüglich der Berechnung der Heizwärme- und Kältebedarfe wird die ISO-13790-Norm verwendet. Beim Parameter Spitzenlast wird die maximale Leistung in Kilowatt (kW) der energetischen Anlagen betrachtet, die für Perioden mit besonders hohem Energiebedarf benötigt wird. Analog zu den Energiebedarfen wird hierbei die Leistung zur Erzeugung von Heizwärme, Trinkwarmwasser, Kälte und Elektrizität berechnet. Die Energiebedarfswerte als jährliche absolute Werte in kWh/Jahr und flächenspezifische Werte in kWh/m²/Jahr sind dem **Anhang 4** Nutzenergiebedarf zu entnehmen.

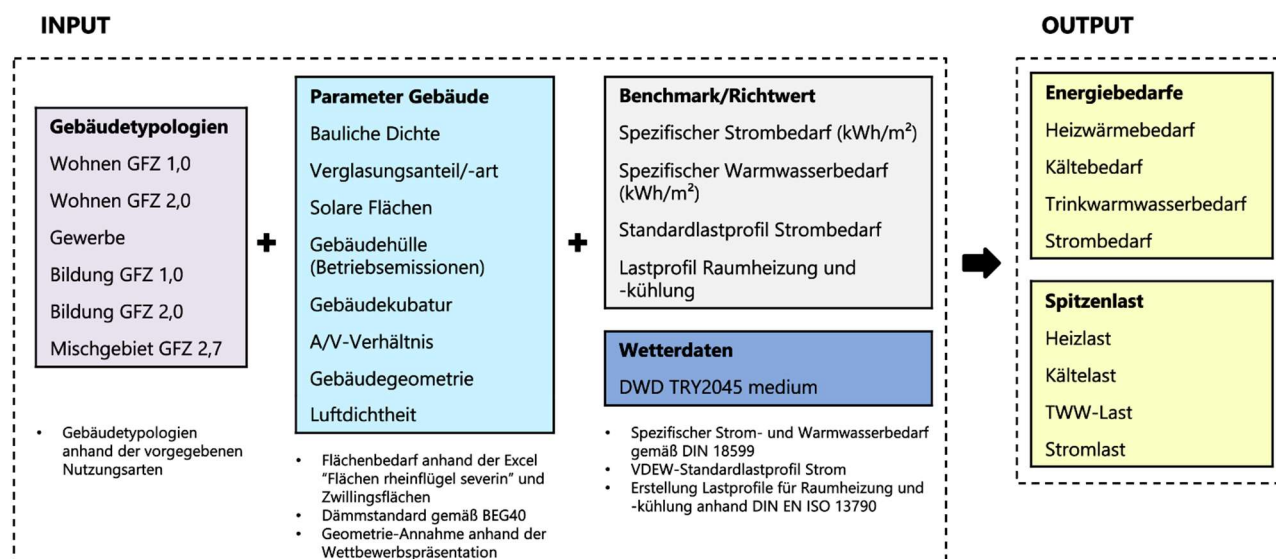


Abbildung 20 Input und Output Energieversorgung © Buro Happold

Die Ermittlung des Strombedarfs der E-Mobilität bezieht sich ausschließlich auf den Betrieb der Ladesäulen privater Parkplätze im Quartier und den dabei zu deckenden Strombedarf. Die dafür angesetzten Rahmenbedingungen, Parameter sowie Benchmark-Werte sind in **Abbildung 21** dargestellt. Die Anzahl der Stellplätze mit Ladeinfrastruktur für Wohnungen und Gewerbe sowie der Mobilitätsfaktor wurden anhand der Rückmeldung der AG am 13.02.2024 angesetzt. Der jährliche Strombedarf eines Elektrofahrzeugs (EF) ergibt sich aus der Multiplikation der jährlichen Fahrleistung mit dem mittleren Strombedarf pro Kilometer. Die Fahrleistung der EF-Nutzer*innen wurde anhand einer Verbrauchsstudie der bundesweite Durchschnitt angesetzt und entspricht dem Hin- und Rückfahrtverkehr (Haus-Arbeitsplatz-Haus). Hierbei wird nur die Hälfte der Fahrleistung von 11.085 km/a betrachtet, unter der Annahme, dass EFs im Quell- und Zielgebiet geladen werden.³¹ Für die EF wird ein mittlerer Strombedarf eines Mittelklasse-E-Autos von 18 kWh/100 km angenommen.³² Für gewerbliche Ladepunkte werden 260 Arbeitstage/Jahr angenommen. Dabei wird von einer Ladedauer von 4 Stunden pro Arbeitstag ausgegangen. Da der Betrieb der Ladepunkte zeitlich abhängig ist und nicht alle Ladesäulen gleichzeitig genutzt werden, ändert sich die benötigte Stromleistung zu jedem Zeitpunkt. Um dabei die Spitzenlast zu ermitteln, werden Gleichzeitigkeitsfaktoren (GZF) jeweils für Gewerbe und Wohnungen und für Tag und Abend angenommen. Ein GZF = 1 bedeutet, dass alle Ladensäule angeschlossen sind, während GZF = 0 besagt, dass keinerlei Autos geladen werden. Die Gleichzeitigkeitsfaktoren liegen tagsüber im Gewerbe bei (1) bzw. bei Wohneinheiten (WE) bei (0,4) und abends im Gewerbe bei (0) bzw. im WE bei (0,8).

Daraus ergeben sich analog zur Gebäudeenergieversorgung ebenfalls Werte für die gesamten Energiebedarfe in kWh/a und Spitzenlasten in kW, die durch die entsprechende Ladeinfrastruktur gedeckt werden müssen.

³¹ CHECK24, 2023

³² Tesla, 2024

INPUT

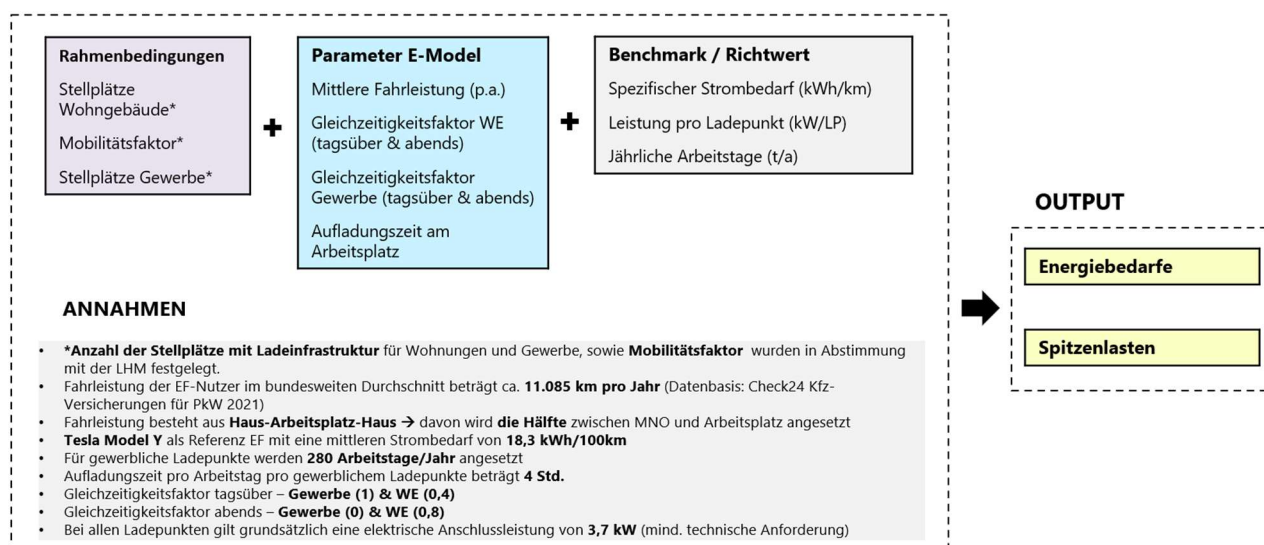


Abbildung 21 Input-Parameter E-Mobilität © Buro Happold

Ergebnisse Gebäudeenergiebedarf

Der ermittelte Jahres-Energiebedarf des gesamten Quartiers MNO beträgt ca. **121 Gigawattstunden pro Jahr (GWh/a)**. Der größte Anteil am Gesamtenergiebedarf ist der Wärmebedarf (bestehend aus Warmwasser und Heizwärmebedarf) mit insgesamt **62 GWh/a** mit einem Anteil von 50 % für den Warmwasserbedarf und 50 % für den Heizwärmebedarf. Der Kältebedarf macht mit **9 GWh/a** etwa 7 % des Gesamtenergiebedarfs aus. Der Gesamtenergiebedarf und die nach Teilabschnitten aufgeschlüsselten Bedarfswerte sind in den folgenden **Abbildung 22** und **Abbildung 23** dargestellt.

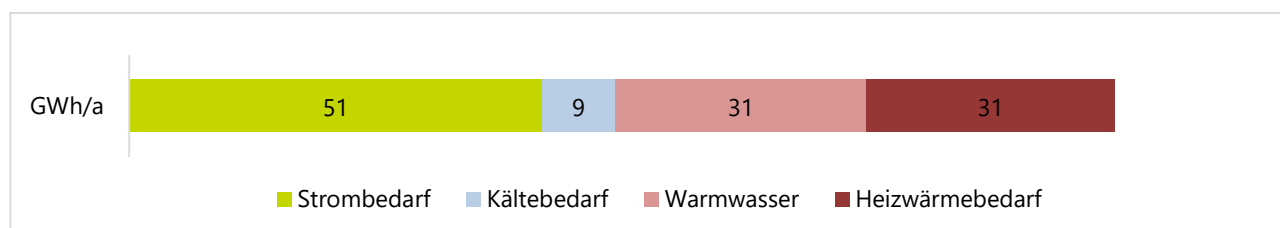


Abbildung 22 Jährlicher Gesamtnutzenergiebedarf in [GWh/a] im MNO © Buro Happold

Die Ergebnisse der Nutzenergiebedarfsberechnung zeigen den Strombedarf für Beleuchtung, Lüftung und Nutzerstrom als größten Anteil mit **42 %** des Gesamtenergiebedarfs. Die restlichen **58 %** entfallen auf den Strombedarf zur Wärme- und Kältebereitstellung und Trinkwarmwasser (TWW). Die Werte stehen in Abhängigkeit von der gewählten Versorgungsvariante. Der hohe Trinkwarmwasserbedarf ist auf den hohen Wohnanteil und die Kantinen in den Schulen zurückzuführen. Der Endenergiebedarf berücksichtigt neben der tatsächlich im Gebäude genutzten Energie (Nutzenergie) zusätzlich die Verluste und Gewinne im Gebäude.

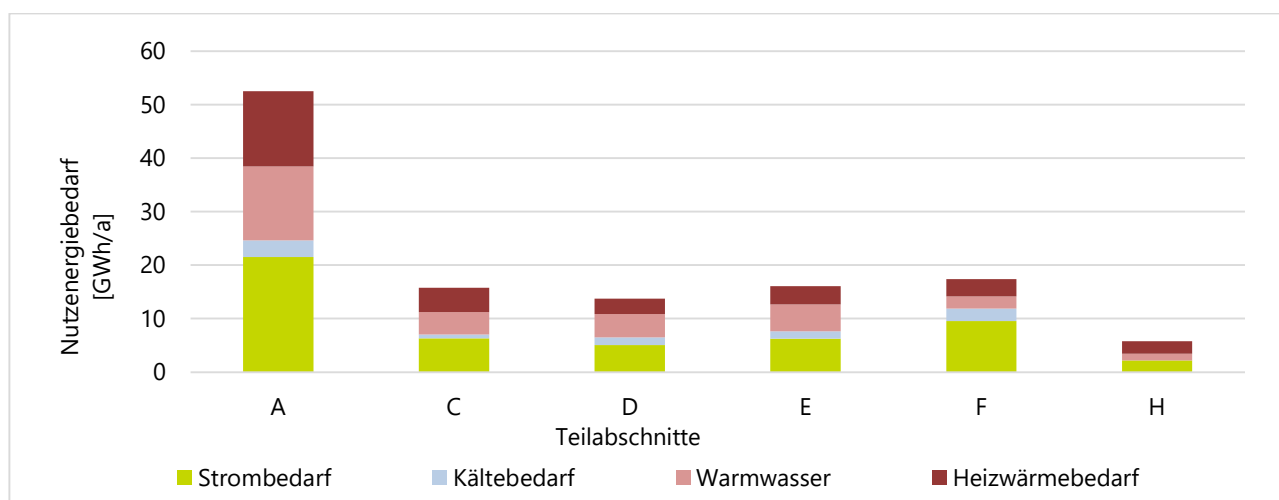


Abbildung 23 Jährlicher Nutzenergiebedarf der einzelnen Teilabschnitte in [GWh/a] © Buro Happold

Energiedichte

Die Ergebnisse der Energiebedarfe werden über die Kenngröße „Energiedichte“ beschrieben. Die Energiedichte beschreibt die spezifische Energiebedarfsgröße aus dem Verhältnis des Energiebedarfs der Gebäude zur Fläche des Baufeldes. Die Wärme- und Kälte-dichte ist eine Kennzahl zur Erstbeurteilung der Wirtschaftlichkeit eines Netzes der Nahwärme oder Fernwärme. Die Wärme- und Kälte-dichte hängt von der Bebauungsdichte und der Nutzung ab. Je höher die Wärme- und Kälte-dichte ist, desto besser ist die Wirtschaftlichkeit des Wärmenetzes. Als Benchmark-Werte werden die Kennzahlen aus der Studie „Stratego Quantifying the Potential for District Heating and Cooling in EU Member States“, 2016³³ verwendet und in **Abbildung 24** den Ergebnissen des Quartiers gegenübergestellt. Aus dieser geht hervor, dass Nahwärmenetze für das Quartier als empfehlenswert einzustufen sind, da die Wärmedichte aller Teilabschnitte zwischen 8 kWh/m² und 28 kWh/m² liegt. Hingegen sind Nahkältenetze für das Quartier als nicht empfehlenswert einzustufen, da die Kälte-dichte aller Teilabschnitte unter der Mindestkälte-dichte von 28 kWh/m² als Benchmark-Wert gemäß der Studie liegt. Eine genauere Betrachtung sollte in weiteren Studien (siehe **10.1** Machbarkeitsstudie zur Energieversorgungskonzepte oder Nahwärmenetzsystem und Bundesförderung BEW) erfolgen und ist nicht Teil der vorliegenden Betrachtung.

³³ Möller B., 2016

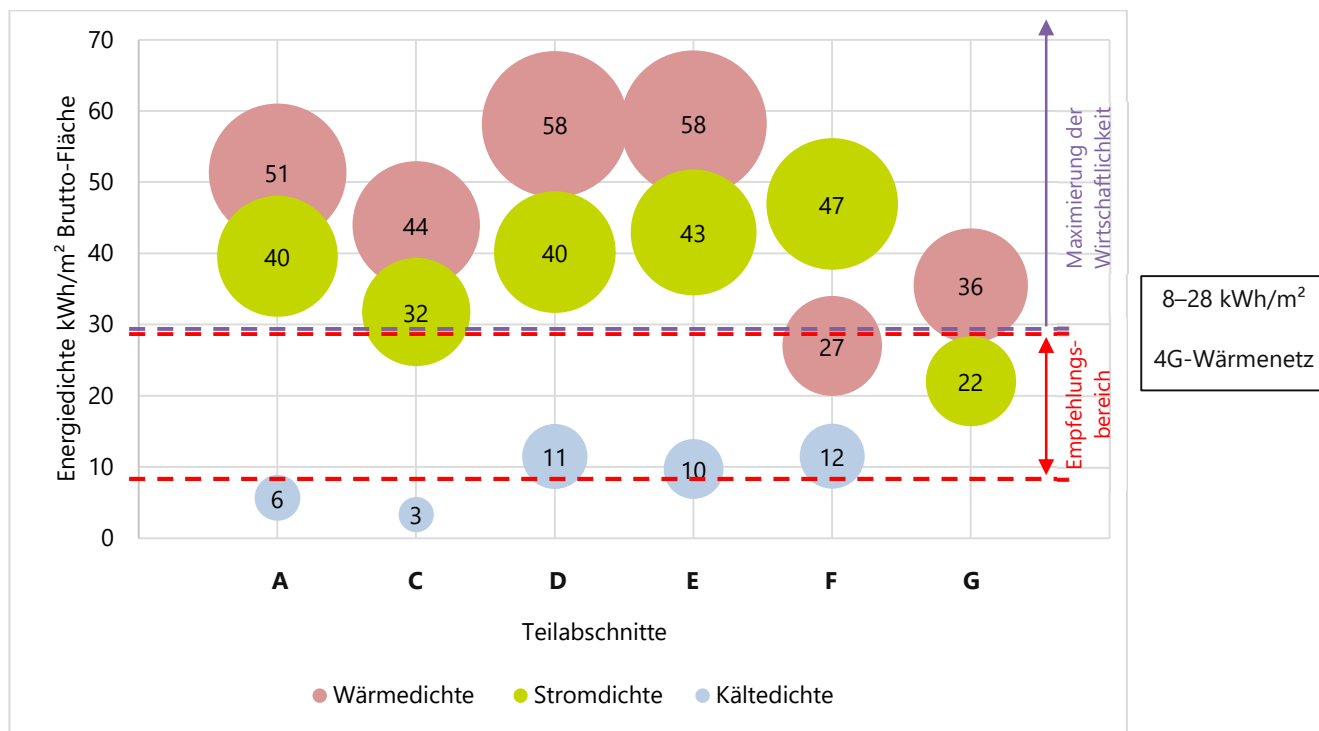


Abbildung 24 Energiedichte der Teilabschnitte und Gegenüberstellung © Buro Happold

Ergebnisse Strombedarf E-Mobilität

Die Wohneinheiten im MNO haben einen Strombedarf für E-Mobilität von ca. **5,5 GWh/a**, während die gewerblichen Einheiten einen Strombedarf von **2,3 GWh/a** aufweisen. Am Tag wird eine gesamte Spitzenlast von ca. **10 Megawatt (MW)** erreicht, v. a. aus gewerblich genutzten Ladesäulen, was darauf zurückzuführen ist, dass die Elektrofahrzeuge im Gewerbe weitestgehend während der Arbeitszeit geladen werden. Am Abend wird eine Gesamtspitzenlast von ca. **15 MW** erwartet, da die Bewohner*innen ihre EF weitestgehend über Nacht laden. Der nach den Teilabschnitten aufgeschlüsselte Strombedarf aus E-Mobilität und die damit verbundenen Spitzenlasten sind in **Abbildung 25** und **Abbildung 26** dargestellt.

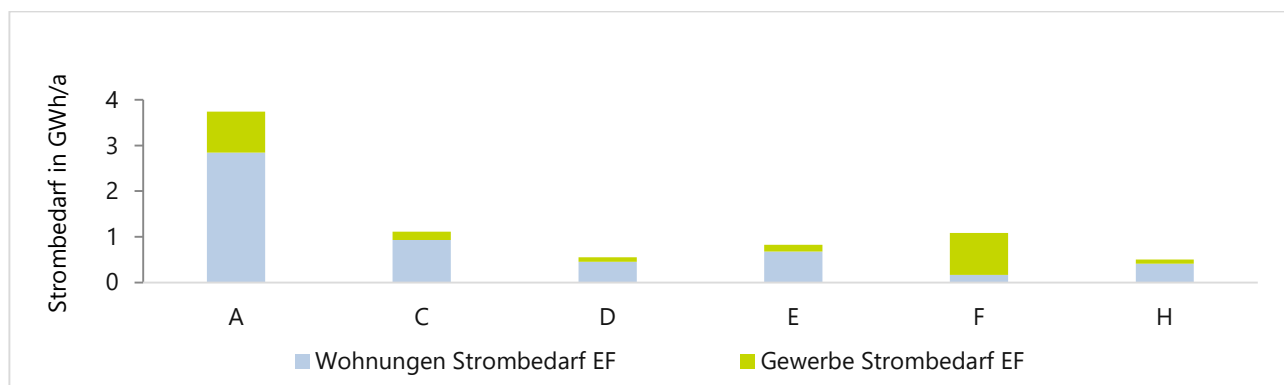


Abbildung 25 Strombedarf der einzelnen Teilabschnitte in [GWh/a] © Buro Happold

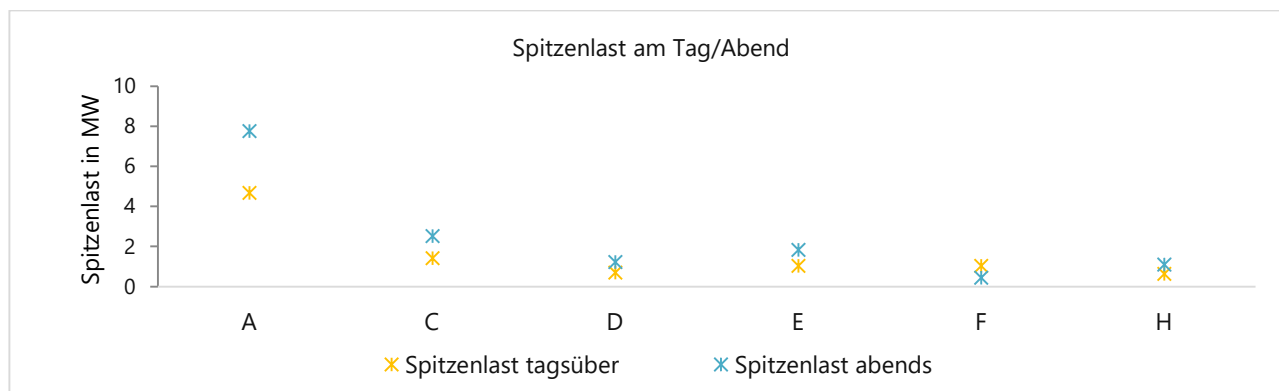


Abbildung 26 Stromlasten der einzelnen Teilabschnitte aus E-Mobilität in [MW] © Buro Happold

3.2 B2. Energiequellen in und um den MNO

Für die mögliche Energieversorgung werden verschiedene energetische Potenziale mit Fokus auf die erneuerbaren Energien (EE) untersucht. Energetische Potenziale, die einen wesentlichen Anteil des Energiebedarfs decken könnten, werden in **Tabelle 14** Vergleich der lokalen Energiepotenziale bewertet und gegenübergestellt. Mit Hilfe dieser Potenziale werden im späteren Verlauf der vorliegenden Untersuchung die Energieversorgungskonzepte erstellt. Hierbei handelt es sich um eine erste Untersuchung der Energiepotenziale. Es wird eine weiterführende Detaillierung der Energieversorgungsvarianten empfohlen, siehe **10.1 Machbarkeitsstudie zur Detaillierung des Energieversorgungskonzeptes**. Zudem soll im weiteren Planungsverlauf für jede Energieversorgungsvariante geprüft werden, inwiefern eine Versorgung von zusätzlichen Bestandsgebäuden funktionieren kann.

3.2.1 Solarenergie

Im Folgenden wird auf das Potenzial der Dächer zur Nutzung von Solarenergie eingegangen. Es wurde untersucht, inwiefern Photovoltaik (PV) und photovoltaisch/thermische (PVT) Anlagen sowohl den Strom- als auch den Wärmeenergiebedarf decken können. PV hat einen hohen Wirkungsgrad bei der Stromproduktion (Nennleistung³⁴ 0,22 kWp/m²), der Strombedarf und -kosten durch Eigennutzung senkt. Bei einer Kopplung mit Wärmepumpen und einem Quartiersspeicher kann zudem emissionsfreie Wärme zur Verfügung gestellt werden. PVT-Anlagen hingegen haben einen niedrigeren Wirkungsgrad bei der Stromproduktion (Nennleistung 0,16 kWp/m²), bieten jedoch den Vorteil, gleichzeitig Wärme zu erzeugen, was den Gesamtwirkungsgrad der Anlagen erhöht. Im Vergleich zu reinen Solarthermie-Kollektoren ist der durchschnittliche thermische Wirkungsgrad von PVT etwas niedriger (5–10 % weniger effizient) und die Anschaffungskosten 2–4-mal höher (abhängig vom Kollektortyp). Die Nachteile der PVT lassen sich durch die zusätzliche Stromproduktion kompensieren. Insbesondere in der strombasierten Wärme- und Kälteversorgung ist die Nutzung von PVT-Modulen gegenüber reinen Solarthermiemodulen vorteilhaft. Zudem eignen sich PVT-Anlagen hervorragend für Gebäude mit ganzjährigem Wärmebedarf wie Schulen und Wohngebäude, da sich die Wärmebedarfe und -angebote weitgehend überschneiden. Insgesamt bieten PVT-Anlagen, die sowohl Strom als auch Wärme effizient bereitstellen, eine vielseitige Lösung. Durch die kombinierte Nutzung von Photovoltaik und Solarthermie wird ein höherer Gesamtwirkungsgrad aus der gleichen Fläche erreicht. Daher werden PV- und PVT-Anlagen in dieser Studie vorrangig betrachtet.

In der Betrachtung wurden aufgrund des derzeitigen Planungsstandes 50 % der Dachfläche mit Photovoltaik angenommen und keine Fassadenflächen für Photovoltaiknutzung berücksichtigt. Der Einsatz von zusätzlichen PV-Modulen an der Gebäudefassade zur Maximierung der Stromproduktion sollte jedoch im weiteren Planungsverlauf dringend eingeplant werden. Um eine konkrete Dach- und Fassadennutzung zu untersuchen, sind weitere Angaben zur Ausrichtung der Fassaden und Fensterflächenanteile erforderlich. Des Weiteren sind für genauere Planungen im weiteren

³⁴ Die Nennleistung einer PV-Anlage gibt an, wie viel elektrische Leistung die Solarmodule unter idealen Bedingungen (STC) erzeugen können. Diese Leistung wird in Kilowatt Peak (kWp) gemessen.

Verlauf Informationen zu Dachkonstruktionen, zur Flächenkonkurrenz auf Dächern durch technische Anlagen oder Terrassennutzung sowie zu Fensterflächen, Fassadenbegrünung und Verschattung durch Nachbargebäude notwendig.

Drei Szenarien mit unterschiedlichen Dachanteilen für PV und PVT wurden untersucht (vgl. **Tabelle 11** Übersicht von Szenarien zur optimierten Auslegung von PV und PVT). Als Szenario 1 wurde von einem Drittel Dachflächen für PV und PVT gem. Bayerischer Bauordnung ausgegangen. In den Szenarien 2 und 3 werden 50 % der Dachfläche für PV bzw. PVT-Anlagen angesetzt. Der jeweilige Anteil für PV und PVT wird in **Tabelle 11** Übersicht von Szenarien zur optimierten Auslegung von PV und PVT nach den Gebäudetypen aufgeführt.

	Dachanteil für Solaranlagen	Anteil für PV und PVT an verfügbarer Dachfläche für Solaranlagen					
		Wohnungen		Schule		Gewerbe	
		PV	PVT	PV	PVT	PV	PVT
Szenario 1	33 %	0 %	100 %	0 %	100 %	100 %	0 %
Szenario 2	50 %	70 %	30 %	40 %	60 %	100 %	0 %
Szenario 3	50 %	80 %	20 %	50 %	50 %	100 %	0 %

Tabelle 11 Übersicht von Szenarien zur optimierten Auslegung von PV und PVT

Da der Trinkwarmwasserbedarf im Gewerbe gering ist, wird für Gewerbe keine PVT-Nutzung in allen drei Szenarien berücksichtigt. Eine Kombination von PV und PVT wird jedoch in Wohnungen und Schulen angesetzt und sollte im weiteren Planungsverlauf abgestimmt werden.

Der Jahresertrag von Strom aus PV/PVT sowie Solarthermie aus PVT ist in **Tabelle 12** Jahresertrag PV-Strom und Solarthermie dargestellt. Hierbei sind ein möglichst hoher Eigenverbrauchsanteil und Deckungsanteil am Energiebedarf entscheidend. Durch den Vergleich der drei Szenarien wird **Szenario 3** als die optimierte Variante betrachtet und für die weitere Betrachtung ausgewählt. Um den nutzbaren Anteil an der Energieproduktion zu maximieren, können Strom- und Wärmespeicher eingesetzt werden. Die dort überschüssige Energie aus der Solarthermie ergibt sich aus der Diskrepanz zwischen Wärmebedarf und -erzeugung, wobei der Ertrag im Sommer maximiert und der Bedarf am geringsten ist. Eine kurzfristige Speicherung auf Gebäudeebene ist in der Studie berücksichtigt und sollte im weiteren Verlauf durch einen saisonalen Speicher auf Quartiersebene ergänzt werden.

Szenario	Modulfläche in m ²		Jahresertrag PV-Strom in MWh/a			Jahresertrag Solarthermie in MWh/a		
	PV	PVT	Eigennutzung	Export	Jahresertrag	Eigennutzung	nicht nutzbar	Jahresertrag
1	8.411	53.936	10.194	695	10.889	9.075	12.230	21.305
2	79.265	30.723	16.924	4.024	20.948	7.526	4.609	12.135
3	89.924	22.550	17.485	4.176	21.661	5.994	2.913	8.907

Tabelle 12 Jahresertrag PV-Strom und Solarthermie

Szenario 3: Eine reduzierte Dachfläche für PVT führt zur Erhöhung des Eigenverbrauchsanteils, wobei der Deckungsanteil am Wärmebedarf leicht abnimmt (siehe **Tabelle 13** Deckungsanteile der Szenarien).

- Erhöhung des Eigenverbrauchsanteils: Wenn weniger PVT-Module installiert werden, werden der erzeugte Strom und die Wärme eher selbst genutzt, anstatt sie ins Netz einzuspeisen. Das bedeutet, dass der Anteil des selbst genutzten Stroms und der Wärme steigt.
- Leichter Rückgang des Deckungsanteils am Wärmebedarf: Wenn weniger PVT-Module installiert werden, wird insgesamt weniger Solarthermie erzeugt. Daher wird ein geringerer Anteil des Wärmebedarfs mit Solarthermie gedeckt.

Im Gegensatz dazu führt eine erhöhte Dachfläche bei PV zu einer Reduktion des Eigenverbrauchsanteils, wobei der Deckungsanteil am Strombedarf um **13 %** steigt.

- Reduktion des Eigenverbrauchsanteils: Wenn mehr PV-Module installiert werden, wird mehr Strom erzeugt, als vor Ort verbraucht werden kann. Dies wird durch die zeitliche Diskrepanz zwischen Strombedarf und -

produktion bedingt. Der überschüssige Strom wird ins Netz eingespeist, wodurch der Anteil des selbst genutzten Stroms sinkt.

- Erhöhung des Deckungsanteils am Strombedarf: Da mehr Strom erzeugt wird, kann ein größerer Teil des Strombedarfs mit den PV-Modulen gedeckt werden. In diesem Fall steigt der Anteil des Stroms, der vor Ort erzeugt wird, um **13 %**.

Obwohl der Eigenverbrauchsanteil des erzeugten Stroms in Szenario 3 sinkt, kann er durch mehrere Maßnahmen erhöht werden, z. B. durch die Kopplung mit Wärmepumpen/Elektrokessel (Power-to-heat). Dies sollte detailliert zu einem späteren Zeitpunkt berechnet werden. Darüber hinaus kann bi-direktionale Ladeninfrastruktur ermöglicht werden, um den Stromüberschuss in den Batterien der EF zu speichern und bei Bedarf ins Netz wiedereinzuspeisen.

Im Vergleich zu den Zielwerten des Masterplans solares München³⁵ liegen die Modulflächen der PV- und PVT-Anlagen für alle Nutzungstypen unter 50 % der Brutto-Dachfläche, da hier noch die Wartungsflächen und Sicherheitsabstände abgezogen werden müssen. Um den Zielwert zu erreichen, sollte in der weiteren Planung geprüft werden, ob mehr Dach- und zusätzliche Fassadenflächen durch gebäudeintegrierte Photovoltaik (BIPV) für Solaranlagen genutzt werden kann. Fassadenflächen können für Solarenergiegewinnung aktiviert werden. Eine weitere Betrachtung ist erst bei einer Festlegung der detaillierten Gebäudekubaturen zielführend, da diese sich auf die gegenseitige Verschattung auswirkt.

Der Wärmeüberschuss aus der Solarthermie kann teilweise im dezentralen Pufferspeicher in einzelnen Gebäuden kurzfristig (Tages- bis Wochenzyklen) gespeichert werden, um den Warmwasserbedarf z. B. am Abend zu decken. Jedoch wird eine Quartierslösung benötigt, um alle überschüssige Solarthermie zu nutzen, z. B. durch ein Nahwärmenetz oder einen saisonalen Wärmespeicher, indem der Wärmeüberschuss im Sommer gespeichert und im Winter genutzt wird. Hierfür kann im weiteren Verlauf der Planung ein Quartierspeicher für Strom eingeplant werden.

Szenario	Modulfläche in m ²		PV-Strom		Solarthermie	
	PV	PVT	Eigenverbrauchsanteil	Deckungsanteil am Strombedarf (Gebäude + E-Mobilität)	Eigenverbrauchsanteil	Deckungsanteil am Wärmebedarf (Heizwärme + Warmwasser)
1	4.815	18.444	94 %	17 %	43 %	15 %
2	31.309	11.686	81 %	29 %	62 %	12 %
3	31.309	11.686	81 %	30 %	67 %	10 %

Tabelle 13 Deckungsanteile der Szenarien © Buro Happold

Die Rahmenbedingungen für die Berechnung sind **Anhang 5** Rahmenbedingungen und Parameter zur Ermittlung Solarpotenzial zu entnehmen.

Das Potenzial der Fassaden zur Solarenergiegewinnung, z. B. in Form von Gebäudeintegrierter Photovoltaik (BIPV: Building Integrated Photovoltaik, dt. gebäudeintegrierte Photovoltaik), wurde aufgrund der fehlenden Datengrundlage in Bezug auf Fassadenbegrünung, Verglasungsanteilen und Gebäudegeometrien zur Durchführung einer Verschattungsstudie nicht weiter betrachtet. BH empfiehlt die Durchführung einer tiefergehenden Studie zu einem späteren Zeitpunkt, siehe **10.1** Gutachten Solarenergie (Dach und Fassaden), Seite 70.

3.2.2 Grundwasser

Es gibt bereits zahlreiche installierte grundwasserbetriebene Wärmepumpen im Stadtgebiet München. Nach Rücksprache mit dem Referat für Klima- und Umweltschutz (RKU) und den Stadtwerken München (SWM) kann die Grundwasserbeschaffenheit in der Stadt München grundsätzlich als sehr gut eingestuft werden und es ist nicht mit einer Verschlechterung zu rechnen. Als Grundlage für eine erste Potenzialanalyse der Entzugsleistung werden die Voruntersuchungen des RKU und der SWM herangezogen. Die Ergebnisse sind dem **Anhang 6** Voruntersuchungen Grundwasserpotenzial zu entnehmen.

Die reversible Grundwasserwärmepumpe nutzt das Grundwasser und kann sowohl Wärme als auch Kälte bereitstellen. Um den Deckungsanteil der Wärmelast (Spitzenlast Heizwärme + Warmwasser) durch reversible Wärmepumpe zu ermitteln, wird die Entzugsleistung mit der Wärmelast jedes Baufeldes verglichen. Zur Vereinfachung der Berechnung

³⁵ Landeshauptstadt München, 2022

wird der Deckungsanteil für die jeweiligen Teilabschnitte pauschal ermittelt. Der Deckungsanteil wird aus dem ungünstigeren Ergebnis (= niedrigste Entzugsleistung) beider Untersuchungen abgeleitet und lautet wie folgt:

- Teilabschnitte A, D: max. 30 % Deckungsanteil an Wärmelast
- Teilabschnitte C, E: max. 40 % Deckungsanteil an Wärmelast
- Teilabschnitte F, H: Potenzial zu gering, Grundwassernutzung wird nicht berücksichtigt

3.2.3 Tiefen-Geothermie

Tiefengeothermie bezeichnet die technische Nutzung der in der Erdkruste gespeicherten Wärmeenergie, um thermische und/oder elektrische Energie zu erzeugen. Hierbei wird die natürliche Wärme aus Tiefen von mehr als 400 Metern genutzt.

Nach Rücksprache mit den SWM und aus den Erfahrungen vorheriger Projekte in München kann die Nutzung der Tiefen-Geothermie für den Münchner Nordosten grundsätzlich als geeignet eingestuft werden. Zur weiteren Betrachtung sind die Angaben der SWM angesetzt:

- Erschließung mit einer geothermischen Dublette (Förder- und Reinjektionsbohrung)
- Vorlauftemperatur: 90–95°C
- Rücklauftemperatur: 60°C
- Förderrate: bis 100 l/s
- Thermische Leistung: 12,6–14,7 MW
- Elektrische Nennleistung der Förderpumpe: 700–800 kW

Eine Aussage, ob eine geothermische Erschließung an diesem Standort sinnvoll wäre, sowie eine genauere Prognose über die Ergiebigkeit (Temperatur und Schüttung) können erst nach einer genaueren Bohrplanungen sowie einer thermohydraulischen Simulation des Gebietes getätigt werden. Diese Leistung sollte in einer Machbarkeitsstudie Tiefengeothermie aufgenommen werden (siehe **10.1**, Seite 70). Ein potenzieller Standort für eine Untersuchung befindet sich im südöstlichen Bereich des Teilabschnittes D.

Es wurden bereits folgende Annahmen zur Vereinfachung getroffen: Es ist keine Nutzung der Geothermie zur Verstromung geplant. Die Nutzung von Wärmepumpen zur Temperaturerhöhung ist nicht vorgesehen (hohe Vorlauftemperatur). Weiterhin werden die Nutzung der Geothermie zur Deckung der Grundlast sowie die Vollbenutzungsstunden des eigenen Wärmenetzes von ca. 6.000 h zur Grundlastdeckung bei Vollausbau oder entsprechendem Ausbau angenommen.

Eine detaillierte Untersuchung in einer zusätzlichen Studie ist erforderlich, v. a. hinsichtlich der Validierung des Tiefen-Geothermie-Potenzials mit geophysikalischen Untersuchungen (siehe **10.1**). Des Weiteren sollte dabei berücksichtigt werden, inwiefern Bestandsquartiere in das Konzept miteingebunden werden können.

Außerdem ist ein hoher Platzbedarf für unter anderem die Tiefen-Geothermie-Anlagen zu beachten (Angaben SWM):

- in der Bohrphase: 15.000 m², davon 10.000 m² für die Herstellung der Dublette, 5.000 m² für die Wärmestation
- in Betriebsphase: 8.000 m², davon 3.000 m² für die Dublette, 5.000 m² für die Wärmestation

3.2.4 Fernwärme

In München wird Fernwärme hauptsächlich durch Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK) bereitgestellt, die gleichzeitig Strom und Wärme erzeugen. Die Stadtwerke München (SWM) nutzen diese Technologie, um effizient Fernwärme zu produzieren und in das städtische Netz einzuspeisen. Hierbei wird die bei der Stromerzeugung anfallende Abwärme genutzt, um Heizenergie zu liefern. Die SWM haben eine Vision für eine CO₂-neutrale Fernwärmeversorgung entwickelt, die langfristig vor allem auf Ökowärme aus Geothermie setzen soll.³⁶

³⁶ Stadtwerke München, n. d.

Für die weitere Betrachtung wird anhand der Rücksprache mit den SWM angenommen, dass das Projektgebiet des Münchner Nordostens über das Fernwärmenetz der Innenstadt angeschlossen werden kann. Zur Vereinfachung sind folgende weitere Annahmen für die Berechnung nötig: Anschluss aller Teilabschnitte an das Fernwärmenetz (keine Insellösung) und keine Berücksichtigung der Investitionskosten der Anschlussleitung an das Innenstadt-Fernwärmenetz sowie der hydraulischen Anpassung. Es ist zu beachten, dass eine Machbarkeitsstudie für ein Anschluss des Fernwärmenetzes aus der Innenstadt durch die SWM noch aussteht (siehe **10.1**).

3.2.5 Andere erneuerbare Energiequellen

Umweltwärme Luft: Die Außenluft stellt eine kostenlose und unerschöpfliche Energiequelle dar. Wärmepumpen können diese Luftwärme nutzen und konvertieren sie mittels eines thermodynamischen Zyklus in nutzbare Wärme für Heizung, Kühlung und Warmwasserbereitung. Luftwärmepumpen (LWP) haben eine hohe Effizienz und können mehr Wärme produzieren, als sie an elektrischer Energie verbrauchen. Beispielsweise kann eine Luftwärmepumpe mit einer Jahresarbeitszahl von 3 aus 1 kWh Strom 3 kWh Wärme erzeugen. Außerdem ist die Luftwärmepumpe eine ausgereifte und bewährte Technologie. Durch die integrierte Abtaufunktion kann die Wärmepumpe bei niedrigen Außentemperaturen weiterarbeiten. Die Installation der Luftwärmepumpe ist einfacher und oft günstiger als andere Wärmepumpensysteme wie Geothermie- oder Grundwasserwärmepumpen. Allerdings ist die Effizienz von Luftwärmepumpen im Vergleich zu diesen Alternativen geringer. Wenn keine Energiequellen wie Geothermie oder Grundwasser verfügbar sind, ist die Außenluft eine attraktive Energiequelle für die Wärmepumpen, um eine umweltfreundliche und effiziente Wärme- und Kälteversorgung sicherzustellen.

Generell eignet sich die Luftwärmepumpe auch für Wohngebäude, sofern der Mindestabstand (allgemein mind. 3 m) zum Lärmschutz zwischen Wohnräumen und dem Außengerät der LWP eingehalten werden kann. Die genauen Abstandsregelungen sind in der jeweiligen Landesbauordnung zu entnehmen. Für Wohngebäude sollte mit 10–15 % Dachfläche für das Außengerät gerechnet werden.

Oberflächennahe Geothermie: Die Oberflächennahe Geothermie nutzt die Wärmeenergie im Boden für das Beheizen von Gebäuden. Durch den Einsatz von Wärmepumpen wird die im Erdreich gespeicherte Wärme für Raumheizung und -kühlung nutzbar gemacht. Es gibt zwei gängige Arten von Systemen, um die Bodenwärme zu erschließen: Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren. Bei Erdwärmesonden wird Wärme über einzelne vertikale Bohrungen entzogen, während Erdwärmekollektoren flache, horizontal verlegte Rohrsysteme nutzen, um die Wärmeenergie aus dem Boden zu gewinnen. Laut der Stellungnahme des RKUs können Erdwärmesonden ausgeschlossen werden, da die erste Sauerschicht (10–20 m Tiefe) bayernweit genehmigungsrechtlich nicht durchbohrt werden kann. Die Nutzung der Erdwärmekollektoren zur Gewinnung der oberflächennahen Geothermie kann aufgrund folgender Einschränkungen weniger attraktiv sein.

In der Nähe der Oberfläche (0 bis 5 Meter) schwanken die Temperaturen im Erdreich durch die oberirdischen Bedingungen im Jahresverlauf stark, mit niedrigerer Temperatur im Winter und höherer Temperatur im Sommer. Diese Schwankungen können die Effizienz von Wärmepumpen beeinträchtigen, da sie bei größerer Temperaturspreizung weniger effektiv arbeiten. Außerdem erfordern Erdwärmekollektoren ein ausgedehntes Rohrsystem, das viel Platz beansprucht. Überbauungen und Bodenversiegelungen sollten vermieden werden, da sie die Leistung und Wartbarkeit des Systems beeinträchtigen können. Schließlich ist die Wärmeentzugsleistung pro Quadratmeter bei Erdwärmekollektoren im Vergleich zu Erdwärmesonden geringer. Erdwärmesonden, die tiefer in den Boden reichen, können konstantere und höhere Temperaturen nutzen, was zu einer effizienteren Wärmeextraktion führt.

Aufgrund dieser Einschränkungen wird die Nutzung der oberflächennahen Geothermie durch sowohl Erdwärmesonden als auch Erdwärmekollektoren nicht weiter betrachtet.

Badesees: Verglichen mit anderen Umweltenergiequellen wie Geothermie, Grundwasser und Luft sind die technischen und genehmigungsrechtlichen Rahmenbedingungen bei der thermischen Nutzung der Oberflächengewässer³⁷ ungünstiger:

³⁷ Oberflächengewässer werden auch oberirdische Gewässer oder offene Gewässer genannt und sind die Binnengewässer mit Ausnahme des Grundwassers.

Hohe Temperaturschwankung des Gewässers, Vereisungsrisiko im Winter (= lange Sperrzeiten) und beschränkte Nutzungszeit wegen beispielsweise Fischschutz und Wasserschutz (kein Betrieb der Wärmepumpe bei Wassertemperatur < 4°C). Daher wird die energetische Nutzung des Badesees nicht priorisiert und in der Studie nicht weiter betrachtet. Wir empfehlen die Durchführung einer tiefergehenden Studie, siehe **10.1** Gutachten Oberflächengewässer (Badesee) als energetisches Potenzial, Seite 70.

Windenergie: Typischerweise können Windenergieanlagen je nach Platzverhältnissen in Reihe oder in einer rechteckigen Form angeordnet werden. Wenn eine Reihenanordnung möglich ist, wird ein Abstand von etwa dem 4-fachen des Rotordurchmessers zueinander benötigt. Wenn eine Reihenanordnung nicht möglich ist, bietet sich die rechteckige Anordnung an. Hier beträgt der Abstand zwischen benachbarten Windenergieanlagen immer noch das 4-fache des Rotordurchmessers, bei nachgeschalteten Windenergieanlagen erhöht sich dieser Abstand jedoch auf das 8-fache. Die so entstehende Fläche wird durch die Windkraftanlage nicht maßgeblich blockiert, da die Fläche innerhalb der rechteckigen Form weiterhin z. B. für landwirtschaftliche Zwecke genutzt werden kann.

Das Energiepotenzial für Onshore-Windenergie wurde unter Berücksichtigung einer rechteckigen Anordnung grob abgeschätzt. Ein Windpark in unmittelbarer Nähe des MNO würde mit vier Windrädern je ca. 4,5 MW (s. Model V150-4.5MW), einem Rotordurchmesser von 150 m und einer Höhe von 100 m auf einer Fläche von 72 ha einen Gesamtertrag von 38 GWh/a generieren. Mit zwei Windparks könnte der gesamte Strombedarf vom MNO gedeckt werden. Das Potenzial von Windenergie wird als gut eingestuft. Darüber hinaus deutet der Trend zu größeren und effizienteren Windturbinen auf ein Potenzial für eine höhere Stromerzeugung hin. Beispielsweise sind zukünftig Windräder mit einer Leistung von 8 MW am Markt zu erwarten. Dadurch könnte theoretisch der doppelte Energiebedarf abgedeckt werden bzw. es würden weniger Windräder – zwei oder drei Stück – für den gleichen Ertrag benötigt. Das Referat für Stadtplanung und Bauordnung hat im Jahr 2023 eine Analyse innerstädtischer Potenzialflächen für Windenergieanlagen aus dem Jahr 2014 auf die aktuellen rechtlichen Rahmenbedingungen hin angepasst und entsprechend fortgeschrieben (u. a. WindBG und § 249 BauGB) sowie zusammen mit den Fachstellen der Stadt München eine Bewertung vorgenommen. Als einzige grundsätzlich geeignet Potenzialfläche wurde die nordöstliche Teilfläche im Münchner Nordosten (nahe Feringasee, Unterföhring) mit ca. 14 ha eingestuft. Das Referat für Stadtplanung und Bauordnung wurde auf Basis des Beschlusses der Vollversammlung des Münchner Stadtrats vom 03.07.2024 (Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 13274) beauftragt, „die innerstädtische Potenzialfläche im Nordosten, (...) als potenzielle Flächen für Windenergie weiterzuverfolgen, abzustimmen und dem Stadtrat das Ergebnis im Rahmen des offiziellen Anhörungsverfahrens zum Beschluss vorzulegen“. Aufgrund dieser bislang ausstehenden Untersuchung wird sowohl die Anzahl der realisierbaren Anlagen als auch das konkrete Windpotenzial in dieser Studie nicht weiter untersucht; daher können zu diesem Zeitpunkt keine Aussagen zum jährlichen Stromertrag getroffen werden.

Abwasserwärmenutzung: Zum Zeitpunkt der Studie können noch keine Aussagen zum geplanten Kanalnetz und den damit einhergehenden Rohrdurchmessern getroffen werden. Die moderate Gebäudedichte über das gesamte Entwicklungsgebiet lässt einen eher geringen Durchfluss und ein geringeres Potenzial für die Abwärmenutzung erwarten. Die Abwasserwärmenutzung wird nicht als priorisierte Variante betrachtet. Für eine genauere Beurteilung sind weitere Informationen bei der städtischen Entwässerungsgesellschaft einzuholen.

Biomasse: Die Nutzung von Biomasse als Energieträger kann zwar eine klimaneutrale Option darstellen, jedoch ist ihre Nachhaltigkeit begrenzt. Der gesamte Prozess – vom Anbau über den Transport bis zur Verarbeitung von Biomasse – kann erhebliche Mengen an Energie verbrauchen und CO₂-Emissionen verursachen. Eine vollständige Klimaneutralität ist nur gegeben, wenn die eingesetzte Energie ausschließlich aus 100 % regenerativen Quellen stammt.

Biomasse wird häufig aus Holz gewonnen, wobei in Deutschland die nachhaltigen Holzressourcen stark begrenzt und laut Umweltbundesamt bereits nahezu komplett ausgeschöpft sind.³⁸ Wälder spielen eine wichtige Rolle als Ökosysteme und tragen zum Klimaschutz bei, indem sie CO₂ speichern. Die bayerische Staatsregierung deklariert die vorhandenen Grün- und Waldflächen als THG-Kompensationsfläche. Daher sind Kurzumtriebsplantagen (KUP) als Biomassequelle innerhalb des Zertifizierungsbereichs nicht denkbar.

³⁸ Umweltbundesamt, 2024

Darüber hinaus erfordern die Lagerung und Lieferung von Biomasse, insbesondere der Einsatz von Lastkraftwagen, einen erheblichen Platzbedarf. Angesichts der aufgeführten Einschränkungen wird die Verwendung von Biomasse als Energiequelle in dieser Studie nicht weiter betrachtet. Der Fokus liegt stattdessen auf alternativen, nachhaltigen und regenerativen Energiequellen, um eine umweltfreundliche und klimaneutrale Energieversorgung sicherzustellen.

Biogas: Die nächste Biomethananlage befindet sich über zehn Kilometer entfernt vom Quartier, so dass Biogas aufwendig zum Quartier transportiert werden müsste. Eine ausreichende Versorgungssicherheit mit grünem Biogas kann daher bis dato nicht sichergestellt werden und eine Einschätzung zur Entwicklung der zukünftigen Nutzung von Biogas im Großraum München ist nur sehr bedingt möglich. Dies bestätigen z. B. Studien wie „Klimaneutrale Wärme München 2035“ von FfE GmbH und Öko-Institut e. V. (2021), welche die Potenziale von nachhaltig erzeugtem Biogas und von Klärgas, gemessen am Energiebedarf des Wärmesektors in München, von untergeordneter Bedeutung einschätzen. Diese werden laut Autor*innen bereits größtenteils genutzt, daher sind die folgenden Analysen auf Wasserstoff und seine Folgeprodukte fokussiert.

Da selbst bei effizienten Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK-Anlagen) die Biogasnutzung zur Energieumwandlung zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme sowohl wirtschaftlich als auch energetisch nicht mehr zeitgemäß sein wird, sollte von einer Berücksichtigung bei der Variantenkonzeptionierung abgesehen werden. Die Energieausbeute von Biogas ist im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energien wie Wind- und Solarenergie gering. Dies bedeutet, dass größere Mengen an Biomasse benötigt werden, um die gleiche Energiemenge zu erzeugen. Der Bedarf in Deutschland und weltweit für Biogas wird v. a. dort stark ansteigen, wo besonders in der Industrie Alternativen zu Erdgas gefunden werden müssen, um dezentrale Hochtemperatur-Wärmebereitstellung nachhaltig umzusetzen. Dies wird die Betriebskosten von Konzepten, die auf Biogas basieren, in der Zukunft stark steigen lassen, so dass diese nicht wirtschaftlich werden. Ein weiterer Punkt, der gegen die Nutzung von Biogas spricht, ist, dass Biogas auch nach 2050 aufgrund von Emissionen in den Erzeugungs- und Transportketten noch immer mit CO₂-Emissionen belastet sein wird. Darüber hinaus wird der Anbau von Energiepflanzen für Biogas zu Monokulturen führen, welche die Biodiversität verringern und den Boden auslaugen. Der dadurch ansteigende Einsatz von Düngemitteln und Pestiziden wird die Umwelt zunehmend belasten.

Wasserstoff:

Wasserstoff hat eine hohe Vielseitigkeit und Umweltfreundlichkeit. Dabei kann er in verschiedenen Sektoren eingesetzt werden. Allerdings bringt die Nutzung von Wasserstoff als Energieträger derzeit zahlreiche Herausforderungen mit sich, die eine Berücksichtigung in der Variantenkonzeptionierung erschweren. Ein wesentlicher Punkt ist der hohe Energieverlust bei der Produktion. Die Herstellung von Wasserstoff durch Elektrolyse ist äußerst energieintensiv und ineffizient, wobei etwa 30 % der eingesetzten Energie verloren gehen. Dies führt zu einem insgesamt niedrigen Wirkungsgrad, da Verluste nicht nur bei der Elektrolyse, sondern auch bei der Kompression zur Verflüssigung und bei der Umwandlung in Energie auftreten. Weitere bedeutende Aspekte sind die kostenintensive Infrastruktur und die damit verbundenen hohen Investitionen. Der Aufbau einer umfassenden Wasserstoffinfrastruktur, einschließlich Produktion, Speicherung und Transport, erfordert erhebliche finanzielle Mittel, was Wasserstoff derzeit teurer als andere Energiequellen macht. Zudem bestehen Sicherheitsrisiken, da Wasserstoff ein leicht entzündliches sowie explosives Gas ist, das besondere Sicherheitsmaßnahmen bei Lagerung und Transport erfordert, die zu deutlich erhöhten Kosten in der Errichtung, aber auch im Betrieb führen.

Die Planbarkeit der Nutzung von Wasserstoff ist derzeit noch unklar. Technologie und Infrastruktur für die großflächige Anwendung befinden sich noch in der Entwicklung, was zu vielen Unsicherheiten bezüglich der Verfügbarkeit und der Kosten von grünem Wasserstoff in den kommenden Jahren führt. Trotz der Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie gibt es immer noch viele Unsicherheiten bezüglich der langfristigen Verfügbarkeit und der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für Wasserstoff, was die Planung und Investition in wasserstoffbasierte Projekte erschwert.

Schließlich gibt es bereits etablierte und effizientere Technologien zur Dekarbonisierung im Gebäudesektor wie die direkte Elektrifizierung durch Solarenergie, die in vielen Anwendungen vorteilhafter sind. Diese Alternativen bieten eine höhere Effizienz und geringere Kosten, was sie zu attraktiveren Optionen macht.




Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Nutzung von Wasserstoff für die Beheizung von großen Neubauarealen derzeit mit erheblichen Herausforderungen und Unsicherheiten verbunden ist, die eine Berücksichtigung in der Variantenkonzeptionierung erschweren. Die hohen Investitionskosten, der niedrige Wirkungsgrad, die Sicherheitsrisiken und die mangelnde Planungssicherheit sind wesentliche Faktoren, die gegen eine prioritäre Nutzung von Wasserstoff im Gebäudesektor sprechen.

Recycling-Hub: In einem Recycling-Hub wird Energie durch verschiedene Verfahren der Waste-to-Energy-Technologie³⁹ gewonnen. BH schlägt vor, das nahliegende Recycling-Hub für die Energiegewinnung aus Holzhackschnitzel oder Pyrolyse zu nutzen. Bei der Pyrolyse wird organisches Material bei hohen Temperaturen unter Ausschluss von Sauerstoff zersetzt, d. h. „gebacken“, um brennbaren Teer, Bio-Öl und Holzkohle zu erzeugen (Verwertung). Die LHM verfolgt eine Zero-Waste-Strategie,⁴⁰ bei der langfristig auf das Ziel hingearbeitet wird, die Entsorgung auf Deponien und in der Müllverbrennung auf ein abfallwirtschaftlich machbares Minimum zu reduzieren. Bislang erfolgt die Abfallentsorgung durch Privatunternehmen über dezentrale Anlagen der AWM. Die Verwendung von Biokohleanlagen innerhalb der LHM ist noch in der Diskussion.⁴¹

Industrielle Abwärmenutzung: Unter industrieller Abwärmenutzung versteht man die Verwendung von Wärme, die als Nebenprodukt in industriellen Prozessen entsteht und normalerweise ungenutzt bleibt. Diese Abwärme kann jedoch zurückgewonnen und für verschiedene Zwecke genutzt werden, wie zum Beispiel für die Beheizung von Gebäuden oder als Energiequelle für andere industrielle Prozesse. Diese Technologie wird derzeit bspw. außerhalb des MNO-Gebietes in der Abfallverbrennungsanlage Unterföhring genutzt. Da das Untersuchungsgebiet hauptsächlich für Wohnnutzung angedacht ist, gibt es derzeit noch keine Pläne für das MNO-Gebiet.

In **Tabelle 14** sind die einzelnen Energiepotenziale aufgeführt und die Art der Energiequelle in Wärme und/oder Strom aufgeteilt. Zudem werden die technische Voraussetzung sowie die Umsetzbarkeit im Münchner Nordosten beschrieben und Vor- und Nachteile aufgeführt. Die folgende Legende beschreibt die farbliche Kennzeichnung der Potenziale.

Legende zu Tabelle 14

	Mögliches Potenzial vorhanden, wird in dieser Studie nicht als Energieversorgungsvariante untersucht
	Großes Potenzial vorhanden, wird in der Studie betrachtet
	Kleines/kein Potenzialausgeschlossen

³⁹ Umwandlung von Abfall in nutzbare Energie durch Verbrennung, Vergasung, Pyrolyse, anaerobe Vergärung oder Plasma-Gasifizierung

⁴⁰ Strategie zur Minimierung von Abfall und effizienteren Nutzung von Ressourcen durch: Vermeidung, Reduktion, Mehrfachnutzung, Recycling und Kompostierung

⁴¹ Abfallwirtschaftsbetrieb München, n. d.

Potenziale	Energie	Technische Voraussetzung	Umsetzbarkeit am Standort	Vorteile	Nachteile
Solarenergie	Wärme/ Strom	Nutzung der solaren Einstrahlung zur Warmwasser-/Stromproduktion	Große Flächenverfügbarkeit, keine Verschattung durch umliegende Bebauung	CO ₂ -Kompensation durch Einspeisung ins Netz	Entsorgung/ Recycling von PV-Anlagen und Batteriespeicher
Oberflächen-gewässer (Badeseen)	Wärme/ Kälte	Keine nachträgliche Veränderung der Gewässereigenschaften, wasserrechtliche Genehmigung erforderlich	Badensee in der unmittelbaren Nähe, nicht priorisiert wegen technischer und genehmigungsrechtlicher Beschränkung	In Kombination mit WP hohe Effizienz und geringe THG-Emissionen	Auswirkung auf Ökosystem des Gewässers durch z. B. Temperaturänderung möglich
Umweltwärme Luft	Wärme/ Kälte	Nutzung der Umgebungsluft mithilfe einer Luft-Wasser-Wärmepumpe	Anforderung an Lärm- und Schallschutz, ansonsten uneingeschränkt umsetzbar	In Kombination mit WP hohe Effizienz und geringe THG-Emissionen	Abwärme-/ Immissionsbelastung der Außenluft
Oberflächen-nahe Geothermie über Erdsondenfeld	Wärme/ Kälte	Geeigneter Untergrundaufbau mit großer Wärmeleitfähigkeit	Stellungnahme RKU: Erdwärmesonden können ausgeschlossen werden, da die erste Sauerschicht (10–20 m Tiefe) bayernweit genehmigungsrechtlich nicht durchbohrt werden kann	In Kombination mit WP hohe Effizienz und geringe THG-Emissionen	Leckage des Wärmeträgermediums möglich, hydrogeologische Risiken durch Bohrarbeiten
Tiefen-geothermie	Wärme/ Strom	Grundwasserleiter/ Aquifere (hydrothermale Geothermie) vorhanden	Tiefen-Geothermie: großes Potenzial von hydrothermalen Geothermie aus dem süddeutschen Molassebecken	Hohes Potenzial und konstante Wassertemperatur und Schüttung im ganzen Jahr	Induzierte Seismizität
Grundwasser	Wärme/ Kälte	Kein Grundwasserschutzgebiet. Geeigneter Untergrundaufbau, gute Wasserqualität für Brunnenanlage	Großes Potenzial vorhanden, gute Grundwasserqualität in München	In Kombination mit WP hohe Effizienz und geringe THG-Emissionen	Wasserschutz, hydrogeologische Risiken durch Bohrarbeiten
Windkraft	Strom	Geeignete Windgeschwindigkeit, ausreichende Fläche, Windräder für niedrige Windgeschwindigkeiten	Flächenverfügbarkeit, moderate Windressource, geeignete Typologie	CO ₂ -Kompensation durch Einspeisung ins Netz	Wasserschutz, hydrogeologische Risiken durch Erdarbeiten, Biodiversitätsrisiken
Abwasser	Wärme/ Kälte	Vorhandensein Kläranlagen oder Abwasserkanal > DN 400 (i. d. R), Trockenwetterabfluss > 15 l/s	Geeignete Abwasserkanäle nicht identifiziert, nicht priorisiert wegen der womöglich geringen Wärmedichte	In Kombination mit Wärmepumpe hohe Effizienz und geringe THG-Emissionen	Durch die Temperaturänderung kann sich der biologische Prozess im Kanalnetz und in Kläranlagen ändern
Wasserstoff	Wärme/ Strom	Erstellung von Infrastruktur/ Genehmigung für hohe Wasserentnahme / nur kombinierbar mit starkem Stromüberschuss (z. B. PV maximal + Windanlagen)	Genehmigungen müssen geprüft werden und Windkraftanlagen müssen entsprechend realisierbar sein	Gute Speicherbarkeit	Sehr kostenintensiv / Planbarkeit

Tabelle 14 Vergleich der lokalen Energiepotenziale

3.3 B3. Erarbeitung von Versorgungsvarianten

Auf Basis der lokalen Energiequellenpotenzialanalyse werden drei Varianten zur Energieversorgung entwickelt, die in **Abbildung 27** veranschaulicht sind. Für alle Varianten wurden übergeordnet die PVT/PV-Anlagen auf den Dachflächen gemäß Szenario 3 (siehe Kapitel **3.2.1**) ausgelegt. Szenario 3 weist einen hohen Eigenverbrauchsanteil und Deckungsanteil am Energiebedarf aus. Dabei werden 50 % der Dachflächen für PV- bzw. PVT-Anlagen inkl. Wartungswege und Sicherheitsabstände berücksichtigt. Die Wärme- und Kälteversorgung in den drei Varianten wird im Folgenden im Detail beschrieben. Generell wurde von einer Integration von PVT-Anlagen ausgegangen, um den Warmwasserbedarf von Wohn- und Schulnutzung zu decken. Der mittlere Jahresertrag von PVT sinkt im Vergleich zu einer reinen PV-Anlage nur um ca. 14 %.

Variante V1 Fernwärme:

Diese Variante sieht den Anschluss an das bestehende Fernwärmenetz vor, wobei jedes Gebäude eine eigene Übergabestation besitzt, die in den entsprechenden Subheizzentralen auf Gebäudeebene stationiert ist. Die Fernwärme deckt dabei den Heizwärme- und Warmwasserbedarf, da diese nach Stand der Technik mit ausreichend hohen Temperaturen gefahren werden. Für die Raumkühlung in Bildungseinrichtungen und im Gewerbe werden dezentrale Kältemaschinen eingesetzt.

Variante V2 Grundwasser:

Hier werden dezentrale Grundwasserwärmepumpen (GWWP) zur Kälte- und Wärmeversorgung verwendet. Die Gebäude werden über dezentrale Grundwassernetze in den einzelnen Entwicklungsschollen versorgt, wobei das Grundwasser durch Förderbrunnen in das Netz und über Schluckbrunnen zurück in die Grundwasserleiter geführt wird. Jedes Gebäude hat individuelle Hausanschlüsse und dezentrale Wasser-Wärmepumpen mit thermischen Speichern zur Grundlastdeckung der Raumheizung und -kühlung. Zur Spitzenlastdeckung und Redundanz dienen Elektrokessel und Kältemaschinen. Für Gebäude mit hohem Trinkwarmwasserbedarf (wie Wohnen und Bildung) werden Booster-Wärmepumpen eingesetzt, die in Serie mit den GWWP geschaltet werden und die Temperatur wegen hygienischer Anforderungen auf über 60°C für die Warmwasserversorgung erhöhen. In den Entwicklungsschollen F und H mit niedrigem Grundwasserpotenzial werden Luftwärmepumpen zur Grundlastdeckung verwendet. Gewerbegebäude nutzen elektrische Durchlauferhitzer.

Variante V3 Tiefen-Geothermie:

Diese Variante setzt auf Tiefen-Geothermie als zentrale Wärmeversorgung. Eine Heizzentrale auf Quartiersebene umfasst eine geothermische Dublette und eine Obertageanlage mit Thermalwassersystem. Die Wärmeverteilung erfolgt über ein Nahwärmenetz, wobei die Tiefen-Geothermie-Anlage über eine Wärmeübertragung in den Vorlauf des Nahwärmenetzes eingebunden und zur Grundlastdeckung betrieben wird. Anhand der ersten Schätzung von SWM stehen 12,6–14,7 MW thermische Leistung je Dublette zur Verfügung. Hierbei wird konservativ von einer Nennleistung von 12 MW ausgegangen. Ein zentraler Quartiers-Warmwasserspeicher erhöht die thermische Leistung auf insgesamt ca. 21 MW, wovon 12 MW auf die Tiefen-Geothermie-Anlage und 9 MW auf einen Warmwasserspeicher zurückzuführen sind. Dies ist in der weiteren Planung zu berücksichtigen und gegebenenfalls einzuplanen. Zur weiteren Spitzenlastdeckung wird ein Elektrokessel eingesetzt. Die Entzugsleistung und Wärmebereitstellung kann ggf. noch durch Absenkung der Rücklauftemperatur mittels Wasser-Wasser-Wärmepumpe erhöht werden. Dies hängt allerdings von einigen Einflussfaktoren ab und ist in möglichen folgenden Machbarkeitsstudien zu untersuchen. Wie bei V1 Fernwärme werden dezentrale Kältemaschinen für die Raumkühlung in Bildungseinrichtungen und Gewerbe genutzt.

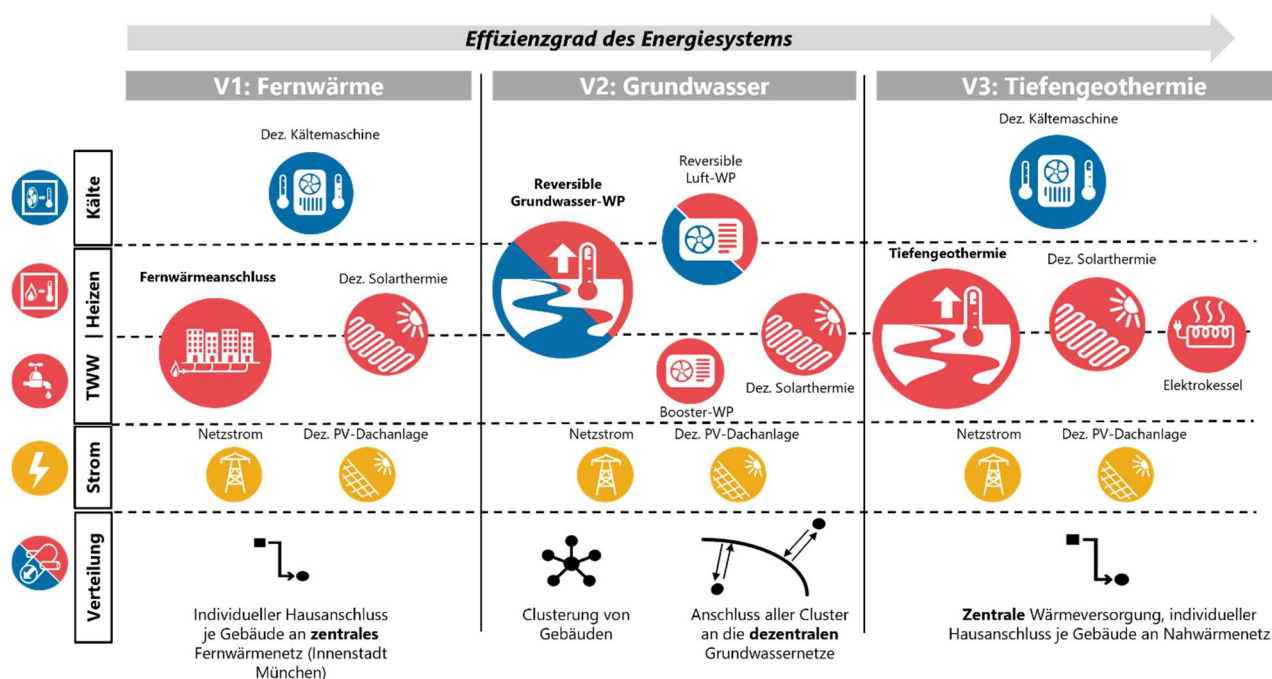


Abbildung 27 Übersicht der Versorgungsvarianten © Buro Happold

Ermittlung Endenergiebedarf

Die Endenergie Q_f ergibt sich aus der Nutzenergie Q_b und zusätzlich aus der Berücksichtigung technischer Verluste für Erzeugung, Übergabe, Verteilung und Speicherung. Der Wirkungsgrad η inkludiert die technischen Verluste und beschreibt das Verhältnis zwischen Endenergie und Nutzenergie. Der Wirkungsgrad jeder angesetzten Erzeugungsanlage kann **Anhang 7** Wirkungsgrad der Erzeugungsanlagen entnommen werden. Dadurch kann die Endenergie mittels des Wirkungsgrads der entsprechenden Erzeugungsanlagen mit folgender Gleichung berechnet werden:

$$Q_f = Q_b / \eta$$

Die Bilanzierung der Endenergie erfolgt getrennt nach Energieträgern und wird in **Abbildung 28** gemäß DIN V 1899-1⁴² veranschaulicht. Die Bilanzgrenze liegt zwischen dem Energiesystem (meistens Anschlusspunkte) und der Umgebung.

Die Endenergie setzt sich zusammen aus der von außen zugeführten Endenergie $Q_{f,in}$ (z. B. Netzstrom oder Fernwärme) und der selbst produzierten Endenergie $Q_{f,prod}$ (z. B. PV-Strom) abzüglich der nach außen abgeführten Endenergie $Q_{f,out}$ (z. B. eingespeister PV-Strom). Die Gesamtzusammensetzung der Endenergie wird mithilfe folgender Gleichung bestimmt:

$$Q_f = Q_{f,in} + Q_{f,prod} - Q_{f,out}$$

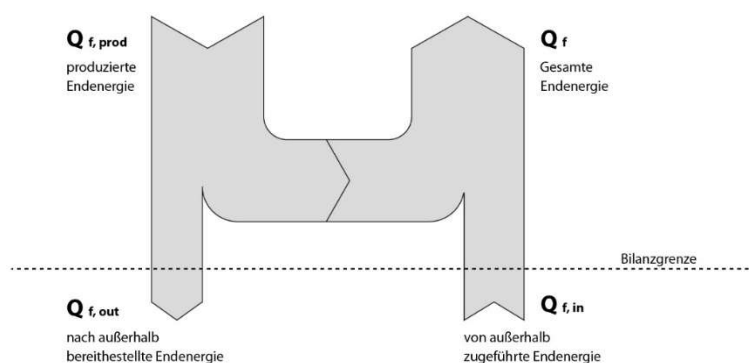


Abbildung 28 Bilanzierung der Endenergie (eigene Darstellung basierend auf DIN V 18599) © Buro Happold

⁴² DIN V 18599-1:2018

Die Ergebnisse der Endenergiebilanzierung durch die drei Versorgungsvarianten sind in **Abbildung 29** veranschaulicht. Der Gesamtenergiebedarf von Variante V1 Fernwärme ist mit 122 GWh/a am größten. Die Varianten V2 Grundwasser ist mit einem Gesamtendenergiebedarf von 92 GWh/a um 25 % und V3 Tiefengeothermie mit einem Gesamtendenergiebedarf von 71 GWh/a um 42 % kleiner. Die Endenergiebilanz spiegelt die Effizienz des Energiesystems wider, wobei Variante 3 am besten abschneidet. Dies ist vor allem auf das sehr effiziente Tiefengeothermie System zurückzuführen, hierbei wird nur Strom für den Pumpenbetrieb bereitgestellt, der Energiebedarf ist deutlich geringer im Vergleich zu V1 mit Fernwärme und V2 mit Wärmepumpen.

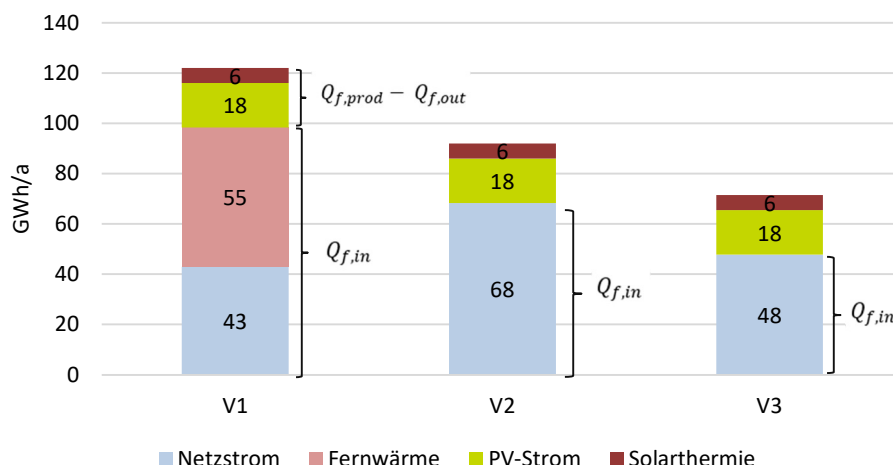


Abbildung 29 Vergleich der Endenergie nach Endenergieträgern © Buro Happold

3.4 B4. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die Versorgungsvarianten

In der Untersuchung wird nur die Wirtschaftlichkeit der Wärme- und Kälteversorgungssysteme betrachtet. Die elektrischen Komponenten wie PV- und PVT-Anlagen sowie Ladensäulen der E-Mobilität werden nicht berücksichtigt, da diese bezüglich der Investitionskosten in den drei Varianten identisch sind. Als Kennzahl wird ein vereinfachter Ansatz der „Levelized Cost of Energy“ (LCOE – Energiegestehungskosten) angewendet, um die Wirtschaftlichkeit verschiedener Energiesysteme (Wärmeversorgung- und Kälteversorgung) zu vergleichen. In der LCOE-Berechnung werden die gesamten abgezinsten Investitionskosten (CAPEX), die gesamten abgezinsten Energiekosten und die Wartungskosten (OPEX) während des Betrachtungszeitraums berücksichtigt. Das Ergebnis dient als Indikator, um die Wirtschaftlichkeit der drei Energievarianten zu vergleichen. Kostenangaben sind als Schätzwerte zu betrachten, die auf Erfahrungswerten und Annahmen beruhen. Zur Kostensicherheit sind Fachplanungen durchzuführen und Preisangebote von Fachunternehmen einzuholen.

Die Rahmenbedingungen für die Berechnung der vereinfachte LCOE lauten wie folgt:

- Der Betrachtungszeitraum für die Berechnung der LCOE beträgt **50 Jahre**.
- Der Zeitpunkt der gesamten Erstinvestition und der Inbetriebnahme wird vereinfachend mit der Fertigstellung des Quartiers angenommen (ab Jahr 2052).
- Die Investitionskosten für die Anlagentechnik (Kältemaschine, Übergabestationen, Wärmepumpen, Elektrokessel, und Wärmespeicher) werden pauschal mit einer **Nutzungsdauer von 25 Jahren** berechnet. Für die Infrastruktur wie Netze und geothermische Dublette wird pauschal mit einer **Nutzungsdauer von 50 Jahren** gerechnet.
- Eine Kostenprognose bzw. Preissteigerungen sind für die in Zukunft zu ersetzende Anlagentechnik nicht berücksichtigt.
- Da der Geldzeitwert einen Einfluss auf die LCOE hat, wird ein Abzinsungsfaktor (AF) von **3,5 % angenommen**.
- Es **werden aktuelle Energiepreise für Fernwärme und Strom verwendet**. Eine Prognose der Preisentwicklung **wird hier nicht vorgenommen**, da diese von mehreren Faktoren stark abhängt, u. a. von der Anpassung der Fernwärme- und Stromerzeugungsstruktur, der Preissteigerung bei fossilen Brennstoffen und von Materialkosten bzw. Preissteigerungen von CO₂. Die angesetzten Kostenangaben können **Anhang 10** entnommen werden.

- Es wird angenommen, dass die CO₂-Kosten/Steuern bereits in den Arbeitspreisen der jeweiligen Energieträger enthalten sind und daher indirekt in die Wirtschaftlichkeitsanalyse eingehen. Die CO₂-Kosten werden nicht separat berechnet.
- Wartungskosten werden pauschal mit 1 % der Investitionskosten angenommen.

Die Objekte, die der Berechnung der Investitionskosten (CAPEX) und der Betriebskosten (OPEX) zugrunde liegen, sind in **Abbildung 30** aufgeführt.

Effizienzgrad des Energiesystems bzw. Investitionsaufwand			
	Variante V1	Variante V2	Variante V3
CAPEX	<ul style="list-style-type: none"> • Fernwärmenetz im Quartier • Übergabestationen • Hausanschlusskosten • Kältemaschine 	<ul style="list-style-type: none"> • Grundwasserbrunnen • Grundwassernetz (dezentral verlegt in jedem Bau Feld) • Rev. Wasser-Wasser-Wärmepumpe • Rev. Luft-Wasser-Wärmepumpe • Booster-Wärmepumpe (inkl. Speicher und Frischwasserstation) • Elektrokessel 	<ul style="list-style-type: none"> • Untertageanlage für eine Dublette • Obertageanlage mit Tauchkreislumpumpe und Wärmestation • Elektrokessel • Nahwärmenetz • Großer Wärmespeicher • Übergabestation • Hausanschlusskosten • Kältemaschine
OPEX	<ul style="list-style-type: none"> • Fernwärmekosten • Wartungskosten (O&M) 	<ul style="list-style-type: none"> • Stromkosten • Wartungskosten (O&M) 	

Abbildung 30 Berechnung Betriebskosten (OPEX) und Investitionskosten (CAPEX) © Buro Happold

3.4.1 Investitionskosten (CAPEX)

Die Anfangsinvestitionskosten der drei Energieversorgungsvarianten sind in **Abbildung 31** mit den jeweiligen Komponenten dargestellt. Die Variante V1 ist mit Gesamtinvestitionskosten von 58,7 Mio. Euro die wirtschaftlichste Variante. Die größten Investitionen bei Variante V1 stellen das Hochtemperaturwärmenetz und die Wärmeübergabestationen dar. Variante V2 erfordert mit 63,9 Mio. Euro den Bau von Grundwasserbrunnen sowie ein Grundwasserleitungs-/Kreislaufsystem, das die reversiblen Wärmepumpen speist, was zugleich die höchste Investition in dieser Variante darstellt. Die Variante V3 zeichnet sich durch die höchsten Investitionskosten von 91,3 Mio. Euro aus, da sie die Tiefbohrungen für den Dubletten-Bau beinhaltet. Diese geothermischen Arbeiten stellen den größten finanziellen Aufwand in Variante V3 dar. Die spezifischen Kostenangaben zur Berechnung der CAPEX sind **Anhang 11** Kostenangaben zur CAPEX zu entnehmen.

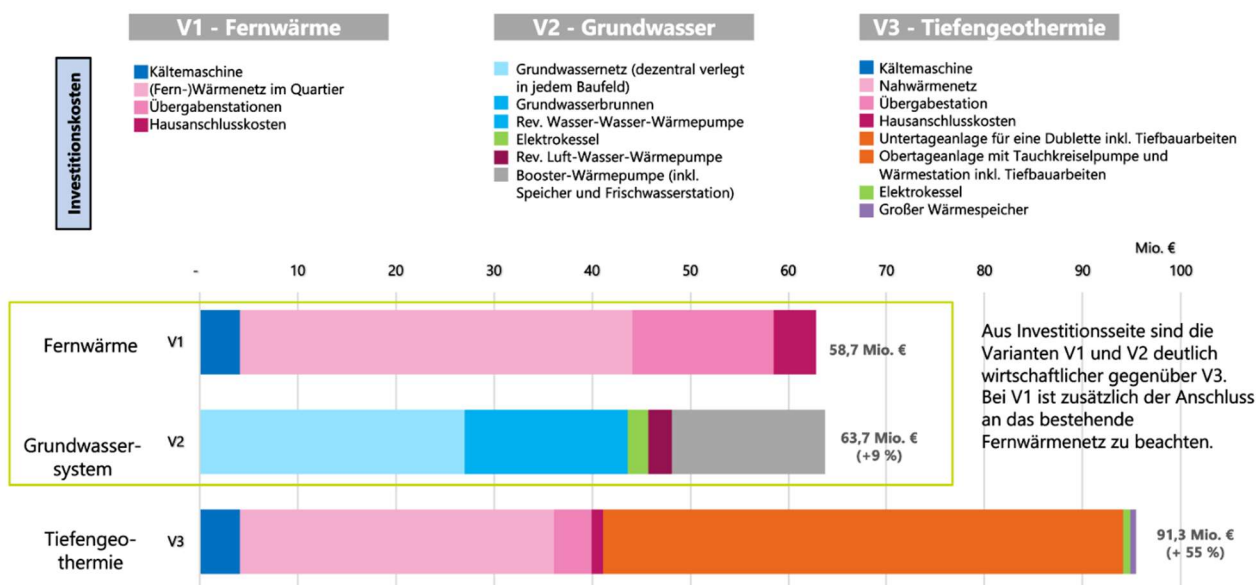


Abbildung 31 Unterschiede in den Anfangsinvestitionskosten © Buro Happold

3.4.2 Betriebskosten (OPEX)

Nachfolgend sind die jährlichen Betriebskosten für die drei Energieversorgungsvarianten über einen Zeitraum von 50 Jahren dargestellt (siehe **Abbildung 32**). Variante V1, die auf Fernwärme setzt, hat die höchsten Betriebskosten mit 6,9 Mio. Euro pro Jahr. Diese hohen Kosten sind in erster Linie auf den großen Anteil an Fernwärmenergie zurückzuführen. Variante V2, die mit Grundwasser betrieben wird, hat jährliche Betriebskosten von 6,4 Mio. Euro. Die höheren Kosten für Variante V2, obwohl sie nahe an V1 liegen, sind auf die höheren Kosten für elektrischen Strom zurückzuführen, der für den Betrieb der Wasser-Wasser-Wärmepumpen erforderlich ist. Variante V3, die Tiefen-Geothermie nutzt, weist mit 3,9 Mio. Euro die geringsten Betriebskosten jährlich auf. Dieser signifikante Kostenrückgang ist auf den minimalen Energieaufwand zurückzuführen, den die Wasserförderpumpe benötigt, um genügend thermische Energie auf Hochtemperaturniveau zu gewinnen. Der Unterschied bei den Betriebskosten ist maßgebend für die Auswertung der langfristigen wirtschaftlichen Machbarkeit der einzelnen Energieversorgungsoptionen.

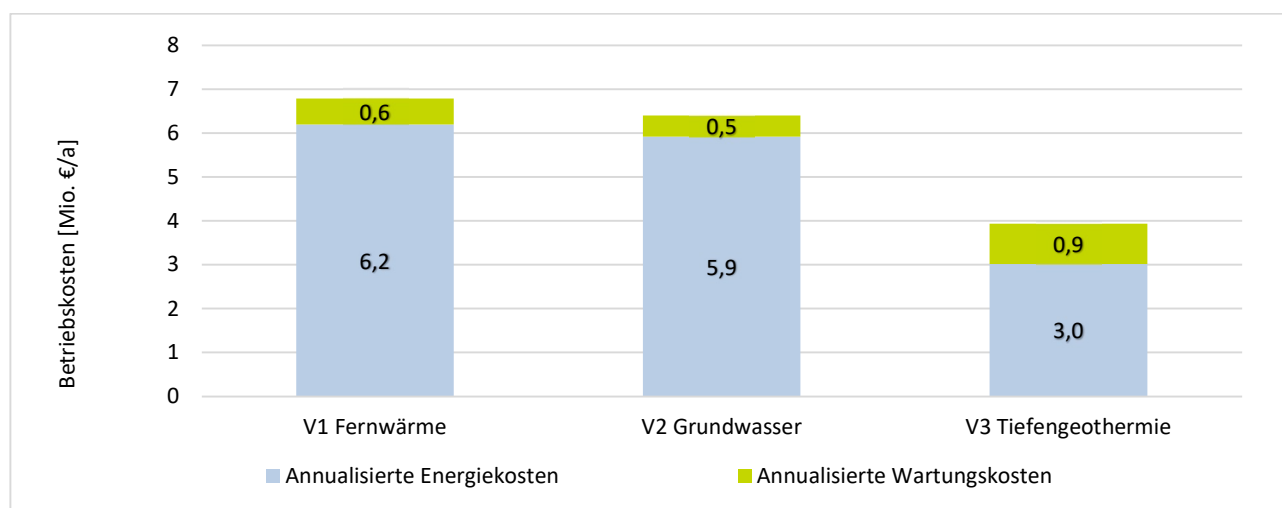


Abbildung 32 Gegenüberstellung annualisierte Betriebskosten (50 Jahre) © Buro Happold

3.4.2.1 Exkurs: Auswirkung der Betriebsemissionen auf die Betriebskosten

Die CO₂-Kosten sind im Arbeitspreis der fossilen Brennstoffe enthalten. Je nach Energieträger, Fernwärme oder Stromnetz, können verschiedene CO₂-Kostenanteile anfallen. Dies ist auf den Anteil der fossilen Brennstoffe in der Energiebereitstellung zurückzuführen. Der CO₂-Faktor kann als Indikator zur Beurteilung des CO₂-Kostenanteils herangezogen werden. Je größer der CO₂-Faktor eines Energieträgers ist, umso größer ist der Anteil der CO₂-Kosten am Energiepreis. Wie sich das Gewicht des CO₂-Faktors auf die zukünftigen Energiepreise für Fernwärme und Stromnetze auswirkt, wird in dieser Studie nicht weiterführend untersucht, da von einer Dekarbonisierung des Strom- und Fernwärmenetzes gemäß der angenommenen Prognose (siehe **Abbildung 33**) ausgegangen wird.

Ausgehend von der Entwicklung des CO₂-Faktors der Fernwärme bis 2050 könnten sich die CO₂-Kosten jedoch auf die Energiepreise der Fernwärme auswirken, da die Fernwärme einen deutlich flacheren Dekarbonisierungspfad hat als der deutsche Strommix und bis 2050 noch 23 g CO_{2e}/kWh aufweist. Im Gegensatz dazu sind keine CO₂-Kosten im zukünftigen Strompreis ab 2050 zu erwarten.

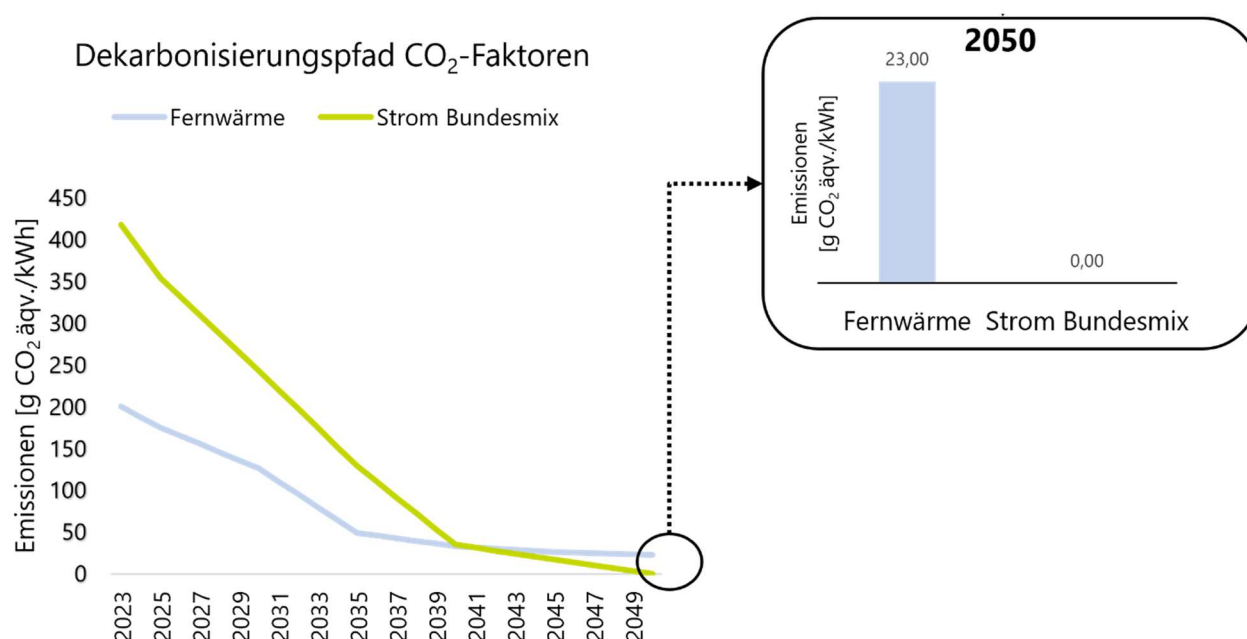


Abbildung 33 Dekarbonisierungspfade der Energieträger Strom und Fernwärme bis 2050 gem. Öko-Institut e. V. (2022) © Buro Happold

3.4.3 Levelized Cost Energy (Energiegestehungskosten)

Levelized Cost of Energy (LCOE) ist eine nützliche Kennzahl, da diese einen umfassenden Vergleich der Kosteneffizienz verschiedener Energieversorgungssysteme ermöglicht. Vereinfachte LCOEs umfassen alle Kosten, die mit einem Energieprojekt während seiner gesamten Betriebsdauer verbunden sind (mit Ausnahme der Stilllegung des Systems). Vereinfachte LCOEs beinhalten somit:

- Erstinvestitionskosten (wie beim Bau eines Kraftwerks) sowie zukünftige Erneuerungen von Anlagen
- laufende Betriebs- und Wartungskosten (O&M)
- Energiekosten

Dadurch, dass all diese Kosten berücksichtigt und auf die gesamte versorgte thermische Energie aufgeteilt werden, bietet das LCOE ein einheitliches Maß für die Kosten pro Energieeinheit (z. B. pro Kilowattstunde thermisch), was den Vergleich verschiedener Energieversorgungssysteme, z. B. Fernwärme vs. Wärmepumpen, ermöglicht.

Die folgende Formel zeigt die Ermittlung der vereinfachten LCOEs:

$$\text{LCOE} = \frac{\text{Total (abgezinste) Investitionskosten} + \text{Total (abgezinste) Betriebskosten im Betrachtungszeitraum}}{\text{Total Nutzenergie im Betrachtungszeitraum}}$$

- **Total (abgezinste Investitionskosten):** Dies sind die gesamten anfänglichen Ausgaben für die Einrichtung des Energieversorgungsystems und für die entsprechenden Ersatzbeschaffungen für einzelne Komponenten, angepasst an den Zeitwert des Geldes (abgezinst).
- **Total (abgezinste) Betriebskosten:** Dies sind die gesamten laufenden Kosten für den Betrieb und die Wartung des Systems, angepasst an den Zeitwert des Geldes (abgezinst).
- **Total Nutzenergie im Betrachtungszeitraum:** Dies ist die gesamte thermische Energiemenge, die das System im gleichen Zeitraum versorgt (siehe **Abbildung 34**).

Über einen Zeitraum von 50 Jahren werden im Quartier Münchner Nordosten insgesamt ca. 3.162 GWh an Wärme und 460 GWh an Kälte bereitgestellt. Das bedeutet, dass 87 % des gesamten Nutzenergiebedarfs auf die Heizung (inkl. Trinkwarmwasser) und nur 13 % auf die Kühlung entfallen (siehe **Abbildung 34**).

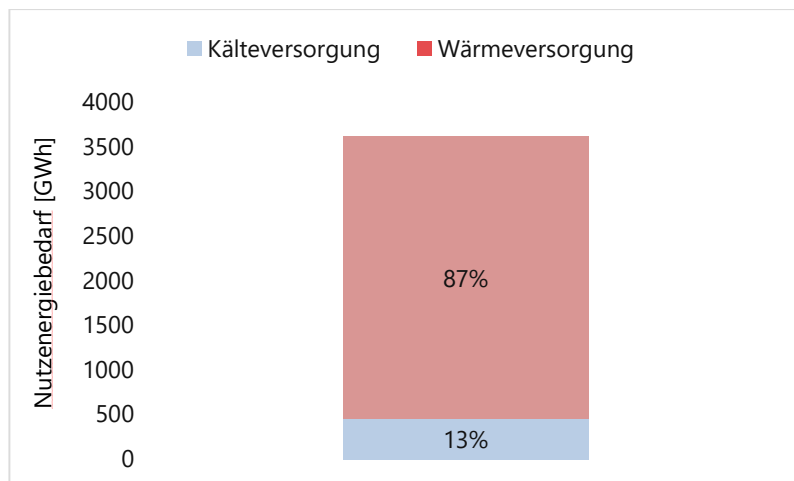


Abbildung 34 Gesamtenergieversorgung durch Heizen und Kühlen über 50 Jahre © Buro Happold

Abbildung 35 zeigt die Ergebnisse der LCOE in drei verschiedenen Varianten (V1, V2 und V3). Variante V3 ist dabei die kosteneffizienteste Option (ca. 10 € weniger pro MWh) gegenüber den Varianten V1 und V2.

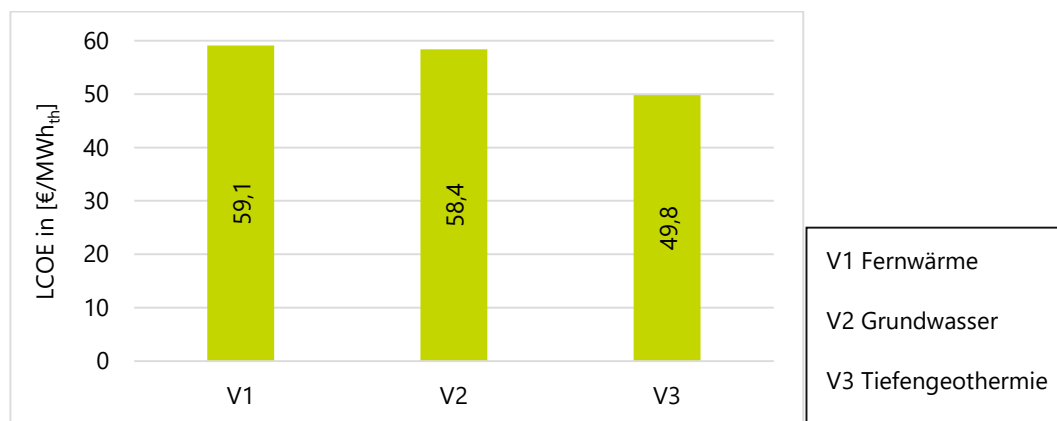


Abbildung 35 LCOE aller Versorgungsvarianten © Buro Happold

4 Baustein C: Städtebau und Siedlungs- und Freiraumstruktur

Städtebauliche Maßnahmen wirken sich in vielerlei Hinsicht auf die CO₂-Emissionen des Quartiers aus.

Betriebsemissionen werden reduziert, indem durch ausreichende Grünflächen dem städtischen Hitzeinseleffekt⁴³ entgegengewirkt und das Durchlüftungspotenzial durch Frischluftschneisen gewährleistet wird. Des Weiteren werden durch eine kompakte Bauweise die versiegelte Fläche und die grauen Emissionen der Baumaterialien geringgehalten. Ein weiterer Einflussbereich von städtebaulichen Maßnahmen ist das Nutzungskonzept, das die Abstände der Nutzungen und damit die Mobilitätsemissionen beeinflusst. Durch die Umsetzung der Stadt der kurzen Wege und einer hohen Nutzungsmischung kann dies erreicht werden.

Im städtebaulichen Maßstab sollte die Klimaresilienz im Fokus der Planungsaufgabe stehen, um das Quartier für zukünftige soziale und klimatische Veränderungen zu rüsten. Dabei sollte darauf geachtet werden, die Freiflächen möglichst natürlich zu gestalten, um ihre positiven Auswirkungen auf das Mikroklima nutzen zu können. Gleichzeitig ist es entscheidend, ein angemessenes Maß an städtebaulicher Dichte für die verschiedenen Bereiche zu finden. Ziel ist es, kompakte und dichte Stadtteile zu schaffen, ohne dabei den Schutz von Klima und Vegetation zu vernachlässigen.

4.1 Maßnahmenübersicht Städtebau

Im Folgenden sind die Titel der Maßnahmen in den einzelnen Handlungsfeldern aufgelistet, die in der Checkliste in **Anhang 1** Checkliste Münchner Nordosten mit Handlungsmaßnahmen für die Bausteine B / C / D / E / F detailliert beschrieben sind. Die nachfolgend aufgeführten Stichpunkte sind jeweils die Titel der in der Checkliste im Detail dargestellten Maßnahmen in den jeweiligen Handlungsfeldern.

C1 Bauliche Dichte

Das Maß der Bebauung beeinflusst die grauen Emissionen, die in der Bilanzierung berücksichtigt werden müssen. Besonders die unterirdischen Bauten sind emissionsintensiv und sollten daher vermieden werden. Des Weiteren hat die städtebauliche Dichte Einfluss auf die zur Verfügung stehenden Flächen für Begrünung zur Verbesserung des Mikroklimas im Quartier.

Maßnahmentitel (Maßnahmenbeschreibung in **Anhang 1** Checkliste Münchner Nordosten **mit Handlungsmaßnahmen für die Bausteine B / C / D / E / F**):

- Maß der baulichen Nutzung und städtebaulichen Dichte
- Unterirdische Bebauung vermeiden

Die Integration der genannten Maßnahmen kann über städtebauliche und landschaftsplanerische Wettbewerbe und Bebauungspläne erfolgen.

C2 Gebäudeorientierung

Durch eine optimierte Orientierung und Anordnung der Siedlungsstrukturen werden passive Effekte gegenseitiger Verschattung von Gebäuden und der Herstellung von Frischluftschneisen genutzt und maximiert. So werden das Mikroklima in der Stadt und der Komfort im Gebäude verbessert und folglich die Betriebsenergie minimiert.

Maßnahmentitel (Maßnahmenbeschreibung in **Anhang 1** Checkliste Münchner Nordosten **mit Handlungsmaßnahmen für die Bausteine B / C / D / E / F**):

- Anordnung der Gebäude untereinander und zum Freiraum
- Freihalten der natürlichen Kaltluftleitbahnen des Quartiers

Die Integration der genannten Maßnahmen kann über den Bebauungsplan oder auf städtebaulicher und landschaftsplanerischer Wettbewerbsebene erfolgen. Die räumliche Organisation der Nutzungen kann in den gebäudespezifischen Architektur- und Landschaftsarchitekturwettbewerben zur Bewertung herangezogen werden.

⁴³ Städtisches Phänomen von Hitzestau in Bodennähe mit höheren Temperaturen als in ländlichem Raum durch Mangel an Vegetation und Verdunstungsflächen sowie Abluft und eine hohe Speichermasse des umgebenden Materials.

C3 Nutzungsmischung und die Stadt der kurzen Wege

Die Platzierung der Nutzungen bestimmt die räumlichen Zusammenhänge und Weglängen, die von den Nutzer*innen zurückgelegt werden. Dadurch werden Mobilitätsemissionen verringert. Des Weiteren werden durch eine effiziente und multicodierte Nutzung der Flächen graue Emissionen eingespart.

Maßnahmentitel (Maßnahmenbeschreibung in **Anhang 1** Checkliste Münchner Nordosten mit Handlungsmaßnahmen für die Bausteine B / C / D / E / F):

- Hohe Flächeneffizienz
- Kurze Distanzen innerhalb des Quartiers

Die Integration der genannten Maßnahmen kann über städtebauliche und landschaftsplanerische Wettbewerbe und Bebauungspläne erfolgen.

C4 Vegetationsformen

Durch Vegetation kann CO₂ gespeichert und in der Bilanzierung positiv berücksichtigt werden. Die Art der Begrünung ist ausschlaggebend für die Menge an speicherbaren Emissionen und hat damit einen unterschiedlich großen Einfluss auf die Treibhausgasbilanz. Je mehr Vegetation dabei erhalten und geschaffen wird, desto größer ist das Speicherpotenzial von Kohlenstoffdioxid.

Maßnahmentitel (Maßnahmenbeschreibung in **Anhang 1** Checkliste Münchner Nordosten mit Handlungsmaßnahmen für die Bausteine B / C / D / E / F):

- Bodengebundene Begrünung mit hoher Klimaresilienz⁴⁴
- Dach- und bodengebundene Fassadenbegrünung
- Anordnung und Erhalt von Bäumen

Die Integration der genannten Maßnahmen kann auf städtebaulicher und landschaftsplanerischer Wettbewerbsebene und durch Bebauungsplanfestsetzung erfolgen, indem maximale Grünflächenanteile und extensive Begrünung positiv bewertet werden. Darüber hinaus ist eine Verankerung in Form von politischen Beschlüssen entscheidend, um die Biodiversität sowie das Kohlenstoffeinsparpotenzial zu fördern. Natürliche Ökosysteme tragen dabei zu einem größeren CO₂-Einsparpotenzial bei als städtische Grünflächen. Vor allem die Flächen außerhalb der Siedlungsschollen, wie bspw. der Hüllgraben, spielen eine wichtige Rolle.

C5 A/V-Verhältnis und Gebäudegeometrie

Die Fassadenfläche der Gebäudehülle und damit besonders das Verhältnis der Außenfläche zum Gebäudevolumen beeinflusst neben den grauen Emissionen die Betriebsemissionen, da der insgesamt Bedarf durch Transmissionsverluste⁴⁵ gesteigert wird. Dabei ist neben den spezifischen Wärmedurchgangswerten der Gebäudehülle die Kompaktheit der Kubatur ein wesentlicher Faktor.

Maßnahmentitel (Maßnahmenbeschreibung in **Anhang 1** Checkliste Münchner Nordosten mit Handlungsmaßnahmen für die Bausteine B / C / D / E / F):

- Kompakte Gebäudekubaturen

Die Integration von kompakten Gebäudekubaturen kann über den Bebauungsplan erfolgen bzw. in die Bewertung der gebäudespezifischen Architekturwettbewerbe einfließen.

C6 Nutzung des Daches und der Fassade für die Energieproduktion

Die Stromproduktion mit erneuerbaren Energiequellen durch Photovoltaikanlagen versorgt das Quartier mit klimaneutraler Energie vor Ort. Dadurch werden Abhängigkeiten von anderen Energiequellen verringert.

Maßnahmentitel (Maßnahmenbeschreibung in **Anhang 1** Checkliste Münchner Nordosten mit Handlungsmaßnahmen für die Bausteine B / C / D / E / F):

⁴⁴ Widerstandsfähigkeit sozial-ökologischer Systeme gegenüber den Folgen des Klimawandels.

⁴⁵ Verluste infolge von Wärmetransport durch die Elemente der Gebäudehülle (Fassade, Bodenplatte, Öffnungen, Dachhaut und Wärmebrücken).

- Solare Aktivierung der Gebäudeoberfläche

Die Nutzung des Daches für solare Energiegewinnung wird bereits auf städtischer Ebene vorgegeben (solarer Masterplan München). Die Umsetzung bzw. eine mögliche Übererfüllung kann in die Bewertung der städtebaulichen und gebäudespezifischen Architekturwettbewerbe einfließen. Für die Stromproduktion nutzbare Dachflächen können zudem für Dachbegrünung nutzbar gemacht werden und in Kombination funktionieren.

5 Baustein D: Zukünftiges/Klimaneutrales Bauen – Gebäude

Die grauen Emissionen des Quartiers stehen in direktem Zusammenhang mit der Bauweise der Gebäude und dem Umgang mit Material. Durch die Wahl einer emissionsärmeren, langlebigen Konstruktionsweise wird der ökologische Fußabdruck des Quartiers verringert. Des Weiteren können weitere Ressourcen und damit Emissionen durch die Wiederverwendung und Förderung von Stoffkreisläufen⁴⁶ eingespart werden. Zudem beeinflusst die Gebäudehülle in hohem Maße die Betriebsemissionen und bestimmt den Nutzerkomfort maßgeblich.

5.1 Maßnahmenübersicht Gebäudeebene

Im Folgenden sind die Maßnahmen dargestellt, die in detaillierter Form in der Checkliste Baustein D beschrieben sind. (siehe **Anhang 1** Checkliste Münchner Nordosten mit Handlungsmaßnahmen für die Bausteine B / C / D / E / F).

D1 Gebäudehülle (Auswirkungen auf die Betriebsemissionen)

Die Gebäudehülle beeinflusst durch die Wahl der Materialität neben den grauen Emissionen zudem die Betriebsemissionen. Um einen optimalen Nutzerkomfort zu erreichen und den Energiebedarf durch passive Maßnahmen zu minimieren, muss die Gebäudehülle optimiert werden und auf äußere Einflüsse wie solare Erträge oder Transmissionswärmeverluste abgestimmt sein.

Maßnahmentitel (Maßnahmenbeschreibung in **Anhang 1** Checkliste Münchner Nordosten mit Handlungsmaßnahmen für die Bausteine B / C / D / E / F):

- Verglasungsanteil zur Minimierung der Betriebsemissionen
- Wahl der Verglasung zur Minimierung der Betriebsemissionen
- Bauweise mit effektiv dämmenden Baustoffen (niedrige U-Werte)⁴⁷
- Erhöhung der Luftdichtheit des Gebäudes

Die Integration der genannten Maßnahmen kann über die Festlegung eines Energiegebäudestandards bzw. von Rahmenparametern auf städtebaulicher Wettbewerbsebene erfolgen oder in den gebäudespezifischen Architekturwettbewerben positiv bewertet werden, wenn diese mitberücksichtigt wurden. Als Grundlage für die Umsetzung können Gestaltungsleitfäden eine wichtige Rolle spielen.

D2 Klimarelevanz der Baustoffe

Die Materialität ist vor allem in Bezug auf die grauen Emissionen von großer Bedeutung. Die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen hat dabei einen positiven Einfluss auf die Gesamtbilanz und führt zu gesunden Innenraumbedingungen.

Maßnahmentitel (Maßnahmenbeschreibung in **Anhang 1** Checkliste Münchner Nordosten mit Handlungsmaßnahmen für die Bausteine B / C / D / E / F):

- Verwendung von Holz in der Tragstruktur
- Verwendung von (zertifiziertem) CO₂-reduziertem Beton
- Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen in der Fassade
- Verwendung von nachwachsenden Dämmstoffen

Die Integration der genannten Maßnahmen kann im Rahmen von städtebaulichen und gebäudespezifischen Wettbewerben und zusätzlicher Sicherung durch Gestaltungsleitfäden positiv in die Bewertung einfließen oder im städtebaulichen Vertrag verankert werden. Als Instrument der Qualitätssicherung kann die planungsbegleitende Lebenszyklusanalyse (LCA) dienen.

⁴⁶ Der Kreislauf von Material von der Gewinnung oder Herstellung über Wiederverwendung und Recycling bis zur Verwertung.

⁴⁷ Der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) misst die Wärmemenge, die pro Quadratmeter eines Bauteils bei einem Temperaturunterschied von 1 Kelvin durch das Bauteil hindurchgeht. Ein niedriger Wert bedeutet eine hohe Wärmedämmung.

D3 Regionalität

Für ein nachhaltiges Bauprojekt sollten eher regionale Materialien und Baustoffe verwendet werden, um die Transportemissionen möglichst gering zu halten.

Maßnahmentitel (Maßnahmenbeschreibung in **Anhang 1** Checkliste Münchner Nordosten mit Handlungsmaßnahmen für die Bausteine B / C / D / E / F):

- Einsatz von regionalen Materialien und Baustoffen

Die Festlegung, dass regionale Materialien und Baustoffe zum Einsatz kommen, kann im Rahmen von städtebaulichen und architektonischen Wettbewerben positiv in die Bewertung einfließen oder in der Charta des Bebauungsplanes verankert werden. Mit dem Beschluss der Vollversammlung vom 20.10.2021 'Klimaneutrales München bis 2035 Ziele und Umsetzungsstrategie des Referats für Stadtplanung und Bauordnung', ist das Referat beauftragt worden, Ergebnisse der Planungen und Konzepte (u.a. Energiekonzept, Mobilitätskonzept, Stadtklima-Konzept) zukünftig in Abstimmung mit dem RKU und dem MOR in eine Charta für ein lebendiges, soziales und nachhaltiges Stadtquartier aufzunehmen. Bei den Planungsbegünstigten ist darauf hinzuwirken, dass diese Charta umgesetzt wird. Als Instrument der Qualitätssicherung kann die planungsbegleitende Ökobilanzierung dienen.

D4 Zirkularität und Ressourceneffizienz

Um Emissionen einzusparen, sollten Materialien in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden. Dabei werden durch die Wiederverwendung von Gebäuden/Bauteilen oder Materialien in allen Phasen von Bau/Betrieb/Rückbau wertvolle Treibhausgase eingespart und die Umwelt wird geschont.

Maßnahmentitel (Maßnahmenbeschreibung in **Anhang 1** Checkliste Münchner Nordosten mit Handlungsmaßnahmen für die Bausteine B / C / D / E / F):

- Umsetzung von zirkulärer Ressourcennutzung auf Quartiersebene
- Umsetzung von kreislauffähigen Konstruktionen auf Gebäudeebene
- Sicherstellung der Wiederverwendung und -verwertung von Bauteilen (Bauteilebene)
- Recycling von Baustoffen (Materialebene)
- Flexible und adaptive Flächennutzung

Zirkularität und Ressourceneffizienz können als Planungsziel im Rahmen von Planungs- und Hochbauwettbewerben in die Bewertung einfließen und im weiteren Verfahren durch enge Abstimmung gefördert werden.

6 Baustein E: Treibhausgasneutrale Mobilität

Die CO_{2e}-Emissionen für Mobilität sind wesentlicher Bestandteil der Treibhausgasbilanzierung. Dabei spielen Mobilitätsreduktion, Unterstützung von nachhaltiger Mobilität, Steigerung der Effizienz von Mobilität und Reduktion der CO_{2e}-Emissionen eine zentrale Rolle, um den Einfluss von Mobilität auf die Treibhausgasemissionen zu verringern. Des Weiteren sind die CO_{2e}-Emissionen der Infrastrukturmaßnahmen inkl. der Wartung für die unterschiedlichen Verkehrsträger zu reduzieren.

6.1 Maßnahmen für Mobilität

Im Folgenden sind die Maßnahmen dargestellt, die in detaillierter Form in der Checkliste Baustein E beschrieben sind. (siehe **Anhang 1** Checkliste Münchner Nordosten mit Handlungsmaßnahmen für die Bausteine B / C / D / E / F)

E1 Reduktion der Emissionen des motorisierten Individualverkehrs (MIV)

Mobilitätsemissionen können durch eine Verringerung von emissionsintensiven Verkehrsträgern und eine Reduktion der ausgestoßenen Treibhausgasemissionen von Verkehrsmitteln und Infrastruktur reduziert werden. Durch Anreize kann eine Verhaltensänderung hin zu nachhaltiger Mobilität erreicht und langfristig die Verwendung bestimmter Mobilitätsformen reduziert werden.

Maßnahmentitel (Maßnahmenbeschreibung in **Anhang 1** Checkliste Münchner Nordosten mit Handlungsmaßnahmen für die Bausteine B / C / D / E / F):

- Reduzierung von MIV
- Vermeidung von CO₂-intensiven Verkehrs- und Infrastrukturflächen
- Geschwindigkeitsreduktion auf den Verkehrsflächen im Quartier
- Bündelung des Parkraums in Quartiersgaragen anstelle von Kfz-Stellplätzen im Straßenraum

Die Integration der genannten Maßnahmen in Bezug auf die Vermeidung von motorisiertem Individualverkehr kann über den Bebauungsplan bspw. über einen Stellplatzschlüssel oder die Festlegung von verkehrsberuhigten Bereichen erfolgen oder im städtebaulichen Vertrag verankert werden.

E2 Förderung von aktiver Mobilität

Aktive Mobilität (durch Muskelkraft angetriebene Fortbewegungsarten) sollte durch eine attraktive Gestaltung und einen Ausbau der Infrastruktur stärker unterstützt werden, um den Umstieg auf diese zu erleichtern. Es sollten bereits in einer frühen Planungsphase relevante Flächen für die Realisierung der Infrastruktur bereitgehalten werden. So können aktive Mobilitätsformen langfristig ein wesentlicher Bestandteil des Modal Split sein.

Maßnahmentitel (Maßnahmenbeschreibung **Anhang 1** Checkliste Münchner Nordosten mit Handlungsmaßnahmen für die Bausteine B / C / D / E / F):

- Sichere und breite Radwege / dichtes Radwegenetz
- Qualitativ hochwertige und sichere Fahrradabstellanlagen
- Barrierefreiheit und sichere Fußgängerwege
- Verschattete Sitzgelegenheit im Straßenraum
- Attraktive Fußwege/-verbindungen

Die Integration der genannten Maßnahmen für eine Verkehrsplanung, die den nicht motorisierten Individualverkehr fördert, kann im städtebaulichen Vertrag verankert werden und im Rahmen von städtebaulichen Wettbewerben positiv in die Bewertung einfließen.

E3 Stärkung von nachhaltigem ÖPNV

Öffentliche Verkehrsmittel haben geringere Emissionen pro Person als der Individualverkehr und sind ein wesentlicher Bestandteil einer nachhaltigen Mobilitätsstrategie. Durch einen stärkeren Ausbau und eine Steigerung der Attraktivität können Treibhausgasemissionen für Mobilität reduziert werden.

Maßnahmentitel (Maßnahmenbeschreibung in **Anhang 1** Checkliste Münchner Nordosten mit Handlungsmaßnahmen für die Bausteine B / C / D / E / F):

- Attraktive ÖPNV-Haltestellen und -Stationen als multimodale Hubs (Mobilitätsstationen)⁴⁸
- Bike and Ride an S- und U-Bahnhöfen

Die Integration der genannten Maßnahmen kann im Rahmen von städtebaulichen Wettbewerben positiv in die Bewertung einfließen und auf Bebauungsplanebene Berücksichtigung finden, indem gestalterische und funktionale Lösungen von ÖPNV-Stationen integriert werden.

E4 Innovative Mobilitätskonzepte und zukünftige Entwicklungen

Geteilte Mobilitätsangebote führen zu einer effizienteren Nutzung und zu einem geringeren Bedarf an Fahrzeugen. Für eine optimale Funktionsfähigkeit ist ein übergreifendes Management des Konzeptes essenziell, da es dazu beitragen kann, die Relevanz des emissionsintensiven Individualverkehrs einzuschränken.

Maßnahmentitel (Maßnahmenbeschreibung in **Anhang 1** Checkliste Münchner Nordosten mit Handlungsmaßnahmen für die Bausteine B / C / D / E / F):

- Gebietsweises Mobilitätsmanagement
- Niederschwellige Mikromobilitätsangebote⁴⁹
- Carsharing-Angebote
- Förderung E-Mobilität
- Vehicle to Grid⁵⁰
- Geteilte (autonome) Mobilität

Die Integration der genannten Maßnahmen für innovative Mobilitätskonzepte kann über den Bebauungsplan (bspw. Berücksichtigung einer Ladeinfrastruktur) erfolgen oder im städtebaulichen Vertrag (Angebot von Carsharing oder eines lokalen Mobilitätsmanagements auf Quartiersebene) verankert werden. Zudem können im Rahmen von städtebaulichen Wettbewerben zukünftige Entwicklungen wie autonome Mobilität und Vehicle to Grid positiv in die Bewertung einfließen.

E5 Logistik

Zur Reduzierung der Mobilitätsemissionen sollte Logistik gebündelt und, wo möglich, emissionsfrei funktionieren. Durch zentrale Sammelstellen werden Fahrzeugwege und damit Emissionen reduziert. Für kürzere Distanzen können Lastenfahrräder und andere nachhaltige Mobilitätsformen genutzt werden.

Maßnahmentitel (Maßnahmenbeschreibung in **Anhang 1** Checkliste Münchner Nordosten mit Handlungsmaßnahmen für die Bausteine B / C / D / E / F):

- Logistik (Mikro-)Hubs
- Emissionsfreie Zustellung auf der letzten Meile
- Paketstationen

⁴⁸ Mobilitätsstationen als strategische Knotenpunkte mit verschiedenen verfügbaren Verkehrsmitteln zur Ermöglichung nahtloser Verkehrswege.

⁴⁹ Kleine und oft elektrische Fahrzeuge zur Überwindung kurzer Strecken innerhalb der Stadt, z. B. E-Scooter, E-Bikes und E-Roller.

⁵⁰ Bidirektional ladefähige Fahrzeuge können bei hoher Netzauslastung elektrische Energie über spezielle Ladestationen in das Netz einspeisen.

Die Integration der genannten Maßnahmen bezogen auf Logistik innerhalb des Quartiers kann im städtebaulichen Vertrag (Angebot von Paketstationen) verankert werden oder im Rahmen von städtebaulichen Wettbewerben über die Planung von Mikrodepots erfolgen.

7 Baustein F: Klimaneutrale Nutzung, Akzeptanz und Nutzerverhalten

Der Einfluss des Nutzerverhaltens und die Akzeptanz der Nutzer*innen trägt in hohem Maße zu einer klimaneutralen Nutzung bei. Dabei können die genauen Auswirkungen dieser Faktoren zum derzeitigen Stand nicht exakt definiert werden und gehen aus diesem Grund nicht direkt in die Bilanzierung mit ein. Dennoch ist das Verhalten der Nutzer*innen ein wesentlicher Einflussfaktor auf die CO₂-Bilanzen, was im Folgenden qualitativ analysiert wird. Dies sollte in der Quartiersplanung berücksichtigt werden, da daraus Leitlinien für den Städtebau und weitere Thematiken resultieren, die in frühen Planungsphasen zu beachten sind.

7.1 Maßnahmen

Im Folgenden sind die Maßnahmen dargestellt, die in detaillierter Form in der Checkliste Baustein F beschrieben sind (siehe **Anhang 1** Checkliste Münchner Nordosten mit Handlungsmaßnahmen für die Bausteine B / C / D / E / F).

F1 Auswirkungen der Freiraumqualität auf soziale Mischung und Akzeptanz der Nutzer*innen

Ein attraktives Umfeld für alle Nutzenden ist essenziell für eine erfolgreiche Umsetzung eines Quartiers und schafft gesunde und angenehme Lebens- und Aufenthaltsbedingungen. Dies sichert den Nutzerkomfort und kann zu einer Reduktion des Mobilitätsbedarfes führen.

Maßnahmentitel (Maßnahmenbeschreibung in **Anhang 1** Checkliste Münchner Nordosten mit Handlungsmaßnahmen für die Bausteine B / C / D / E / F):

- Schaffung hoher Freiraumqualität
- Hohes Maß an Diversität
- Naturnahe und biodiversitätsfördernde Gestaltung von Freiflächen

Umsetzungsstrategien, wie bspw. eine belebte Erdgeschosszone, zur Verbesserung der oben genannten Maßnahmen können zum einen über den Bebauungsplan weiter in der Planung integriert werden, aber auch über die städtebaulichen Wettbewerbe.

F2 Maßnahmen zur Reduzierung der Betriebsenergiebedarfe

Das Ziel ist eine klimaneutrale Nutzung des Quartiers, das durch Energieproduktion aus erneuerbaren Energiequellen betrieben wird. Um den Energiebedarf zu decken, sollte sowohl auf effiziente Systeme als auch auf einen nachhaltigen Betrieb der Systeme geachtet werden. Dies beinhaltet den Einfluss der Nutzenden auf den Energiebedarf.

Maßnahmentitel (Maßnahmenbeschreibung in **Anhang 1** Checkliste Münchner Nordosten mit Handlungsmaßnahmen für die Bausteine B / C / D / E / F):

- Maximierung des Deckungsanteils der erneuerbaren Energien
- Erhöhung der Energieeffizienz der Geräte
- Kommunikation der nutzerbezogenen Einsparmöglichkeiten im Gebäudebetrieb

Diese Maßnahmen können über die Nutzungs- bzw. Betreiberkonzepte auf Quartiersebene berücksichtigt werden.

F3 Zirkuläres Nutzerverhalten

Im Quartier sollte Zirkularität durch Nutzerangebote eine wesentliche Thematik darstellen und Flächen dafür sollten bereitgestellt werden. Dies sollte in der weiteren Planung berücksichtigt werden.

Maßnahmentitel (Maßnahmenbeschreibung in **Anhang 1** Checkliste Münchner Nordosten mit Handlungsmaßnahmen für die Bausteine B / C / D / E / F):

- Circular Society⁵¹
- Übergreifendes Flächenmanagement für eine flexible Flächennutzung

Ein zirkuläres Nutzerverhalten kann sowohl über den Bebauungsplan weiter in der Planung integriert werden wie bspw. durch flexible Flächennutzung, aber auch über den städtebaulichen Vertrag an die Bauherren weitergegeben werden.

F4 Digitale Infrastruktur und Smart City

Die Digitalisierung trägt zu einer Effizienzsteigerung bei und verringert so den Betriebsenergiebedarf. Durch smarte Systeme können zudem Verbesserungspotenziale aufgezeigt und intelligente Lösungen gefunden werden. Durch die Erfassung der Verbrauchsdaten der Nutzenden und ihrer Kommunikation können sie gegenüber der Thematik sensibilisiert werden und es kann eine Verhaltensanpassung zu nachhaltigem Handeln erreicht werden.

Maßnahmentitel (Maßnahmenbeschreibung in **Anhang 1** Checkliste Münchner Nordosten mit Handlungsmaßnahmen für die Bausteine B / C / D / E / F):

- Entwicklung einer Digitalstrategie für das Quartier
- Automatisierung des Quartiersbetriebs
- Smartes Umweltmonitoring und Sensornetzwerke für das Quartier
- Erhebung, Auswertung und Nutzung der erfassten Daten
- Kommunikation von aktuellen/monatlichen/jährlichen Energiekennzahlen

Diese Maßnahmen können über die Nutzungs- bzw. Betreiberkonzepte auf Quartiersebene berücksichtigt werden.

⁵¹ Sozial-ökologische Transformation der Gesellschaft unter Integration kreislaufwirtschaftlicher Strategien.

8 Baustein G: Treibhausgas-Quartiersbilanzen für das Planungsgebiet MNO

In dieser Studie wurde eine Quartiersbilanz für das Planungsgebiet im Münchner Nordosten auf Basis der beschriebenen Bilanzierungsmethodik erstellt (siehe **2.3 A3. Methodik der Bilanzierung**). Das Ziel der Quartiersbilanz ist es, Fokusfelder für die Einsparung von Treibhausgasemissionen zu ermitteln und die Handlungsfelder Betrieb, graue Emissionen, Vegetation und Mobilität gegenüberzustellen.

8.1 Betriebsemissionen

Die Berechnung der CO_{2e}-Emissionen erfolgt anhand der CO_{2e}-Faktoren der betrachteten Energieträger.

Jährliche CO₂-Emissionen [t CO₂ Äqv.] = Endenergie (GWh) x Emissionsfaktor je Energieträger (t CO₂ Äqv./GWh)

Dabei werden die CO_{2e}-Emissionen für die Energieversorgungsvarianten V1 Fernwärme, V2 Grundwasser und V3 Tiefengeothermie gemäß Kapitel **3.3 B3. Erarbeitung von Versorgungsvarianten** berechnet, wobei der maximale PV- bzw. PVT-Deckungsanteil gem. Szenario 3 (siehe **3.2.1 Solarenergie**) für alle Energieversorgungsvarianten berücksichtigt wird.

In V1 Fernwärme wird die Wärmelast hauptsächlich durch Fernwärme bereitgestellt. Der Kältebedarf wird über den Bundesstrommix abgedeckt. Zur Wärme- und Kälteversorgung wird in V2 und V3 der Bundesstrommix als Hauptenergieträger zur Abdeckung der Grundlast bzw. Spitzenlast genutzt.

Die Ergebnisse der Quartiersbilanzierung zeigen, dass die Betriebsemissionen für alle drei Energieversorgungsvarianten auf eine vollständige Dekarbonisierung hinauslaufen (siehe **Abbildung 36**), was auf die Entwicklung der CO₂-Faktoren zurückzuführen ist. Für das Jahr 2053 wird von der Inbetriebnahme der Entwicklungsschollen C, F und H ausgegangen, was den Anstieg der jährlichen Betriebsemissionen für die Variante V1 Fernwärme begründet. Die lineare Dekarbonisierung für Fernwärme bis ins Jahr 2088 lässt sich in den jährlichen Betriebsemissionen erkennen. Die Varianten V2 und V3 unterscheiden sich in ihren Betriebsemissionen nur in den Jahren 2047 bis 2050, da gemäß des angesetzten Dekarbonisierungspfades für den Bundesstrommix ab 2050 keine CO₂-Emissionen mehr anfallen. Da die Variante V2 Grundwasser einen höheren Endenergiebedarf als die Variante V3 Tiefengeothermie hat, sind diese Werte in den Jahren bis 2050 höher.

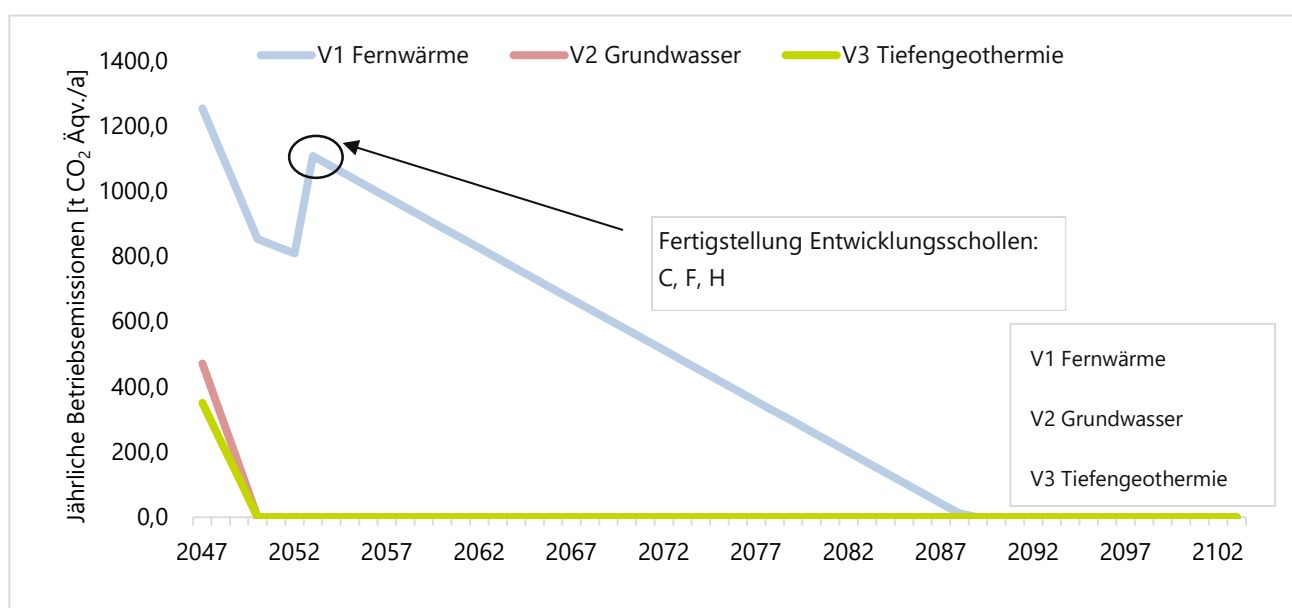


Abbildung 36 Jährliche Betriebsemissionen der Energieversorgungsvarianten V1, V2 und V3 © Buro Happold

8.2 Graue Emissionen

Im Folgenden sind die Ergebnisse der grauen Emissionen gemäß der in **Kapitel 2.3.2 Methodik – Graue Emissionen (Baustein C – Städtebau-, Siedlungs- u. Freiraumstruktur)** beschriebenen Bilanzierungsmethodik dargestellt. In **Abbildung 37** sind die Bilanzierungsergebnisse des optimierten Szenarios sowie des Referenzszenarios dargestellt. Die kumulierten CO₂-Emissionen werden in Tonnen CO₂-Äquivalent auf der y-Achse dargestellt, während auf der x-Achse die unterschiedlichen Lebenszyklusphasen (vgl. **Abbildung 11**) differenziert nach Referenzszenario (Stahlbetonbauweise) und optimiertes Szenario (Holzhybridbauweise) (siehe **Tabelle 4**) gezeigt werden.

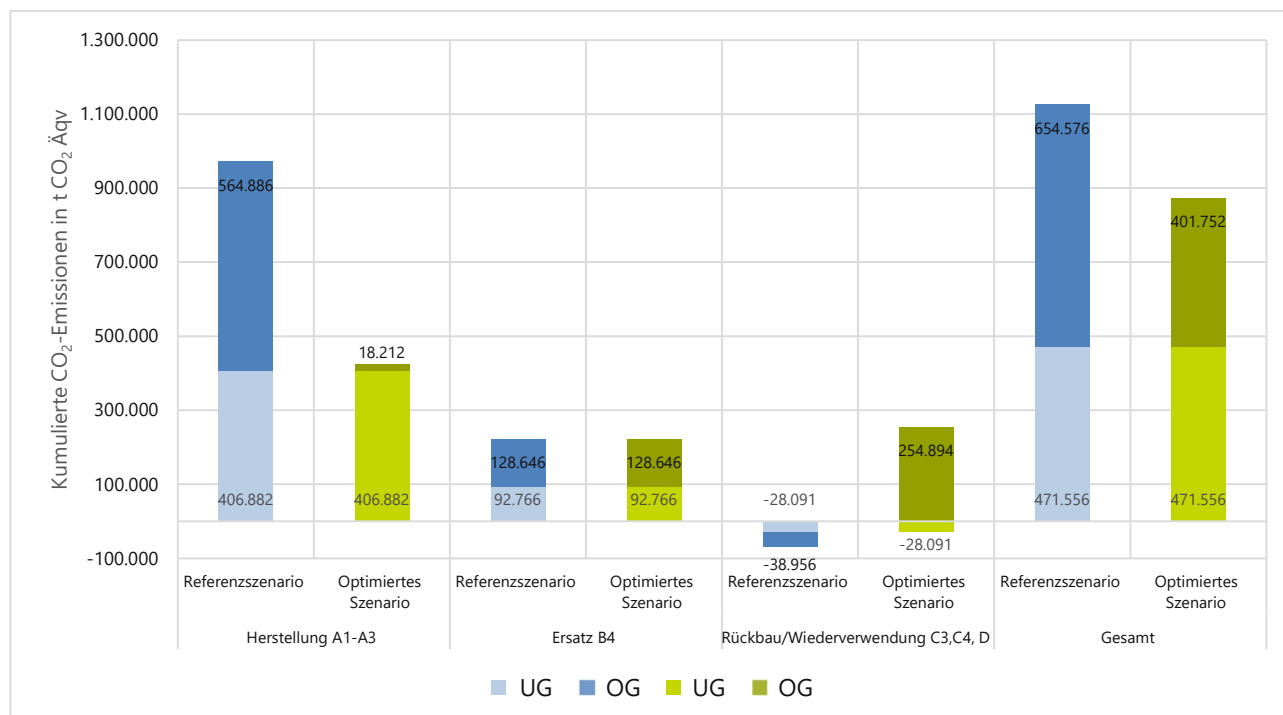


Abbildung 37 Kumulierte CO₂-Emissionen in t CO₂ Äqv. unterteilt in Untergeschosse (UG) und oberirdische Geschosse (OG) © Buro Happold

Im Referenzszenario (Bauweise aus Stahlbeton) ist die Herstellungsphase der Gebäude sehr emissionsintensiv, was maßgeblich an der rohstoff- und energieintensiven Herstellung von Beton und Stahl liegt. Die Herstellungsphasen machen im Referenzszenario ca. **86 %** der Gesamtemissionen des Gebäudes aus. Am Ende des Lebenszyklus werden teilweise Gutschriften durch das Recycling von anfallendem Rückbaumaterial angerechnet. Dies entspricht der Vorgehensweise der aktuell gültigen Umweltproduktdeklarationen der Ökobau.dat. Diese Gutschrift ist als negativer Wert in Phase D in **Abbildung 37** und **Abbildung 38** erkennbar.

Insbesondere im optimierten Szenario sind die Untergeschosse (UG) der emissionsintensivste Teil. Für das optimierte Szenario sind die Emissionen aus der Herstellung (A1–A3) für die oberirdischen Geschosse (OG) wesentlich geringer. Grund dafür ist die Berücksichtigung der Kohlenstoffspeicherung im Holzbau. Holz speichert im Laufe seiner Wachstumsphase Kohlenstoff und entzieht der Atmosphäre somit CO₂. Das wird in der Lebenszyklusphase A1 (Rohstoffbeschaffung) berücksichtigt. Bei der Phase B4 bezieht sich der Ersatz hauptsächlich auf Bauteile des Innenausbaus, weshalb sich die Werte zwischen den beiden Szenarien nicht unterscheiden. Durch die angenommene thermische Verwertung (Verbrennung) von Holzprodukten am Ende ihres Lebenszyklus wird der gebundene Kohlenstoff wieder freigesetzt. Die Freisetzung des CO₂ wird in der Phase C3 (Abfallbewirtschaftung) bilanziert. Dies entspricht der Bilanzierungsmethodik der Umweltproduktdeklarationen der anerkannten Umweltdatenbank Ökobau.dat und somit auch den Konventionen der DGNB-Zertifizierung. Aus diesem Grund sind die CO₂-Emissionen im optimierten Szenario für die Phasen C3, C4 und D höher als die Emissionen im Referenzszenario.

Für eine verbesserte Vergleichbarkeit und Möglichkeit der Einordnung der Ergebnisse werden in **Abbildung 38** die spezifischen Emissionen in kg CO_{2e}/m² dargestellt. Für die Obergeschosse weist das Referenzszenario spezifische Gesamtemissionen von 361 kg CO_{2e}/m² auf, das optimierte Szenario 222 kg CO_{2e}/m². Die Untergeschosse haben durch die jeweils angesetzte Stahlbetonbauweise die gleichen spezifischen Emissionen pro m².

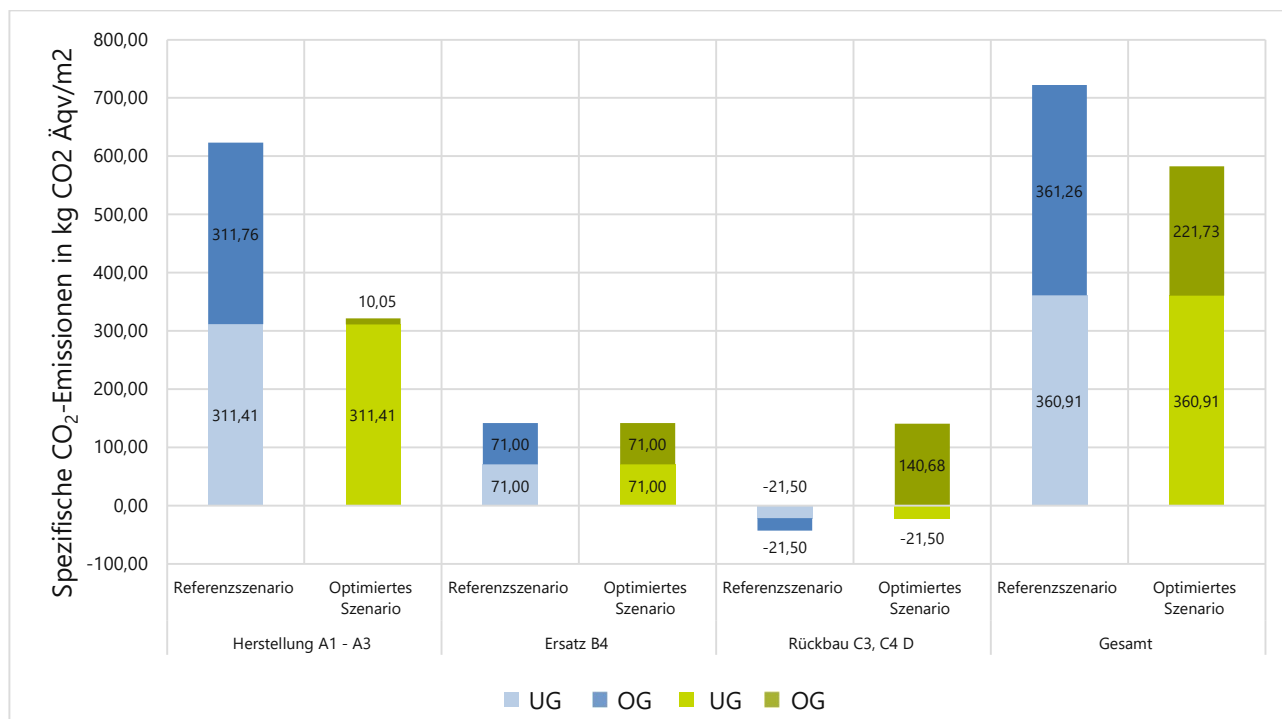


Abbildung 38 Spezifische kumulierte CO₂-Emissionen in kg CO₂ Äqv/m² unterteilt in Untergeschosse (UG) und oberirdische Geschosse (OG)

© Buro Happold

Die kumulierten grauen Gesamtemissionen des Untersuchungsgebiets gemäß **Anhang 12** Übersicht bilanzierte Flächen – Graue Emissionen über den Betrachtungszeitraum betragen gemäß **Abbildung 39** (inkl. versiegelt unbebauter Flächen und 20 % Verkehrsflächen) für das Referenzszenario 1.147.025 t CO₂ Äqv. und für das optimierte Szenario 894.200 t CO₂ Äqv. Somit wird eine Reduktion von **22 %** der kumulierten grauen Emissionen im optimierten Szenario durch die Verwendung von Holz- und Holzhybridbauweise erreicht. Diese sind in **Abbildung 39** nach den Nutzungstypologien dargestellt und die CO_{2e}-Emissionen der Untergeschosse separat ausgewiesen. Daraus geht hervor, dass die Emissionen in den Wohnbauten am größten sind, was auf den größten Flächenanteil zurückzuführen ist. Die Einsparung der CO₂-Emissionen im optimierten Szenario gegenüber dem Referenzszenario ist für die Bildungs- und Gewerbebauten kleiner, da hier ausschließlich Holz-Beton-Hybridbauweise und nicht reiner Holzbau angesetzt wurde. Die Verkehrsfläche wurde nur als oberirdisch versiegelte Betonfläche angesetzt und hat daher nur einen geringen Anteil an der Gesamtemissionen.

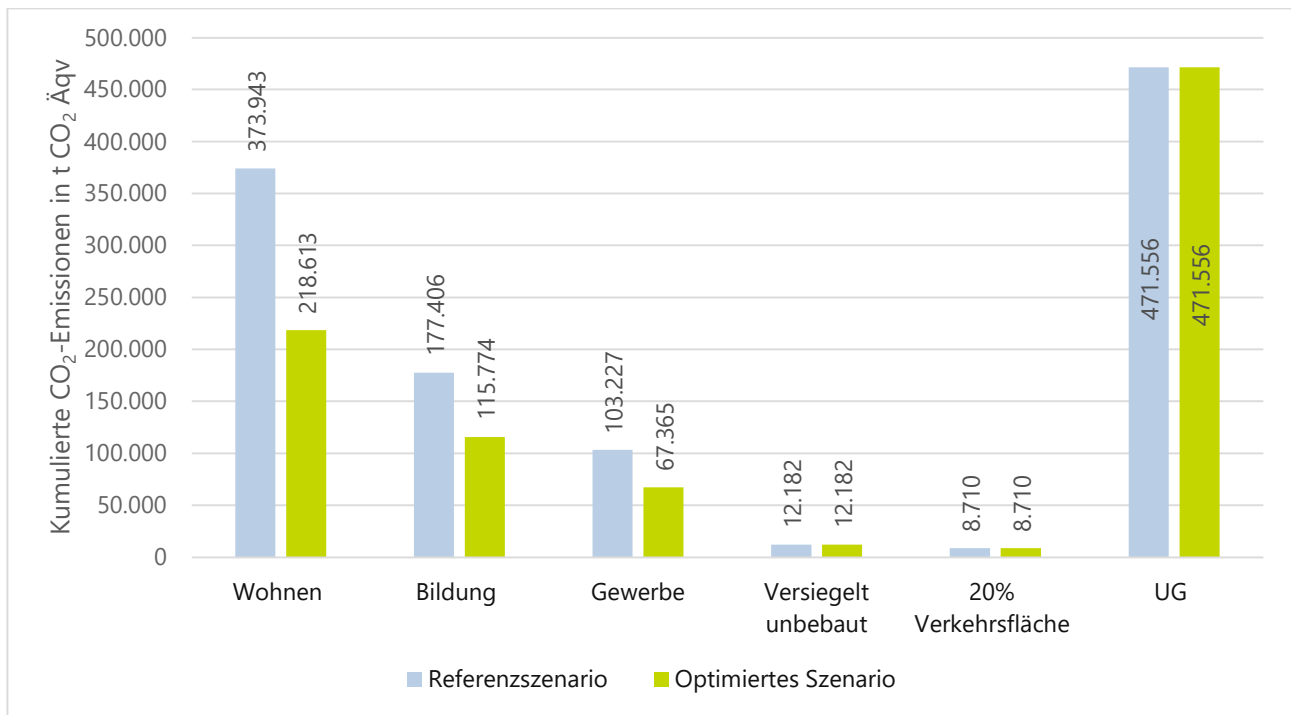


Abbildung 39 Kumulierte graue Gesamtemissionen nach Nutzung © Buro Happold

In **Abbildung 40** werden die kumulierten grauen Emissionen in Tonnen CO₂-Äquivalent über die Zeit für beide Szenarien gegenübergestellt. Es wird angenommen, dass die Herstellung der Schollen über einen Zeitraum von jeweils 15 Jahren erfolgt. Der Bau der Schollen A, D und E findet zwischen den Jahren 2032 und 2047 um sechs Jahre versetzt zum Bau der Schollen C, F und H zwischen den Jahren 2038 und 2053 statt. Somit entstehen kontinuierlich jährliche Emissionen bis zum Jahr 2053. 15 Jahre nach Inbetriebnahme entstehen zusätzliche graue Emissionen durch den Ersatz und die Reparatur von Bauteilen im Gebäude (im Zeitraum 2062 bis 2077 für die Schollen A, D und E und im Zeitraum 2068 bis 2083 für die Schollen C, F und H). Der theoretische Rückbau der Gebäude beginnt 50 Jahre nach Inbetriebnahme (gemäß Vorgaben Bilanzierungsmethodik) und erstreckt sich über 15 Jahre. Im Referenzszenario werden Gutschriften durch das Recycling von Bauschutt berücksichtigt, wodurch sich die Emissionen jährlich reduzieren. Im Gegensatz dazu werden durch den Rückbau der Gebäude im optimierten Szenario kontinuierlich Emissionen erzeugt, da die in den Herstellungsphasen gespeicherten Kohlenstoffemissionen beim Rückbau wieder durch thermische Verwertung freigesetzt werden.

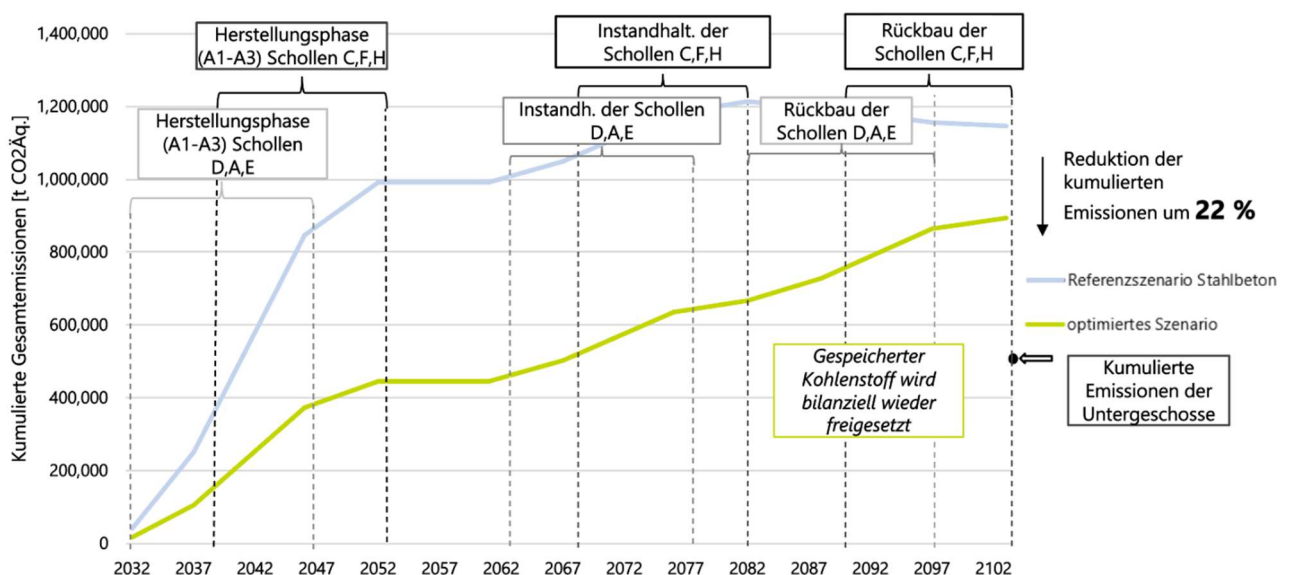


Abbildung 40 Kumulierte Gesamtemissionen in t CO₂-Äquivalent © Buro Happold

In beiden Varianten sind die Untergeschosse aus Stahlbeton gebaut. Um in der Bilanzierung den notwendigen Materialeinsatz für den resultierenden Lastabtrag der Untergeschosse und Fundamente darzustellen, wurde in den Untergeschossen eine entsprechend erhöhte Dimensionierung der Bauteile berücksichtigt. Die Ergebnisse und Diagramme zeigen, dass die CO₂-Emissionen aus den Untergeschossen sehr intensiv sind und einen Großteil der Gesamtemissionen ausmachen (siehe **Abbildung 40**). 54 % der kumulierten grauen Emissionen stammen im optimierten Szenario aus den Untergeschossen der Gebäude.

Abbildung 41 zeigt einen Vergleich beider Varianten ohne die Berücksichtigung der Untergeschosse. Eine Betrachtung der grauen Emissionen der Obergeschosse zeigt ein erhöhtes Reduktionspotenzial von 38 % im optimierten Szenario im Vergleich zum Referenzszenario. Analog zu **Abbildung 37** und **Abbildung 38** wird der Unterschied von Stahlbeton während der Herstellungsphasen im Vergleich zum optimierten Szenario deutlich. Im optimierten Szenario entstehen bei der Herstellung kaum Emissionen, obwohl auch Stahlbeton in der Konstruktion vorhanden ist (Holzhybridbauweise). Da Holz während der Wachstumsphase CO₂ speichert, kompensiert es die hohen Emissionen aus Stahlbeton. Im optimierten Szenario werden die in der thermischen Verwertung entstehenden CO₂-Emissionen in der Rückbauphase gegenüber dem Referenzszenario deutlich. Der grün schraffierte Bereich zeigt die kumulierten Emissionen aus der Rückbauphase, die insgesamt 63 % der oberirdischen Emissionen im optimierten Szenario ausmachen. Wenn im optimierten Szenario eine thermische Verwertung des Holzes am Ende des dargestellten Zyklus vermieden wird, werden gegenüber dem Referenzszenario wertvolle Emissionen eingespart und es entsteht ein Reduktionspotenzial von bis zu 78 % bei Berücksichtigung der oberirdischen Emissionen.

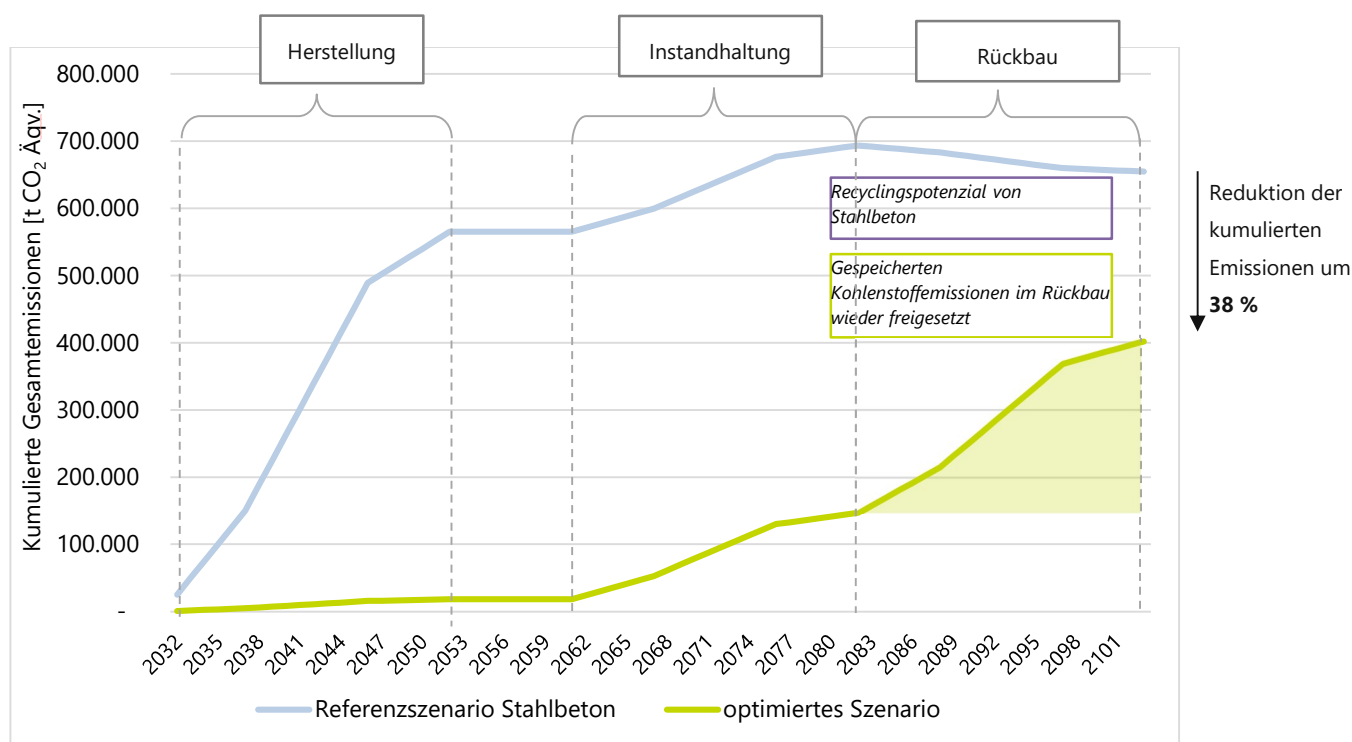


Abbildung 41 Kumulierte Gesamtemissionen der oberirdischen Geschosse © Buro Happold

8.3 Natürliche Kohlenstoffsinken

Im Folgenden sind die Bilanzierungsergebnisse der natürlichen Kohlenstoffsinken dargestellt. Dabei wird zwischen Vegetationsflächen innerhalb und außerhalb der Siedlungsschollen unterschieden. Grundlage für die Berechnung ist die Studie *Natkos*⁵², in der verschiedene Vegetationsformen und ihre CO₂-Speicherkapazität dargestellt sind (siehe **2.3.3 Methodik – Kohlenstoffsinken**).

⁵² Klingenfuß, C. et al., 2019

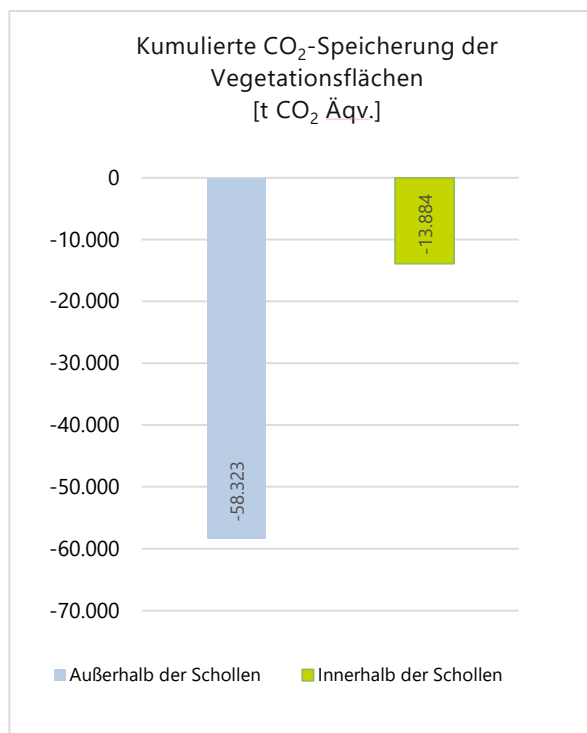


Abbildung 43 Kumulierte CO₂-Speicherung der Vegetationsflächen über den gesamten Lebenszyklus © Buro Happold

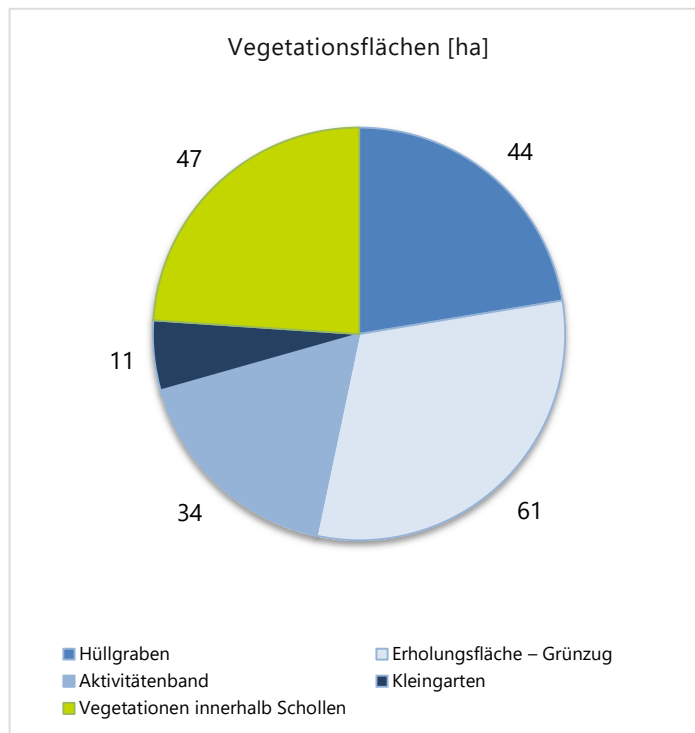


Abbildung 42 Bilanzierte Vegetationsflächen in Hektar © Buro Happold

In Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**42** und Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**43** sind die bilanzierten Vegetationsflächen dargestellt. Der Großteil der Flächen besteht aus Vegetationsflächen außerhalb der Siedlungsschollen, wie beispielsweise dem Hüllgraben, dem Aktivitätenband und den Erholungsflächen im Quartier. Die Vegetationsflächen innerhalb der Siedlungsschollen sind ebenfalls in die Bilanzierung eingegangen und machen etwa 20 % der gesamten Vegetationsflächen aus.

Dadurch ergibt sich, dass das größere Reduktionspotenzial der Vegetationsflächen außerhalb der Siedlungsflächen liegt. Das CO₂-Speicherpotenzial der Vegetationsflächen außerhalb der Siedlungsschollen ist somit viermal so groß wie das Potenzial innerhalb der Siedlungsschollen, was auf den höheren Flächenanteil zurückzuführen ist.

Die freiwerdenden CO₂-Emissionen durch den Rückbau der bestehenden Freiflächen sind nicht in der Bilanzierung berücksichtigt. Um die grauen Emissionen der Baumaßnahmen durch Vegetation als natürlichen Kohlenstoffspeicher zu kompensieren, sind für 1 m² NRF-Stahlbeton-Gebäude ca. 6,6 m² zusätzliche Parkvegetation notwendig.

Fazit: Im Verhältnis zu den ausgewiesenen kumulierten grauen Emissionen der beiden Szenarien (vgl. **Abbildung 37**) (Referenzszenario mit rund 1.126.000 t CO_{2e} und im optimierten Szenario mit kumuliert rund 873.000 t CO_{2e}) erweist sich das kumulierte CO₂-Speicherpotenzial (CO₂-Senke) innerhalb und außerhalb der Schollen mit 72.200 t CO_{2e} als geringfügig. Dies bedeutet, dass die Vegetationsflächen durch ihr CO₂-Speicherpotenzial die kumulierten grauen CO_{2e}-Emissionen des optimierten Szenarios um rund **8,3 %** in der Gesamtquartiersbilanz senken können.

8.4 Mobilitätsemissionen

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Mobilitätsemissionen gemäß der Bilanzierungsmethodik in **Kapitel 2.3.4 Methodik – Mobilität (Baustein E)** und einer Prognose der CO₂-Emissionen in Tonnen CO₂-Äquivalent pro Jahr gemäß **Anhang 9** Prognose CO₂-Faktoren Mobilitätsemissionen dargestellt. Unter der Annahme, dass bei Inbetriebnahme der Schollen A, D und E im Jahr 2047 und der Schollen C, F und H im Jahr 2053 die Infrastrukturmaßnahmen in Gänze erstellt und die Bewohner*innen ab diesen Zeitpunkten in den Schollen anwesend sind, wurden vereinfachend die Mobilitätsemissionen ab dem Jahr 2047 untersucht. Aus **Abbildung 44** geht hervor, dass die jährlichen CO₂-Emissionen

im Bereich Mobilität im Jahr 2053 nochmal deutlich steigen, da die Einwohner*innen der Schollen C, F und H ab diesem Zeitpunkt in die Bilanzierung eingehen.

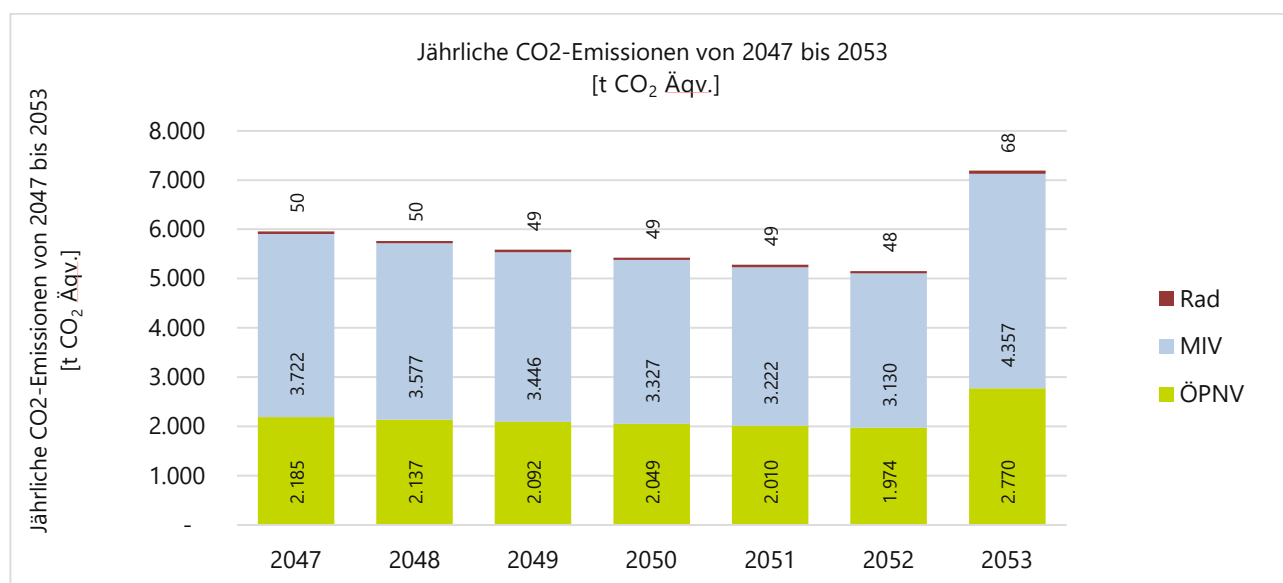


Abbildung 44 Jährliche CO₂-Emissionen von 2047 bis 2053 © Buro Happold

Die jährlichen CO₂-Emissionen betragen ab dem Jahr 2053 insgesamt 7.195 t CO₂-Äquivalent und werden dann für den restlichen Bilanzierungszeitraum als konstant bleibend angesetzt. Zwischen den Jahren 2047 und 2052 gehen die jährlichen CO₂-Emissionen leicht zurück, was auf die Prognose der CO₂-Emissionen zurückzuführen ist. Der Anteil des motorisierten Individualverkehrs (MIV) ist bezogen auf die jährlichen CO₂-Emissionen mit **61 %** der jährlichen Mobilitätsemissionen am größten. Der Radverkehr verursacht beinahe keine CO₂-Emissionen, was letztlich auf die geringen CO₂-Emissionen aus der Fahrzeugbereitstellung zurückzuführen ist. Eine detaillierte Bilanzierung der grauen Emissionen der Infrastrukturmaßnahmen inkl. Bezugnahme der verschiedenen Wartungszyklen wird zu einem späteren Planungsstand empfohlen.

8.5 Gesamtbilanz

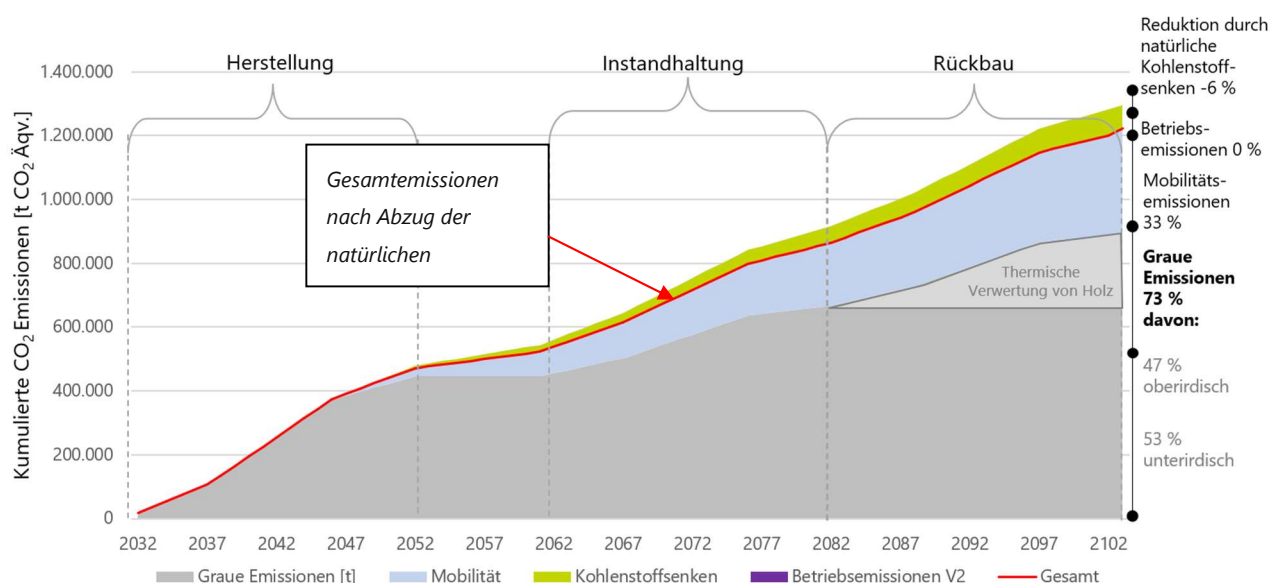


Abbildung 45 Kumulierte CO₂-Emissionen für das optimierte Szenario mit Energieversorgungsvariante 2 Grundwasser und Mobilität © Buro Happold

In der Gesamtbilanz für das optimierte Szenario (Holz- und Holzhybridbauweise) und für die Energieversorgungsvariante 2 (Grundwasser) sind die CO₂-Emissionen aus Betrieb, grauen Emissionen und Mobilität sowie die Kohlenstoffsenken enthalten und kumuliert über den Betrachtungszeitraum in **Abbildung 45** dargestellt.

Die kumulierten Emissionen des Untersuchungsgebiets über den Betrachtungszeitraum betragen 1.320.000 t CO₂. Der maßgebliche Anteil der Gesamtemissionen im Quartier resultiert aus den grauen Emissionen. **73 %** der Gesamtemissionen entstehen durch die Herstellung, Instandhaltung und den Rückbau der Gebäude, insbesondere der Untergeschosse. Darauf folgen die Mobilitätsmissionen mit **33 %** der Gesamtemissionen, die ab dem Jahr 2053 konstant bleiben. Unter der Annahme, dass das Quartier Energieversorgungsvariante 2 Grundwasser versorgt wird, beträgt der Anteil der Betriebsemissionen **0 %**. Durch die Berücksichtigung der natürlichen Kohlenstoffsenken im Gebiet könnten die Gesamtemissionen um 72.000 Tonnen CO₂ reduziert werden. Dies entspricht einer Reduktion von **6 %** der Gesamtemissionen. Nach Abzug der Kohlenstoffsenken betragen die kumulierten Gesamtemissionen aus Betriebs-, Mobilitäts- und grauen Emissionen über den gesamten Betrachtungszeitraum **1.248.000 Tonnen CO₂ Äqv.**

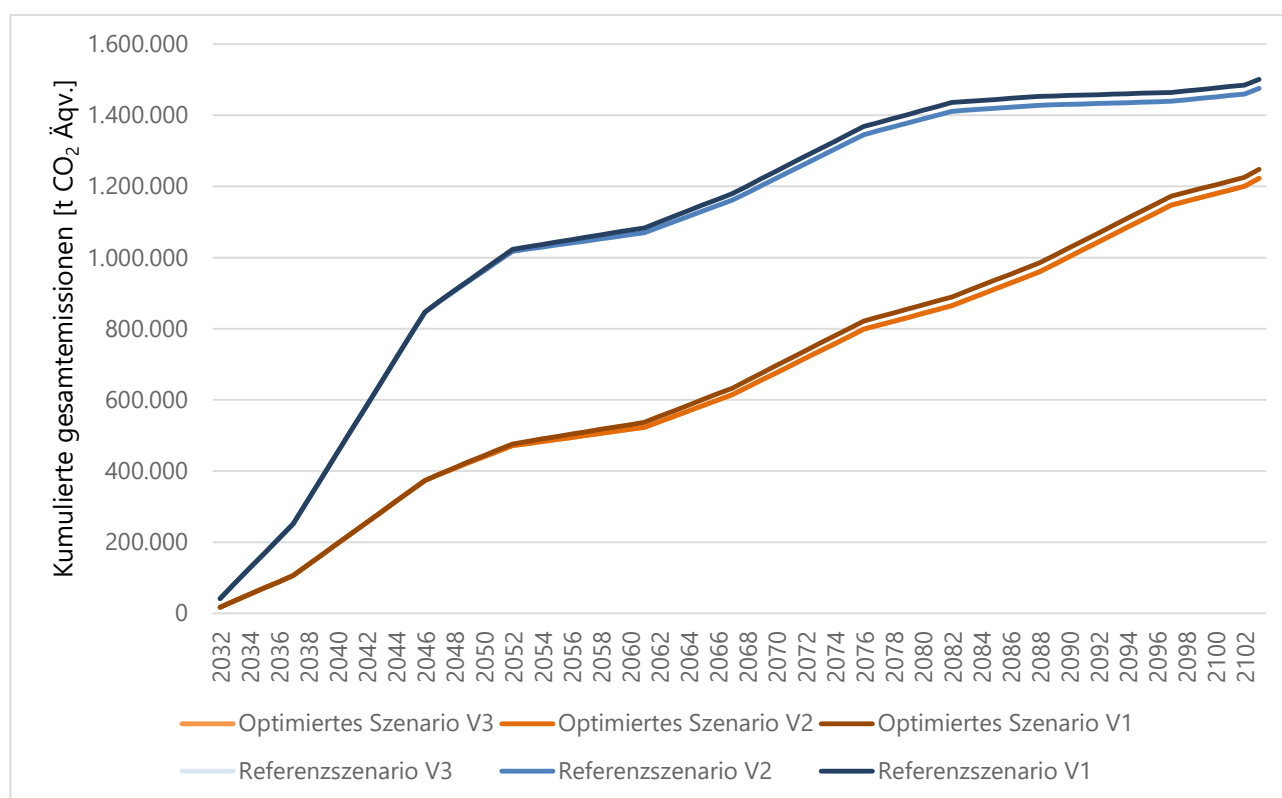


Abbildung 46 Kumulierte Gesamtemissionen für das Referenzszenario und das optimierte Szenario mit den drei Energieversorgungsvarianten
© Buro Happold

In **Abbildung 46** sind die kumulierten CO₂-Emissionen aus grauen Emissionen, Mobilität und Betriebsemissionen sowie die Reduktion durch natürliche Kohlenstoffsenken abgebildet. Dabei sind das Referenzszenario und das optimierte Szenario jeweils mit den drei Energieversorgungsvarianten V1 (Fernwärme), V2 (Grundwasser) und V3 (Tiefengeothermie) abgebildet. Es ist zu sehen, dass die unterschiedlichen Energieversorgungsvarianten einen geringen Einfluss auf die kumulierten Gesamtemissionen haben.

9 Einordnung der Gesamtbilanz

9.1 Auswertung der Gesamtbilanz

Entsprechend der Gesamtbilanz in **Kapitel 8.5 Gesamtbilanz** betragen die kumulierten CO₂-Emissionen des Untersuchungsgebiets über den gesamten Betrachtungszeitraum 1.320.000 t CO₂. Hiervon fallen 73 % bei den grauen Emissionen (Gebäudeherstellung, -Instandhaltung und Rückbau) an und 33 % bei den Mobilitätsemissionen. 0 % sind auf die Betriebsemissionen zurückzuführen (unter Annahme von Energieversorgungsvariante 2).

Durch die Berücksichtigung der natürlichen Kohlenstoffsinken im Gebiet können diese gesamten Emissionen um 72.000 t CO₂ reduziert werden. Dies entspricht einer Reduktion um 6 % der Gesamtemissionen, so dass diese in der Gesamtbilanz 1.248.000 t CO₂ betragen.

9.2 Abgleich mit der Zielstellung

In Anbetracht der eingangs definierten Zielstellung der Entwicklung eines „klimaneutralen Quartiers“ (siehe **Kapitel 1.1 Zielstellung**) werden die Ergebnisse der Bilanzierung als Gesamtbilanz sowie differenziert nach den einzelnen Bestandteilen der Gesamtbilanz eingeordnet und mit der gesetzten Zielstellung abgeglichen.

In der Darstellung der Szenarien für ein klimaneutrales München bis 2035⁵³ werden Zielstellungen der jährlichen Pro-Kopf-Emissionen definiert, in denen die energiebedingten Treibhausgasemissionen pro Kopf berücksichtigt werden. Die Definition der anvisierten Klimaneutralität der Landeshauptstadt München berücksichtigt den Betrachtungsrahmen einer klimaneutralen Betriebsbilanz nach BSKO. Hierbei wird der Status der Klimaneutralität beim Erreichen des Schwellenwerts von **0,3 t CO_{2e} pro Kopf und Jahr** definiert.

Der Abgleich der definierten Zielstellung der Klimaneutralität erfolgt durch die Division der Gesamtemissionen durch die Anzahl der Bewohner*innen und Jahre des Betrachtungszeitraums, so dass sich die jährlichen Pro-Kopf-Emissionen des Untersuchungsgebiets ergeben:

Die ermittelten Gesamtemissionen (1.248.000 t CO_{2e}) ergeben sich über einen Betrachtungszeitraum von 2032 bis 2103. Der Beginn der Betrachtung liegt beim Baubeginn des ersten Teilabschnittes und das Ende der Betrachtung markiert den Abschluss des 50-jährigen Lebenszyklus des letzten fertiggestellten Teilabschnittes. Somit wurden die Emissionen über einen Gesamtzeitraum von 71 Jahren ermittelt. Die in der Bilanzierung berücksichtigte Einwohnerzahl des Untersuchungsgebiets beträgt 29.000 Einwohner*innen. Zuzüglich des Wohnraums werden in der städtebaulichen Entwicklung Gewerbe- und Aufenthaltsflächen geschaffen. Das Gebiet wird demnach neben den Anwohnenden auch durch Beschäftigte und Besuchende frequentiert werden. Nachfolgend werden bei Ermittlung der Pro-Kopf-Emissionen des Gebiets lediglich die Bewohner*innen des Untersuchungsgebiets berücksichtigt. Dies dient der Vermeidung der Mehrfachzählung von Einwohner*innen der Landeshauptstadt durch Berücksichtigung in mehreren städtischen Gebieten.

Unter Berücksichtigung der Emissionen aus Betrieb, grauen Emissionen und Mobilität und abzüglich der natürlichen Kohlenstoffsinken fallen im Untersuchungsgebiet über den gesamten Betrachtungszeitraum **0,6 t CO_{2e} pro Einwohner*in und Jahr** an.

Unter Berücksichtigung lediglich der aus den Bereichen Betrieb und Mobilität resultierenden Emissionen ergeben sich jährliche Pro-Kopf-Emissionen im Untersuchungsgebiet in Höhe von **0,21 t CO_{2e} pro Einwohner*in und Jahr**. Bei Betrachtung lediglich der Emissionen aus Betrieb und Mobilität im Untersuchungsgebiet kann der definierte Zielwert der Landeshauptstadt München bei Bilanzierung über den Betrachtungszeitraum demnach eingehalten werden.

⁵³ Öko-Institut e. V., 2022

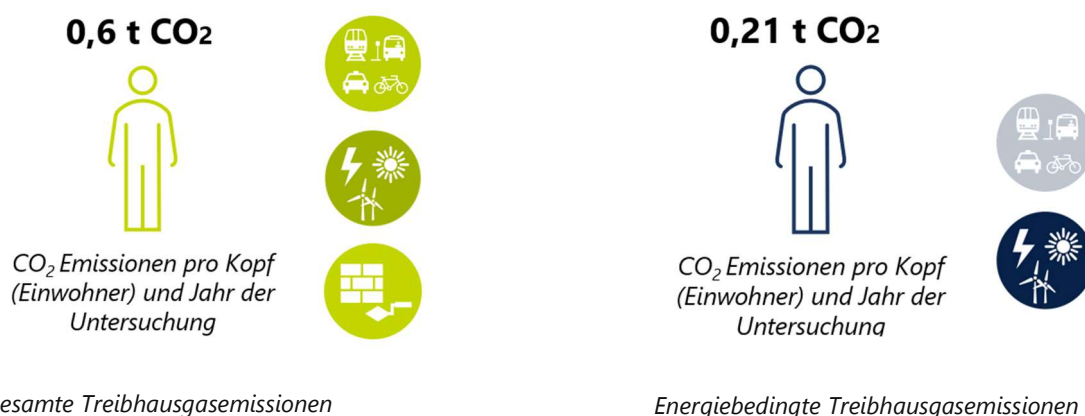


Abbildung 47 Visualisierung der Pro-Kopf-Treibhausgas-Emissionen des Untersuchungsgebiets bei unterschiedlichem Bilanzierungsumfang
© Buro Happold

In **Abbildung 48** Ambitionen der Klimaneutralität, Abgleich der Bilanz für den MNO werden die Ambitionen der Klimaneutralität als Einordnung der Gesamtbilanz des Untersuchungsgebiets veranschaulicht. Neben den Mobilitätsemissionen und den Betriebsemissionen werden zusätzlich die grauen Emissionen mitbilanziert, so betragen die gesamten Treibhausgasemissionen pro Einwohner und Jahr **0,6 t CO₂**. Werden die grauen Emissionen in der Bilanzierung nicht mitberücksichtigt, so sinkt der Wert auf **0,21 t CO₂** pro Einwohner und Jahr. Das Gebiet kann durch die Durchführung der skizzierten Handlungsempfehlung zwischen der Definition einer Klimaschutzsiedlung (100 Klimaschutzsiedlungen NRW) und der eines klimaneutralen Quartiers (Dena, 2021⁵⁴) eingeordnet werden. Mit einer entsprechend effizienten Tiefengeothermie-Anlage als Energieversorgung ist grundsätzlich das Erreichen eines Plusenergiequartiers möglich (siehe **Abbildung 48**). Da die Kohlenstoffsenken in der Gesamtbilanzierung bereits miteinbezogen sind, wird ersichtlich, dass für weitere Ambitionen eine Mehrung zusätzlicher Kohlenstoffsenken im großen Maßstab notwendig wäre.

Einordnend ist zu ergänzen, dass Prozesse der Gebäudeherstellung, -instandhaltung und des Gebäuderückbaus, die in dieser Bilanzierung als graue Emissionen dargestellt wurden, in Teilen auch Bestandteil der kommunalen CO_{2e}-Bilanz der Landeshauptstadt München sein können. Im Sinne der endenergiebasierten Territorialbilanz⁵⁵ sind die durch die erwähnten Prozesse, die im geografischen Gebiet der Stadt München stattfinden, entsprechend auch in deren CO_{2e}-Bilanz zu berücksichtigen. Hierfür ist eine Lokalisierung der einzelnen Prozesse der grauen Emissionen der Gebäude und Infrastrukturen erforderlich.

⁵⁴ Deutsche Energie-Agentur, 2021

⁵⁵ Erfassung und Bilanzierung der Treibhausgasemissionen, die innerhalb eines bestimmten geografischen Gebiets entstehen.

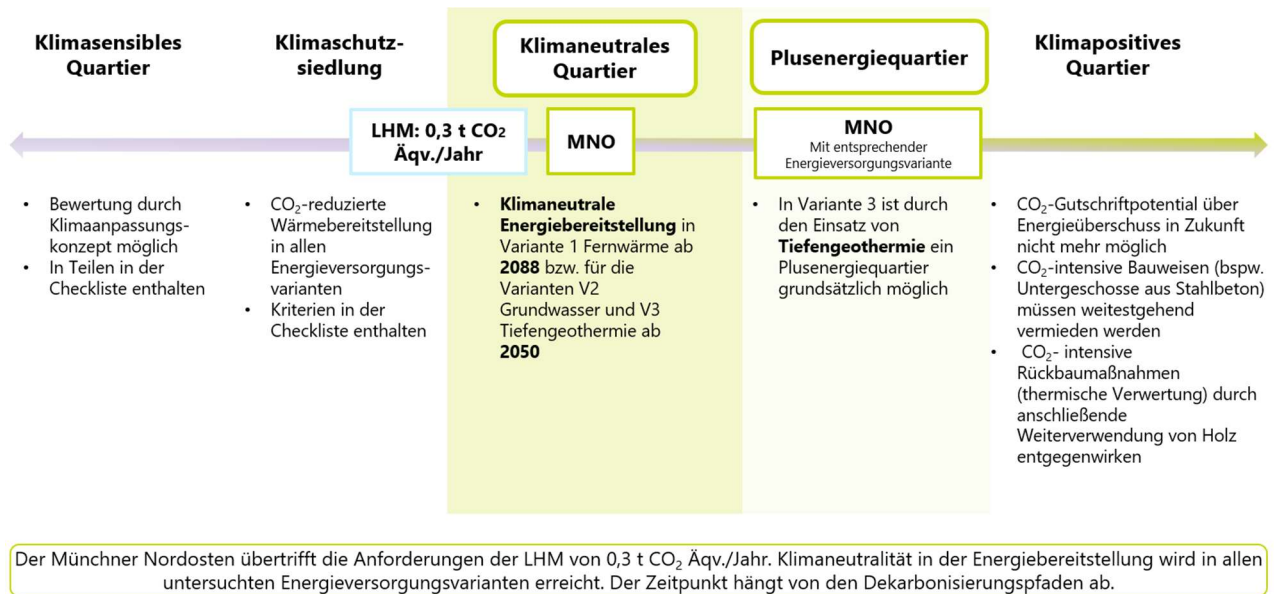


Abbildung 48 Ambitionen der Klimaneutralität, Abgleich der Bilanz für den MNO © Buro Happold

10 Schlussfolgerungen

Im Folgenden werden die Schlussfolgerungen aus der Bilanzierung und der Checkliste zusammengefasst und die daraus resultierenden Erkenntnisse gegenübergestellt.

Baustein B – Energieversorgung

Die Variante V1 Fernwärme hat die größten kumulierten Betriebsemissionen von 26.000 t CO₂-Äqv. über 50 Jahre. Der Zeitpunkt für einen klimaneutralen Betrieb hängt stark von der Dekarbonisierung des Fernwärmenetzes ab. Die Varianten V2 Grundwasser und V3 Tiefen-Geothermie schneiden in der CO₂-Bilanz mit jeweils 942 t und 700 t CO₂-Äqv. besser ab. Da die Varianten V2 Grundwasser und V3 Tiefen-Geothermie einem voll elektrifizierten Energieversorgungssystem entsprechen, ist der Zeitpunkt der Dekarbonisierung des Stromnetzes entscheidend für die CO₂-Bilanz. Nach der Prognose des Öko-Instituts e. V. (2022) wird für den Bundesstrommix der Emissionsfaktor ab 2050 auf null sinken, d.h. ein klimaneutraler Betrieb wird ab 2050 in V2 und V3 erreicht.

In Hinblick auf die fortschreitende Dekarbonisierung in der Zukunft ist der Indikator der CO_{2e}-Emissionen im Bereich der Energie zur Gegenüberstellung der Versorgungsvarianten zu hinterfragen. Alternativ kann bspw. eine Bewertung der Endenergiebedarfe, die Anteile der vor Ort erzeugten erneuerbaren Energien oder der Indikator Energiegestehungskosten (LCOE) erfolgen. Eine solche Bewertung ist vor allem für die strombasierten Varianten V2 Grundwasser und V3 Tiefen-Geothermie zu empfehlen, da sie sich in Bezug auf die Betriebsemissionen nicht signifikant voneinander unterscheiden. Ein Unterschied in der Effizienz der beiden Energiesysteme ist hingegen gegeben, was durch die Endenergiebedarfe widerspiegelt wird. V3 hat einen deutlich niedrigeren Endenergiebedarf, insbesondere für Wärme und Kälte. Dies führt zu geringeren Energiekosten und letztlich zu niedrigeren Energiegestehungskosten (LCOE).

Aus energetischer und ökonomischer Sicht schneidet die V3 Tiefen-Geothermie am besten ab, was vor allem auf den hohen Wirkungsgrad von Tiefen-Geothermieranlagen zurückzuführen ist. Die damit verbundenen hohen Investitionskosten können im Laufe der Zeit durch eingesparte Energiekosten ausgeglichen werden.

Ein Plus-Energie-Quartier ist bei der Variante V3 Tiefen-Geothermie möglich – das bedeutet, dass der Energiebedarf im Quartier bilanziell über ein Jahr durch vor Ort produzierte erneuerbare Energie gedeckt und Energieüberschüsse exportiert werden. Durch eine Auskühlung des Thermalwasserrücklaufs auf minimal 30°C bzw. Temperaturspreizung durch Wärmepumpen kann die thermische Leistung der Tiefen-Geothermieranlage auf ca. 28 MW erhöht werden (laut erster Abschätzung der SWM). Ausgehend von einer Vollbenutzung von 6.000 h können ca. 168 GWh Wärme erzeugt werden. Mit diesen Wärmemengen können sowohl das MNO-Quartier (Wärmebedarf 61 GWh/a) als auch einige Bestandsgebiete versorgt werden. Der Platzbedarf für die Heizzentrale mit den Tiefen-Geothermieranlagen und den großen Wärmespeichern muss in der städtebaulichen Planung berücksichtigt und vorgehalten werden. Eine detaillierte Auslegung der Anlagen und Speicher sollte in einer weiteren Untersuchung erfolgen.

Die Nutzung von Solarenergie sollte im ganzen Gebiet maximiert umgesetzt werden. Dabei entfallen 60 % des Potenzials von PV-Strom auf Dachflächen von Gebäuden und circa 40 % des Nutzungspotenzials auf Fassadenflächen. Insbesondere bei höheren Gebäuden und erhöhter Flächenkonkurrenz auf Dächern spielt PV auf Fassadenflächen eine wichtige Rolle. Zusätzliche Flächen sollten ebenfalls mitgedacht und für Photovoltaik-Anlagen aktiviert werden (z. B. Verschattungselemente, Bushaltestellen, Pergolen etc.)

Nach einer ersten Abschätzung können zusätzlich Windturbinen am Rand des Quartiers zusätzliche Energie für die gesamtstädtische Versorgung bieten (siehe **Kapitel 3.2.5 Andere erneuerbare Energiequellen**). Darüber hinaus deutet der Trend zu größeren und effizienteren Windturbinen auf ein Potenzial für eine höhere Stromerzeugung hin. Der Stromüberschuss könnte zur Erzeugung von z.B. grünem Wasserstoff für KWK-Anwendungen genutzt werden, was zur schnelleren Dekarbonisierung des Fernwärmenetzes beitragen kann. Eine detaillierte Untersuchung zur Validierung der Windressourcen in diesem Gebiet wird durchgeführt und die Ergebnisse sollten in das Konzept mitaufgenommen werden.

Des Weiteren ist die Integration einer Ladeinfrastruktur in der weiteren Planung zu vertiefen, um den Strombedarf aus der E-Mobilität decken zu können und ein bidirektionales Laden, Smart-Grids sowie verschiedene Speichertechnologien

genauer zu untersuchen. Eine detailliertere Aufschlüsselung ist den Schlussfolgerungen aus Baustein E Mobilität zu entnehmen.

Die maßgebenden Handlungsempfehlungen der Energieversorgung und die Möglichkeiten für die Integration ebendieser Maßnahmen in der weiteren Planungs- und Entwicklungsphase sind in **Abbildung 49** gegenübergestellt.

Die Erkenntnisse aus Baustein B lassen sich zusammenfassend in die folgenden **Handlungsempfehlungen** übersetzen:

1. Platz für **Quartiersenergiezentralen** und Wärmespeicher vorhalten, v. a. für zentrales System
2. Berücksichtigung der grauen Emissionen der Infrastrukturherstellung
3. PV bzw. PVT auf Dach- und Fassadenflächen integrieren
4. Vorrüstung einer Ladeinfrastruktur für E-Mobilität
5. Implementierung von Smart-Grid und bi-direktionalen Ladegeräte



Möglichkeiten der Verankerung im weiteren Prozess:

Energiekonzept:

detailliertes Energiekonzept erstellen

Wettbewerb:

Berücksichtigung der Energieversorgung basiert auf erneuerbaren Energiequellen in Wettbewerbsverfahren

Bebauungsplan:

Platzbedarf für Quartiersenergiezentralen & Speicher vorhalten

Vertragliche Regelung:

Vorrüstung der Ladeinfrastruktur
Platzvorhaltung für Energiezentrale inkl. Speicher

Abbildung 49 Integration der Handlungsempfehlungen bezogen auf den Baustein B Energieversorgung im Planungsprozess © Buro Happold

Bausteine C und D – Städtebau und Gebäude

Durch die Integration von ressourcenschonenden Materialien ist eine Reduktion der kumulierten grauen Emissionen im optimierten Szenario aus Holz- bzw. Holzbetonhybridbauweise im Vergleich zum Referenzszenario aus Stahlbeton um **22 %** möglich.

Ein großer Hebel, um die grauen Emissionen zu verringern, liegt beim Bau der Untergeschosse. Die Untergeschosse machen **41 %** der kumulierten grauen Emissionen im Referenzszenario und **54 %** im optimierten Szenario aus. Durch den Verzicht auf Untergeschosse können im gesamten Quartier über den gesamten Lebenszyklus 471.556 t CO₂-Äquivalent eingespart werden. Hierfür wird empfohlen, Möglichkeiten wie beispielsweise die Verwendung von Quartiersgaragen in weiteren Studien zu erforschen (siehe **10.1 Ausblick & weitere Studien**). Diese Möglichkeiten sollten ab Beginn der konkreten Planung mitgedacht und Flächen dafür freigehalten werden.

Ein weiterer großer Hebel liegt am Ende des Lebenszyklus in der Variante aus Holz- und Holz-Hybridbauweise. Hier entstehen 63 % der Gesamtemissionen im optimierten Szenario ausschließlich am Ende des Lebenszyklus der Gebäude (Lebenszyklusphasen C3, C4, D) durch die angenommene thermische Verwertung des verbauten Holzes. Dabei wird der gespeicherte Kohlenstoff wieder freigesetzt. In der Bilanzierung wird angenommen, dass das verbaute Holz am Ende seines Lebenszyklus thermisch verwertet und somit der gespeicherte Kohlenstoff wieder freigesetzt wird. Diese Annahme basiert auf den bilanziellen Vorgaben der aktuell geltenden Datensätze der Ökobaudat.

Alternativ können die Holzprodukte am Ende des Lebenszyklus recycelt oder wiederverwendet werden. Die Kaskadennutzung⁵⁶ wird für die Holz-Kreislaufwirtschaft immer mehr am Ende des Lebenszyklus berücksichtigt. Hier kann Holz in Form einer Nutzungskette mehrfach auf möglichst vielen Nutzungsstufen wiederverwendet werden. Mögliche Weiterverwendungsmöglichkeiten sind die Verwendung als Baumaterial, das Herstellen von Spänen aus den Holzprodukten und deren Verwendung in Spanplatten, die Nutzung des Holzes als Faser oder die vollständige Aufschließung des Holzes zur Gewinnung von Chemikalien.

⁵⁶ Mehrfache Nutzung eines Rohstoffes in aufeinanderfolgenden Stufen für eine nachhaltige und effiziente Ressourcennutzung. Dabei wird ein Rohstoff zunächst stofflich genutzt und erst am Ende des Lebenszyklus energetisch verwertet.

Eine detaillierte Analyse und Berechnung, wie viele Tonnen CO₂ durch die Wiederverwendung von Holz eingespart werden können, ist im Rahmen dieser Studie derzeit aufgrund einer fehlenden Datenbasis nicht möglich. Es wird jedoch erwartet, dass in Zukunft neue Daten zum Holz in der Ökobaudat hinzugefügt werden. Daher wird empfohlen, eine weitere Studie (siehe Kapitel **10.1 Ausblick & weitere Studien**) durchzuführen, um zu untersuchen, wie viel Kohlenstoff durch die Vermeidung einer thermischen Verwertung von Holz eingespart werden kann.

Den geringsten Anteil an grauen Emissionen besitzen die Verkehrsflächen, die im Gebiet mit 20 % der Fläche angesetzt sind. Hier wurden nur die oberirdischen betonierten Verkehrsflächen mitbilanziert. Weitere Verkehrsflächen im Quartier, wie der unterirdische emissionsintensive Tunnelbau und die neu zu errichtende Brücke über die Gleisanlagen, wurden nicht in der Berechnung berücksichtigt. Diese Konstruktionen sind besonders komplex und emissionsintensiv und erfordern eine Bilanzierung zu einem späteren Zeitpunkt der Planung.

Bei der Bilanzierung der Vegetationsflächen hat sich gezeigt, dass das Reduktionspotenzial durch Kohlenstoffsinken gering ist. Mit den geplanten Vegetationsflächen wurde eine Reduktion von 6 % der Gesamtemissionen erreicht. Obwohl eine CO₂-Reduktion durch die Kohlenstoffspeicherung erzielt wurde, fällt diese im Vergleich zu den emittierten Emissionen aus Gebäuden, Straßen und Mobilität gering aus. 1 m² Parkvegetation speichert etwa 50 kg CO₂-Äquivalent pro Quadratmeter⁵⁷ über den gesamten Lebenszyklus. Im Vergleich dazu verursacht 1 m² ⁵⁸ Stahlbetonkonstruktion ca. 330 kg CO₂-Äquivalent pro Quadratmeter⁵⁹ über Herstellung, Instandhaltung und Rückbau, ebenfalls über einen Lebenszyklus von 50 Jahren. Um die Emissionen ausschließlich aus den Gebäuden im optimierten Szenario (Holz- und Holzhybridbau) zu kompensieren, wären ca. 1.788 Hektar Parkvegetation erforderlich. Weiterhin ist zu beachten, dass die durch den Rückbau der bestehenden Freiflächen freigesetzten CO₂-Emissionen in der Bilanzierung nicht berücksichtigt wurden..

Abbildung 50 Möglichkeiten der Verankerung der Maßnahmen gemäß der Bausteine C und D im weiteren Prozess zeigt in zusammengefasster Form die wesentlichen Schlussfolgerungen der Bilanzierung der grauen Emissionen. Sie diskutiert Ansätze, diese Erkenntnisse im weiteren Prozess zu verankern, um sicherzustellen, dass die CO₂-Emissionen in einem Quartier so weit wie möglich reduziert werden.

Die Erkenntnisse der Bilanzierung lassen sich zusammenfassend in die folgenden **Handlungsempfehlungen** übersetzen:

1. Förderung der Verwendung von natürlichen Kohlenstoffspeichern wie Holz in den mengenmäßig maßgeblichen Bauteilen wie den Tragstrukturen
2. Ausschöpfen der Potenziale von nachwachsenden und CO₂-reduzierten Materialien in Fassade
3. Reduzierung der Untergeschosse und des damit verbundenen Materialaufwands an Stahlbeton
4. Integration von planungsbegleitenden Ökobilanzen und Grenzwerten der grauen Emissionen in den Planungsprozess der einzelnen Baufelder



Möglichkeiten der Verankerung im weiteren Prozess:

Wettbewerb:

Sicherung und Priorisierung von Aspekten des Klimaschutzes und der Zirkularität in den architektonischen Wettbewerben

Bebauungsplan:

Kompaktheit der Gebäude, Minimierung der Untergeschosse

Vertragliche Regelung:

Möglichkeit der rechtlichen Sicherung zur Verwendung bestimmter Bauweisen, Baustoffe und Baumaterialien

Abbildung 50 Möglichkeiten der Verankerung der Maßnahmen gemäß der Bausteine C und D im weiteren Prozess © Buro Happold

⁵⁷ Klingenfuß, C., 2020

⁵⁸ 1 m² Nettoraumfläche

⁵⁹ Braune, A. et al., 2021

Baustein E – Mobilität

Die jährlichen CO₂e-Emissionen im Bereich Mobilität ab dem Jahr 2053 betragen 7.195 Tonnen. Der Anteil des motorisierten Individualverkehrs (MIV) ist bezogen auf die Personenkilometer und die jährlichen CO₂-Emissionen der Mobilitätsemissionen am größten. Er macht **61 %** der jährlichen Mobilitätsemissionen aus. Es wird angenommen, dass ab 2053 (Fertigstellung des Quartiers) 83 % MIV mit Elektrofahrzeugen und 17 % mit Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor (Bio-CNG) stattfindet. Dies ermöglicht einen klimaneutralen Fahrzeugbetrieb für den MIV ab 2053.

Angeichts des maßgeblichen Anteils des MIV an der gesamten CO₂-Bilanz der Mobilität können folgende Handlungsempfehlungen in der städtebaulichen Planung berücksichtigt werden, um den nicht motorisierten Verkehr zu fördern:

- Abstellflächen für Fahrräder: Diese sollten sowohl in Außen- als auch in Innenräumen angeboten und bedarfsgerecht angeordnet werden, beispielsweise in unmittelbarer Nähe von S- und U-Bahnhöfen.
- Dichtes und zusammenhängendes Fußwege- und Radwegenetz: Ein gut ausgebautes Netzwerk von Fuß- und Radwegen fördert die umweltfreundliche Mobilität und reduziert die Abhängigkeit vom MIV.
- Platzierung von Sitzgelegenheiten und Verschattungselementen mit Photovoltaikmodulen, wenn möglich: Diese tragen nicht nur zur Attraktivität des öffentlichen Raums bei, sondern fördern auch die Nutzung von Fuß- und Radwegen.
- Integration hoher Anforderungen an Barrierefreiheit: Dies ermöglicht eine inklusive Mobilität für alle Bürgerinnen und Bürger.
- Reduzierung des Verkehrs- und Stellplatzschlüssels für MIV: Durch eine gezielte Begrenzung der Parkmöglichkeiten für Autos wird der Anreiz zur Nutzung umweltfreundlicher Verkehrsmittel erhöht.
- Oberirdische Parkhäuser als Mobilitätshubs und Quartiersgaragen (mit reversibler Bauweise und flexibler Gestaltung): Diese bieten eine effiziente Möglichkeit, den MIV zu reduzieren und gleichzeitig eine nachhaltige Mobilitätsinfrastruktur zu schaffen.

Die Förderung der Elektromobilität stellt einen entscheidenden Hebel zur Dekarbonisierung des Fahrzeugbetriebs sowohl im motorisierten Individualverkehr (MIV) als auch im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) dar. Um die Elektromobilität im Quartier zu fördern, empfehlen sich folgende Maßnahmen:

- Überdimensionierung des Stromnetzes: Das lokale Stromnetz sollte so ausgelegt sein, dass es den Ausbau der Elektromobilitätsinfrastruktur bewältigen kann.
- Vorrüstung für Ladeinfrastruktur: Bei der städtebaulichen Planung sollte die Installation von Ladeinfrastruktur sowohl für öffentliche als auch private E-Ladesäulen vorgesehen werden.
- Bereitstellung von E-Ladesäulen im Quartier: Ein Netzwerk von E-Ladesäulen im gesamten Quartier ermöglicht eine flächendeckende Versorgung.
- Integration mit Photovoltaikanlagen (PV): Die Verknüpfung von Elektromobilität mit PV-Systemen erhöht den Eigenverbrauchsanteil des aus Sonnenenergie erzeugten Stroms.
- Smart Grid und bi-direktionale Ladegeräte:⁶⁰ Die Implementierung von Smart-Grid-Technologien und bi-direktionalen Ladegeräten nutzt die verfügbare Speicherkapazität der Elektrofahrzeuge zur Lastspitzenkappung.
- Umfassende Emissionsbilanzierung: In einer späteren Planungsphase sollte eine detaillierte Bewertung der Mobilitätsemissionen erfolgen, einschließlich einer genauen Analyse der grauen Emissionen, die mit Infrastrukturmaßnahmen verbunden sind.

Abbildung 51 Möglichkeiten der Verankerung der Maßnahmen gemäß Baustein E Mobilität im weiteren Prozess zeigt in zusammengefasster Form die wesentlichen Schlussfolgerungen der Bilanzierung der Mobilitätsemissionen und Ansätze,

⁶⁰ Ein Smart Grid ist ein intelligentes Stromnetz, das moderne Informations- und Kommunikationstechnologien nutzt, um eine bi-direktionale Kommunikation zwischen Stromerzeugern und Verbrauchern zu ermöglichen. Dies verbessert die Kopplung des Stromsystems und kann automatisch auf Veränderungen im Netz, wie Lastspitzen, reagieren. In Kombination mit bidirektionalen Ladegeräten, bei denen Strom zwischen Netz und Elektrofahrzeugen in beide Richtungen fließt, können Elektrofahrzeuge als mobile Energiespeicher im Netz fungieren, was zur Stabilisierung des Stromnetzes beiträgt.

diese Erkenntnisse im weiteren Prozess zu verankern, um sicherzustellen, dass die CO₂-Emissionen in einem Quartier so weit wie möglich reduziert werden.

Die Erkenntnisse aus Baustein E (Mobilität) lassen sich zusammenfassend in die folgenden **Handlungsempfehlungen** übersetzen:

1. Vorrüstung einer Ladeinfrastruktur für E-Mobilität
2. Reduzierung von CO₂-intensiven Infrastrukturmaßnahmen
3. Förderung von NMIV (nicht motorisierter Individualverkehr)
4. Reduzierung von MIV (motorisierter Individualverkehr)
5. Umsetzung einer hohen Nutzungsmischung
6. Vorsehen von Flächen für Fahrradabstellanlagen



Möglichkeiten der Verankerung im weiteren Prozess:

Wettbewerb:
Priorisierung von innovativen Mobilitätskonzepten, Berücksichtigung von nachhaltiger Logistik

Bebauungsplan:
Festlegung eines niedrigen Stellplatzschlüssels, und verkehrsberuhigte Bereiche und Reduzierung der Verkehrsflächen aus MIV, Stellplatzschlüssel für Fahrräder, Parkraummanagement (Bündelung des ruhenden MIVs)

Vertragliche Regelung:
Integration von Komfort, Sicherheit und Barrierefreiheit in NMIV, hohe Qualität und Sicherheit der Abstellanlagen, Ladeinfrastruktur auf Grundstücken

Abbildung 51 Möglichkeiten der Verankerung der Maßnahmen gemäß Baustein E Mobilität im weiteren Prozess © Buro Happold

Baustein F – Nutzerverhalten

Die erfolgreiche Umsetzung eines Quartiers erfordert ein attraktives Umfeld für alle Nutzer*innen, das gesunde und angenehme Lebens- und Aufenthaltsbedingungen schafft. Dies wiederum beeinflusst die soziale Mischung und die Akzeptanz der Nutzer*innen. Aspekte wie Freiraumqualität, Diversität der Nutzung (Urbanität) und eine naturnahe Gestaltung von Freiflächen spielen dabei eine wichtige Rolle.

Um den Betriebsenergiebedarf zu reduzieren und das Quartier klimaneutral zu gestalten, sollten effiziente und Smart-City-Systeme eingesetzt werden. Hierzu zählen die Maximierung des Anteils erneuerbarer Energien und die Erhöhung der Energieeffizienz der Geräte. Gleichzeitig ist es wichtig, die Nutzer*innen über Einsparmöglichkeiten im Gebäudebetrieb zu informieren. Zirkuläres Nutzerverhalten sollte im Quartier eine zentrale Thematik darstellen. Dafür sollten Flächen bereitgestellt werden, die eine Circular Society ermöglichen und ein übergreifendes Flächenmanagement für flexible Nutzung ermöglichen. Digitale Technologien tragen zur Effizienzsteigerung bei und verringern den Betriebsenergiebedarf. Eine Digitalstrategie für das Quartier sowie smartes Umweltmonitoring und Sensornetzwerke können Verbesserungspotenziale aufzeigen.

Schließlich spielen Monitoringsysteme zur Verbrauchsdatenerfassung eine wichtige Rolle. Durch die Erfassung und Kommunikation von Verbrauchsdaten können Nutzer*innen sensibilisiert werden, um nachhaltiges Handeln zu fördern.

10.1 Ausblick & weitere Studien

Um das voruntersuchte Potenzial der lokalen erneuerbaren Energiequellen zu validieren, werden folgende weiterführende Gutachten empfohlen:

- Machbarkeitsstudie Tiefengeothermie inkl. Durchführung einer thermohydraulischen Simulation
- Gutachten Grundwasserpotenzial
- Gutachten Solarenergie (Dach und Fassaden)
- Gutachten Abwasserwärmenutzung
- Gutachten Oberflächengewässer (Badesee) als energetisches Potenzial

Auf dieser Grundlage kann eine Machbarkeitsstudie zur Detaillierung des Energieversorgungskonzeptes sowie zur Fördermittel-Beantragung erstellt werden. In dieser Studie sind die Auslegung der Erzeugungsanlagen und Speichertechnologien und die Ermittlung des Platzbedarfs für Energiezentralen sowie Speicher zu untersuchen und ein

Vergleich unterschiedlicher Verteilungssysteme (zentral, dezentral, hybrid) zu erstellen. Darüber hinaus sind die Systemtemperaturen der Wärmenetze und die Wirtschaftlichkeit inkl. Sensibilitätsanalyse bzgl. Preisänderung zu untersuchen.

Eine weitere Machbarkeitsstudie hinsichtlich des Nahwärmenetzsystems unter der Berücksichtigung der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) kann ergänzend durchgeführt werden. Dafür wird die Umsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit des Konzeptes eines neu zu errichtenden Wärmenetzsystems mit überwiegend erneuerbarer Wärmezeugung (mind. 75 %) untersucht. Es werden 50 % der förderfähigen Kosten bis 2 Millionen Euro gefördert.

Eine tiefergehende Untersuchung, ob die Notwendigkeit einer mechanischen Kühlung für Wohnungen bei ausreichend passiven Maßnahmen auch unter Betrachtung zukünftiger Klimadaten akzeptabel bleibt, wird empfohlen.

Des Weiteren ist eine Machbarkeitsstudie für einen Anschluss an das existierende Fernwärmenetz zu ergänzen.

Da die grauen Emissionen der technischen Anlagen in Hinblick auf die verschiedenen Energieversorgungsvarianten angesichts der fortschreitenden Dekarbonisierung der Betriebsemissionen einen immer höheren Stellenwert erhalten, wird eine weiterführende Studie empfohlen.

Weitere Verkehrsflächen im Quartier, wie der unterirdische emissionsintensive Tunnelbau und die neu zu errichtende Brücke über die Gleisanlagen an der Riemer Straße, wurden nicht in der Berechnung berücksichtigt und sind Teil der besonders komplexen und emissionsintensiven Konstruktionen. Daher wird hierfür eine weitere Studie empfohlen.

In Hinblick auf die hohen Emissionen aus den Untergeschossen wird eine Untersuchung der Auswirkungen von Quartiersgaragen anstelle von Untergeschossen inkl. einer Sensibilitätsanalyse empfohlen.

11 Anhang

Anhang 1		Checkliste mit Handlungsmaßnahmen für die Bausteine C, D, E und F <i>Diese wird separat an die AG übermittelt</i>
Anhang 2	S. 74	Liste der Dokumente zur Bestandsanalyse
Anhang 3	S. 75	Eingangsparameter
Anhang 4	S. 78	Nutzenergiebedarf
Anhang 5	S. 80	Rahmenbedingungen und Parameter zur Ermittlung Solarpotenzial
Anhang 6	S. 81	Voruntersuchungen Grundwasserpotenzial
Anhang 7	S. 83	Wirkungsgrad der Erzeugungsanlagen
Anhang 8	S. 84	Prognose CO ₂ -Faktoren Energieträger
Anhang 9	S. 86	Prognose CO ₂ -Faktoren Mobilitätsemissionen
Anhang 10	S. 87	Kostenangaben zur Betriebskosten OPEX
Anhang 11	S. 88	Kostenangaben zur Investitionskosten CAPEX
Anhang 12	S.89	Übersicht bilanzierten Flächen

Anhang 1 Checkliste Münchner Nordosten mit Handlungsmaßnahmen für die Bausteine B / C / D / E / F Maßnahmenkatalog über die CO₂-Einsparpotenziale

Checkliste Münchner Nordosten

Bausteine B / C / D / E / F

Maßnahmenkatalog über die CO₂-
Einsparpotenziale

Anlage 1 zur Klimaneutralitätsstudie
Münchner Nordosten

BURO HAPPOLD



Diese wird separat an die AG übermittelt.

Anhang 2 Liste der Dokumente zur Bestandsanalyse

Thema	Name Studie	Ersteller/Quelle	Erscheinungsjahr/Stand
Konzepte und Gutachten	Stadtklimatisches Gutachten für den Münchener Nordosten	GEO-NET Umweltconsulting GmbH	10. Januar 2023
	Landschafts- und Ausgleichsflächenkonzept Münchner Nordosten	GFN-Umweltplanung	08. August 2023
	Grundwasserflurabstand	Referat für Klima und Umwelt	11. März 2019
	Analyse des technisch umsetzbaren Potenzials auf Flurstück- und Baublockbasis	Referat für Klima und Umwelt	10. Januar 2023
	Wettbewerbsunterlagen 30.000 Einwohner*innen Flächenaufstellung rheinflügel.severin	Rheinflügel severin mit bbz landschaftsarchitekten	2020
	Potenziale für oberflächennahe Geothermie	Referat für Klima und Umwelt	April 2014
Energieversorgung	Klimaneutrale Wärme 2035	FfE GmbH und Öko-Institut e. V.	06. Oktober 2021
	Masterplan Solares München	RKU II-4 Bauzentrum München	21. April 2023
	Szenarien für ein klimaneutrales München bis 2035	Öko-Institut e. V.	August 2022
Kreislaufwirtschaft	Graue Energie und Materialkreisläufe bei Sanierung statt Abriss und Neubau	Concular, CAALA	-
Mobilität	Mobilitätsstrategie München 2035	Mobilitätsreferat	15. Juni 2021
	Masterplan Ladeinfrastruktur der Bundesregierung	Bundesministerium für Digitales und Verkehr	Oktober 2022

Anhang 3 Eingangsparameter Energiebedarfsermittlung

Gebäudetypologie								
Eingangsparameter	Einheit	Ausrichtung	1	2	3	4	5	6
			W1_Wohnen_GFZ1	W2_Wohnen_GFZ2	G1_Gewerbe	B1_Bildung_GFZ1	B2_Bildung_GFZ2	M1_Mischgebiet
Nutzungstyp			Wohnung	Wohnung	Büro	Schule	Schule	Mischnutzung
GFZ			1.0	2.0	1.2	1.0	2.0	2.7
Länge Grundriss	m	Süd	57	60	43	145	52	89
	m	Nord	57	60	43	140	65	84
	m	West	57	88	49	100	176	112
	m	Ost	57	85	49	102	186	104
Geschossfläche (GF)	m ²		3.780	9.680	5.760	18.438	24.750	18.678
Dachfläche	m ²		1.080	1.760	1.440	5.268	4.500	3.113
Gebäudehöhe	m		15	19	12	15	19	25
Anzahl Stockwerke	-		3.5	5.5	4.0	3.5	5.5	6.0
Geschosshöhe	m		4.3	3.5	3.0	4.3	3.5	4.2
Fassadenfläche	m ²	Süd	855	1.140	516	2.175	988	2.225
	m ²	Nord	855	1.140	516	2.100	1.235	2.100
	m ²	West	855	1.672	588	1.500	3.344	2.800
	m ²	Ost	855	1.615	588	1.530	3.534	2.600

Gebäudetypologie								
Eingangsparameter	Einheit	Ausrichtung	1	2	3	4	5	6
			W1_Wohnen_GFZ1	W2_Wohnen_GFZ2	G1_Gewerbe	B1_Bildung_GFZ1	B2_Bildung_GFZ2	M1_Mischgebiet
Fensteranteil		Süd	40 %	40 %	60 %	50 %	50 %	44 %
		Nord	40 %	40 %	60 %	50 %	50 %	44 %
		West	40 %	40 %	60 %	50 %	50 %	44 %
		Ost	40 %	40 %	60 %	50 %	50 %	44 %
Fensterfläche	m ²	Süd	392	456	310	1.088	494	979
	m ²	Nord	392	456	310	1050	618	924
	m ²	West	392	669	353	750	1.672	1.232
	m ²	Ost	392	646	353	765	1.767	1.144
Wandfläche (opak)	m ²	Süd	464	684	206	1.088	494	1.246
	m ²	Nord	464	684	206	1.050	618	1.176
	m ²	West	464	1.003	235	750	1.672	1.568
	m ²	Ost	464	969	235	765	1.767	1.456
Fläche (A)	m ²		5.580	9.087	5.088	17.841	18.101	15.951
Volumen (V)	m ³		16.200	33.440	1.7280	79.020	85.500	77.825
A/V-Verhältnis	-		0.34	0.27	0.29	0.23	0.21	0.20
U-Wert Außenwand	W/m ² K		0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
U-Wert Fenster	W/m ² K		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
U-Wert Dach	W/m ² K		0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14

Gebäudetypologie								
Eingangsparameter	Einheit	Ausrichtung	1	2	3	4	5	6
			W1_Wohnen_GFZ1	W2_Wohnen_GFZ2	G1_Gewerbe	B1_Bildung_GFZ1	B2_Bildung_GFZ2	M1_Mischgebiet
Wärmebrückenzuschlag	W/m ² K		0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
G-Wert Verglasung	-		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Lichttransmissionsgrad	-		0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Sonnenschutz			Rollladen außen	Rollladen außen	Rollladen außen	Rollladen außen	Rollladen außen	Rollladen außen
Heizung			ja	ja	ja	ja	ja	ja
Kühlung			nein	nein	ja	ja	ja	ja (nur für Gewerbe)
mech. Lüftung			dezentral	dezentral	zentral	zentral	zentral	dezentral (Wohnen), zentral (Gewerbe)
Wärmerückgewinnungsgrad mech. Lüftung			80 %	80 %	80 %	80 %	80 %	80 %
Anteil Wohnung	-		90 %	90 %	0 %	0 %	0 %	80 %
Anteil Gewerbe			10 %	10 %	100 %	0 %	0 %	20 %
Wohnfläche pro Wohneinheit	m ²		92	92	0	0	0	92
Anzahl Wohneinheiten	-		37	95	0	0	0	162
Dachform			Flachdach	Flachdach	Flachdach	Flachdach	Flachdach	Flachdach
Repräsentative Fläche*	m ²		252.000	692.800	169.920	93.600	334.400	237.600

*repräsentative Fläche ist die Summe der Flächen einer Gebäudetypologie im gesamten Quartier

Wetterdaten

TRY2045 medium

Anhang 4 Nutzenergiebedarf

			Geschoss- fläche in m ²	Leistungsbedarf in kW*			Energiebedarf in MWh/a			spezifischer Energiebedarf in kWh/m ² (GF)			Leistungsbedarf in kW*				Energiebedarf in MWh/a				spezifischer Energiebedarf in kWh/m ² (GF)			
Bau- abschnitt	Baufeld	Nutzungen	GF	Wärme	Kälte	Strom	Wärme	Kälte	Strom	Wärme	Kälte	Strom	TWW	Heizwä- rme	Kälte	Strom	TWW	Heizwä- rme	Kälte	Strom	TWW	Heizwä- rme	Kälte	Strom
A			793.600	18.441	8.110	5.800	27.906	3.094	21.509	35	4	27	4.964	13.477	8.110	5.800	13.821	14.084	3.094	21.509	17	18	4	27
	c2	Schulcampus 02	45.600	1.763	1.812	555	2.141	634	1.159	47	14	25	695	1.069	1.812	555	1.401	740	634	1.159	31	16	14	25
	c3	Schulcampus 03	94.400	3.613	3.710	1.193	4.132	1.437	2.492	44	15	26	1.494	2.119	3.710	1.193	3.012	1.120	1.437	2.492	32	12	15	26
	g3	Grundschule 03	25.600	980	1.006	324	1.121	390	676	44	15	26	405	575	1.006	324	817	304	390	676	32	12	15	26
	M1	Wohngebiet mitteldicht 11	91.200	1.635	0	511	2.806	0	2.421	31	0	27	377	1.258	0	511	1.305	1.501	0	2.421	14	16	0	27
	M2	Wohngebiet mitteldicht 12	67.200	1.205	0	376	2.068	0	1.784	31	0	27	278	927	0	376	961	1.106	0	1.784	14	16	0	27
	M3	Wohngebiet mitteldicht 13	134.400	2.409	0	753	4.135	0	3.568	31	0	27	556	1.853	0	753	1.923	2.212	0	3.568	14	16	0	27
	S1	Wohngebiet Standard 21	51.200	1.243	0	276	2.104	0	1.307	41	0	26	204	1.039	0	276	713	1.391	0	1.307	14	27	0	26
	S3	Wohngebiet Standard 23	46.400	1.126	0	250	1.907	0	1.184	41	0	26	185	942	0	250	646	1.261	0	1.184	14	27	0	26
	V1	Verdichtetes Gebiet 01	153.360	2.884	1.021	1.008	4.836	408	4.466	32	3	29	498	2.386	1.021	1.008	1.965	2.871	408	4.466	13	19	3	29
	V2	Verdichtetes Gebiet 02	84.240	1.584	561	554	2.656	224	2.453	32	3	29	273	1.311	561	554	1.079	1.577	224	2.453	13	19	3	29
C			242.400	5.661	1.908	1.662	8.755	668	6.329	36	3	26	1.527	4.134	1.908	1.662	4.236	4.519	668	6.329	17	19	3	26
	c1	Schulcampus 01	48.000	1.856	1.908	584	2.253	668	1.220	47	14	25	731	1.125	1.908	584	1.475	779	668	1.220	31	16	14	25
	K1	Vollstationär e Pflege- einrichtung	17.600	315	0	99	541	0	467	31	0	27	73	243	0	99	252	290	0	467	14	16	0	27
	M7	Wohngebiet mitteldicht 17	126.400	2.266	0	708	3.889	0	3.355	31	0	27	523	1.743	0	708	1.808	2.081	0	3.355	14	16	0	27
	S4	Wohngebiet Standard 24	50.400	1.224	0	271	2.071	0	1.286	41	0	26	200	1.023	0	271	702	1.370	0	1.286	14	27	0	26
D			190.400	5.445	3.710	1.727	7.268	1.437	5.023	38	8	26	1.888	3.557	3.710	1.727	4.379	2.889	1.437	5.023	23	15	8	26
	c4	Schulcampus 04	94.400	3.613	3.710	1.193	4.132	1.437	2.492	44	15	26	1.494	2.119	3.710	1.193	3.012	1.120	1.437	2.492	32	12	15	26
	M5	Wohngebiet mitteldicht 15	52.800	946	0	296	1.624	0	1.402	31	0	27	218	728	0	296	755	869	0	1.402	14	16	0	27

			Geschoss- fläche in m ²	Leistungsbedarf in kW*			Energiebedarf in MWh/a			spezifischer Energiebedarf in kWh/m ² (GF)			Leistungsbedarf in kW*				Energiebedarf in MWh/a				spezifischer Energiebedarf in kWh/m ² (GF)			
Bau- abschnitt	Baufel- d	Nutzungen	GF	Wärme	Kälte	Strom	Wärme	Kälte	Strom	Wärme	Kälte	Strom	TWW	Heizwä- rme	Kälte	Strom	TWW	Heizwä- rme	Kälte	Strom	TWW	Heizwä- rme	Kälte	Strom
	M6	Wohngebiet mitteldicht 16	25.600	459	0	143	788	0	680	31	0	27	106	353	0	143	366	421	0	680	14	16	0	27
	S2	Wohngebiet Standard 22	17.600	427	0	95	723	0	449	41	0	26	70	357	0	95	245	478	0	449	14	27	0	26
E			235.200	6.104	3.647	1.971	8.443	1.413	6.230	36	6	26	2.058	4.047	3.647	1.971	4.998	3.445	1.413	6.230	21	15	6	26
	ee	Erweiterung Ederschule	8.000	306	314	101	350	122	211	44	15	26	127	180	314	101	255	95	122	211	32	12	15	26
	es	Erweiterung Steinerschule	19.200	735	755	243	840	292	507	44	15	26	304	431	755	243	613	228	292	507	32	12	15	26
	fs	Förderschule	30.400	1.163	1.195	384	1.331	463	803	44	15	26	481	682	1.195	384	970	361	463	803	32	12	15	26
	g2	Grundschule 02	32.000	1.225	1.258	405	1.401	487	845	44	15	26	506	718	1.258	405	1.021	380	487	845	32	12	15	26
	K1	Kita freistehend	3.200	122	126	40	140	49	84	44	15	26	51	72	126	40	102	38	49	84	32	12	15	26
	M4	Wohngebiet mitteldicht 14	142.400	2.553	0	798	4.381	0	3.780	31	0	27	589	1.964	0	798	2.037	2.344	0	3.780	14	16	0	27
F			232.320	5.246	5.884	4.324	5.489	2.343	9.533	24	10	41	905	4.341	5.884	4.324	2.269	3.220	2.343	9.533	10	14	10	41
	G1	Gewerbegebi- et	169.920	3.574	4.815	3.783	3.215	1.929	7.880	19	11	46	330	3.245	4.815	3.783	900	2.320	1.930	7.880	5	14	11	46
	g1	Grundschule 01	27.200	1.041	1.069	344	1.191	414	718	44	15	26	430	611	1.069	344	870	320	410	720	32	12	15	26
	M8	Wohngebiet mitteldicht 18	35.200	631	0	197	1.083	0	934	31	0	27	146	485	0	197	504	579	0	934	14	16	0	27
H			86.400	2.098	0	465	3.551	0	2.205	41	0	26	344	1.754	0	465	1.203	2.348	0	2.205	14	27	0	26
	S5	Wohngebiet Standard 25	55.200	1.340	0	297	2.269	0	1.409	41	0	26	220	1.121	0	297	768	1.500	0	1.409	14	27	0	26
	S6	Wohngebiet Standard 26	31.200	757	0	168	1.282	0	796	41	0	26	124	633	0	168	434	848	0	796	14	27	0	26
Gesamt			1.780.320	42.995	23.259	15.950	61.411	8.954	50.828	34	5	29	11.686	31.309	23.259	15.950	30.905	30.506	8.954	50.828	17	17	5	29

* Anmerkung BH: Die hier aufgeführten Spitzenlasten werden ohne Berücksichtigung des Gleichzeitigkeitsfaktors (GF) berechnet, für das Wärmenetz wird die Spitzenlast (Heizwärme, TWW und Kälte) mit einem GF von 0,6 heruntergerechnet

Anhang 5 Rahmenbedingungen und Parameter zur Ermittlung Solarpotenzial

Rahmenbedingungen für die Berechnung:

- PVT auf dem Dach von Wohngebäuden und Schulen mit hohem Warmwasserbedarf
- PV auf dem Dach von Gewerben
- Keine Berücksichtigung von Grün- und Freiflächenwerten
- Modulausrichtung und -neigung zur Maximierung der jährlichen Strom- und Wärmeproduktion bestimmt
- Wartungsflächen und Verschattung wird mit Pauschalwert von technischen nutzbaren Dachflächen abgezogen, daraus ergibt sich die Modulfläche der Solaranlagen mit einem Verhältnis von 50 % Modulfläche zur Bruttodachfläche.

Angaben für die Berechnung	PVT	PV	Einheit	Berechnungsgrundlage
Ausrichtung	Süd	West-Ost	-	
Modulneigung	45°	10°	-	
Modultyp	PVT	Mono-kristalline	-	
durchschnittlicher spezifischer Jahresertrag Strom	0.171	0.198	MWh/m ²	PVGIS
elektrische Nennleistung	0.16	0.22	kWp/m ²	
durchschnittlicher spezifischer Jahresertrag Wärme	0.395	-	MWh/m ²	VDI 6002 Blatt 1
thermische Nennleistung	0.64	-	kWp/m ²	

Anhang 6 Voruntersuchungen Grundwasserpotenzial

Voruntersuchung RKU März 2024

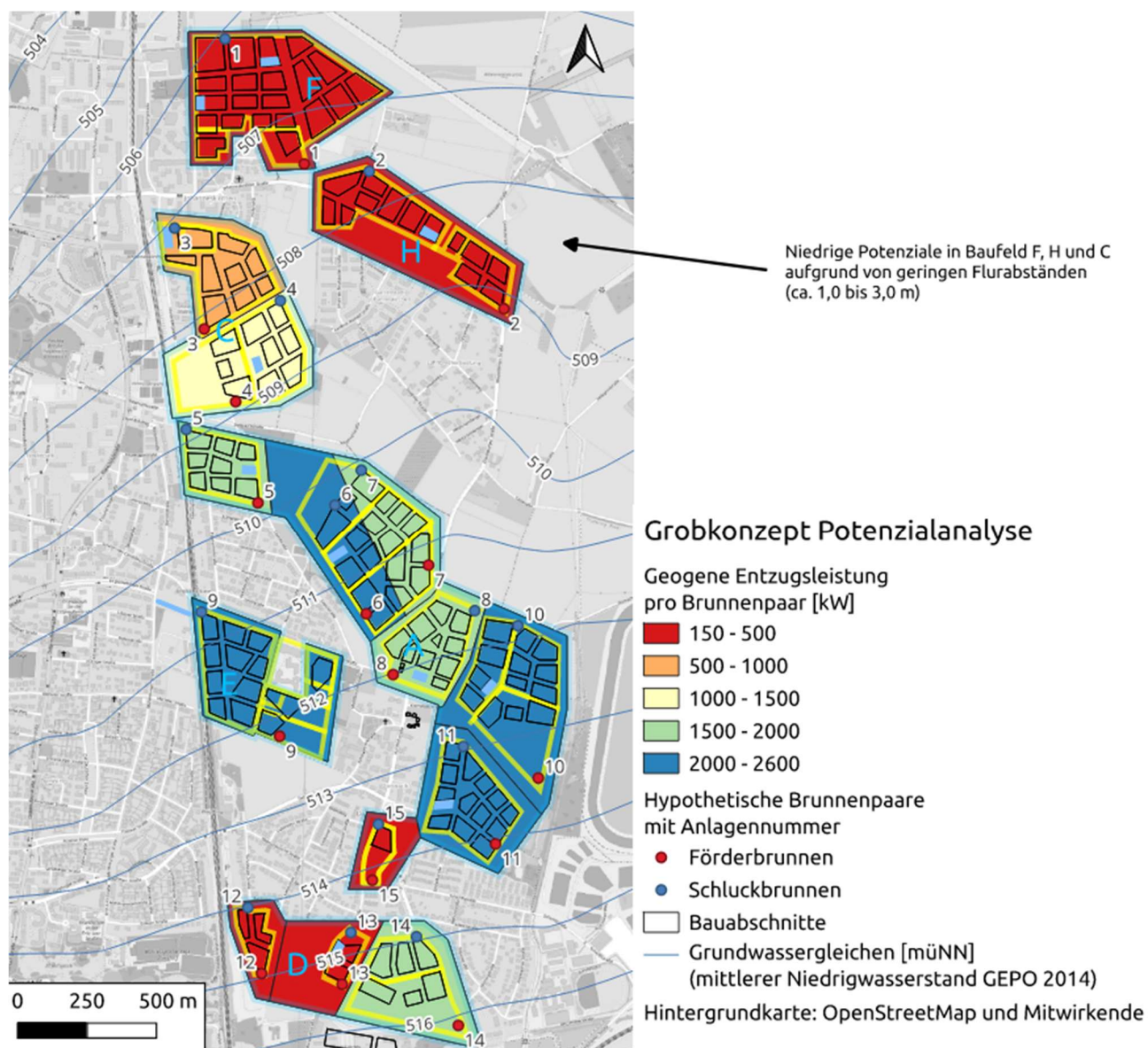


Abbildung 52 Voruntersuchung Grundwasserpotenzial, Landeshauptstadt München 2024, Kartengrundlage: Open Street Map und Mitwirkende 2024.

Voruntersuchung SWM April 2024

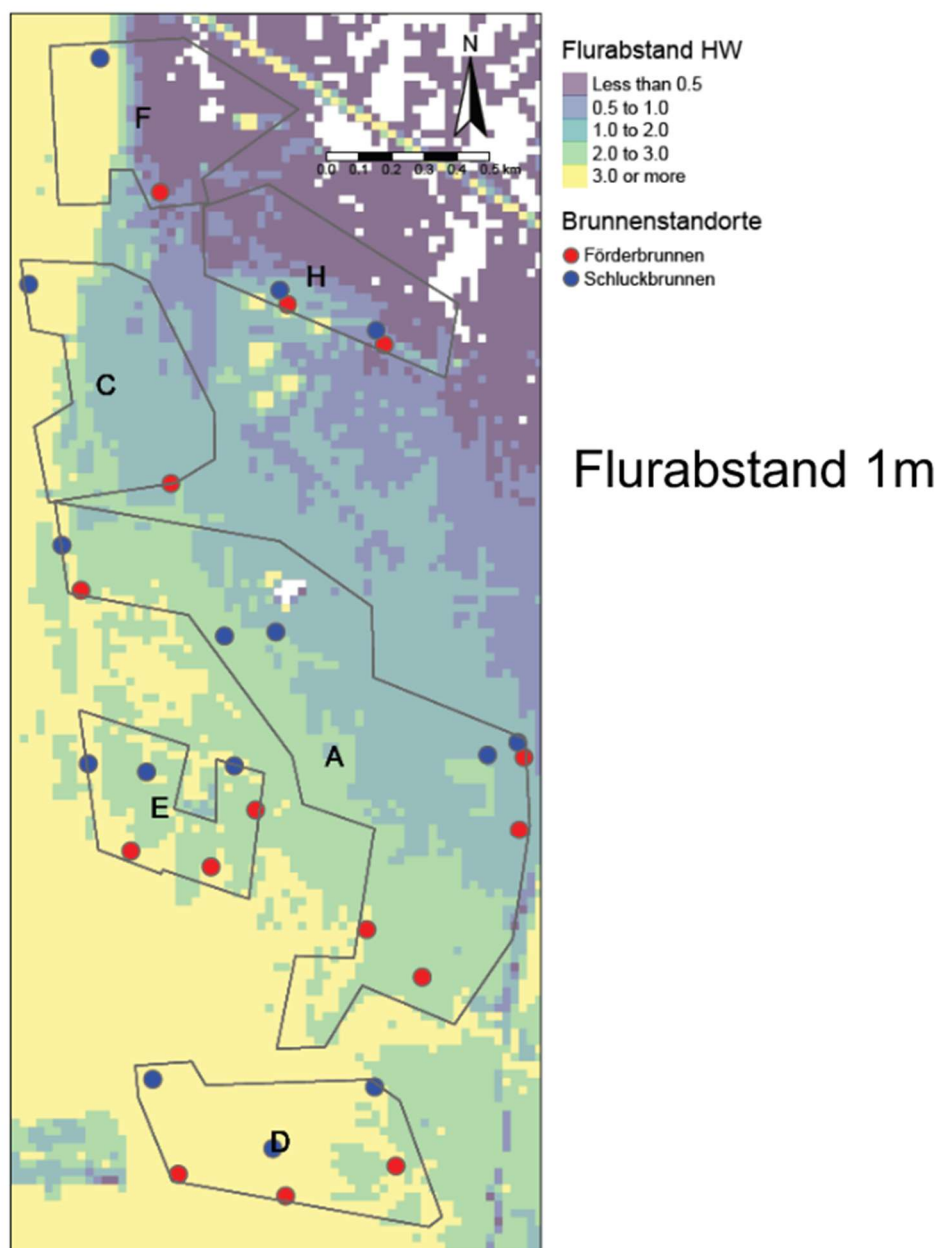


Abbildung 53 Voruntersuchung Grundwasserpotenzial, Landeshauptstadt München 2024, Kartengrundlage: Open Street Map und Mitwirkende 2024.

Anhang 7 Wirkungsgrad der Erzeugungsanlagen

V1 Fernwärme			Anmerkung
Wirkungsgrad	Heizmodus	Kühlmodus	
Kältemaschine		5	Jahresarbeitszahl
Fernwärme-Übergabestation	1		Hier werden die Wärmeverluste bei Übertragung und Verteilung vernachlässigt.

V2 Grundwasser			Anmerkung
Wirkungsgrad	Heizmodus	Kühlmodus	
Kältemaschine		5	Jahresarbeitszahl
Grundwasserwärmepumpe	6	20	Jahresarbeitszahl, im Kühlmodus wird aus einer freien Kühlung ausgegangen, d. h. das Medium wird direkt durch WÜT von Grundwasser abgekühlt, ohne den Betrieb der Wärmepumpe. Dies führt zu einer hohen Jahresarbeitszahl von 20. Zum Vergleich: typische JAZ für LWP liegt zwischen 3,5 und 4,5.
Elektrokessel	1		Hier werden die Wärmeverluste bei Übertragung und Verteilung vernachlässigt
Luft-Wasser-Wärmepumpe	4,5	8	Jahresarbeitszahl
Booster-Wärmepumpe	3,5		Jahresarbeitszahl

V3 Tiefen-Geothermie			Anmerkung
Wirkungsgrad	Heizmodus	Kühlmodus	
Kältemaschine		5	Jahresarbeitszahl
Tiefen-Geothermie-Anlage	16		COP = thermische Leistung / elektrische Leistung der Förderpumpe
Elektrokessel	1		Hier werden die Wärmeverluste bei Übertragung und Verteilung vernachlässigt

Die Jahresarbeitszahl (JAZ) ist ein Maß für die Effizienz einer Wärmepumpe über ein ganzes Jahr hinweg. Sie gibt das Verhältnis der abgegebenen Heizenergie zur eingesetzten elektrischen Energie an. Eine höhere JAZ bedeutet, dass die Wärmepumpe effizienter arbeitet und weniger Strom für die gleiche Menge an Wärme benötigt. Bei einer GWP mit JAZ von 6 im Heizmodus bedeutet dies zum Beispiel, dass die GWP 6-fache Wärmemenge der verbrauchten Strommenge im Laufe eines Jahres liefert.

Anhang 8 Prognose CO₂-Faktoren Energieträger

Die Prognose der CO₂-Faktoren und die Datenquellen sind im Kapitel 2.3.1 zu finden.

Jahre	CO ₂ -Faktoren	
	Fernwärme [t CO ₂ e/GWh]	Strom Bundesmix [t CO ₂ e/GWh]
2047	24,8	10,2
2048	24,2	6,8
2049	23,6	3,4
2050	23	0
2051	22,4	0
2052	21,8	0
2053	21,2	0
2054	20,6	0
2055	20	0
2056	19,4	0
2057	18,8	0
2058	18,2	0
2059	17,6	0
2060	17	0
2061	16,4	0
2062	15,8	0
2063	15,2	0
2064	14,6	0
2065	14	0
2066	13,4	0
2067	12,8	0
2068	12,2	0
2069	11,6	0
2070	11	0
2071	10,4	0
2072	9,8	0
2073	9,2	0
2074	8,6	0
2075	8	0
2076	7,4	0
2077	6,8	0
2078	6,2	0
2079	5,6	0
2080	5	0
2081	4,4	0
2082	3,8	0
2083	3,2	0
2084	2,6	0
2085	2	0
2086	1,4	0
2087	0,8	0
2088	0,2	0

2089	0	0
2090	0	0
2091	0	0
2092	0	0
2093	0	0
2094	0	0
2095	0	0
2096	0	0
2097	0	0

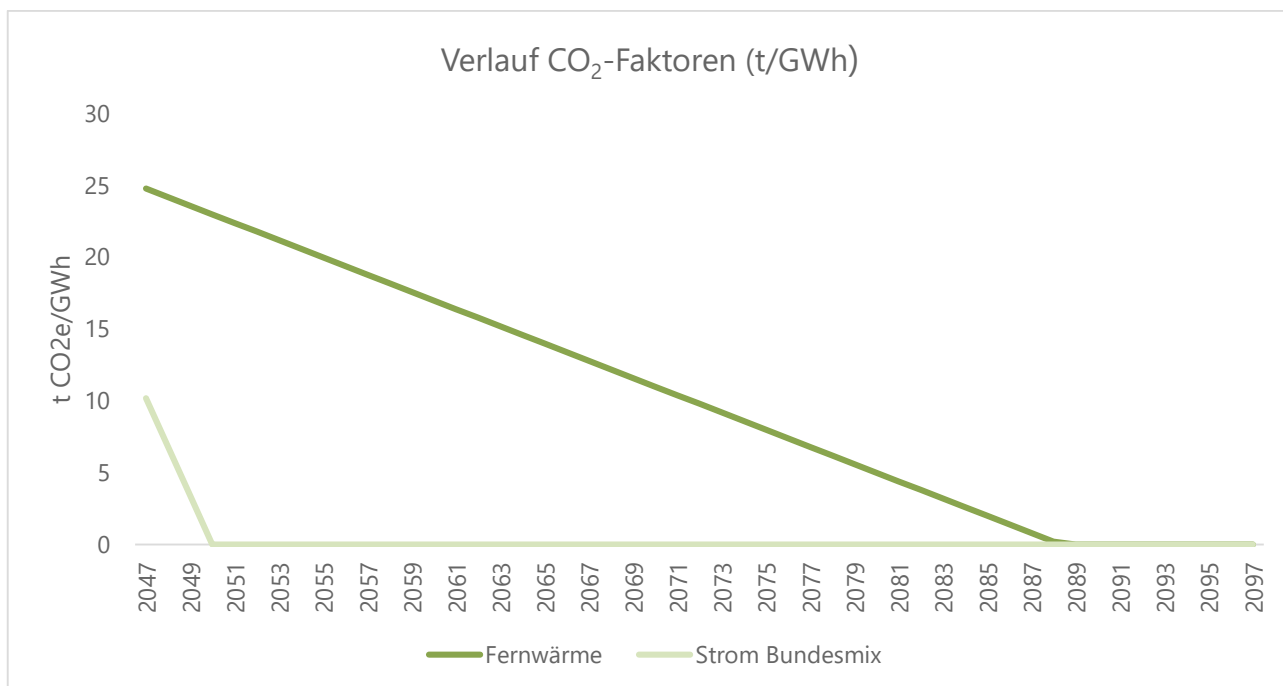


Abbildung 54 Prognose CO₂-Faktoren nach Energieträgern © Buro Happold

Anhang 9 Prognose CO₂-Faktoren Mobilitätsemissionen

Jahre	ÖPNV [g CO ₂ e/Pkm]	MIV [g CO ₂ e/Pkm]	Rad [g Co2e/Pkm]
2017	83	195	9
2018	81	187	9
2019	79	180	8
2020	77	173	8
2021	75	166	8
2022	73	159	8
2023	71	153	8
2024	69	147	8
2025	67	140	8
2026	65	134	8
2027	63	129	8
2028	61	123	8
2029	59	118	7
2030	58	113	7
2031	56	107	7
2032	54	103	7
2033	53	98	7
2034	51	93	7
2035	50	89	7
2036	49	85	7
2037	47	81	7
2038	46	77	7
2039	45	74	7
2040	44	70	7
2041	42	67	7
2042	41	64	7
2043	40	61	6
2044	39	58	6
2045	38	56	6
2046	37	53	6
2047	37	51	6
2048	36	49	6
2049	35	47	6
2050	34	46	6
2051	34	44	6
2052	33	43	6
2053	32	42	6

Anhang 10 Kostenangaben zur OPEX

Energieträger	Kostenangaben		Datenquellen
	Arbeitspreis	Grundpreis	
Fernwärme	82 €/MWh	40 €/kW	Abgeleitet aus Preisblatt M-Fernwärme 2024 *
Niederspannung Stromkosten (V1)	316 €/MWh	98 €/a	Preisblatt M-Strom 2024
Niederspannung Stromkosten Wärmepumpe (V2)	223 €/MWh	98 €/a	Preisblatt M-Strom 2024
Mittelspannung Stromkosten (V3)	135 €/MWh	154 €/kW	Eigene Berechnung **
Wartungskosten	1 % von CAPEX		Eigene Schätzung

* Laut SWM werden die angenommenen Investitionskosten für die Infrastruktur in den Wärmepreis eingehen, deswegen werden die Investitionskosten für den Fernwärmenetzausbau im Quartier und für die Anschlussbereitstellung nach eigener Schätzung mit 14 % vom Fernwärmepreis abgezogen. Dieser Prozentansatz muss in einer weiteren Studie überprüft werden.

** Mittelspannung Stromkosten = Netzentgelt + Marktpreis + Umlage, Steuer und Abgaben

Anhang 11 Kostenangaben zur CAPEX

Technische Anlagen und Infrastruktur	Kostenangaben	Datenquellen
Kältemaschine	450 €/kW	Eigene Daten
Fernwärmenetz	40 Mio. €	Angaben von SWM
Übergabestationen (mit zentraler Warmwasserbereitung)	400 €/kW	Angaben von SWM
Nahwärmenetz ⁶¹	32 Mio. €	Eigene Schätzung
Hausanschlusskosten	120 €/kW	Angaben von SWM
Grundwassernetz	27 Mio. €	Eigene Schätzung
Tiefengeothermieranlagen + Multilateralerschließung (ohne Risikozuschlag, Lärmschutz)	53 Mio. €	Angaben von SWM
W/W-Wärmepumpe inkl. Grundwasserbrunnen und WÜT	1.400 €/kW	Eigene Daten
Elektrokessel	50 €/kW	Eigene Daten
Luft-Wasser-Wärmepumpe	850 €/kW	Eigene Daten
Großer Warmwasserspeicher	60 €/kWh	Eigene Daten
Booster-Wärmepumpe (inkl. Speicher und Frischwasserstation)	1.376 €/kW	Eigene Daten

⁶¹ Aufgrund der kleiner ausgelegten Wärmeleistung des Nahwärmenetzes (V3) im Vergleich zum Fernwärmenetz (V1) werden die Kosten als 20 % geringer angenommen.

Anhang 12 Übersicht bilanzierte Flächen – Graue Emissionen

Baustein	Wohnen GFZ 1,0	Wohnen GFZ 2,0	Wohnen GFZ 2,7	Bildungsbauten GFZ 1,0	Bildungsbauten GFZ 2,0	Gewerbe und Büro	Versiegelte Flächen
A	S1 Wohngebiet Standard 21 S3 Wohngebiet Standard 23	M1 Wohngebiet mitteldicht 11 M2 Wohngebiet mitteldicht 12 M3 Wohngebiet mitteldicht 13	V1 Verdichtetes Gebiet 01 V2 Verdichtetes Gebiet 02	c2 Schulcampus 02	c3 Schulcampus 03 g3 Grundschule 03		
B							
C	S4 Wohngebiet Standard 24	M7 Wohngebiet mitteldicht 17 K1 Stat. Pflegeeinrichtung		c1 Schulcampus 01			
D	S2 Wohngebiet Standard 22	M5 Wohngebiet mitteldicht 15 M6 Wohngebiet mitteldicht 16			c4 Schulcampus 04		I8 AWM Potenzialfläche I9 Straßenreinigung
E		M4 Wohngebiet mitteldicht 14			ee Erweiterung Ederschule es Erweiterung Steinerschule fs Förderschule g2 Grundschule 02 k1 Kita freistehend		
F		M8 Wohngebiet mitteldicht 18			g1 Grundschule 01	G1Gewerbegebiet	I1 Wertstoffhof I2 Steinlager
G							I13 Busdepot
H	S5 Wohngebiet Standard 25 S6 Wohngebiet Standard 26						



Münchner Nordosten – Zuordnung Nutzungen

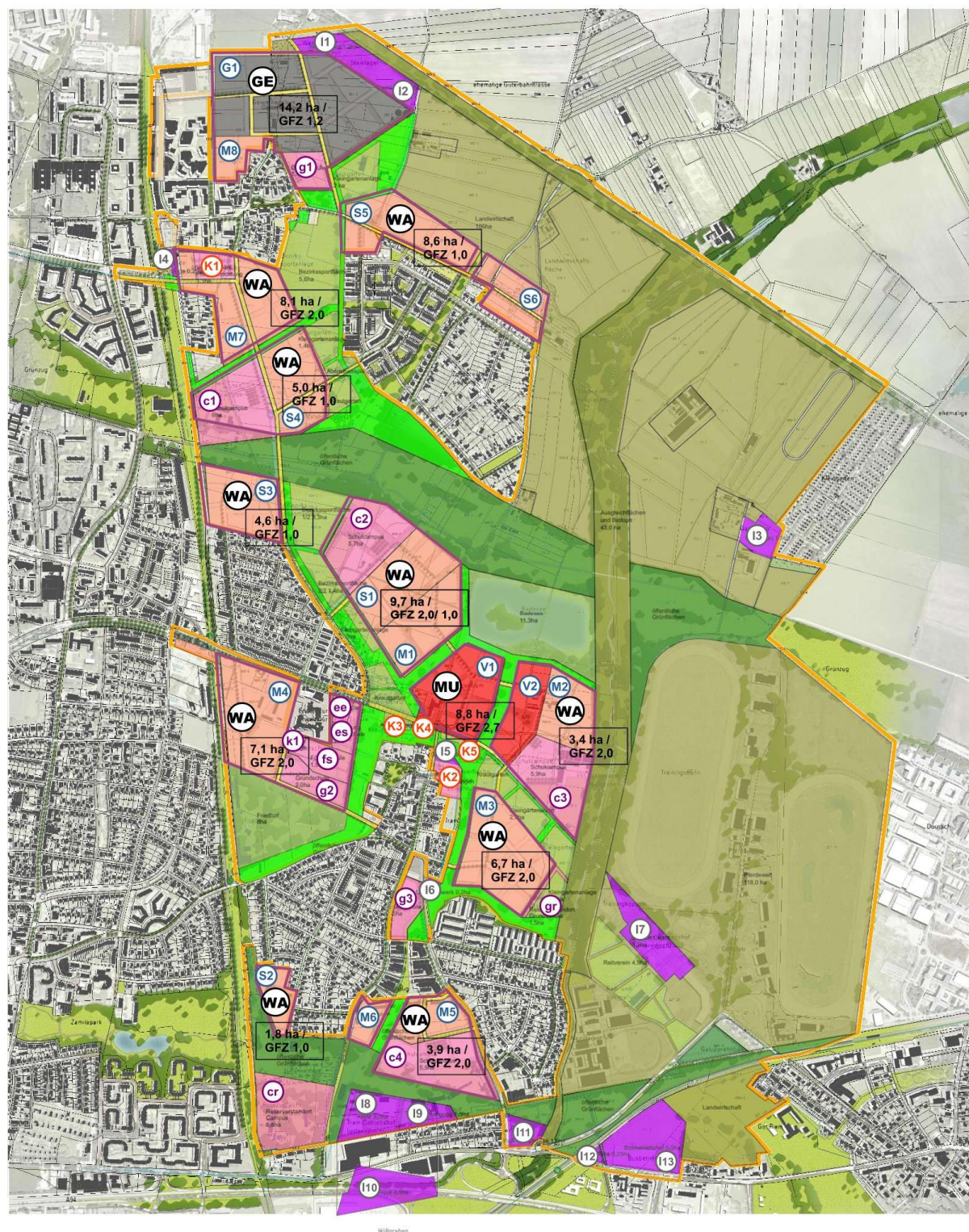


Abbildung 55 Münchner Nordosten Zuordnung Nutzungen, Landeshauptstadt München 2022, Grundlage: rheinflügel.severin mit bbz landschaftsarchitekten, Flurstücke und Gebäude: Bayerische Vermessungsverwaltung 2022.



Münchner Nordosten – Zuordnung Grünflächen



Abbildung 56 Münchner Nordosten Zuordnung Nutzungen, Landeshauptstadt München 2022, Grundlage: rheinflügel.severin mit bbz landschaftsarchitekten, Flurstücke und Gebäude: Bayerische Vermessungsverwaltung 2022.

12 Literaturverzeichnis

- Allekotte M. et al. (2020). *Ökologische Bewertung von Verkehrsarten*. Von <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/oekologische-bewertung-von-verkehrsarten> abgerufen
- Belz, J. B. (2020). *Mobilität in Deutschland - MiD Regionalbericht Stadt München, Münchner Umland und MVV-Verbundraum. Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (FE-Nr. 70.904/15)*. Bonn, Berlin.
- Bochum Ruhr Universität, F. B.-u. (2018). *Treibhausgasbilanzierung von Holzgebäuden – Umsetzung neuer Anforderungen an Ökobilanz und Ermittlung*.
- Braune, A. E. (2021). *Benchmarks für die Treibhausgasemissionen der Gebäudekonstruktion*. Von https://static.dgnb.de/fileadmin/dgnb-ev/de/themen/Klimaschutz/Toolbox/102021_Studie-Benchmarks-fuer-die-Treibhausgasemissionen-der-Gebaeudekonstruktion.pdf abgerufen
- Bundesinstitut für Bau-, S. u. (2023). *Ökobau.dat*.
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). (2021). *SNAP – Planungs- und Arbeitshilfen, Systematik für Nachhaltigkeitsanforderungen in Planungswettbewerben*.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. (2023). *B3: Schritt 2: Die quantitative Ist-Analyse in Form von (Emissions-) Bilanzen*. Von https://leitfaden.kommunaler-klimaschutz.de/wp-content/uploads/2023/02/Praxisleitfaden_2023_Kapitel_B3_Ist-Analyse_quantitativ-1.pdf abgerufen
- Deutsche Energie-Agentur. (2021). *Abschlussbericht, Klimaneutrale Quartiere und Areale*.
- Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB). (kein Datum). *Übersicht der Ökobilanztools mit Angaben der Herstellenden*. Von 2024: https://www.dgnb.de/filestorages/Downloads_unprotected/dokumente/uebersicht-der-oekobilanztools-mit-angaben-der-herstellenden.pdf abgerufen
- DIN V18599-1:2018-09. (2018). *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*. Berlin: Beuth Verlag.
- EnergieAgentur.NRW GmbH. (2020). *100 Klimaschutzsiedlungen in Nordrhein-Westfalen*. Düsseldorf.
- Klingenfuß, C. e. (2020). *Entwicklung eines Planungsinstrumentes für das CO₂-Management der natürlichen Kohlenstoffspeicher Berlins (NatKoS)*. Berlin: Humboldt-Universität zu Berlin.
- Michel Allekotte, F. B.-J.-A. (2020). *Ökologische Bewertung von Verkehrsarten*.
- Möller, B. &. (kein Datum). *Quantifying the Potential for District Heating and Cooling in EU Member States. STRATEGO Project*. Von <https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2018/09/STRATEGO-WP2-Background-Report-6-Mapping-Potenital-for-DHC.pdf> abgerufen
- München, A. (kein Datum). *Zero Waste City München*. Von <https://www.awm-muenchen.de/vermeiden/zero-waste-city-muenchen> abgerufen
- München, S. (kein Datum). *Fernwärme für München*. Von <https://www.swm.de/fernwaerme> abgerufen
- Öko-Institut. (2022). *Szenarien für ein klimaneutrales München bis 2035*. Von https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Klimaneutralitaet_Muenchen_Szenariobericht.pdf abgerufen
- One-Click-LCA. (2024). *Embodied carbon benchmark for European buildings*. Von <https://oneclicklca.com/resources/research-embodied-carbon-benchmark-european-buildings> abgerufen

Philipp Hübner, Sebastian Reiche. (Dezember 2022). *Integriertes Quartierskonzept Neue Mitte Tempelhof*. Berliner Stadtwerke KommunalPartner GmbH.

Timpe, C. K.-R. (2021). *Maßnahmenplan Klimaneutralität München. Landeshauptstadt München*. Von <https://stadt.muenchen.de/dam/jcr:dc76020e-b14b-42ca-9eea-4c3ce538b951/Massnahmenplan-Klimaneutralitaet-Muenchen.pdf> abgerufen

Tobias Wolf, A. U.-P. (2020). *Potenziale von Bauen mit Holz. Erweiterung der Datengrundlage zur Verfügbarkeit von Holz als Baustoff zum Einsatz im Holzbau sowie vergleichende Ökobilanzierung von Häusern in Massiv und Holzbauweise*.