

Abschlussbericht zum wissenschaftlichen Begleitprojekt

Suffizient Bauen

Potentiale für kostengünstigen und nachhaltigen Geschosswoh-
nungsbau



Technische Universität München

DGJ Architektur GmbH

Wohnungsbau Ludwigsburg GmbH

Impressum:

Technische Universität München
School of Engineering and Design

Lehrstuhl für Gebäudetechnologie und klimagerechtes Bauen

Prof. Dipl.-Ing. Thomas Auer
Simon Pytlik, M.Sc.
Annalena Veit, M.Eng.
Clemens Britsch

Technische Universität München
School of Engineering and Design

Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion

Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter
Kristina Lukas, M.Sc.

DGJ Architektur GmbH

Prof. Dr. Ing. Dipl. Arch. Hans H. Drexler

Wohnungsbau Ludwigsburg GmbH

Achim Eckstein

Projektzeitraum

Januar 2024 – September 2025

Finanziert aus Landesmitteln, die der Landtag Baden-Württemberg beschlossen hat. Gefördert im Rahmen des Strategiedialogs „Bezahlbares Wohnen und innovatives Bauen“

München, 31.12.2025

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	III
Abkürzungen	V
Glossar	VII
Kurzzusammenfassung	VIII
1. Projektübersicht	9
1.1. Problemstellung, Projektziel und Aufbau.....	9
1.3. Umsetzung.....	13
2. Recherche und methodische Vorgehensweise	15
2.1. Recherche.....	15
2.1.1. Hamburg Standard	15
2.1.2. Tiefe Gebäude aus der Schweiz	16
2.1.3. „Einfach Bauen“ Forschungshäuser in Bad Aibling.....	27
2.1.4. Fazit Gebäuderecherche	28
2.2. Methodische Instrumente und Annahmen	30
2.2.1. Architektur	30
2.2.2. Tageslichtsimulation	31
2.2.3. Ermittlung des Energiebedarfs.....	35
2.2.4. Kostenberechnung	36
2.2.5. Lebenszyklusanalyse (LCA)	39
3. Ergebnisse der Arbeitspakete.....	42
3.1. Arbeitspaket 1: Grundriss- und Gebäudetypologienuntersuchung	42
3.1.2. Variante Mittelflur.....	46
3.1.3. Spänner	48
3.1.4. Hofhaus	52
3.1.6. Ergebnisse der Tageslichtsimulation und Entwurfsoptimierung.....	59
3.1.7. Energiebedarf	64
3.2. Arbeitspaket 2: Kostenbetrachtung und Lebenszyklusanalyse	65
3.2.1. Bauteilkatalog und statische Vordimensionierung	65
3.2.2. Ergebnisse der Kostenanalyse.....	73
3.2.3. Ergebnisse der LCA.....	78
3.2.4. Gegenüberstellung Kosten – Umweltwirkung – Belichtung.....	82

Arbeitspaket 3: Abgleich mit Nutzer- und Betreiberanforderungen	84
3.2.5. Wirtschaftlichkeit und Kaltmietenperspektive	84
3.2.6. Anforderungen des sozialen Wohnungsbaus bzw. der Wohnungsgrößen.....	85
3.2.7. Skalierbarkeit und Übertragbarkeit auf andere Baugrundstücke.....	86
4. Fazit und Ausblick	90
4.1. Fazit	90
4.2. Ausblick	91
5. Leitfaden.....	93
5.1. Suffizienz – Bedeutung und Rolle im nachhaltigen Bauen.....	93
5.1.1. Warum Effizienz und Konsistenz alleine nicht genügen	94
5.1.2. Eingrenzung des Leitfadens: Flächensuffizienz.....	95
5.1.3. Eingrenzung des Leitfadens (Spänner R 2.5)	96
5.2. Entwurfsempfehlungen	97
5.2.1. Architektur:	97
Abbildungsverzeichnis	107
Tabellenverzeichnis	112
Formelverzeichnis	113
Literaturverzeichnis.....	114
Anhang A Grundrisse	119
Anhang B Oberflächenfarben für Simulation der Geschossstudie.....	120
Anhang C Kosten Fernwärme	121
Anhang D Kosten der Bauteile	122
Anhang E Bauteilkatalog	124
Anhang F Vordimensionierung der Decken.....	129
Anhang G Übersichtsblätter Kosten & LCA	130

Abkürzungen

1-flg/2-flg	1-flügelig / 2-flügelig (Fenster)
AF	Außenfläche (Fläche der Außenanlagen und Freiflächen)
AW	Außenwand
BGF(R)	Brutto-Grundfläche im Regelfall der Raumumschließung (DIN 277:2021-08)
BGI	Baugrubeninhalt
BKI	Baukosteninformationszentrum
BNB	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen
BSH	Brettschichtholz
BST	Brettstapelholz
DF	Tageslichtfaktor (engl.: Daylight Factor)
EoL	Lebensende (Teil des Lebenszyklus eines Produktes/Materials, engl.: End of Life)
GF	Grundstücksfläche oder Gipsfaserplatte
GK	Gebäudeklasse nach MBO (2002)
GKF	Gipskarton-Feuerschutzplatten
GWP	Treibhauspotential (engl.: Global Warming Potential)
HBD	Holzbalkendecke
HLz	Hochlochziegel
IW	Innenwand
KVH	Konstruktionsvollholz
LBO	Landesbauordnung

LCA	Lebenszyklusanalyse (engl.: Life Cycle Assessment)
MBO	Musterbauordnung
MW	Mineralwolle
NGF(R)	Netto-Grundfläche im Regelfall der Raumumschließung (DIN 277:2021-08)
NRF	Differenz der Netto-Grundfläche (NGF) und der Trennwand-Grundfläche (TGF) (DIN 277:2021-08)
OSB	Grobspanplatte (engl.: Oriented Strand Board)
PENRE	Nicht erneuerbare Primärenergie als Energieträger, z.B. fossile Brennstoffe (engl.: Use of renewable primary energy as energy carrier)
PV	Photovoltaik
QNG	Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude
RFA	Reference Floor Area
sDA	räumliche Tageslichtautonomie (engl.: Spatial daylight autonomy)
Stb	Stahlbeton
qm	Quadratmeter
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
WF	Holzfaserdämmung (engl.: Wood fibre)
WRF	Fenster zu Boden-Verhältnis (engl.: Window to floor ratio)
WWR	Fenster zu Wand-Verhältnis (engl.: Window to wall ratio)

Glossar

Bauwerkskosten	„Kosten, die sich als Summe der Kostengruppen 300 und 400 ergeben“ (DIN 276:2018-12)
BGF(R)	Brutto-Grundfläche, Ermittlung mit „äußeren Maße der Baukonstruktionen einschließlich Bekleidung [...] in Höhe der Oberkanten der Boden- oder Deckenbeläge“, „schließt die Grundflächen von Installations- und Aufzugsschächten“ ein (DIN 277:2021-08)
Gesamtkosten	„Kosten, die sich als Summe der Kostengruppen 100 bis 800 ergeben“ (DIN 276:2018-12)
Kostengruppe	„Zusammenfassung einzelner, nach den Kriterien der Planung zusammengehörender Kosten“ (DIN 276:2018-12)
NGF(R)	„Netto-Grundfläche (NGF) aus der Differenz der Innen-Grundfläche (IGF) und der Innenwand-Konstruktions-Grundfläche (IKG)“, „Regelfall der Raumumschließung [...], die bei allen Begrenzungsflächen des Raums vollständig umschlossen sind“ (DIN 277:2021-08)

Kurzzusammenfassung

Der vorliegende Abschlussbericht dokumentiert das wissenschaftliche Begleitprojekt „*Suffizient Bauen* – Potenziale für kostengünstigen und nachhaltigen Geschosswohnungsbau“. Vor dem Hintergrund steigender Baukosten, wachsender Ressourcenverbräuche und eines zunehmenden Mangels an bezahlbarem Wohnraum untersucht das Projekt, wie suffizienzorientierte Entwurfsstrategien im Neubau des sozialen Wohnungsbaus zu einer Reduktion von Kosten und Umweltwirkungen beitragen können, ohne die Wohnqualität wesentlich zu beeinträchtigen. Im Fokus stehen insbesondere die Gebäudetiefe und Gebäudetypologie.

Mithilfe parametrischer Gebäudemodelle werden unterschiedliche Typologien, Rastermaße und Fensterflächen iterativ hinsichtlich Tageslichtversorgung simuliert. Anschließend werden diese nach den energetischen Verhalten, Baukosten (KG 300) und ökologischen Kennwerten (Lebenszyklusanalyse) analysiert und vergleichend bewertet. Ergänzt wird die quantitative Untersuchung durch einen Abgleich mit Nutzer-, Betreiber- und Förderanforderungen des sozialen Wohnungsbaus.

Die Ergebnisse zeigen, dass ein kleineres Raster suffizientere Grundrisse mit kleineren Räumen ermöglicht und damit die Flächeneffizienz erhöht. Unter den untersuchten Erschließungsformen erreicht der Spänner die höchste Dichte an kleinen Wohnungen und realisiert gegenüber der *Referenz (Laubengang R 3,2)* sechs zusätzliche Wohneinheiten. In der 25-Jahres-Kostenbilanz schneidet der Spänner mit 2,5-m-Raster am besten ab: Durch Mehreinnahmen aus der Vermietung und Einsparungen in der Kostengruppe 300 von rund 6 % ergibt sich gegenüber der *Referenz* ein Kostenvorteil von etwa 1,4 Mio. €, während die durchschnittlichen Kaltmieten um ca. 4 % sinken und zugleich die Gesamtmieteinnahmen um ca. 2,5 % steigen. Tageslichtseitig erweist sich eine Raumhöhe von 2,8 m als robustes Optimum. Kompaktere, tiefere Varianten benötigen zudem im Betrieb weniger Energie für Heizung und Warmwasser (ca. 3 - 9 %), reduzieren die Konstruktionskosten (Spänner ca. 6 - 8 %) und senken die grauen Emissionen der Konstruktion um rund 10 %, wobei Tiefgarage, Bodenplatte und Balkon etwa ein Drittel der grauen Emissionen verursachen. Die Strategien sollen in einem Reallabor-Prototyp erprobt werden, um insbesondere die Übertragbarkeit und Nutzerakzeptanz suffizienter Grundrisse praxisnah zu validieren.

1. Projektübersicht

1.1. Problemstellung, Projektziel und Aufbau

Die Baupraxis der letzten Jahrzehnte ist durch steigende Komplexität, hohe technische Anforderungen und wachsende Komfortstandards geprägt. Diese Entwicklungen haben wesentlich zu hohen Baukosten, steigendem Ressourcenverbrauch und einem Mangel an bezahlbarem Wohnraum beigetragen. Vor diesem Hintergrund untersucht das Projekt *Suffizient Bauen*, wie der Neubau von Geschosswohnungsbauten durch Suffizienz wirtschaftlicher und nachhaltiger gestaltet werden kann.

Im Fokus steht die Frage, welche baupraktischen, normativen und nicht-normativen Anforderungen tatsächlich notwendig sind und an welchen Stellen Vereinfachungen möglich sind, ohne die Wohnqualität wesentlich zu beeinträchtigen. Dazu werden zentrale Einflussfaktoren wie Gebäudetiefe, Rastermaße, Raumhöhen, Fensteranteile, Bauteilkonstruktionen, Erschließungsformen und Grundrissorganisation systematisch untersucht.

Ein Schwerpunkt des Projekts liegt auf der Entwicklung und Bewertung verschiedener Gebäudetypologien und Grundrisse. Diese werden iterativ hinsichtlich Tageslichtversorgung, Belichtungstiefe, energetischem Verhalten, Baubarkeit und städtebaulicher Einbindung optimiert. Ergänzend wird ein Bauteilkatalog für unterschiedliche Konstruktionen erstellt, der als Grundlage zur Kostenanalyse (KG 300) und zur Lebenszyklusanalyse (LCA) dient. Die Kombination dieser Parameter erlaubt erstmals eine differenzierte Bewertung, wie sich die Gebäudekubatur und Erschließung auf Baukosten, graue Emissionen, Flächeneffizienz und Wohnqualität auswirken.

Es sollen suffiziente Gebäudetypologien für den sozialen Wohnungsbau entwickelt werden, die durch kompakte Kubaturen, optimierte Bauteilaufbauten und robuste Entwurfsstrategien zu reduzierten Baukosten bei gleichzeitig hoher Nutzungsqualität und ohne Einsparung bei der Nachhaltigkeit führen. Ziel des Projekts ist es, reproduzierbare Strategien für einen kostengünstigen und nachhaltigen Wohnungsbau zu entwickeln. Dabei stehen insbesondere folgende Punkte im Mittelpunkt:

- Identifikation der wichtigsten Parameter mit hohem Einfluss auf Kosten, CO₂-Emissionen und Wohnqualität
- Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen diesen Parametern (z. B. Gebäudetiefe ↔ Tageslicht ↔ Fassadenanteil ↔ Kosten)

- Ableitung praxistauglicher Gebäudekonzepte im Sinne des suffizienten Gedankens

Die Ergebnisse werden in einem Leitfaden zusammengeführt, der Planenden konkrete Entscheidungsgrundlagen bietet. Die entwickelten Strategien sollen in den Entwurf eines Reallabors (Wohngebäude) in der Markgröninger Straße einfließen, welches zusammen mit der Wohnungsbau Ludwigsburg verwirklicht werden soll. Zusätzlich fließen die Ergebnisse in die Politikberatung im Rahmen des „Strategiedialogs bezahlbares Wohnen und innovatives Bauen BW“ ein.

Der vorliegende Abschlussbericht gliedert sich in vier thematische Arbeitspakete, deren Vorgehensweise und Ergebnisse jeweils in einem eigenen Kapitel dargestellt werden.

AP1: Identifizierung möglicher Einsparungen	• Grundlagenstudie zu Einsparpotentialen • Entwicklung einer Referenzvariante • Definition der Untersuchungsparameter • Parametrisches Modell zur Darstellung der Varianten • Dynamische Gebäudesimulation
AP2: Kosten und LCA	• Entwicklung eines Bauteilkatalogs • Ermittlung der Baukosten (KG300) • Berechnung der Lebenszyklusanalyse (LCA)
AP3: Abgleich mit Nutzungsanforderungen	• Abgleich der Forschungsergebnisse mit den Anforderungen an die Nutzung • Auswirkung auf Mieten • Potenzialanalyse der Multiplikation
AP4: Leitfaden	• Entwicklung eines Leitfadens für zukünftige Planungen

Abbildung 1: Übersicht der Arbeitspakete

1.2. Rahmenbedingungen

1.2.1. Wohnungsmix und neue Wohnformen

Der Wohnungsmix hat einen Einfluss auf die Baukosten. Vergleichen wir zwei gleich große Wohngebäude, von denen eines größere Wohnungen (z.B. 3-Zimmer, 4-Zimmer, 5-Zimmer) hat und das andere kleinere Wohnungen (z.B. 1-Zimmer, 2-Zimmer) aufweist, dann wird das letztere höhere Baukosten aufweisen, weil es

- mehr Bäder, Küchen, Schächte,
- mehr Erschließungsfläche außerhalb der Wohnungen, und
- mehr trennende Bauteile mit höheren Anforderungen an Brandschutz und Schallschutz enthält.

Die größere Nachfrage nach kleineren Wohnungen ist eine Konsequenz der veränderten Bevölkerungsstruktur. Die Gründe dafür sind der demographische Wandel in Verbindung mit der Erosion traditioneller Familienstrukturen. Trotzdem soll in dem Projekt hinterfragt werden, ob es Ansätze gibt diesen spezifischen Bedarf mit neuen Wohntypologien (z.B. Clusterwohnungen, gemeinschaftlichen Wohnkonzepten) und/oder anderen planerischen Strategien einige der baulichen und strukturellen Nachteile der kleineren Wohnungen zu relativieren oder zu kompensieren.

Die Festlegung des Wohnungsmix und der Wohnungsgrößen ist keine Aufgabe der Planung und lässt sich deshalb nicht sinnvoll als Parameter der Planung integrieren, wohl aber als Eingangsgröße.

Eng verknüpft mit der Frage der Standards ist die Nachfrageseite. Im aktuellen Diskurs wird die bewusste Reduktion der Nachfrage als ‚Suffizienz‘ beschrieben, die Art und Größe des Bedarfs an Wohnraum kritisch hinterfragt und zu reduzieren sucht. Hintergrund ist, dass sich beim Neubau von Wohnungen der letzten Dekaden meist auf Effizienz- und Konsistenzstrategien konzentriert. Effizienz und Konsistenz alleine schließen aber nicht die Schere zwischen steigendem Bedarf und schrumpfenden Ressourcen. Die Einsparungen für Erstellung und Betrieb pro Flächeneinheit Wohnfläche werden durch die nachgefragte Menge an Wohnfläche überkompensiert. Die steigende Nachfrage von Wohnraum ist nicht nur durch die Nutzer:innen bestimmt. In Anlehnung an Ernst Friedrich Schumachers soll untersucht werden, wie der Mensch mit seinen physischen und psychischen Bedürfnissen in das Zentrum der Diskussion gestellt werden kann. Bei der Schaffung von Wohnraum geht es nicht um abstrakte Zahlen oder reine Ökonomie, sondern darum, die Lebenswirklichkeit der Bewohner:innen einer Wohnung zu gestalten.

Folgende Anforderungen an den Wohnungsmix werden von der Wohnungsbau Ludwigsburg definiert:

- 2 Zimmer = 35 %
- 3 Zimmer = 20 %
- 4 Zimmer = 35 - 40 %
- 5 Zimmer = 5-10 %

1.2.2. Wohnungsgrößen

Die Wohnungsgrößen ergeben sich grundsätzlich aus der Förderrichtlinie des Landes Baden-Württemberg. Allerdings war das Ziel der Studie, die Wohnungsgrößen innerhalb der Förderbandbreite möglichst gering zu halten. Im Hinblick auf die hohen Mieten werden derzeit kleine Wohnungen mit möglichst vielen Zimmern am dringlichsten benötigt.



Wohnungsgröße

(Stand: Juni 2022)

Förderfähigkeit einer Mietwohnung

Für die Förderfähigkeit einer Mietwohnung (Nutzungseinheit) gilt folgendes:

- Einhaltung der Mindestanforderungen der LBO:
 - Abgeschlossenheit der Wohnung
 - Küche/Kochnische
 - Toilette
- Zumindest ein Wohnraum muss (auch) als Aufenthaltsraum geeignet sein.
- Einhaltung der Wohnflächengrenzen gemäß den Durchführungshinweisen zum LWoFG:

Wohnungen mit	min. qm*	max. qm*
1 Wohnraum	23,00	47,25
2 Wohnräumen	23,00	63,00
3 Wohnräumen	42,75	78,75
4 Wohnräumen	57,00	94,50
5 Wohnräumen	71,25	110,25
*inkl. der zulässigen 5%-igen Unter-/ Überschreitung		

Bei Umsetzung der DIN 18040-2 (barrierefrei nutzbar – ohne R):

Wohnungen mit	min. qm*	max. qm*
1 Wohnraum	23,00	63,00
2 Wohnräumen	23,00	78,75
3 Wohnräumen	42,75	94,50
4 Wohnräumen	57,00	110,25
5 Wohnräumen	71,25	126,00
*inkl. der zulässigen 5%-igen Unter-/ Überschreitung		

- Kinderzimmer für ein Kind müssen mind. 10 m² groß sein. Kinderzimmer für zwei Kinder müssen mind. 15 m² groß sein.
- Ein gefangener Raum zählt als eigener Wohnraum unabhängig von der Zuwegung.
- Bei Vorliegen von Besonderheiten bei baulichen Maßnahmen an bestehendem Wohnraum (Bsp. Denkmalschutz) kann eine Überschreitung der Wohnflächengrenzen um bis zu 15 % bei gleichbleibender Raumzahl durch die oberste Landesbehörde zugelassen werden.
- Terrassen- und Balkonflächen dürfen max. zu 25 % angerechnet werden.

Abbildung 2: Wohnungsgröße (Stand: Juni 2022) Förderfähigkeit einer Mietwohnung. (L-Bank, 2022)

Sinnvoll scheint in Hinblick auf die Zielsetzung des kostengünstigen Wohnungsbaus eine Orientierung an den Vorgaben des geförderten Wohnungsbaus, sowohl in Hinblick auf die Ausbaustandards als auch in Hinblick auf die Wohnungsgrößen. Die Erfahrung mit Entwurfsprozessen zeigt, dass die Vergrößerung von Wohnungs- und Raumgrößen meist unkritisch erfolgt. Dementsprechend wird im ersten Durchlauf nur die am häufigsten nachgefragte Wohnungsgröße untersucht:

- 3-Zimmer-Wohnung mit 75 qm

In der nächsten Iteration wird dann untersucht, inwieweit die Ergebnisse auf weitere Wohnungsgrößen basierend auf den Vorgaben des geförderten Wohnungsbaus übertragbar sind.

1.3. Umsetzung

Im Förderantrag stehen zwei stark zielwertorientierte Forschungsfragen im Vordergrund:

- die Realisierung einer Warmmiete von maximal 13 €/m² bzw. 611 €/Person durch Reduktion normativer und nicht-normativer Standards sowie durch suffiziente Wohnmodelle und
- die Unterschreitung eines Zielwerts von 12 kg CO₂-Äq./m²a über den Lebenszyklus, ebenfalls durch diese drei Einflussbereiche.

Im Projektverlauf hat sich gezeigt, dass die tatsächlich bearbeiteten Inhalte und verfügbaren Datensätze deutlich stärker auf gebäudebezogene Parameter und konstruktive Strategien fokussiert sind als auf die ursprünglich formulierte Kombination aus Mietzielen, normativen/nicht-normativen Standards und Wohnmodellen.

Konkret werden nach Veröffentlichung des *Hamburg Standards* insbesondere folgende Parameter systematisch untersucht:

- Gebäudetypologien und Kubatur (Gebäudetiefe, Rastermaße, Erschließungstypologien)
- Tageslichtversorgung als begrenzender Faktor für zulässige Gebäudetiefen (Simulationsgestützte Parameterstudie mit unterschiedlichen Raumtiefen, lichten Raumhöhen und Fensterflächenanteilen)

- Bauteilkosten und Baukosten (insbesondere Kostengruppe 300) auf Bauteil- und Typologieebene
- Bauliche Umsetzbarkeit und Praxistauglichkeit durch den engen Abgleich mit der Wohnungsbau Ludwigsburg.

Der Fokus der Kosten- und Umweltwirkungsanalyse liegt auf den Unterschieden in der Konstruktion, wobei vorrangig die Herstellungskosten und die grauen Emissionen ermittelt werden. Eine Warmmietenbetrachtung erfolgt lediglich in Form einer Berechnung anhand des Mietspiegels in Ludwigsburg. Darüber hinaus werden die Kosten und Umweltwirkungen im Betrieb statisch ermittelt.

Die im Antrag genannten nicht-normativen Standards (z. B. Stellplatzschlüssel, Ausstattungsniveau) können nicht systematisch parametrisiert und quantifiziert werden; sie fließen rahmend in die Beurteilung der Umsetzbarkeit ein. Suffiziente Wohnmodelle im Sinne unterschiedlicher Belegungsformen werden weniger als eigenständiger Forschungsstrang bearbeitet, sondern in Form suffizienter, kompakter Grundrissstrukturen innerhalb der förderfähigen Wohnflächen mitgedacht.

Um die Ergebnisqualität angemessen abzubilden, ist es erforderlich, die Forschungsfragen von zielwertgebundenen Vorgaben, wie spezifischen Miet- oder CO₂-Grenzen, hin zu parameterorientierten, übertragbaren Suffizienzstrategien im sozialen Wohnungsbau weiterzuentwickeln. Auf dieser Grundlage wird folgende Hypothese untersucht:

„Durch die gezielte Optimierung der Gebäudekubatur lassen sich die Baukosten im Neubau des sozialen Wohnungsbaus signifikant reduzieren, ohne die Anforderungen an Nachhaltigkeit, Tageslichtversorgung, bauliche Umsetzbarkeit und Förderfähigkeit zu unterschreiten.“

Zur Überprüfung dieser Hypothese dienen die folgenden Forschungsfragen:

1. Inwieweit können suffizienzorientierte Gestaltungsstrategien im Wohnungsbau dazu beitragen, die Herstellungskosten zu reduzieren und gleichzeitig die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit (insbesondere durch höhere Mieteinnahmen aus flächeneffizienten, förderfähigen Wohnungszuschnitten) so zu verbessern, dass kommunale Wohnungsunternehmen wieder in die Lage versetzt werden, vermehrt bezahlbaren Wohnraum zu realisieren?
2. Können die Umweltwirkungen im Wohnungsbau durch Suffizienzmaßnahmen signifikant reduziert werden?

2. Recherche und methodische Vorgehensweise

2.1. Recherche

Im Rahmen der Recherche werden drei zentrale Ansätze untersucht, die für suffiziente Strategien im Geschosswohnungsbau relevante Impulse liefern: der *Hamburger Standard* mit seinem Fokus auf die Reduktion nicht sicherheitsrelevanter Anforderungen, tief gestaffelte Gebäudetypologien aus der Schweiz als Referenzen für kompakte und flächeneffiziente Bauweisen sowie das TUM-Forschungsprojekt *Einfach Bauen*, das zeigt, wie robuste Konstruktionen und reduzierte technische Systeme nachhaltige und kostengünstige Neubauten ermöglichen. Ziel der Recherche ist es, übertragbare Prinzipien zu identifizieren, die als Grundlage für praktikable suffiziente Gebäudestrategien im sozialen Wohnungsbau dienen können.

2.1.1. Hamburg Standard

Im Februar 2025 wurde der *Hamburg Standard* veröffentlicht, eine Initiative der Freien und Hansestadt Hamburg (Bereiche Stadtentwicklung und Wohnungswirtschaft) unter dem Titel „Initiative kostenreduziertes Bauen“. Ziel war die Reduktion der Baukosten im Wohnungsneubau durch die Identifikation konkreter Einsparpotenziale. Die Entwicklung begann bereits im Frühjahr 2024. Untersucht wurden drei zentrale Bereiche:

1. Kostenreduzierende Baustandards (Vereinfachung technischer und baulicher Anforderungen, insbesondere hinsichtlich Ausstattung, Komfort und Gebäudetechnik)
2. Optimierte Prozesse und Planung (Analyse und Verbesserung von Planungs-, Bau- und Managementabläufen)
3. Vereinfachung von Genehmigungsprozessen (Beschleunigung administrativer Abläufe im Wohnungsbau)

Aufbauend auf diesen Ergebnissen werden im Forschungsprojekt *Suffizient Bauen* gezielt bislang wenig adressierte Aspekte suffizienzorientierter Strategien identifiziert. Besonders deutlich treten dabei Forschungslücken in den Parametern Gebäudetypologie (insbesondere Erschließungsformen), Kubatur (mit Fokus auf die Gebäudetiefe) sowie im Rastermaß hervor.

2.1.2. Tiefe Gebäude aus der Schweiz

In der Schweiz werden bereits früh Wohnbauten realisiert, die trotz großer Gebäudetiefen funktionale, gut belichtete und sozialräumlich differenzierte Wohnformen ermöglichen. Diese Projekte bieten wertvolle Erkenntnisse für suffizienzorientierte Planungsstrategien, da sie zeigen, wie kompakte Kubaturen durch typologische Innovationen qualitativ hochwertig genutzt werden können.

Siedlung Hardturm (2001) der Genossenschaft Kraftwerk 1

Die Siedlung Hardturm (2001) der Genossenschaft Kraftwerk1, entworfen von Stücheli Architekten gemeinsam mit Bünzli & Courvoisier, löst die große Gebäudetiefe von rund 20 m durch die Kombination zweier Wohnungstypologien: dem „Loos-Typ“ und dem „Le-Corbusier-Typ“. Um trotz dieser Tiefe möglichst viele Wohn- und Schlafräume an der Fassade anzuordnen, liegen Treppen, Flure, Küchen und Bäder im Gebäudeinneren. Die Erschließung erfolgt über eine innenliegende „rue intérieure“ im dritten Geschoss, die, dem Vorbild der Unité d’Habitation folgend, Kleinwohnungen und Maisonnetten erschließt. In dieses Prinzip ist der „Loos-Typ“ integriert: Auf einer Gebäudeseite stapeln sich drei übereinanderliegende, überhohe Wohnräume, die über kurze interne Treppen mit vier Zimmergeschossen auf der gegenüberliegenden Seite verbunden sind. Durch diese Verzahnung beider Typologien entsteht eine ungewöhnlich hohe Vielfalt an Wohnungsgrundrissen, insgesamt 81 Wohnungen für etwa 250 Bewohner:innen. (Bau- und Wohngenossenschaft Kraftwerk1, o. J.).



Abbildung 3: Grundriss des 2. Obergeschoss der Siedlung Hardturm in Zürich der Wohnungsgesellschaft Kraftwerk 1, Darstellung: Stücheli Architekten (Stücheli Architekten, o. J.)

Zwicky Süd, Haus 5 (2016) der Genossenschaft Kraftwerk 1

Das Gebäude Zwicky Süd, Haus 5 (2016) der Genossenschaft Kraftwerk1 in Dübendorf zeigt, wie sich das Prinzip kompakter Wohngebäude auf eine außergewöhnlich große Gebäudetiefe von rund 30 m übertragen lässt (Kraftwerk1, 2025).

Schneider Studer Primas entwickelten hierfür eine Typologie, die Tageslicht tief ins Gebäude führt und zugleich hohe soziale Dichte ermöglicht. Zwei Treppenhäuser und ein zentraler Lichthof versorgen die Tiefe des Baukörpers mit natürlichem Licht, so dass einzelne Wohnungen über die gesamte Gebäudetiefe „hindurchgesteckt“ werden können. Die daraus entstehenden dunkleren Zonen werden bewusst als weniger beleuchtungsintensive Nutzungen wie Arbeits-, TV- oder Bibliotheksräume vorgesehen. Die große Tiefe erlaubt Wohnformen mit bis zu 14 Zimmern, die speziell auf Wohngemeinschaften ausgerichtet sind und eine hohe Flächeneffizienz erzielen (Kunkel, 2016).

Innerhalb der Gesamtanlage übernehmen die massiven „Blöcke“ wie Haus 5 eine zentrale Rolle: Sie bündeln Kompaktheit, Energieeffizienz und soziale Dichte, während umliegende schmale „Scheiben“ als Lärmschutz fungieren (Kraftwerk1, 2025). Insgesamt zeigt das Projekt, dass sehr tiefe Gebäude unter geeigneten lichtlenkenden und typologischen Maßnahmen funktional, wirtschaftlich und sozial erfolgreich eingesetzt werden können.



Abbildung 4: Grundrissbeispiel der Siedlung Zwicky Süd (Zwicky Süd, o. J.)

Siedlung Hollinger der Genossenschaft Warmbächli (Bestand; Umbau bis 2021)

Das Projekt Siedlung Hollinger, Güterstraße 8 der Genossenschaft Warmbächli in Bern transformierte ein ehemaliges Industriegebäude mit einer Gebäudetiefe von rund 25 m zu einem dichten, gemeinschaftsorientierten Wohn- und Arbeitshaus. Geschosshöhen von bis zu 4,6 m ermöglichen an der Güterstraße 8 eine tiefreichende natürliche Belichtung sowie neue räumliche Perspektiven. Das Wohnen erfolgt dabei nicht nur horizontal, sondern auch vertikal. Mehrere Einheiten erstrecken sich über mehrere Geschosse oder sind als Splitlevel ausgebildet, wodurch vielseitige und anpassbare Wohnformen ermöglicht werden (Genossenschaft warmbächli, 2017).

Um die tiefen Räume in den Untergeschossen effektiv nutzbar zu machen, werden Bäder und Abstellräume konsequent im Kern des Gebäudes angeordnet. Die Küchen sind offen in den Wohnraum integriert und jeweils an der Stelle positioniert, die am weitesten von der Fassade entfernt liegt. Zur natürlichen Belichtung der Erschließungsbereiche entstanden gezielte Durchbrüche für Lichthöfe, die sowohl räumlich als auch atmosphärisch zur Qualität beitragen (Wohnbaugenossenschaft Warmbächli, o. J.a).

Dort, wo größere Gebäudetiefen zu schlecht belichteten Bereichen führen, kann Stauraum sinnvoll im Wohnungsinneren oder direkt auf dem Geschoss anstelle klassischer Kellerflächen organisiert werden; auch Emporen bieten hierfür zusätzliche Nutzungsmöglichkeiten. Die innere Erschließung eines tiefen Gebäudes soll übersichtlich gestaltet sein und bewusst Begegnungen fördern, wobei Tageslicht einen entscheidenden Beitrag zur Aufenthaltsqualität und Orientierung leistet (Wohnbaugenossenschaft Warmbächli, o.J.b).



Abbildung 5: 2.Obergeschoss der Güterstraße 8 (Siedlung Hollinger) der Genossenschaft Warmbächli (Wohnbaugenossenschaft Warmbächli, o. J.a)

Haus G der Genossenschaft „Mehr als Wohnen“ (2015)

Das Haus G im Hunziker Areal in Zürich-Leutschenbach ist Teil eines städtebaulich und ökologisch wegweisenden Modellquartiers der Baugenossenschaft „Mehr als Wohnen“, in dem 13 kompakte Wohnhäuser gemeinsam mit vielfältigen Grün- und Freiflächen neue zeitgemäße Wohn- und Arbeitsformen ermöglichen. Das Gebäude befindet sich in zentraler Lage am Hauptplatz des Areals und zeichnet sich durch eine besonders tief geschnittene Grundrissstruktur aus, die durch großzügige, doppelgeschossige Wohnräume kompensiert wird. Diese Raumkeile verzahnen sich wechselseitig über die Geschosse hinweg und führen Tageslicht tief in die Wohnbereiche. Die großflächigen Verglasungen dieser doppelgeschossigen Räume prägen den architektonischen Ausdruck und brechen den ansonsten kompakten Baukörper auf (Pool Architekten Zürich).

Typologisch ordnet sich Haus G in die Grundstruktur des Quartiers ein, in dem kompakte Volumen überwiegend um zentral gelegene, von oben belichtete Erschließungskerne organisiert sind. Nebenräume wie Garderoben, Sanitär- und Abstellräume gruppieren sich um diese Kerne, während Wohn- und Schlafräume nach außen orientiert sind. Durch die spezifische Staffelung der Grundrisse entstehen doppelgeschossige Raumzonen, die das Tageslicht tief in die Gebäudetiefe leiten und damit auch bei großen Raumtiefen hohe Aufenthaltsqualitäten ermöglichen (Feuerstein & Leeb, 2015, S. 101–105).

Die ungewöhnlich hohen Gebäudetiefen haben darüber hinaus direkte ökologische und wirtschaftliche Vorteile: Sie reduzieren den Fassadenanteil und tragen damit zu einer effizienteren Energie- und Materialbilanz bei – zentrale Zielsetzungen des genossenschaftlichen Wohnmodells „Mehr als Wohnen“ (Hoffmann, 2019).



Abbildung 6: Genossenschaftsstraße 13, pool Architekten, Grundriss (Feuerstein & Leeb, 2015, S. 105)

Mehr als Wohnen - Haus M, Hunziker Areal, Zürich - Duplex Architekten

Im Rahmen des genossenschaftlichen Großprojekts „Mehr als Wohnen“ auf dem Zürcher Hunziker Areal entwickelten Duplex-Architekten zwischen 2009 und 2015 das Haus M als Teil eines vielfältigen neuen Stadtquartiers. Das Areal umfasst insgesamt 13 Gebäude mit einem breiten Nutzungsmix aus rund 370–450 Wohnungen, Gewerbe, Ateliers, Kinderbetreuungsangeboten und gemeinschaftlichen Einrichtungen, die sich zu einem lebendigen urbanen Stück der Stadt verdichten.

Haus M zeichnet sich durch eine klare städtebauliche Einbindung in das Cluster aus freistehenden Gebäuden aus, die Wege, Plätze und Übergangsräume definieren und so ein feinmaschiges System öffentlicher und halböffentlicher Bereiche schaffen. Die einzelnen Wohnungen gruppieren sich um ein großes, natürlich belichtetes Treppenhaus, das weit mehr ist als reine Erschließungsfläche: Es fungiert als gemeinschaftlicher Treffpunkt und zentraler Innenraum des Hauses. Die Belichtung des Treppenraums trägt zudem zur Wohnqualität bei, da einige Wohnungen über diesen Lichtraum zusätzlich natürlich belichtet werden (Duplex Architekten AG, 2025).

Das Projekt lebt – wie das gesamte Areal – vom Spannungsfeld zwischen Gemeinschaft und Rückzug: Während zahlreiche gemeinschaftlich genutzte Räume das soziale Zusammenleben fördern, bieten die privaten Wohnbereiche gleichzeitig hohe Geborgenheit und Individualität. Die Vielfalt der Wohnungstypologien und Grundrisslösungen ist das Ergebnis eines gemeinsamen Regelwerks, das im Dialogprozess nach dem Wettbewerb mehrerer Siegerbüros zusammen mit der Genossenschaft entwickelt wurde (Duplex Architekten AG, 2025).

Duplex-Architekten verfolgten das Ziel, kein klassisches Siedlungsmodell, sondern ein urbanes Quartier zu schaffen, das sich durch Dichte, differenzierte Außenräume sowie publikumsorientierte Nutzungen im Erdgeschoss auszeichnet. Dies verleiht auch Haus M seine besondere Stellung als offenes, gemeinschaftsorientiertes Wohnhaus, eingebettet in einen vielfältigen, sozial getragenen Stadtraum.



Abbildung 7: Grundriss Regelgeschoss

Maison Domino, Typologie Zeilengebäude, 1.Preis – Wettbewerb Neue Ideen für Hamburg geförderten Wohnungsbau - Emi Architekt:innen

Das Projekt Maison Domino der Emi Architekt:innen wurde als Zeilengebäude konzipiert und gewann den 1. Preis im Wettbewerb „Innovative Grundrisse für den geförderten Wohnungsbau“. Der Entwurf entstand im Rahmen eines Wettbewerbsverfahrens im Dezember 2023 und ist sowohl für die HafenCity Hamburg als auch für die IBA Hamburg relevant. Bei einer 4,5-geschossigen Zeilenbebauung erzielt das Projekt eine Wohnnutzfläche von 2.098 qm. Die Wohnungsgrundrisse orientieren sich an einer flexiblen, modularen Struktur, wobei die Größe einer zu einer 75 qm-Wohnung vergleichbaren Einheit bei drei Zimmern 64,2 qm beträgt. Erschlossen wird das Gebäude über einen umlaufenden Laubengang sowie zwei Treppenhäuser und zwei Aufzüge, die jeweils bis zu zwölf Wohnungen bedienen können. Mit einer Gebäudetiefe von 18 m bietet der Entwurf großzügige räumliche Möglichkeiten und setzt auf eine Reihe strategischer Ansätze: Die nutzungsoffene Primärstruktur aus Stützen und weitgespannten Flachdecken trennt Tragwerk und Raumstruktur, wodurch unterschiedliche zukünftige Nutzungen – etwa als Wohnhaus, Schule oder Büro – problemlos möglich werden. Eine Geschosshöhe von 4,80 m sowie flexibel anpassbare Raumproportionen erleichtern die Reaktion auf verschiedene städtebauliche Anforderungen. Der umlaufende Laubengang erlaubt die separate Erschließung jedes Raumes, während revisionierbare Schächte und die Kompatibilität mit vorfabrizierten Bauteilen eine hohe bauliche Effizienz sicherstellen. Die zentralisierte Versorgung von Bädern und Küchen reduziert Komplexität und ermöglicht wirtschaftliche Grundrisslösungen. Als „atmendes Haus“ gedacht, ermöglicht das Konzept die flexible Zuschaltbarkeit einzelner Räume an unterschiedliche Wohneinheiten. Durch die außergewöhnliche Raumhöhe ergeben sich zudem Potenziale zur inneren Verdichtung – etwa durch Galerien für Schlaf- oder Stauraumbereiche –, was den individuellen Selbstausbau und die persönliche Aneignung des Wohnraums fördert.



Abbildung 8: Regelgeschoss Grundriss

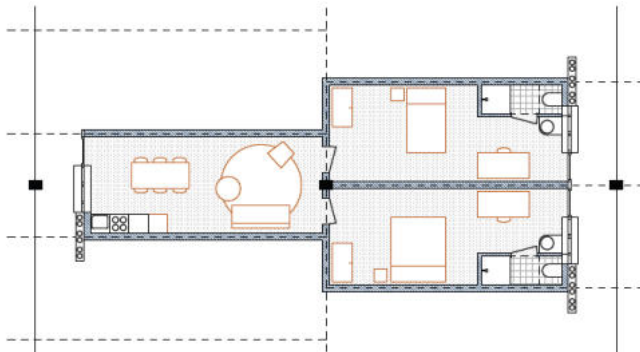


Abbildung 9: 3 Zimmer-Wohnung



Abbildung 10: Visualisierung Raumnutzung/Mieterausbau

Collegium Academicum, IBA Heidelberg, 2016-2021

Das von DGJ Architektur entwickelte Projekt in Heidelberg entstand zwischen 2015 und 2023 und umfasst 46 Wohneinheiten für insgesamt 176 Studierende. Mit einer Nutzfläche von 3.800 qm und Baukosten von rund 15 mio. € (KG 300+400) setzt das Gebäude auf eine präzise modulare Organisation: Grundlage bildet ein 2,85-Meter-Grundmodul, das sowohl die innere Struktur als auch die Flexibilität der Grundrisse bestimmt. Die Erschließung erfolgt über einen Laubengang, der das lineare Gebäude mit einer Tiefe von 12,6 m begleitet und vielfältige Begegnungsflächen schafft.

Die Wohnungsgrößen orientieren sich an einem hohen Maß an Adaptierbarkeit, wobei eine zu einer 75 qm-Wohnung vergleichbare Dreizimmereinheit 81,2 qm umfasst. Die Apartments sind so konzipiert, dass Wände innerhalb der Einheiten veränderbar bleiben: Wohnungen können zusammengeführt, separiert oder für unterschiedliche Wohnformen – von studentischen Wohngemeinschaften über Familien bis hin zu individuellen Wohnmodellen – angepasst werden. Besonders markant sind die Individualräume von jeweils 7 qm, die sich in eine geschlossene Kernzone und eine offene, flexible Nutzungszone gliedern. Diese kann offenbleiben oder situativ abgetrennt werden und ermöglicht damit eine kontinuierliche Reorganisation der privaten Bereiche.

Zu den zentralen Qualitäten des Projekts zählen Barrierefreiheit und inklusive Nutzbarkeit: Wohnungen, Badezimmer, Küchen und Balkone sind barrierefrei ausgeführt. Konstruktiv setzt das Gebäude auf einen Holz-Skelettbau in elementierter Holzrahmenbauweise, ergänzt durch einen Stahlbeton-Laubengang und entsprechende Treppenanlagen. Diese Kombination aus nachhaltiger Bauweise, modularer Struktur und hoher räumlicher Anpassungsfähigkeit macht das Projekt zu einem zukunftsfähigen und vielfältig nutzbaren Beitrag zum urbanen studentischen Wohnen in Heidelberg.



Abbildung 11: Grundriss Regelgeschoss



Abbildung 12: Grundriss 3-Zimmer Wohnung

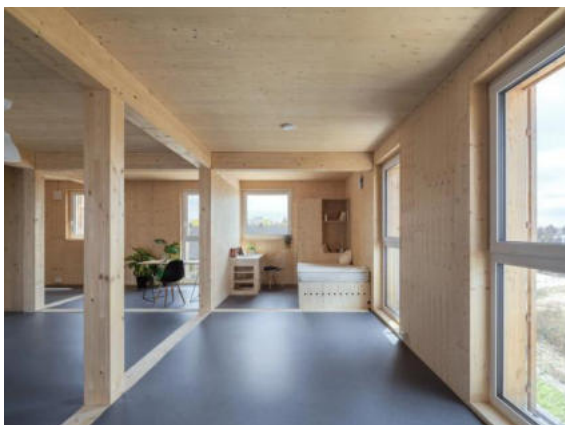


Abbildung 13: Gemeinschaftlicher Wohnbereich

2.1.3. „Einfach Bauen“ Forschungshäuser in Bad Aibling

Das TUM-Forschungsprojekt *Einfach Bauen* bildet eine zentrale Grundlage für das Projekt *Suffizient Bauen*, da es zeigt, wie bauliche Vereinfachung, robuste Konstruktionen und reduzierte technische Systeme bei gleichzeitig hoher Wohnqualität umgesetzt werden können. In Bad Aibling wurden dazu drei Forschungshäuser mit monolithischen Wandkonstruktionen errichtet, deren Nutzung und Leistungsfähigkeit unter realen Bedingungen untersucht wurden. Eine wesentliche Erkenntnis betrifft die Bedeutung der Raumhöhe für das Raumempfinden: Die gewählte lichte Höhe von 3,1 m wird von der Bewohnerschaft überwiegend positiv bewertet und zeigt, dass erhöhte Raumhöhen die wahrgenommene Großzügigkeit und Qualität kompakter Grundrisse deutlich steigern können. Für das Projekt *Suffizient Bauen* bestätigt dies die Relevanz der Untersuchung unterschiedlicher lichter Höhen als potenzieller Suffizienzparameter, insbesondere im Zusammenhang mit Tageslicht und Aufenthaltsqualität. (Jarmer & Franke, 2024)



Abbildung 14: "einfach bauen" Forschungshäuser in Bad Aibling (Jarmer & Franke, 2024)

Die Nutzer:innenbefragungen verdeutlichten zudem, dass der Verzicht auf Unterkellerung nur bedingt akzeptiert werden. Die Annahme, dass hohe Räume und flexible Möblierung ausreichenden Stauraum schaffen könnten, ließ sich in der Praxis nicht bestätigen. Damit wird sichtbar, dass eine Reduktion von Nebenflächen zwar möglich ist, suffiziente Gebäude jedoch weiterhin klar definierte und integrierte Stauraumlösungen benötigen, beispielsweise durch raumhohe Einbauschränke. Ergänzend zeigte sich, dass bestimmte nicht-normative Standards, insbesondere private Außenräume wie Balkone, trotz ihrer Kostenrelevanz als zentral für die Wohnqualität wahrgenommen werden. Ein vollständiger Verzicht darauf führte in Bad Aibling zu deutlichen Nutzungseinwänden, was für suffiziente Neubaukonzepte bedeutet, dass Suffizienz nicht durch den Abbau

unverhandelbarer Wohnqualitätsmerkmale erreicht werden sollte. (Jarmer & Franke, 2024)

Die Forschungshäuser lieferten darüber hinaus Beispiele für kompakte und funktionale Wohnformen, etwa kleine Wohneinheiten mit integrierten Schlafmodulen (Abbildung 15, links) oder dreistöckige Hochbetten im Kinderzimmer (Abbildung 15, rechts). Diese Konzepte zeigen, dass suffiziente Wohnmodelle grundsätzlich praktikabel sind, wenn sie bedarfsgerecht gestaltet werden und die spezifischen Anforderungen der Bewohnerschaft berücksichtigen. (Jarmer & Franke, 2024)

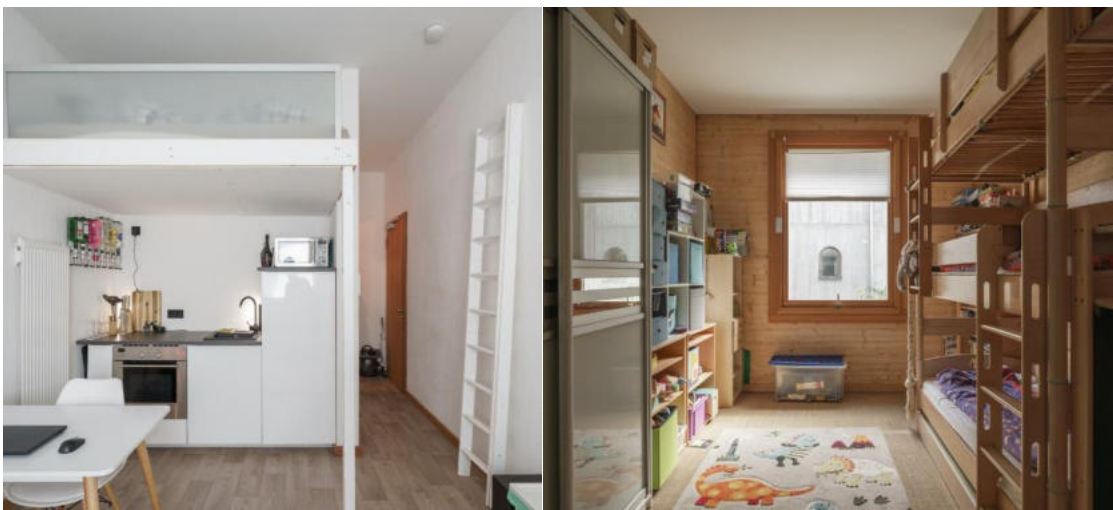


Abbildung 15: Eindrücke für kreative Nutzung von Raumhöhe durch die NutzerInnen in den *Einfach Bauen* Forschungshäusern in Bad Aibling (Jarmer & Franke, 2024)

2.1.4. Fazit Gebäuderecherche

Die Analyse zeigt, dass konventionelle Annahmen zu Gebäudetiefe und Erschließung im kostengünstigen Wohnungsbau bislang kaum hinterfragt werden. Während der *Hamburger Standard* zentrale Einsparpotenziale durch reduzierte Anforderungen aufzeigt, bleibt die Rolle der Gebäudekubatur weitgehend unbeachtet. Die Untersuchung tieferer Gebäudetypologien setzt hier an und prüft, wie geometrische Parameter gezielt zur Kostensenkung beitragen können.

Die Schweizer Referenzen verdeutlichen, dass die natürliche Belichtung das zentrale Limit für tiefe Grundrisse darstellt. Entscheidend ist daher die funktionale Grundrisszonierung: Räume mit hoher Aufenthaltsqualität benötigen direkten Tageslichteinfall, während sekundäre Räume auch fensterlos funktionieren können. Die Forschungsfrage

richtet sich damit auf die Organisationstiefe, die unter realistischen Belichtungsbedingungen noch möglich ist. Erhöhte Raumhöhen können die Lichtverteilung verbessern und zugleich die wahrgenommene räumliche Qualität steigern.

Erkenntnisse aus den Forschungshäusern *Einfach Bauen* zeigen zudem, dass die Nutzerakzeptanz ein wesentlicher Faktor ist. Trotz reduzierter Standards gelten Balkone und ausreichender Stauraum als unverzichtbar. Bei Wegfall von Kellerräumen müssen Stauraumlösungen innerhalb der Wohnung, etwa durch die Nutzung größerer Raumhöhen, neu gedacht werden.

Insgesamt bestätigt die Recherche, dass tiefe Gebäude nur dann umsetzbar und skalierbar sind, wenn Tageslichtversorgung, Grundrissorganisation und Nutzeranforderungen im Zusammenspiel optimiert werden.

2.2. Methodische Instrumente und Annahmen

2.2.1. Architektur

Die Entwurfsplanung hat den größten Einfluss auf die Einfachheit und Nachhaltigkeit des Gebäudes. Auch die Anforderungen für technische Systeme ergeben sich grundlegend aus dem Entwurf, indem der Komfort, damit auch Heiz- und Kühlbedarfe, Belichtung und Belüftung durch die Gebäudekubatur, Gebäudehülle und die innere Zonierung geprägt sind.

Gebäudekundliche Untersuchung

Basierend auf der einschlägigen Literatur, den Referenzen, den Vorstudien und den identifizierten Zielwerten werden gebäudekundliche Typologien entwickelt, die die Grundlage für die Modellierung bilden.

Gebäudetypologien, Organisation und Erschließungsformen:

- Gebäudetypologien:
 - Zeile (exkl. Sonderfall Eckhaus)
 - Atrium- und Hofgebäude
- Erschließungsform und -flächen
 - Spänner:
 - Einspänner
 - Zweispänner
 - Dreispänner
 - Vierspänner
 -
 - Mittelflur
 - Laubengang

Äußere Geometrie

Bei der Gebäudegeometrie ist die Annahme, dass die gesuchten kostengünstigen und klimafreundlichen Gebäudetypologien kompakte Volumen aufweisen. In der Modellierung werden deshalb im ersten Schritt nur einfache rechtwinkelige Quader untersucht. Vor- und Rücksprünge können in dem vereinfachten Modell nicht abgebildet werden.

- Gebäudevolumen:
 - Gebäudetiefe (X-Richtung)
 - Länge (Y-Richtung)

- Gebäudehöhe (Z-Richtung)
- Kubatur und Fassade:
 - Kompaktheit: Vor- und Rücksprünge
 - Fensterflächen-Anteil
 - Balkone, Laubengänge
- Technikflächen, Nebenräume und Abstellflächen

Innere Geometrie

Auch bei der inneren Geometrie wird die Annahme zugrunde gelegt, dass effiziente Gebäude eine rechteckige Grundgeometrie und eine möglichst gleichmäßige Grundstruktur aufweisen. In der nachgelagerten Planung müssen die vereinfachten, abstrakten Modelle in Hinblick auf die Grundrissplanung und Funktionalität ausdifferenziert werden.

- Gebäuderaster
 - X-Richtung
 - Y-Richtung
- Gebäuderaster
 - Z-Richtung (Höhen)
- Lage des Treppenhauses

2.2.2. Tageslichtsimulation

Die Simulation wird in Rhino3D mithilfe des grafischen Algorithmus-Editors Grasshopper, des Plugins Honeybee und des im Hintergrund laufenden Tageslichtsimulationsprogramms Radiance durchgeführt. Die zugrunde gelegten Annahmen zum Reflexionsgrad der Bauteiloberflächen sowie zum Transmissionsgrad der Fenster sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Reflexionsgrade der Oberflächen für die Tageslichtsimulation

Annahmen	Reflexionsgrad [-]	Transmission [-]
Verglasung		
Fenster	-	0,73
Wände		
Innenwand/Decke	0,80	-
außen	0,35	-
Boden	0,20	-

Balkon/Laubengang		
Decke	0,80	-
Boden	0,20	-
Kontext Verschattung	0,35	-

Im Rahmen der Tageslichtstudien werden neben dem Referenzgebäude, die Gebäudetypologien Laubengang, Mittelflur, Spänner und Hofhaus simuliert. Dabei werden für jede Gebäudetypologie die Parameter Konstruktionsraster, Raumhöhe und Fenstergröße untersucht. Da nicht für alle Typologien die gleichen Parameter relevant oder variierbar sind, erfolgte die Analyse anhand differenzierter Parameter. Eine vollständige Übersicht aller Varianten mit den jeweils berücksichtigten Parametern, ist Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 2: Varianten mit den untersuchten Parametern

Gebäudetypologie	Raster [m]			Raumhöhe [m]				WFR min. [%]	WFR max. [%]
Referenz	3,2			2,5	2,8	3,1	3,4	10	18
Laubengang	2,8								18
Mittelflur	2,3	2,5	2,8						18
Spänner	2,3	2,5	2,8						22
Hofhaus	3,0								24

Um den Einfluss der Raumhöhe auf das Tageslicht zu analysieren, wird für die Fenstergröße die Metrik Window to Floor Ratio WFR verwendet. Im Gegensatz zum Window to Wall Ratio WWR bleibt der relative Fensterflächenanteil damit auch bei größeren Raumhöhen konstant. Die geometrischen Randbedingungen für die Dimensionierung der Fensterflächen, bestehend aus einer Brüstungshöhe von 1 m, einer Sturzhöhe von 0,3 m sowie einer Minstdurchgangsbreite von 0,8 m und einer Minstdurchgangshöhe von 2 m bei Balkontüren, sind in Abbildung 16 dargestellt.

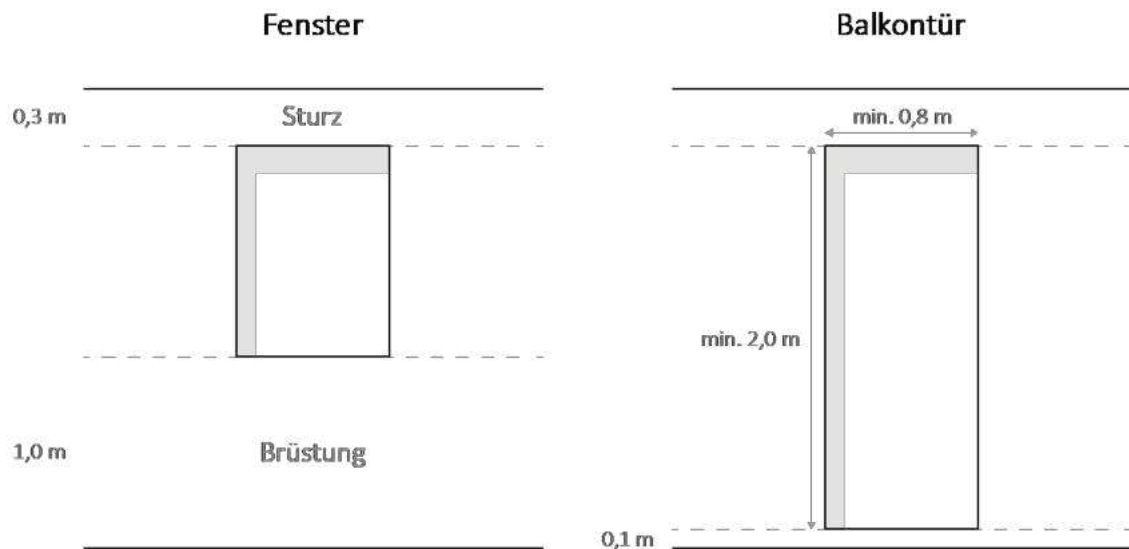


Abbildung 16: Schemaskizze der Randbedingungen für die Fensterdimensionierung

In Tabelle 3 sieht man dementsprechend, dass das Fenster höher und bei gleichbleibendem Fensterflächenanteil schmäler werden. Für alle Varianten wird eine Laibungstiefe von 0,4 m angesetzt.

Tabelle 3: Fensterabmessungen

Raumhöhe [m]	2,5	2,8	3,1	3,4
Fensterhöhe [m]	1,2	1,5	1,8	2,1
Fensterbreite [m]	0,8 – 2,5	0,6 – 2,1	0,5 – 1,7	0,4 – 1,5
Fensterlaibung [m]	0,4			

Es werden zwei Metriken verwendet, um die Tageslichtqualität der Räume zu bewerten:

1. **Räumliche Tageslichtautonomie sDA** (engl.: Spatial daylight autonomy)
2. **Besonnung**

Die **räumliche Tageslichtautonomie sDA** (Spatial daylight autonomy) ist in der amerikanischen Norm IES LM-83-12 definiert und basiert auf standortspezifischen Wetterdaten über den Jahresverlauf. Sie beschreibt den Flächenanteil des Raumes, der über mindestens 50 % der Nutzungszeit (in der Regel zwischen 8:00 und 18:00 Uhr) eine Beleuchtungsstärke von mindestens 300 Lux ausschließlich durch Tageslicht erreicht. Nach der LEED 4.1 Zertifizierung muss die durchschnittliche $sDA_{300/50\%}$ mindestens Werte $\geq 40 \%$ erreichen, um einen Punkt für das Tageslicht zu bekommen. Die sDA

liefert eine realitätsnahe Einschätzung der nutzbaren Tageslichtverfügbarkeit, insbesondere im Hinblick auf den Nutzerkomfort und das Energieeinsparpotenzial durch reduzierte Kunstlichtnutzung.

Die **Besonnung** wird nach DIN EN 17037:2022 berechnet. Dabei wird der 21. März für die Auswertung der Sonnenstunden verwendet. Es werden nur Sonnenstunden angerechnet, die einen Sonnenhöhenwinkel haben, der höher als 11° ist. Der Nachweisort liegt 1,3 m über dem Fußboden auf der Wandinnenseite, in der Mitte der Fensterbreite ausgerichtet. Die Besonnungszeit wird auf dem Nachweisort als Quadrat mit $0,1 \times 0,1$ m simuliert. Die erforderliche Mindestbesonnungszeit ist wie in Tabelle 4 dargestellt 1,5 h.

Tabelle 4: Kriterien zur Einstufung des Empfehlungsniveaus für die Besonnung nach DIN EN 17037:2022

Empfehlungsniveau	Minstdauer der möglichen Besonnung [h]
Gering	1,5
Mittel	3,0
Hoch	4,0

Für die Tageslichtsimulationen werden in nachfolgender Reihenfolge drei Studien durchgeführt:

1. Wohnungsstudie
2. Geschossstudie
3. Gebäudestudie

Die Erkenntnisse aus den beiden ersten Studien werden in die Gebäudestudie eingebracht. Nachfolgend in den Ergebnissen wird ausschließlich die Gebäudestudie beschrieben.

2.2.3. Ermittlung des Energiebedarfs

Für die energetische Bewertung der Gebäudetypologien wird bewusst auf dynamische thermische Simulationen verzichtet und stattdessen eine statische Energiebedarfsberechnung (auf Grundlage von *DIN EN 12831*) durchgeführt. Da alle Varianten denselben GEG-konformen Bauteilstandard aufweisen und sich lediglich in geometrischen Parametern unterscheiden, ermöglicht die statische Methode eine robuste und vergleichbare Einschätzung des Heizenergiebedarfs. Ziel war nicht die präzise Prognose des realen späteren Energieverbrauchs, sondern die Ableitung relativer Unterschiede zwischen Varianten als Grundlage für die Kosten- und Umweltwirkungsanalysen. Für diesen Variantenvergleich ist die statische Methode fachlich etabliert und methodisch hinreichend belastbar.

Bestimmung der Wärmeverluste

Die Transmissionwärmeverluste werden nach folgender Formel berechnet:

$$Q_{trans} = \sum (U_i \times A_i) \times GTZ \times 24 \div 1000$$

Formel 1: Berechnung der Transmissionswärmeverluste

Der U-Wert U beschreibt den spezifischen Wärmedurchgangskoeffizienten eines Bauteils in W/m^2K , während A die jeweilige Bauteilfläche in m^2 bezeichnet. Die Gradtagszahl (GTZ) stellt ein standortabhängiges Maß für die klimatische Heizbeanspruchung dar und wird in Kelvin-Tagen (Kd) angegeben. Für den Projektstandort Ludwigsburg wird die GTZ mithilfe der interaktiven Klimakarte des Bundesverband Wärmepumpe e.V. ermittelt und beträgt gerundet 3.100 Kd bei einer Heizgrenztemperatur von 15 °C. (Bundesverband Wärmepumpe e.V.) Für die Bauteilaufbauten werden die U-Werte nach dem vereinfachten Nachweisverfahren des GEG herangezogen. Bei Bauteilen mit angrenzender Tiefgarage wird gemäß üblichen Ansätzen ein Abminderungsfaktor von 0,45 berücksichtigt. Die im Rahmen der Berechnung verwendeten U-Werte und Annahmen sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 5: Für die Energiebedarfsberechnung (auf Grundlage der DIN EN 12831) herangezogenen U-Werte der Bauteile (nach GEG; vereinfachtes Verfahren)

Bauteil	U-Wert [W/m²a]
Oberste Geschossdecke	0,14
Fenster	0,90
Außenwände	0,20
Decken zu unbeheizten Räumen	0,25

Wärmebrückenzuschlag	0,035
----------------------	-------

Die Lüftungswärmeverluste werden gemäß folgender Gleichung berechnet:

$$Q_L = 0,34 \, n \, V \times GTZ \times 24 \div 1000$$

Formel 2: Berechnung der Lüftungswärmeverluste

Der Faktor 0,34 ergibt sich dabei aus den normierten Werten für Dichte und spezifische Wärmekapazität von Luft. Die Luftwechselrate n wird gemäß den in der DIN 4108-6 und DIN V 18599-2 für das vereinfachte Berechnungsverfahren üblichen Annahmen mit 0,5 1/h angesetzt. Das Raumvolumen V entspricht dem jeweiligen beheizten Luftvolumen in m³.

Energiebedarf für Trinkwarmwasser

Für die Bestimmung des Energiebedarfs für Trinkwarmwasser wird ein pauschaler Wert von 16 kWh/m²a angesetzt. Der Wert stammt aus Teil 10 der DIN V 18599 und ist spezifisch für den Nutzenergiebedarf für Mehrfamilienhäuser angegeben.

2.2.4. Kostenberechnung

Die Kostenberechnung erfolgt in vier Schritten:

I) Für die Auswahl der Bauweisen werden zunächst die **Kosten einzelner Bauteile** (Holzbau, Stahlbetonbau, Mauerwerksbau) miteinander verglichen. Hierfür werden Kostenkennwerte nach BKI herangezogen (BKI, 2024c).

II) Für die von der Architektur entwickelten Gebäudevarianten werden die **Konstruktionskosten** ermittelt. Die Kostenermittlung erfolgt auf Grundlage der Sirados-Datenbank, Kostendaten basierend auf „unabhängige[n] Datenerhebung[en] aus aktuellen Ausschreibungsunterlagen und Preisspiegeln aus der gesamten Bundesrepublik Deutschland“ (WEKA Media GmbH & Co. KG, 2024) anbietet. Die Kosten der einzelnen Bauteile nach Sirados-Datenbank (*Sirados Baudaten*, 2025) werden mit Bauteilkosten nach BKI (BKI, 2024a, 2024b, 2024c) verglichen. Für einzelne Bauteile erfolgt außerdem ein Abgleich mit Kostenangaben einzelner Hersteller.

Auf Basis der Bauteilkosten und der Grundrisse der Regelgeschosse der entwickelten Gebäudevarianten werden die Kosten der Baukonstruktion dieser Varianten ermittelt. Anhand der Kosten der Regelgeschosse werden die Kosten der Gebäudevarianten ermittelt. Tabelle 6 stellt die bei der Kostenberechnung berücksichtigten Elemente dar.

Tabelle 6: Berücksichtigte Elemente bei der Kostenermittlung der Kostengruppe 300 Bauwerk - Baukonstruktion

Nr.	Kostengruppe	Berücksichtigte Elemente
310	Baugrube/Erdbau	-
320	Gründung, Unterbau	Flachgründungen und Bodenplatten (322)
330	Außenwände/Vertikale Baukonstruktionen, außen	Außenwände (331, 332), Außenwandöffnungen (334), Außenwandbekleidungen (335, 336)
340	Innenwände/Vertikale Baukonstruktionen, innen	Innenwände (341, 342), Innenwandöffnungen (344), Innenwandbekleidungen (345)
350	Decken/Horizontale Baukonstruktionen	Deckenkonstruktionen (351), Deckenöffnungen (352), Deckenbeläge (353), Deckenbekleidungen (354)
360	Dächer	Dachkonstruktionen (361), Dachbeläge (363), Dachbekleidungen (364)
370	Infrastrukturanlagen	-
380	Baukonstruktive Einbauten	Sanitärzellen (baukonstruktiver Anteil) (389)
390	Sonstige Maßnahmen für Baukonstruktionen	-

III) Um die **Kosten des Gesamtprojektes** abzuschätzen, werden die in **II)** nicht berücksichtigten Kostengruppen anhand von Kostendaten des BKI (2024a) abgeschätzt. Die Annahmen sind in Tabelle 7 dargestellt. Die Kosten für das Grundstück (KG 100) sowie für Außenanlagen und Freiflächen (KG 500) werden vernachlässigt, da sie projektspezifisch variieren. Da keine detaillierte Planung der Tiefgarage erfolgt ist, erfolgt in **III)** eine Abschätzung der Kosten für die Baugrube/Erdbau (KG 310) sowie für die Konstruktion (KG 300 – TG) und die technischen Anlagen (KG 400 – TG) der Tiefgarage.

Tabelle 7: Kostenannahmen aller Kostengruppen für die Berechnung der Gesamtprojektkosten der Gebäudevarianten

KG	Element	Preis (brutto)		Quelle
100	Grundstück	nicht berücksichtigt		
200	Vorbereitende Maßnahmen	75	€/m² GF	Annahme DGJ
310	Bauwerk - Baugrube/Erdbau	60	€/m² BGI	BKI ²
300	Bauwerk - Konstruktion	Detaillierte Berechnung aus II)		
300+400	Bauwerk - Tiefgarage	1024 29775	€/m² BGF €/Stellplatz	BKI ^{1,3}
400	Bauwerk - Technische Anlagen	320	€/m² BGF	BKI ²
500	Außenanlagen & Freiflächen	nicht berücksichtigt		
600	Ausstattung und Kunstwerke	5	€/m² BGF	BKI ²

700	Baunebenkosten	329	€/m ² BGF	BKI ²
700	Baunebenkosten Tiefgarage	248 7194	€/m ² BGF €/Stellplatz	BKI ^{1,3}

¹ Kostenkennwerte für Tiefgaragen (BKI, 2024a)

² Kostenkennwerte für Mehrfamilienhäuser mit 20 oder mehr WE, einfacher Standard (BKI, 2024a)

³ Annahme: 29,1 m²/Stellplatz

IV) Kosten im Betrieb für Heizung und Warmwasser

Anhand der Ergebnisse der thermischen Simulation (in kWh/a) werden die Kosten für Heizung und Warmwasser im Betrieb ermittelt. Hierbei werden zwei Fälle untersucht:

Zum einen wird der Warmwasser- und Heizwärmebedarf durch eine Wärmepumpe gedeckt. Der Strompreis in Ludwigsburg wird hierbei mit durchschnittlich 29,1 ct/kWh angesetzt.

Zum anderen wird eine Alternative betrachtet, bei der das Gebäude künftig mit Fernwärme versorgt wird. Die Kosten der Fernwärme in Ludwigsburg Eglosheim setzen sich aus folgenden Positionen zusammen (Stadtwerke Ludwigsburg, 2025, s. Anhang C):

- Jahresgrundpreis (gestaffelt nach kW, €/kW)
- Jahresverrechnungspreis (gestaffelt nach kW, €/Jahr)
- Arbeitspreis (Cent/kWh)
- CO₂-Preis (Cent/kWh)
- Gasumlagenpreis (Cent/kWh)

Für alle Gebäudevarianten werden die Dächer so dimensioniert, dass eine PV-Anlage installiert werden kann. Es wird angenommen, dass 90 % der Dachfläche mit PV-Modulen bedeckt werden. Der Preis der PV-Anlage mit einer Leistung von 1,5 kWp und 9 m² wird mit 4295,3 €/St bzw. 357,9 €/m² angenommen (*Sirados Baudaten*, 2025). Mit einer Lebensdauer von 30 Jahren wird die PV-Anlage im Laufe des Betrachtungszeitraums von 50 Jahren einmalig ausgetauscht. Bei PV-Anlagen auf Mehrparteienhäusern lässt sich mit der EEG-Förderung eine Volleinspeisung vereinbaren. Der Einspeisepreis ist bei Volleinspeisung höher, wobei dabei nicht unmittelbar Stromkosten gespart werden können. Die Einspeisevergütung für neue PV-Anlagen bei Volleinspeisung liegt bei Inbetriebnahme ab dem 01. August 2025 bei 10,45 ct/kWh. (Gießel, 2025)

Abschätzung der Mieteinnahmen

Für die Berechnung der Mietpreise wird der Mietspiegel 2025 der Stadt Ludwigsburg als Grundlage herangezogen (Stadt Ludwigsburg, 2025a). In Abbildung 17 ist der Mietpreis pro m² nach dem Mietspiegel dargestellt; dieser ist von der Netto-Wohnfläche

abhängig. Zusätzlich werden Wohnungsmerkmale im Mietpreis berücksichtigt, die in Abbildung 9 nicht dargestellt sind. Die Mieteinnahmen werden für die Auswertung über einen Zeitraum von 25 Jahren betrachtet. Dabei wird ein durchschnittlicher Zinssatz von 2 % angesetzt.

Baujahr	vor 1919	1919 bis 1948	1949 bis 1974	1975 bis 1984	1985 bis 1994	1995 bis 2000	2001 bis 2005	2006 bis 2010	2011 bis 2015	2016 bis 2018	ab 2019
Wohnfläche in Quadratmetern*)	Euro pro Quadratmeter										
25 - < 30**)	14,83	14,09	14,35	15,19	15,86	16,52	17,03	17,54	18,09	18,55	18,98
30 - < 35	13,35	12,69	12,91	13,68	14,29	14,88	15,34	15,80	16,29	16,70	17,09
35 - < 40	12,37	11,76	11,98	12,67	13,24	13,79	14,21	14,64	15,09	15,48	15,84
40 - < 45	11,71	11,13	11,33	12,00	12,53	13,05	13,46	13,85	14,29	14,65	14,99
45 - < 50	11,26	10,70	10,89	11,53	12,05	12,54	12,93	13,32	13,73	14,08	14,40
50 - < 55	10,94	10,41	10,59	11,21	11,71	12,20	12,57	12,95	13,35	13,70	14,01
55 - < 60	10,74	10,21	10,39	11,00	11,50	11,96	12,34	12,70	13,10	13,43	13,74
60 - < 70	10,56	10,04	10,22	10,82	11,29	11,76	12,12	12,49	12,88	13,21	13,51
70 - < 80	10,46	9,95	10,12	10,72	11,20	11,67	12,03	12,38	12,76	13,09	13,40
80 - < 90	10,47	9,95	10,13	10,73	11,21	11,68	12,03	12,39	12,77	13,10	13,40
90 - < 120	10,64	10,11	10,29	10,90	11,39	11,86	12,23	12,59	12,98	13,32	13,63
120 - 150	10,68	10,14	10,33	10,93	11,42	11,89	12,26	12,62	13,02	13,36	13,66

*) Bei der Verwendung der Grenzen der Wohnflächenklassen gilt die kaufmännische Rundung auf die zweite Nachkommastelle.
 **) Quadratmetermieten unterhalb der vorgegebenen Grenzen dienen nur zu Orientierungszwecken und sind nicht Teil des qualifizierten Mietspiegels. Zum Zeitpunkt der Datenerhebung lagen nicht ausreichend viele Beobachtungen von Mietwohnungen vor, welche eine statistisch valide Aussage zulassen.

Abbildung 17: Mietspiegel der Stadt Ludwigsburg aus dem Jahr 2025 ohne Berücksichtigung der Wohnungsmerkmale (Stadt Ludwigsburg, 2025a)

2.2.5. Lebenszyklusanalyse (LCA)

Die Analyse der ökologischen Nachhaltigkeit erfolgt in drei Schritten:

I) Zunächst erfolgt eine **ökologische Betrachtung auf Bauteilebene**, die als Grundlage für die Auswahl der Bauweise (Mauerwerksbau, Massivholzbau, Holztafelbau, Stahlbetonbau) dient. Hierfür werden LCAs verschiedener Bauteile miteinander verglichen. Es wird der Cradle-to-grave-with-options-Ansatz gewählt, wobei die Herstellung der Komponenten (Module A1 bis A3), der Austausch (Modul B4), der Rückbau (Module C1 bis C4) untersucht werden. Der Untersuchungsrahmen auf Bauteilebene umfasst nur das Bauteil selbst mit einer funktionellen Einheit von 1 m² Bauteilfläche. Die Berechnung erfolgt mithilfe der Datenbank ÖkobaDat (BMWSB, 2023g) nach DIN EN 15804:2022-03. Für die Untersuchung der Umweltwirkung im Kontext des Klimawandels wird das Treibhauspotenzial (engl. Global Warming Potential, GWP) und für die Bewertung des

Ressourceneinsatzes der Einsatz nicht erneuerbarer Primärenergie, die als Energiequelle genutzt wird (PENRE), betrachtet.

II) Die Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit auf Gebäudeebene erfolgt mithilfe von LCAs der betrachteten Gebäudevarianten. Das Ziel der durchgeführten LCAs ist es, den Einfluss der Gebäudekubatur auf die Umweltbilanz der Gebäude zu bewerten und ökologisch vorteilhafte Varianten hervorzuheben. Der Untersuchungsrahmen umfasst die gesamte Konstruktion, einschließlich der Tiefgarage, jedoch ohne die technische Gebäudeausstattung. Die funktionelle Einheit der Ökobilanzierung ist die Bereitstellung eines m^2 NRF(R) über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren. Der Bezug auf einen Quadratmeter NRF nach DIN 277:2021-08 richtet sich nach den Regelungen des QNG (BBSR, 2024). Die Nutzungsdauern der Bauteile wird der Tabelle „Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach BNB“ entnommen (BMWSB, 2025a). Hierbei wird eine Äquivalenz der Wohnqualität hinsichtlich bauphysikalischer Parameter angestrebt.

III) Energieeinsatz für den Betrieb

Für ausgewählte Gebäudevarianten wird neben den oben genannten Modulen auch der Energieverbrauch im Betrieb (Modul B6) auf Grundlage der Ergebnisse der thermischen Simulation bilanziert. Analog zur Kostenberechnung werden zwei Fälle betrachtet. Bei der Verwendung einer Wärmepumpe werden die Umweltwirkungen anhand der Ökobaudat-Datensätze eines Strommixes für 2030, für 2040 und für 2050 ermittelt (BMWSB, 2023d, 2023e, 2023f). Bei der Versorgung durch Fernwärme wird ein durchschnittlicher Datensatz für Fernwärme in Deutschland verwendet (BMWSB, 2023a).

Auch der ökologische Vorteil einer PV-Anlage wird quantifiziert. Die Emissionen der Herstellung der PV-Anlage wird mit den jährlich eingesparten Emissionen verglichen. Für die Untersuchung wird ein Datensatz gewählt, der ein Mittel der PV-Technologien abbildet (BMWSB, 2023b). Die tatsächlichen Emissionen der Herstellung einer PV-Anlage hängen stark vom gewählten Konvektortyp ab, weshalb die durchgeführte Berechnung nur als Anhaltspunkt dient.

Einordnung der Ökobilanzergebnisse

Die ermittelten Ökobilanzen werden mit den deutschen QNG-Grenzwerten sowie den dänischen gesetzlichen Vorgaben verglichen. Um den Status QNG-PLUS zu erfüllen, dürfen die Treibhausgasemissionen im Gebäudelebenszyklus $24 \text{ kg CO}_2 \text{ Äq.}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ nicht überschreiten (BMWSB, 2025b). Die Anforderungen aus Dänemark gelten im europäischen Vergleich als besonders streng, weshalb eine Untersuchung von Interesse

ist. In Dänemark wurden infolge der Veröffentlichung des BR18 verpflichtende CO₂-Grenzwerte für alle Neubauten eingeführt. Seit 2023 dürfen demnach Gebäude über 1000 m² einen Grenzwert von 12 kg CO₂ Äq./ (m²*a) nicht überschreiten (BR18, Version 2023, § 298). (Dänische Sozial- und Wohnungsbaubehörde, 2023a) Der dänische Grenzwert bezieht sich hierbei auf einen Quadratmeter „Reference Floor Area“ (RFA) (Tozan et al., 2024). Die Ergebnisse der Ökobilanzierungsstudie werden hinsichtlich der Grenzwerte nach QNG und BR18 eingeordnet.

3. Ergebnisse der Arbeitspakete

3.1. Arbeitspaket 1: Grundriss- und Gebäudetypologienuntersuchung

3.1.1. Städtebauliche Setzung, Gebäudeform und -tiefe

Die zentrale Hypothese des Forschungsprojekts ist, dass bei den derzeit diskutierten Vereinfachungen und Optimierungen des Wohnungsbaus der Einfluss der städtebaulichen Grundform des Gebäudes zu wenig berücksichtigt wird. Die Grundform des Gebäudes, insbesondere die Gebäudetiefe, haben einen entscheidenden Einfluss auf die Effizienz und die Kosten der Gebäude. Mit steigender Gebäudetiefe verbessert sich das A/V-Verhältnis des Gebäudes. Da die Gebäudehülle der teuerste Teil der Baukonstruktion ist und zugleich für die Wärmeverluste entscheidend ist, wirkt sich diese Optimierung sowohl auf die Bau- und Lebenszykluskosten als auch auf die CO₂-Emissionen positiv aus. Im Hinblick auf diese Optimierung wird versucht, die Gebäudetiefe zu erhöhen. Daraus ergeben sich zwei Herausforderungen:

- Bei den vorgegebenen Wohnungsgrößen, die in Hinblick auf die absoluten Mietkosten möglichst klein gehalten werden sollen, entstehen bei tieferen Gebäuden immer schmalere und tiefere Zimmer und Wohnungen.
- Die Belichtung der tieferen Grundrisse wird mit zunehmender Gebäudetiefe schwieriger.

In der Studie werden deswegen unterschiedliche Erschließungstypen (Laubengang, Mittelflur, Spänner) und unterschiedliche Grundraster entwickelt und im Hinblick auf die Funktionalität der Grundrisse, Belichtung und Belüftung verglichen.

3.1.1. Variante Laubengang

Laubengange-Gebäude werden in den letzten Jahren immer wieder umgesetzt. Sie versprechen eine Reduktion der Baukosten durch die Auslagerung der Erschließungsfläche in kostengünstig herzustellende außenliegende Konstruktionen, die nicht beheizt werden müssen. Ein Nachteil der Laubengangtypen ist jedoch, dass die Erschließung vor den Wohnungen erfolgt und damit die Privatsphäre der Bewohnerschaft beeinträchtigen kann. Im Zusammenhang mit den größeren untersuchten Gebäudetiefen ergibt sich der Nachteil, dass die Belichtung weiter verschlechtert wird. In der Studie

werden zwei Varianten mit unterschiedlichen Rastermassen und Gebäudetiefen untersucht:

Laubengang R 2.8, Gebäudetiefe 16,3 m

Untersucht werden eine Laubengangerschließung mit einer Rasterbreite von 2,8 m (schmalere Rastervariante). Der Laubengang ist entlang der oberen Blattkante des Plans angeordnet und dient als Zugang zu den Wohnungen. In dieser Konfiguration ergeben sich vergleichsweise schmale Zimmerproportionen; funktional erscheint die Nutzung jedoch weiterhin plausibel. Mit zunehmender Rasterbreite verbessert sich die Grundrissorganisation insgesamt, sodass die Realisierung mit Breiten im Bereich gängiger Standardmaße für Wohngrundrisse keine besonderen Schwierigkeiten berechnen.

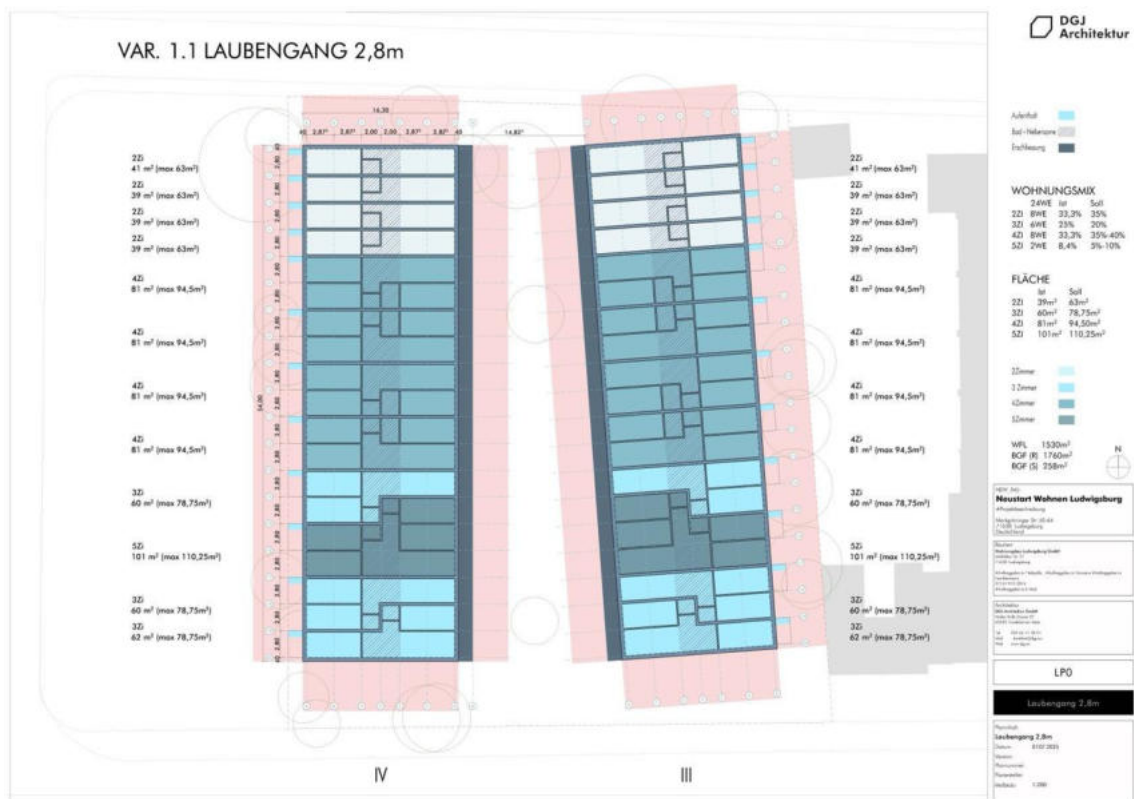


Abbildung 18: Laubengang R 2.8, Gebäudetiefe 16,3 m, Grundrisse gesamtes Grundstück ohne Maßstab.



Abbildung 19: Laubengang R 2.8, Gebäudetiefe 16,3 m, Grundrisse Wohnungen.

Für die Typologie des Mittelflurs bei großer Gebäudebreite tritt in der vorliegenden Konstellation eine Überlagerung der Abstandsflächen benachbarter Baukörper auf. Diese werden baurechtlich durch die Ausbildung eines Verbindungsstegs gelöst, der die bislang getrennten Baukörper zu einem rechtlich als einheitliches Gebäude zu betrachtenden Volumen zusammenfasst und damit die Einhaltung der Abstandsflächen zwischen den vormals separaten Gebäuden entbehrlich macht. Zugleich deutet die Konstellation darauf hin, dass an den betreffenden Stellen die Belichtungsbedingungen (Tageslichtversorgung) kritisch sein können.

In der hier betrachteten Variante wird auf den Zugang zum Schlafzimmer über das Wohnzimmer verzichtet; eine entsprechende Lösung wird erst bei sehr schlanken Typologien erprobt.

Laubengang R 3.2, Gebäudetiefe 12,8 m

Eine Vergrößerung der Rasterbreite auf 3,2 m verbessert die Möblierbarkeit führt aber im Hinblick auf die Effizienz der Gebäude und die Ausnutzung des Grundstücks zu eher durchschnittlichen Werten.

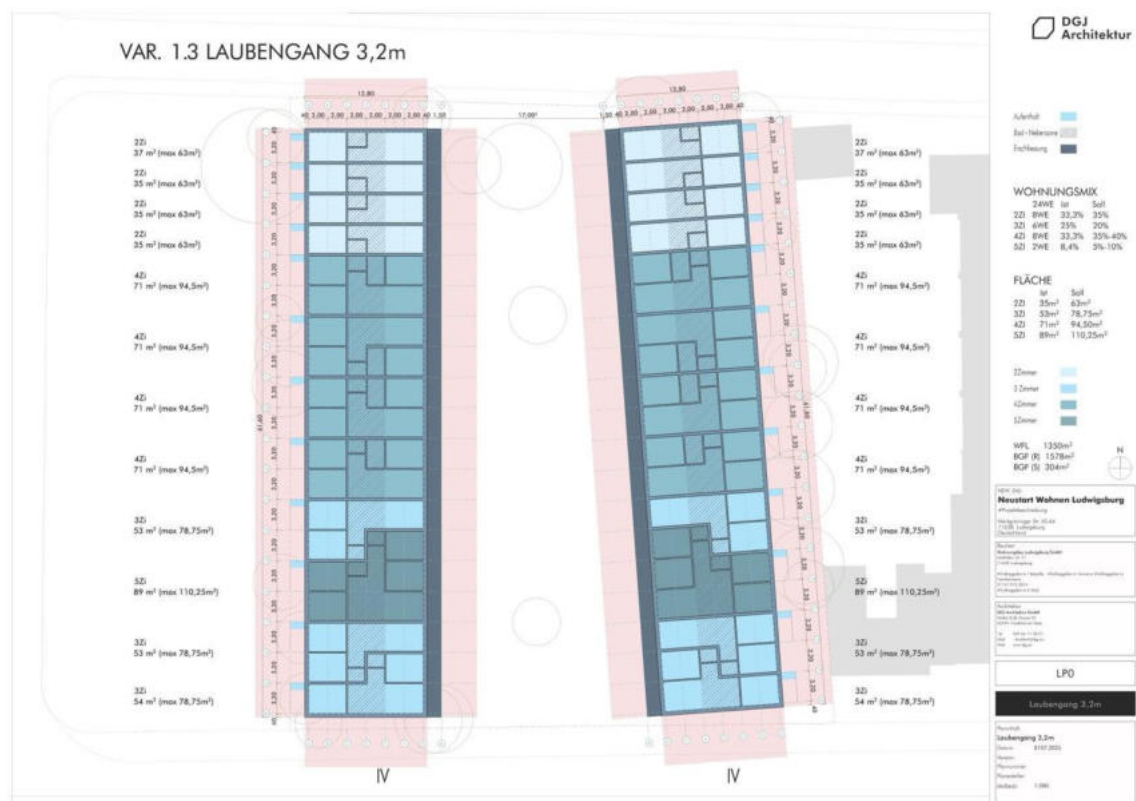


Abbildung 20: Laubengang R 3.2, Gebäudetiefe 12,8 m, Grundrisse gesamtes Grundstück ohne Maßstab.



Abbildung 21: Laubengang R 3.2, Gebäudetiefe 12,8 m, Grundrisse Wohnungen.

3.1.2. Variante Mittelflur

Mittelflur R 2.8, Gebäudetiefe 19,3 m

Es werden verschiedene Mittelflur-Varianten untersucht, die sich in Gebäudetiefe und Rastermaß unterscheiden. Durch die große Gebäudetiefe entstehen im inneren Teil des Gebäudes Räume, die nicht als Aufenthaltsräume nutzbar sind, aber für die Nebenfunktionen der Wohnungen genutzt werden: Flure, Bäder, Küchen und Abstellräume. Diese Zonierung erlaubt eine Gebäudetiefe bis zu 20 m.

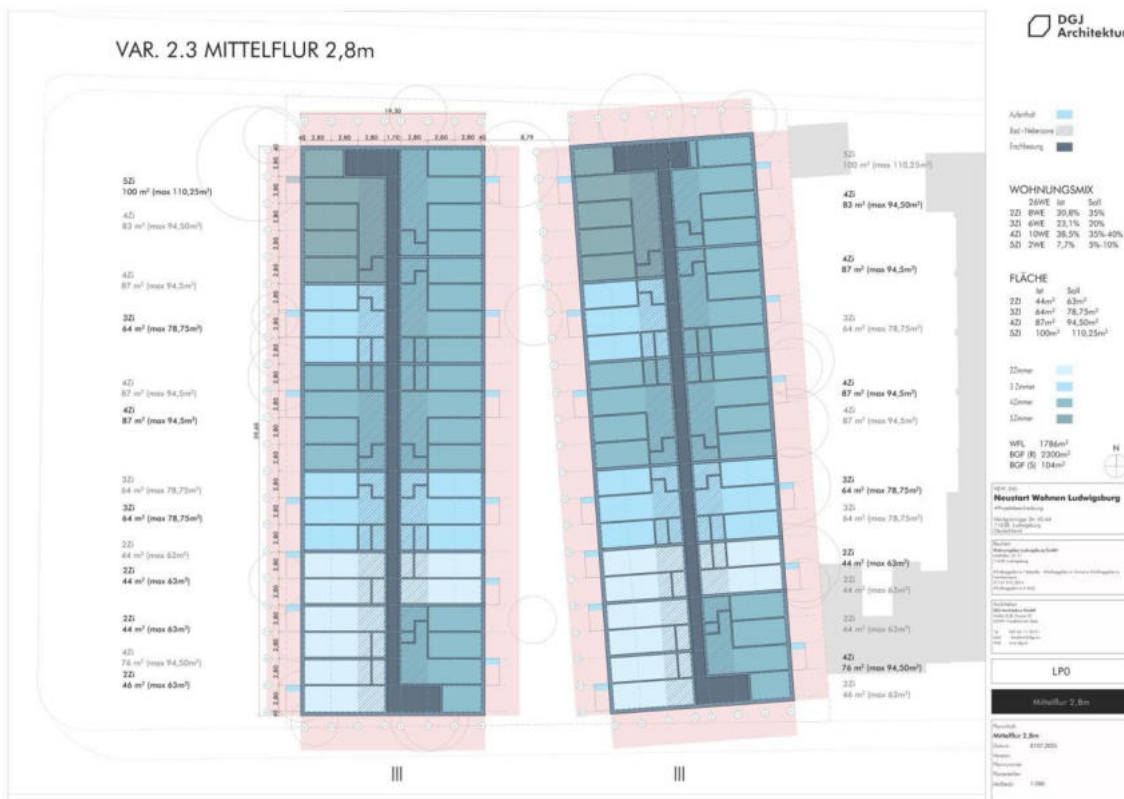


Abbildung 22: Mittelflur R 2.8, Gebäudetiefe 19,3 m, Grundrisse gesamtes Grundstück ohne Maßstab.

Der Mittelflur ermöglicht eine Belichtung an beiden Gebäudeenden. Aufgrund der Gebäudelänge von 50 m ist aber davon auszugehen, dass die räumliche Wirkung des Mittelflurs ungünstig ist und eine Orientierung schwierig ist. Die Zimmergrößen und Möblierung der Wohnungen entsprechen bei einer Rasterbreite von 2,8 m üblichen Standards im kostengünstigen Wohnungsbau.



Abbildung 23: Mittelflur R 2.8, Gebäudetiefe 19,3 m, Grundrisse Wohnungen.

Belichtung des Mittelflurs

Im Unterschied zu der Mittelflur-Variante sind bei dem Spänner die innenliegenden Erschließungsräume nicht seitlich an die Fassade geführt. Um eine natürliche Belichtung zu ermöglichen und die Orientierung zu verbessern, werden kleine Atrien geplant, die über Oberlichter belichtet und belüftet werden können. Als Referenz diente ein Gebäude in Berlin von HeidevonBeckerath.



Abbildung 24: Referenz: Blumenmarkt Berlin; Architects: ifau, Heide & von Beckerath Berlin, Germany 2012-2018; (Foto: Andrew Alberts).

3.1.3. Spänner

Für die Spänner werden insgesamt drei Varianten ausgearbeitet:

- *Spänner R 2.3*, Gebäudetiefe 18 m
- *Spänner R 2.5*, Gebäudetiefe 16,8 m
- *Spänner R 2.8*, Gebäudetiefe 16,2 m

Grundsätzlich ist anzumerken, dass es sich nicht um eine klassische Spänner-Typologie handelt, bei der direkt an einen Treppenraum eine Anzahl von Wohnungen angeschlossen werden. Vielmehr wird ein langgestreckter Flur mit der Treppe kombiniert, weshalb die Typologie auch Aspekte eines innenliegenden Mittelflurs aufweist. Die Variante hat eine hohe Effizienz, die sich im Verhältnis WFL/BGF (R) zwischen 76 % und 78 % zeigt.

Ausgehend von einer untersuchten Rasterbreite von 2,3 m werden zusätzlich Varianten mit 2,5 m und 2,8 m modelliert und gezeichnet. Durch die Variation der Rasterbreite wird das Gebäude in der hier gewählten Setzung jeweils geringfügig schmaler.

Die Wohnungstypologien werden exemplarisch aufbereitet, einschließlich einer sehr schlanken Variante, um das Spektrum der Grundrissmöglichkeiten sichtbar zu machen. In dieser schmalen Konfiguration ist die Erschließung des Schlafzimmers über das Wohnzimmer funktional erforderlich, insbesondere um eine beidseitige Zugänglichkeit des Bettes sicherzustellen.

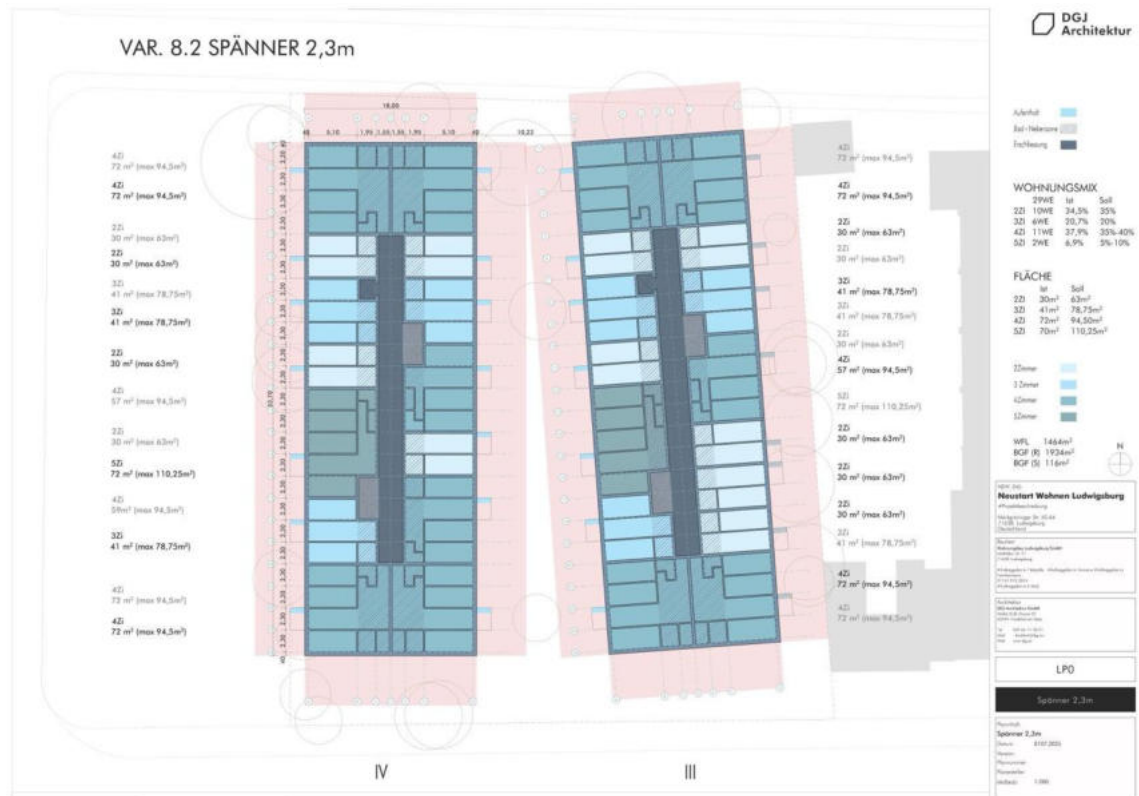


Abbildung 25: Spänner R 2.3, Gebäudetiefe 18 m, Grundrisse gesamtes Grundstück ohne Maßstab.

Beim Spänner wird auch eine Variante mit einer geringen Raumbreite von 2,3 m entwickelt. Diese hat den Nachteil, dass die Zimmer sehr schmal werden, so dass zum Beispiel das Schlafzimmer mit Doppelbett nur mit zwei Türen links und rechts erschlossen werden kann.



Abbildung 26: *Spänner R 2.3*, Gebäudetiefe 18 m, Grundrisse Wohnungen.

Auch das Rastermaß 2,5 m führt zu schmalere Zimmern und der Doppel-Erschließung des Schlafzimmers.

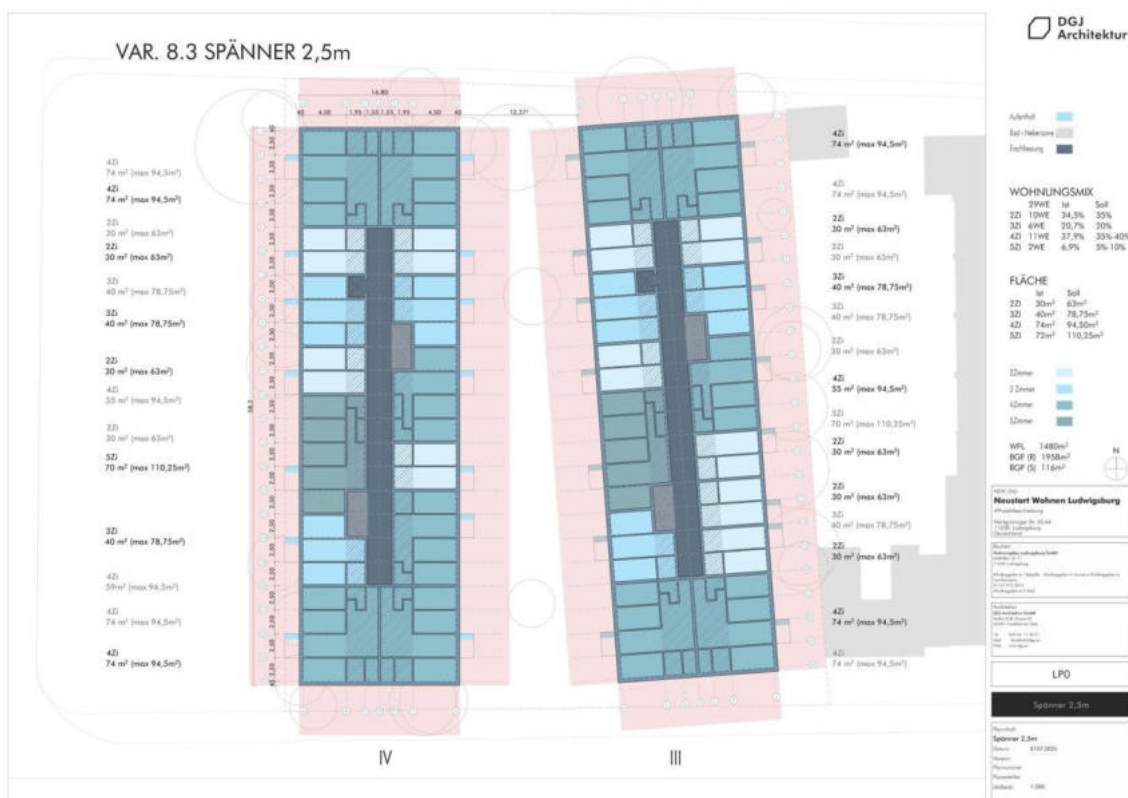


Abbildung 27: Spänner R 2.5, Gebäudetiefe 16,8 m, Grundrisse gesamtes Grundstück ohne Maßstab.



Abbildung 30: Spänner R 2.8, Gebäudetiefe 16,2 m, Grundrisse Wohnungen.

3.1.4. Hofhaus

Wenn die Gebäudetiefe über 20 m liegt, sind die innenliegenden Bereiche über Höfe (Außenraum) und Atrien (überdacht mit Glasdach) zu belichten und zu belüften. Auch hier werden Varianten entwickelt mit einer Gebäudetiefe von 36,8 m. Der Vorteil des Atriums ist das optimale A/V Verhältnis von 0,26. Nachteil ist, dass die an das Atrium angrenzenden Räume normativ als innenliegende Räume gelten, die maschinell belüftet werden müssten. Auch ist die Entrauchung des Atriums im Brandfall nur mit technischem Aufwand sicher zu stellen.

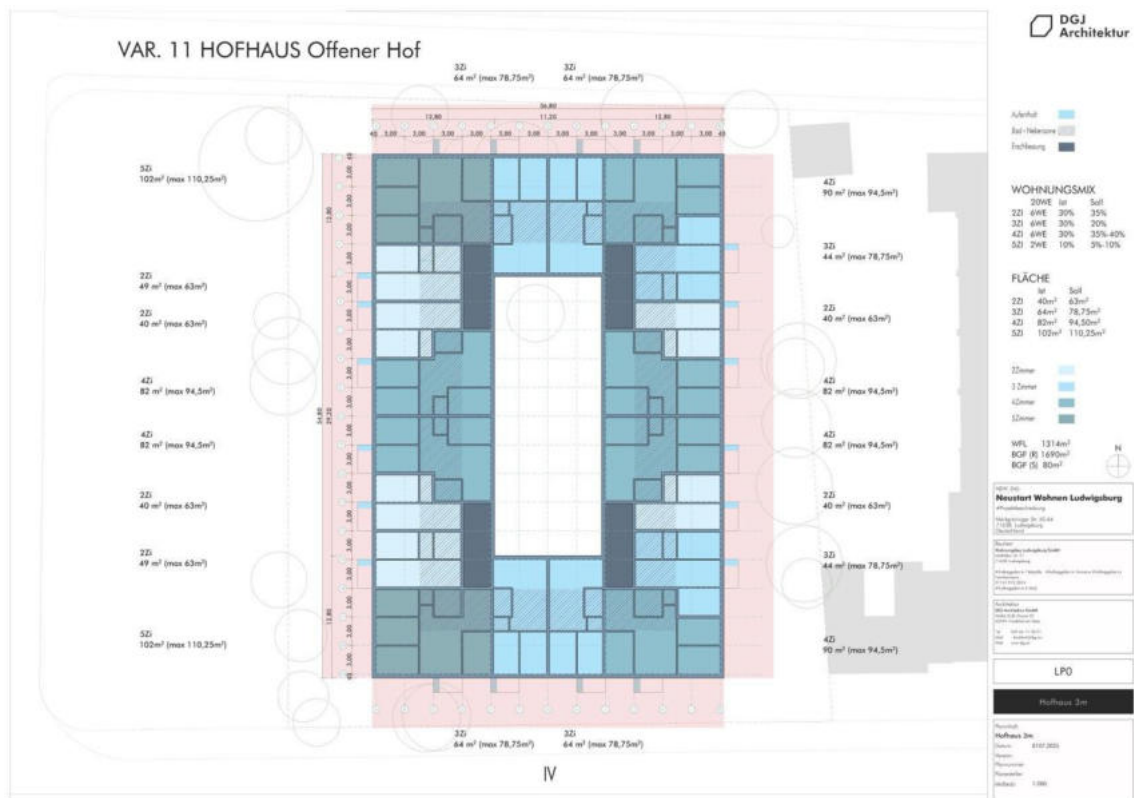


Abbildung 31: Hofhaus, Grundrisse gesamtes Grundstück ohne Maßstab.



Abbildung 32: Hofhaus, Grundrisse Wohnungen.

3.1.5. Vergleich der Varianten

Die Varianten werden in Hinblick auf die gebäudekundlichen Kenndaten quantitativ verglichen.

Tabelle 8: Variantenübersicht und gebäudekundliche Kennwerte, DGJ Architektur GmbH, 2025.

Neustadt wohnen – Ludwigsburg Variantenvergleich							
Erschließungssystem	1.1 LAUBENGANG 2,5m	1.3 LAUBENGANG 3,2m	2.3 MITTELFUR 2,8m	8.2 SPANNER 2,3m	8.3 SPANNER 2,5m	8.4 SPANNER 2,8m	11 HOFHAUS Offener Hof
Diagramm							
Allgemeine Gebäudeinformationen							
Geschossigkeit	3,5	4	3	3,5	3,5	3,5	4
Gebäudetiefe	16,3 m	12,8 m	19,3 m	18,0 m	16,8 m	16,2 m	36,8 m
Gebäuelänge	54,0 m	61,6 m	59,6 m	53,7 m	58,3 m	59,6 m	54,8 m
Geschosshöhe	2,9 m	2,9 m	2,9 m	2,9 m	2,9 m	2,9 m	2,9 m
Raster	2,8 m	3,2 m	2,8 m	2,3 m	2,5 m	2,8 m	3,0 m
Städtebauliche Kennwerte							
GRZ	0,50	0,45	0,65	0,55	0,55	0,55	0,48
GFZ	1,74	1,79	1,95	1,91	1,94	1,91	1,91
Gebäudeflächen und Effizienz							
BGF (R) / Geschoss	1760,0 qm	1580,0 qm	2300,0 qm	1934,0 qm	1958,0 qm	1932,0 qm	1690,0 qm
BGF (S) / Geschoss	240,0 qm	270,0 qm	77,0 qm	90,0 qm	98,0 qm	96,0 qm	117,0 qm
WFL / Geschoss	1530,0 qm	1356,0 qm	1786,0 qm	1464,0 qm	1480,0 qm	1464,0 qm	1314,0 qm
WFL/BGF (R)	86,93%	85,44%	77,65%	75,70%	75,59%	75,78%	77,75%
BGF (R) insg	6160,0 qm	6320,0 qm	6900,0 qm	6769,0 qm	6853,0 qm	FALSE	6760,0 qm
WFL insg	5355,0 qm	5400,0 qm	5358,0 qm	5124,0 qm	5180,0 qm	5124,0 qm	5256,0 qm
A/V	0,32	0,34	0,31	0,31	0,32	0,33	0,33

Um die Vergleichbarkeit der Varianten herzustellen, werden die Varianten im Hinblick auf die Wohnfläche möglichst ähnlich entwickelt:

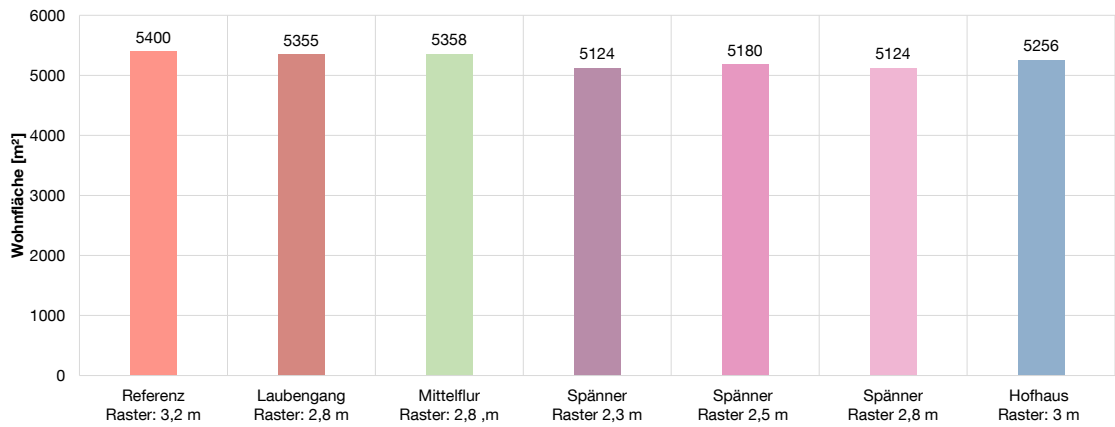
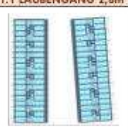
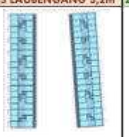
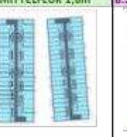
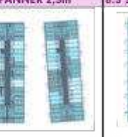
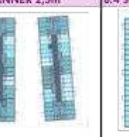
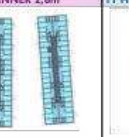


Abbildung 33: Variantenvergleich Wohnfläche, DGJ Architektur GmbH, 2025.

Im Hinblick auf den städtebaulichen Kontext des Grundstücks in Ludwigsburg wird festgelegt, dass alle Varianten eine vergleichbare bauliche Dichte von ca. 1,9 aufweisen.

Aufgrund dieser Annahme und der unterschiedlichen Grundflächen der Gebäudehülle wird die Geschosshöhe in einem oder beiden Riegeln angepasst, um die Wohnfläche vergleichbar zu halten.

Tabelle 9: Variantenvergleich GFZ und Geschossigkeit, DGJ Architektur GmbH, 2025.

Neustadt wohnen – Ludwigsburg Variantenvergleich							
Erschließungssystem	1.1 LAUBENGANG 2,8m	1.3 LAUBENGANG 3,2m	2.3 MITTELFUR 2,8m	8.2 SPANNER 2,3m	8.3 SPANNER 2,5m	8.4 SPANNER 2,8m	11 HOFHAUS Offener Hof
Diagramm							
Allgemeine Gebäudeinformationen							
GRZ	0,50	0,45	0,65	0,55	0,55	0,55	0,48
GFZ	1,74	1,79	1,95	1,91	1,94	1,91	1,91
Geschossigkeit	3,5	4	3	3,5	3,5	3,5	4

Vergleich der Gebäudetiefen zeigt, dass die innenliegende Erschließung größere Gebäudetiefen ermöglicht:

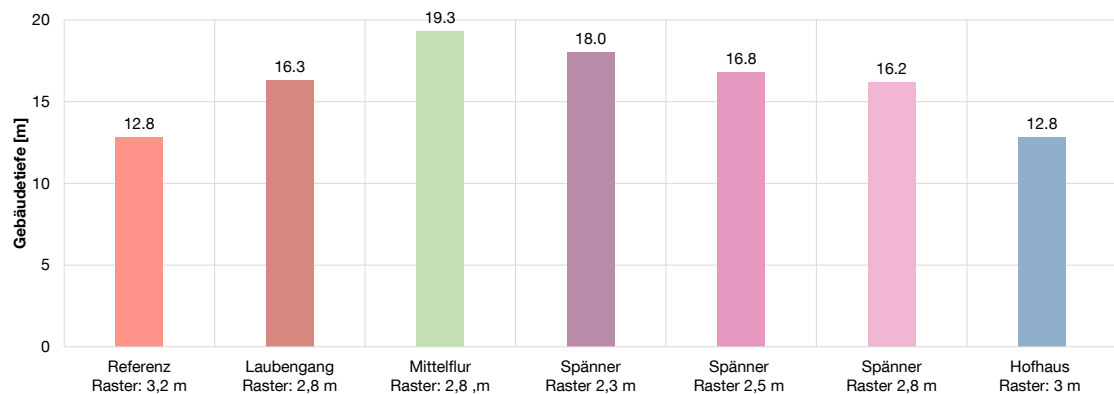


Abbildung 34: Variantenvergleich der Gebäudetiefen, DGJ Architektur GmbH, 2025.

Die Effizienz der Grundrisse wird anhand des Verhältnisses von Wohnfläche (WFL) zur Regel-Bruttogeschossfläche (BGF(R)) ermittelt. Die Varianten liegen alle um die 76 %, bis auf die Laubengänge. Hier erklärt sich die Abweichung aus der Tatsache, dass die Erschließung nicht in die Regel-Bruttogeschossfläche (BGF(R)) sondern als Sonder-Bruttogeschossfläche (BGF(S)) gilt.

Tabelle 10: Wohnfläche pro Geschoss, Gesamtwohnfläche, Effizienz

Variante	WFL/Geschoss (qm)	WFL insgesamt (qm)	BGF (R)/Geschoss (qm)	WFL/BGF (R) (%)
Referenz	1.350	5.400	1.580	85,44
Laubengang R 2.8	1.530	5.355	1.760	86,93
Mittelflur R 2.8	1.786	5.358	2.300	77,65
Spanner R 2.3	1.464	5.124	1.934	75,70
Spanner R 2.5	1.480	5.180	1.958	75,59

Spänner R 2.8	1.464	5.124	1.932	75,78
Hofhaus	1.314	5.256	1.690	77,75

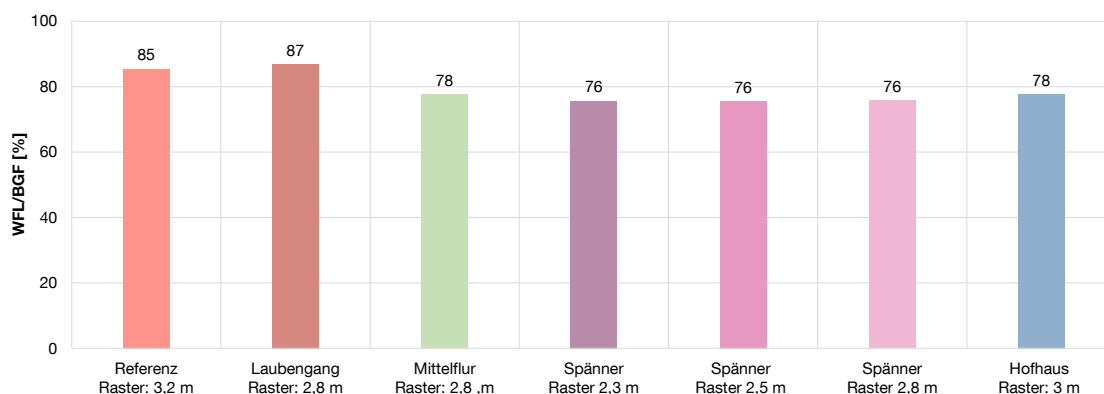


Abbildung 35: Variantenvergleich der Flächeneffizienz, DGJ Architektur GmbH, 2025.

In der Optimierung der Grundrisse wird versucht, die Wohnungsgrößen zu reduzieren bei gleicher Anzahl der Zimmer (Ziel: kleine Wohnungen mit vielen Zimmern). Deswegen wird im Vergleich der Varianten untersucht, inwieweit die maximalen Wohnungsgrößen der Landes-Förderrichtlinie für die jeweilige Zimmeranzahl unterschritten werden. Auch wird die durchschnittlichen Wohnungsgrößen ermittelt, wobei der Wohnungsmix annähernd gleich ist bei allen Varianten. Die Spänner zeigen hier das beste Ergebnis, indem die Wohnungen im Durchschnitt am kleinsten sind.

Neustadt wohnen – Ludwigsburg Variantenvergleich								
Erschließungssystem	1.1 LAUBENGANG 2,8m	1.3 LAUBENGANG 3,2m	2.3 MITTELFILUR 2,8m	8.2 SPANNER 2,3m	8.3 SPANNER 2,5m	8.4 SPANNER 2,8m	11 HOFHAUS Offener Hof	
Diagramm								
Wohnungsgröße								
2 Zi								
max. 47,25qm Soll 35%	39,0 qm	35,0 qm	44,0 qm	30,0 qm	30,0 qm	33,0 qm	40,0 qm	
2 Zi maximale Fläche	63,00 qm	63,00 qm	63,00 qm	63,00 qm	63,00 qm	63,00 qm	63,00 qm	
Differenz	-24,0 qm	-28,0 qm	-19,0 qm	-33,0 qm	-33,0 qm	-30,0 qm	-23,0 qm	
Differenz prozentual	62%	56%	70%	48%	48%	52%	63%	
3 Zi								
max. 63qm Soll 20%	60,0 qm	53,0 qm	64,0 qm	44,0 qm	45,0 qm	49,0 qm	64,0 qm	
3 Zi maximale Fläche	78,75 qm	78,75 qm	78,75 qm	78,75 qm	78,75 qm	78,75 qm	78,75 qm	
Differenz	-18,8 qm	-25,8 qm	-14,8 qm	-34,8 qm	-33,8 qm	-29,8 qm	-14,8 qm	
Differenz prozentual	76%	153000%	81%	56%	57%	62%	81%	
4 Zi								
max. 78,75qm Soll 35% - 40%	81,0 qm	71,0 qm	87,0 qm	72,0 qm	74,0 qm	78,0 qm	82,0 qm	
4 Zi maximale Fläche	94,25 qm	94,25 qm	94,25 qm	94,25 qm	94,25 qm	94,25 qm	94,25 qm	
Differenz	-13,3 qm	-23,3 qm	-7,3 qm	-22,3 qm	-20,3 qm	-16,3 qm	-12,3 qm	
Differenz prozentual	86%	75%	92%	76%	79%	83%	87%	
5 Zi								
max. 95,25qm Soll: 10%	101,0 qm	89,0 qm	100,0 qm	75,0 qm	75,0 qm	81,0 qm	102,0 qm	
5 Zi maximale Fläche	110,25 qm	110,25 qm	110,25 qm	110,25 qm	110,25 qm	110,25 qm	110,25 qm	
Differenz	-9,3 qm	-21,3 qm	-10,3 qm	-35,3 qm	-35,3 qm	-29,3 qm	-8,3 qm	
Differenz prozentual	92%	81%	91%	68%	68%	73%	93%	
2 Zi								
max. 47,25qm Soll 35%	8 WE	8 WE	8 WE	10 WE	10 WE	8 WE	6 WE	
Differenz summiert 2 Zi	-192,0 qm	-224,0 qm	-152,0 qm	-330,0 qm	-330,0 qm	-240,0 qm	-138,0 qm	
3 Zi								
max. 63qm Soll 20%	6 WE	6 WE	6 WE	6 WE	6 WE	6 WE	6 WE	
Differenz summiert 3 Zi	-112,5 qm	-154,5 qm	-88,5 qm	-208,5 qm	-207,5 qm	-178,5 qm	-88,5 qm	
4 Zi								
max. 78,75qm Soll 35% - 40%	8 WE	8 WE	10 WE	11 WE	11 WE	10 WE	6 WE	
Differenz summiert 4 Zi	-106,0 qm	-186,0 qm	-72,5 qm	-244,8 qm	-227,8 qm	-167,5 qm	-73,5 qm	
5 Zi								
max. 95,25qm Soll: 10%	2 WE	2 WE	2 WE	2 WE	2 WE	2 WE	2 WE	
Differenz summiert 5 Zi	-18,5 qm	-42,5 qm	-20,5 qm	-70,5 qm	-70,5 qm	-58,5 qm	-16,5 qm	
Wohnungsanzahl pro Geschoss	24 WE	24 WE	26 WE	29 WE	29 WE	26 WE	20 WE	
Wohnfläche Ø	63,8 qm	56,3 qm	68,7 qm	50,5 qm	51,0 qm	56,3 qm	65,7 qm	
Wohnungsanzahl insg.	84 WE	96 WE	78 WE	102 WE	102 WE	91 WE	80 WE	
Differenz summiert Alle WE	-429,0 qm	-607,0 qm	-333,5 qm	-853,8 qm	-825,8 qm	-639,5 qm	-316,5 qm	

Abbildung 36: Variantenübersicht in Wohnungsgrößen und Wohnungsmix, DGJ Architektur GmbH, 2025.

Wohnungsanzahl und durchschnittliche Wohnfläche

Tabelle 11: Wohnungsanzahl und durchschnittliche Wohnfläche, Gesamtwohnfläche, Effizienz

Variante	Wohnungsanzahl gesamt (WE)	Ø Wohnfläche pro WE (qm)
<i>Referenz</i>	96	56,3
<i>Laubengang R 2.8</i>	84	63,8
<i>Mittelflur R 2.8</i>	78	68,7
<i>Spänner R 2.3</i>	102	50,5
<i>Spänner R 2.5</i>	102	51,0
<i>Spänner R 2.8</i>	91	56,3
<i>Hofhaus</i>	80	65,7

Typische Wohnungsgrößen nach Typ

Tabelle 12: Typische Wohnungsgrößen nach Typ, Gesamtwohnfläche, Effizienz

Variante	2-Zi max. (qm)	3-Zi max. (qm)	4-Zi max. (qm)	5-Zi max. (qm)
<i>Referenz</i>	35	53	71	89
<i>Laubengang R 2.8</i>	39	60	81	101
<i>Mittelflur R 2.8</i>	44	64	87	100
<i>Spänner R 2.3</i>	30	44	72	75
<i>Spänner R 2.5</i>	30	45	74	75
<i>Spänner R 2.8</i>	33	49	78	81
<i>Hofhaus</i>	40	64	82	102

Raumgrößen und Funktionalität

In der Studie werden die Grenzwerte für die Nutzbarkeit, die Möblierbarkeit und die minimalen Dimensionen von Wohnräumen untersucht. Die Raumgrößen sind dabei maßgeblich von den Anforderungen an die Barrierefreiheit beeinflusst, weil bei barrierefreien Anforderungen an die Nutzbarkeit mit Rollstuhl wesentlich größere Abstände und Bewegungsräume notwendig werden.

3.1.6. Ergebnisse der Tageslichtsimulation und Entwurfsoptimierung

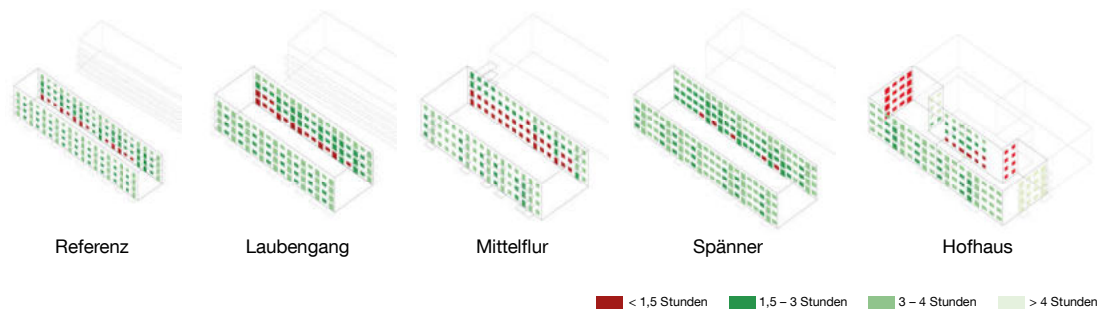


Abbildung 37: Besonnung der untersuchten Varianten mit 2,8 m Raumhöhe und dem größtmöglichen Fensterflächenanteil

In Abbildung 37 ist die Besonnung für alle Varianten mit dem größtmöglichen Fensterflächenanteil dargestellt. So lassen sich Aussagen zu morphologischen Eigenarten der Varianten hinsichtlich ausreichender Besonnung aller Wohneinheiten treffen; ein wichtiges Qualitätskriterium für das Wohlbefinden der Bewohnerschaft. Bei zunehmender Raumhöhe, haben immer mehr Wohnungen keinen Zugang zu den erforderlichen 1,5 h direktem Sonnenlicht. Durch die schmäler werdenden Fenster und die Laibung wird ein größeres Teil des Fensters selbst verschattet. Generell sieht man, dass die Fassade zum Nachbargebäude bei allen Gebäudetypologien aufgrund der dicht nebeneinanderstehenden Gebäude kritisch ist. Das Referenzgebäude hat im EG 13 Fenster, die kein direktes Sonnenlicht bekommen. Aufgrund der durchgesteckten Wohnungen im Laubengang erfüllen alle Wohnungen die Norm. Der *Laubengang R 2.8* hat 16 Fenster ohne Besonnung, drei davon im 1.OG. Im *Mittelflur R 2.8* bekommen 30 Fenster kein direktes Sonnenlicht. Dadurch dass dort die Wohnungen an beiden Fassadenseiten liegen, erfüllen 6 Wohnungen zum Nachbargebäude nicht die Norm. Somit hat der Mittelflur im Vergleich zu den anderen Typologien die meisten Wohnungen, die die Norm nicht erfüllen. Bei dem *Spänner R 2.5* bekommen alle Wohneinheiten ausreichend direktes Sonnenlicht. Mit 5 Fenstern ohne direktes Sonnenlicht, schneidet der *Spänner R 2.5* am besten ab. Das Hofhaus hat 32 unbesonnnte Fenster. Alle Wohnungen mit einem Fenster ohne direktes Sonnenlicht sind durchgesteckt und haben gleichzeitig auch immer Zugang zu einem besonnenen Fenster, somit erfüllen alle Wohnungen die Norm.

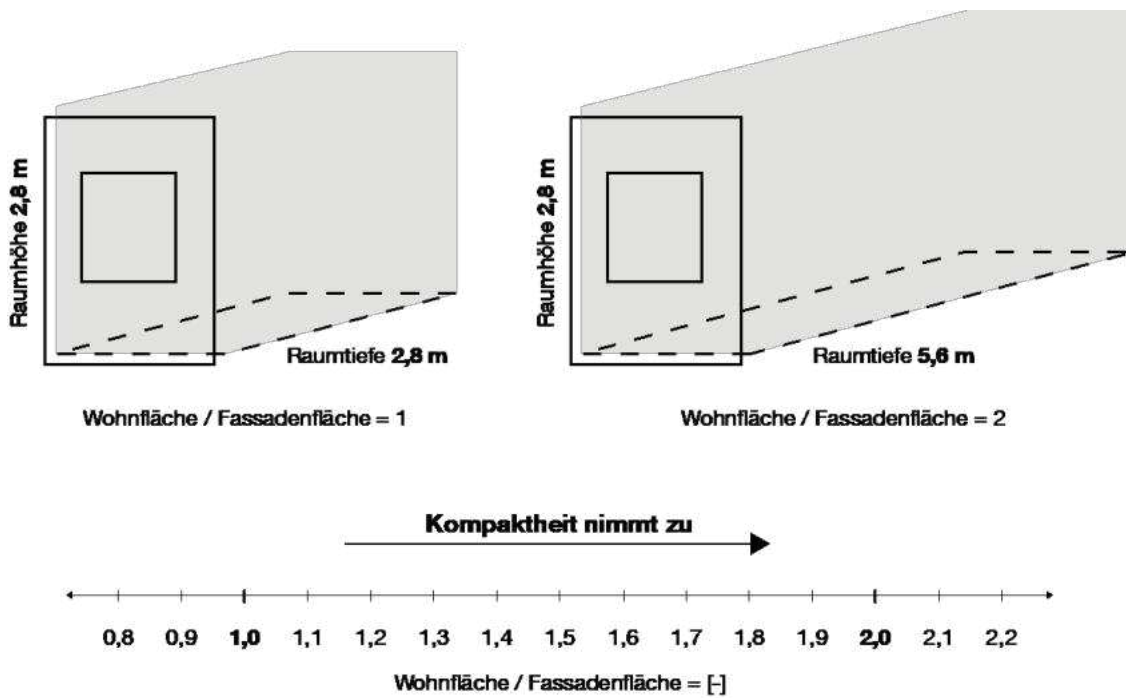
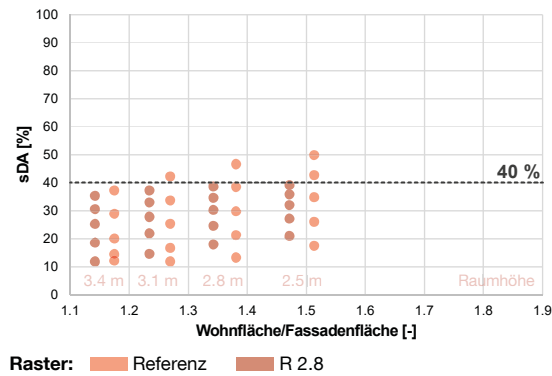


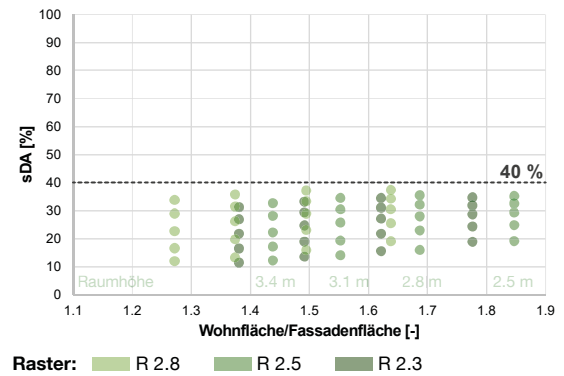
Abbildung 38: Kompaktheit von Wohnräumen

Um ein ganzheitliches Verständnis für die Tageslichtversorgung über alle geplanten Entwürfe zu erlangen, wird die sDA für alle Zonen berechnet und auf einen Wert für das gesamte Gebäude aufsummiert. Wie in Abbildung 38 schematisch dargestellt, werden diese Werte auf der x-Achse sortiert nach dem Quotienten Wohnfläche zu Fassadenfläche. Je höher dieser Wert ist, desto kompakter wird das Gebäude. Das bedeutet, dass im Verhältnis zur umschließenden Fassadenfläche viel Wohnfläche bereitgestellt wird.

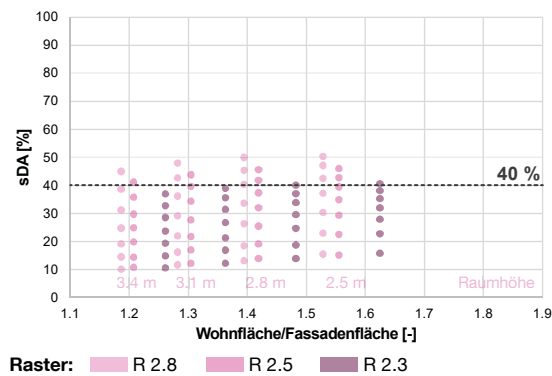
Laubengang



Mittelflur



Spänner



Hofhaus

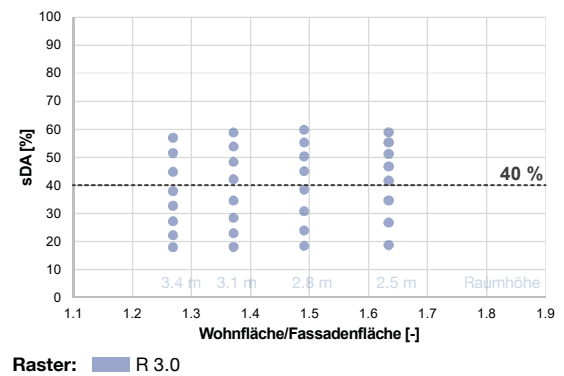
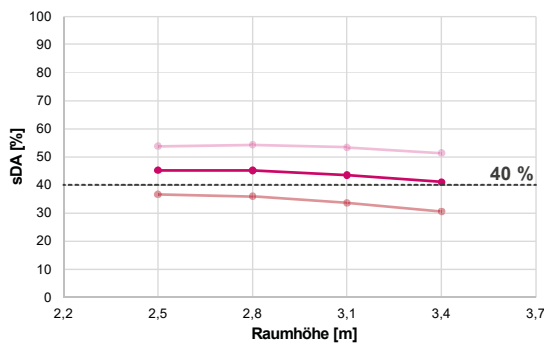


Abbildung 39: sDA-Tageslichtergebnisse für alle Erschließungsvarianten

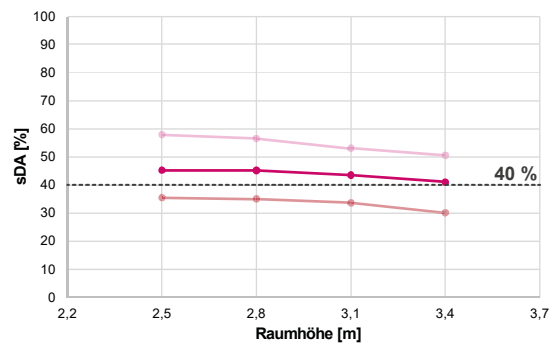
In Abbildung 39 sind die sDA-Gesamtergebnisse für alle Erschließungstypologien für alle Raumhöhen und alle untersuchten Fenstergrößen dargestellt. Die sDA-Ergebnissen zeigen allgemein, dass die tieferen Grundrisse eine schlechtere Tageslichtversorgung haben. Dabei verschlechtert sich das Tageslicht im Mittelflur von 4,0 m tiefen Räumen auf 5,9 m tiefen Räumen um 3 %. Beim Spänner um 10 % und beim Laubengang um 11 %.

Außerdem sieht man in Abbildung 39, dass bei 2,5 m und 2,8 m Raumhöhe bei gleichbleibender WFR die Tageslichtergebnisse nahezu gleich abschneiden mit einer maximalen Reduktion von 0,5 %. Es gibt zwei Ausnahmen, bei denen die Variante mit 2,8 m besser abschneidet. Zum einen schneidet der *Mittelflur* R 2.5 bei 2,8 m um 0,3 % und das *Hofhaus* um 0,9 % besser ab. Danach wird bei steigender Raumhöhe die sDA schlechter. Beim *Spänner* R 2.5 reduziert sich die sDA von 46 % bei 2,5 m und 2,8 m, auf 44 % bei 3,1 m und 41 % bei 3,4 m Höhe.

Fenster



Fenster mit Balkon



■ sDA Gesamt ■ sDA Innenfassade ■ sDA Außenfassade

Abbildung 40: sDA-Tageslichtergebnisse für den *Spänner R 2.5* bei Fenstern und Balkonfenstern

Der Hauptgrund für die reduzierten Werte bei der sDA-Gesamtwertung von höheren Raumhöhen, ist die steigende Gebäudehöhe und die daraus resultierende zunehmende Verschattung durch das Nachbargebäude. Dies erkennt man bei den abnehmenden sDA-Werten der Balkone und Fenster zum Nachbargebäude in Abbildung 40. Zudem zeigt sich in Abbildung 40, dass bei den Fenstern der Außenfassade bei 2,8 m Raumhöhe das beste Ergebnis erreicht wird. Das Tageslicht ist beim *Spänner R 2.5* um 0,5 % besser als bei 2,5 m Raumhöhe.

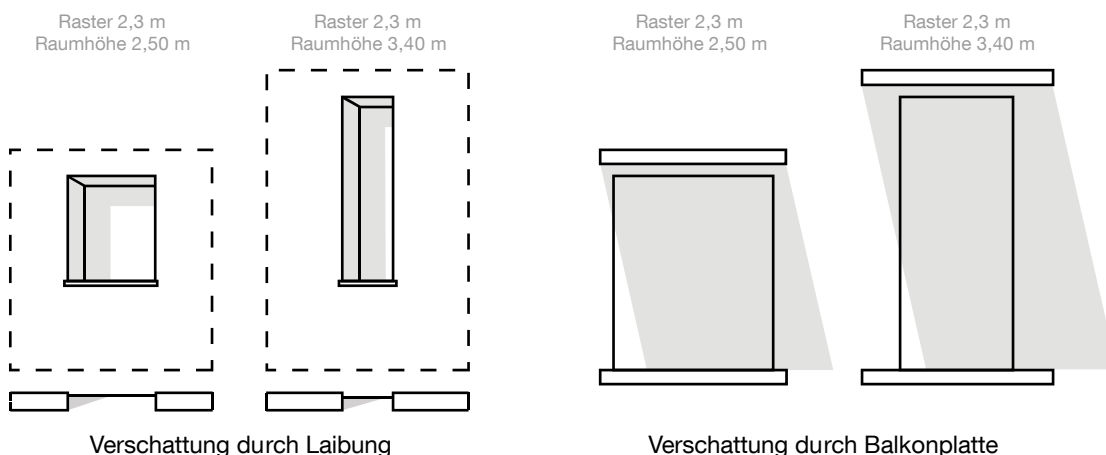


Abbildung 41: Darstellung des Einflusses der Laibung und der Balkone auf den Tageslichteinfall

Der Grund hierfür ist das beste Verhältnis zwischen Licht, das aufgrund der gestiegenen Raumhöhe tiefer in die Räume reinkommt und einem noch nicht so großen Einfluss der Verschattung durch die Laibung auf das Tageslicht. In Abbildung 41 erkennt man, dass bei gleicher Fensterfläche durch die zunehmende Höhe, die Verschattung der Laibung einen größeren Effekt auf den Tageslichteinfall hat. Ab 3,1 m Raumhöhe reduziert die Verschattung durch die Laibung das Tageslicht mehr, als das tief einfallende Licht dieses verbessert. Der zweite Effekt der in Abbildung 41 dargestellt ist, ist das bei gleichbleibender Fensterfläche die schmalere Balkonfenster bei den gleichen Balkonen ei-

nen verringerten Sky-view-factor haben und dadurch bei größeren Raumhöhen das Tageslicht bei den Balkonfenstern schlechter wird. Dieser Effekt führt wie in Abbildung 40 sichtbar zu einer stärkeren Verschlechterung des Tageslichts durch die Raumhöhe als bei den normalen Fenstern.

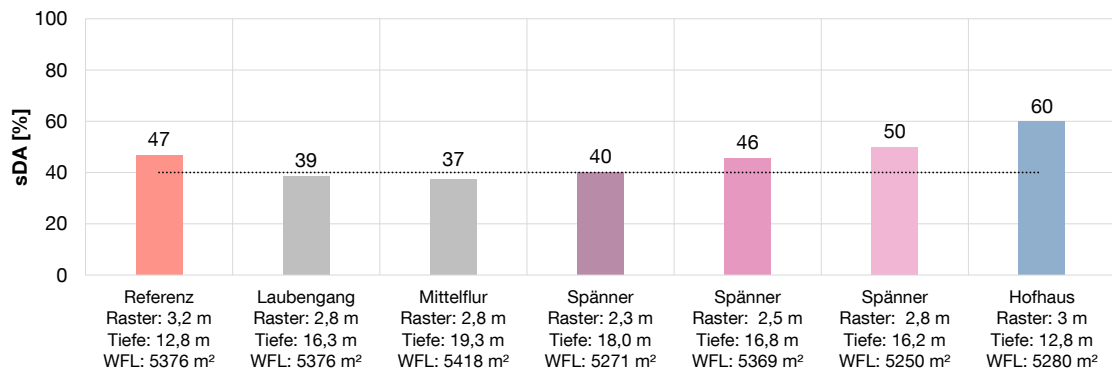


Abbildung 42: Tageslichtergebnisse bei 2,8 m Raumhöhe mit der größtmöglichen Window-to-floor-ratio

In Abbildung 42 sind von allen Erschließungstypologien, die dargestellt, die von den Tageslichtergebnissen funktionieren beziehungsweise bei der Typologie am besten funktionieren. Das bedeutet, dass für den Mittelflur nur das Raster 2.8 dargestellt wird. Dabei sieht man, dass dieser aufgrund von sehr tiefen Grundrissen und geringen Abstand zur Nachbarbebauung, mit 37 % nicht auf die erforderlichen 40 % sDA kommt. Der *Laubengang R 2.8* erreicht trotz eines Abstands von 13,6 m zum Nachbargebäude mit 39 % schlechtere Tageslichtergebnisse als der *Spänner R 2.8*, der mit einem ähnlichen Abstand von 13,8 m 50 % erreicht. Dies liegt daran, dass die Erschließungsform des Laubengangs viel Tageslicht wegnimmt. Alle Spännervarianten, auch der tiefste mit einer Gebäudetiefe von 18 m, erfüllen die Tageslichtanforderungen mit 40 – 50 %. Dabei erreicht der *Spänner R 2.5* mit 16,8 m Gebäudetiefe mit 46 % ähnlich gute Tageslichtergebnisse wie die Referenzvariante mit 12,8 m Gebäudetiefe und 47 % sDA. Das *Hofhaus* unterscheidet sich grundsätzlich in seiner Morphologie von den anderen Typologien und schneidet auf Gebäudeebene am besten ab. Das lässt sich darauf zurückführen, dass ein besonders großer Anteil der Gesamtwohnfläche an der Außenfassade sowie an den Fenstern in der Südfassade liegt. Ebenfalls positiv wirken sich die um den schlechter belichteten Innenhof angeordneten Erschließungsflächen aus, da diese in der Berechnung der sDA nicht berücksichtigt werden. Das führt in der Summe dazu, dass das *Hofhaus* mit 60 % über alle Varianten hinweg am besten abschneidet. Damit schneidet von den Gebäuden mit tiefen Grundrissen der Spänner zusammen mit dem *Hofhaus* am besten ab.

3.1.7. Energiebedarf

Die Ergebnisse der statischen Energiebedarfsberechnung sind in Abbildung 43 dargestellt. Im Variantenvergleich zeigt sich, dass alle Gebäude mit größeren Raumtiefen einen geringfügig niedrigeren Energiebedarf aufweisen als die *Referenz*. Aufgrund des einheitlichen energetischen Standards der Bauteile (GEG-konform), der ähnlichen Grundrissgeometrien sowie vergleichbarer Wohnflächen fallen die Unterschiede insgesamt jedoch moderat aus. Das *Hofhaus* erreicht mit einer Reduktion des berechneten Energiebedarfs um 7,4 % gegenüber der Referenz den besten Wert, stellt jedoch zugleich eine der Varianten mit der geringsten Anzahl an Wohneinheiten dar.

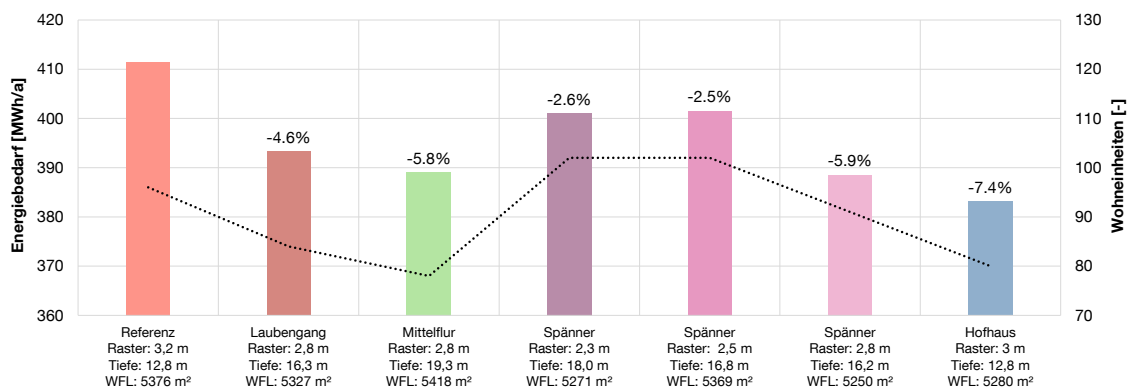


Abbildung 43: Jahresenergiebedarf für Heizung und Trinkwarmwasser in MWh/m²a für alle Gebäudetypologien und Raster, mit der Einsparung zur Referenzvariante und der Anzahl der Wohneinheiten

Die Ergebnisse der Energiebedarfsberechnung dienen als Grundlage für die anschließende Kostenanalyse sowie für die Bewertung der betrieblichen Umweltwirkungen im Rahmen der Lebenszyklusbetrachtung.

3.2. Arbeitspaket 2: Kostenbetrachtung und Lebenszyklusanalyse

Die Analyse der Kosten und der Umweltwirkung folgte dem in Abbildung 44 dargestellten schematischen Vorgehen. Als Entscheidungskriterien für die Festlegung der Bauweise werden zunächst die Kosten und Umweltwirkungen einzelner Bauteile miteinander verglichen. Die Vordimensionierung zeigte notwendige Bauteilhöhen. Unter Abwägung der Ergebnisse wird die Bauweise der Bauteile festgelegt. Basierend auf den Grundrissen der Gebäudevarianten werden daraufhin Decken und Wände vordimensioniert. Anschließend werden auf Grundlage der bauphysikalischen Anforderungen ein Bauteilkatalog für alle notwendigen Bauteile der Gebäudevarianten erstellt. Anhand der Grundrisse der Gebäudevarianten und der Bauteilkataloge konnten die Kosten und die Ökobilanzierung auf Gebäudeebene erstellt werden.

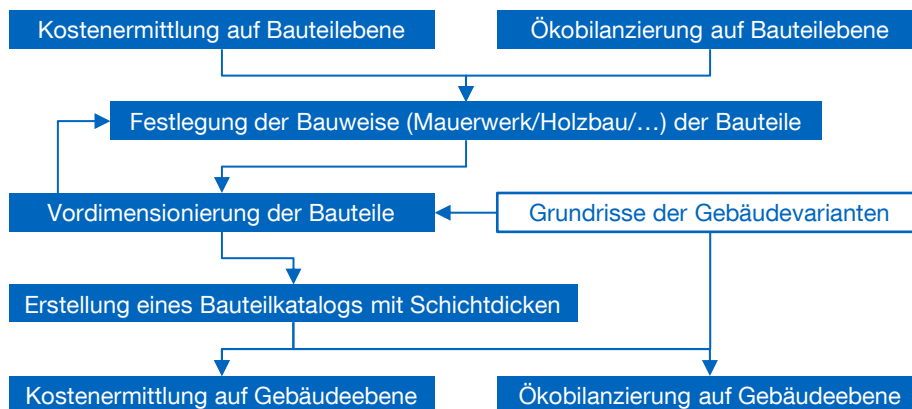


Abbildung 44: Schematische Darstellung des Vorgehens in AP 2

3.2.1. Bauteilkatalog und statische Vordimensionierung

Auswahl der Bauweise

Für die Auswahl der Bauweise werden die Parameter Kosteneffizienz, ökologische Nachhaltigkeit, Bauteilhöhe sowie die Erfüllung der bauphysikalischen Anforderungen bewertet. Unter die bauphysikalischen Anforderungen fallen der sommerliche Wärmeschutz, der stark von der Bauwerksmasse abhängt. Tabelle 13 stellt die Vor- und Nachteile verschiedener Bauweisen hinsichtlich der genannten Parameter gegenüber.

Tabelle 13: Gegenüberstellung der Materialitäten

Bauweise	Kosten	Ökologische Nachhaltigkeit	Sommerlicher Wärmeschutz
Holz	- erhöhte Kosten, Einsparungen durch kurze Bauzeiten	++ geringe Emissionen, erneuerbarer Baustoff	o leichte Bauweise erfordert gute Belüftung und Masse
Stahlbeton	o für Wohnungsbau u.U. überdimensioniert	-- hohe Emissionen	++ hohe Masse dient als Puffer bei Hitze
Mauerwerk	++ geringe Material- und Herstellungskosten	o mineralischer Baustoff, geringere Emissionen als Stahlbeton	+ Masse als Wärmespeicher
Hybrid aus Holz und Mauerwerk/ Stahlbeton	+ mittlere bis geringe Kosten	+ geringe Emissionen durch Holzbauweise, Reduktion der Energie im Betrieb durch Wärmespeicherung	+ Masse des Mauerwerks / Stahlbetons und einer Schüttung gleicht leichte Holzbauweise aus

Die Stahlbetonbauweise weist aufgrund der hohen Umweltwirkung des Betons hohe Emissionen auf. Da neben den Kostenzielen auch die Einhaltung enger Nachhaltigkeitsgrenzwerte eine Hauptanforderung an das Projekt war, wird eine reine Stahlbetonbauweise als ungeeignet befunden. Die Holzbauweise gilt als ökologischer und nachhaltiger Baustoff, weist jedoch eine geringe Masse auf. Der Mauerwerksbau ist kostengünstig, kann als Wärmespeicher dienen, setzt jedoch auch auf endliche Ressourcen und einen energieintensiven Produktionsprozess. Eine Hybridbauweise aus Holz und Mauerwerk vereint die Vorteile beider Bauweisen und wird folglich als Ansatz gewählt.

Auf Grundlage der Grundrisse und der Materialität der Bauteile muss eine Wahl zwischen Skelett- und Schottenbauweise getroffen werden. Für Büro- und Gewerbebauten wird häufig die Skelettbauweise gewählt, die eine große Flexibilität bei der Grundrissgestaltung bietet. Der Skelettbau bietet Vorteile hinsichtlich der Flexibilität und der Außenwandöffnungen, erfordert jedoch aufwändigere Maßnahmen im Wärme-, Schall- und Brandschutz. Im Wohnungsbau kann aufgrund kleinerer Spannweiten und wiederkehrender Grundrisse die Schottenbauweise gewählt werden. Eine Schottenbauweise ist im Wohnungsbau meist günstig, ermöglicht gewisse Freiheiten in der Grundrissgestaltung und große Fensterfronten, sowie eine gute Schalldämmung zwischen den Wohneinheiten (Osterwalder-Meier & Deola, 2010). Aus diesen Gründen wird für die geplanten Varianten eine Schottenbauweise bevorzugt.

Nachfolgend wird die Auswahl der Materialität für die tragenden Innenwände, Decken und Außenwände dargelegt.

Vergleicht man die Kosten und die Umweltwirkung tragender Innenwände unterschiedlicher Stärke, zeigt sich das Ziegelmauerwerk als vergleichsweise kostengünstig mit gleichzeitig geringer Umweltwirkung (siehe Abbildung 45). Die Verwendung von Kalksandsteinen führt im Vergleich zu Mauerziegeln zu signifikant höheren Umweltwirkungen, insbesondere zu höheren Treibhausemissionen. Die Massivholz- und Holzrahmenwände zeigen erhöhte Kosten bei nur leicht reduzierten Umweltwirkungen. Somit werden die tragenden Innenwände in Mauerwerksbauweise aus Ziegelmauerwerk geplant, die zugleich aufgrund ihrer Masse zur Wärmespeicherung dienen.

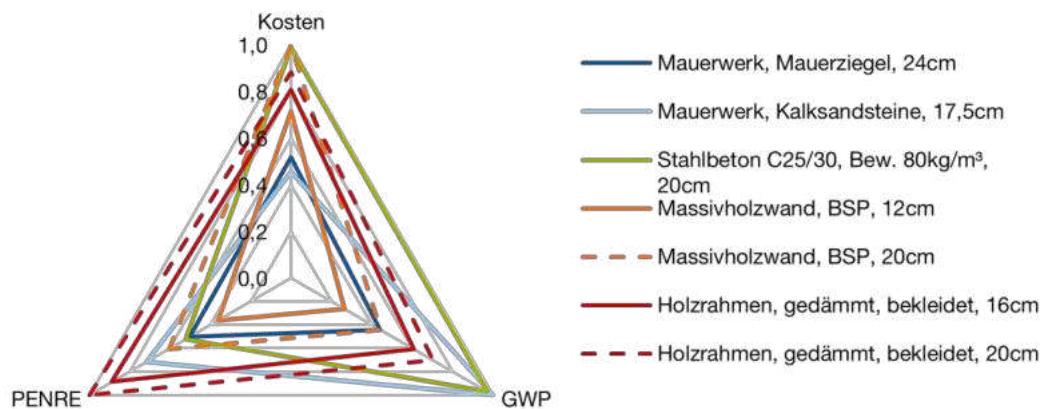


Abbildung 45: Vergleich tragender Innenwände (Kosten nach BKI (2024d), GWP und PENRE nach Ökobaudat (BMWSB, 2023g))

Die entwickelten Gebäudevarianten weisen Raster von 2,3 bis 3,2 m auf. Flexibilität in der Raumnutzung und die Umnutzbarkeit von Gebäuden erhöhen deren Nachhaltigkeit, weshalb versucht wird, innerhalb einer Nutzungseinheit nur wenige tragende Innenwände auszuführen. Folglich wird die Spannweite der Decken auf das Doppelte der Rastergröße festgelegt. Alle Wohnungstrennwände werden tragend ausgeführt. Für die Deckenfelder ergeben sich Spannweiten von 4,6 bis 6,4 m.

Decken machen 35 % bis 45 % der Emissionen des Rohbaus mehrgeschossiger Gebäude aus (Heckmann & Glock, 2025). Folglich bietet es sich bei Decken besonders an, nachhaltige Lösungen zu wählen. Traditionell werden Mauerwerkswände mit Holzbalkendecken kombiniert, die für kurze Spannweiten eine günstige und praktikable Lösung darstellen. Die Tragfähigkeit der Decken kann jedoch bei Spannweiten von 4,6 bis 6,4 m nur durch große Querschnitte und teilweise durch Brettschichtholzbalken erreicht werden. Somit ergibt sich eine hohe Bauteilhöhe und höhere Kosten. Alternativ können Brettstapel- (BST-) oder Brettsperrholzdecken (BSP-Decken) verwendet werden, die geringere Bauteilhöhen aufweisen.

Abbildung 46 zeigt den Vergleich der Bauteilhöhe, der Kosten sowie der Umweltwirkungen (PENRE und GWP) für Holzbalkendecken (HBD) und BST-Decken mit Spannweiten von 4,6 bis 6,4 m. Die Umweltwirkungen der HBD liegen über denen der BST-Decken, da neben den Fußbodenaufbauten und den tragenden Holzlagen zusätzliche Gipskarton- und OSB-Lagen erforderlich sind. Die Kosten der Decken werden bei beiden Systemen bei größerer Spannweite höher, da größere Holzquerschnitte verwendet werden. Die Kosten der BST-Decke liegen etwa 30 % über denen der HBD.

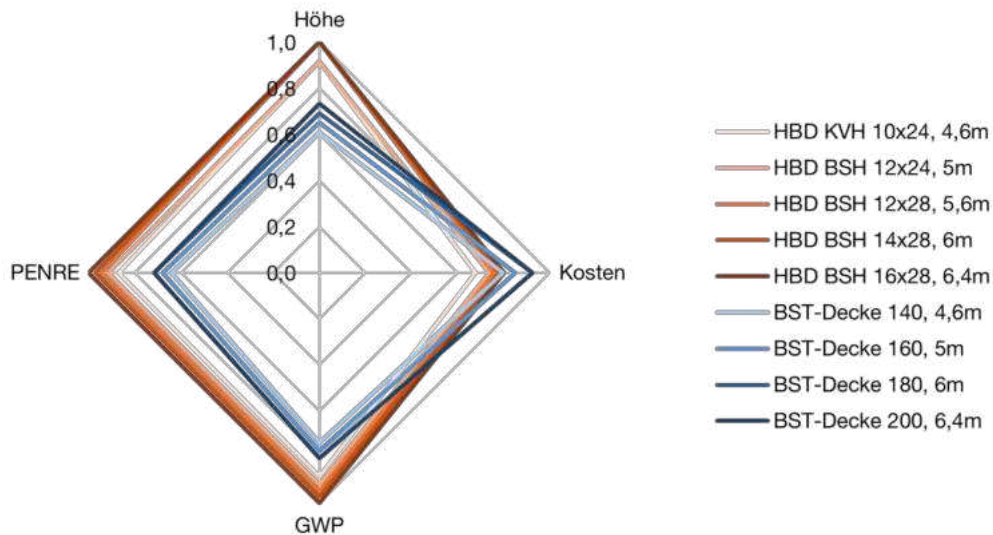


Abbildung 46: Vergleich von Deckenkonstruktionen als HBD und BST-Decke für Spannweiten von 4,6 m bis 6,4 m (Kosten aus Sirados Baudaten (2025), GWP und PENRE nach Ökobaudat (BMWSB, 2023g))

Die signifikant höheren Bauteilhöhen der HBD führen dazu, dass das ganze Gebäude höher wird, die lichte Raumhöhe verringert wird oder eventuell ein Geschoss weniger genehmigt wird. Bei einer Spannweite von 5 m ist die BST-Decke im Vergleich zur HBD 29 % dünner, hat einen 16 % geringeren GWP und einen 26 % geringeren Primärenergieverbrauch. Die Kosten sind um 26 % höher. Die HBD führt bei 4 Geschossen und gleichbleibender lichter Raumhöhe zu insgesamt 51 cm mehr Gebäudehöhe, sodass pro m² Wohnfläche 2 bis 3 % mehr Außenwandfläche anfällt. Unter Berücksichtigung der zusätzlichen Außenwandfläche ist die BST-Decke 23 % teurer, und das GWP und PENRE werden um weitere 2 % verringert. Aufgrund der gegenläufigen Ergebnisse hinsichtlich der Umweltwirkung und der Kosten kann keine allgemeine Empfehlung für eine der Decken ausgesprochen werden. Da HBD heutzutage im Neubau selten verbaut werden und eine höhere Konstruktionshöhe aufweisen, liegt der weitere Fokus auf Massivholzdecken.

Aufgrund der Schottenbauweise werden die Außenwände der kurzen Gebäudeseite tragend und die der langen Gebäudeseite nichttragend ausgeführt. Dies vereinfacht die

Ausführung der Fenster sowie die Anordnung der Balkone und Laubengänge an der langen Gebäudeseite. Die Gegenüberstellung der Wände bei vergleichbarem U-Wert zeigt, dass die Kosten der Holztafelbauwand und der Kalksandstein-Außenwand vergleichbar ausfallen, wobei die Holztafelbauwand eine bessere Umweltwirkung aufweist (siehe Abbildung 47).

Hinsichtlich des Bauablaufs sind die Ausführung der Außenwände als Holzbau und als Mauerwerksbau gleichwertig anzusehen, da die Gewerke Holzbau und Mauerwerksbau aufgrund der Innenwände und Decken bereits zusammenarbeiten und sich abstimmen müssen. Somit ergibt sich mit den Außenwänden kein weiteres Gewerk, sodass der Bauablauf nicht signifikant erschwert wird. Insgesamt ist jedoch anzumerken, dass eine Ausführung als reiner Holzbau zu einem verbesserten Bauablauf führen kann, wodurch potenziell Kosten eingespart werden können. Für den Variantenvergleich wird eine Holztafelbauwand gewählt.

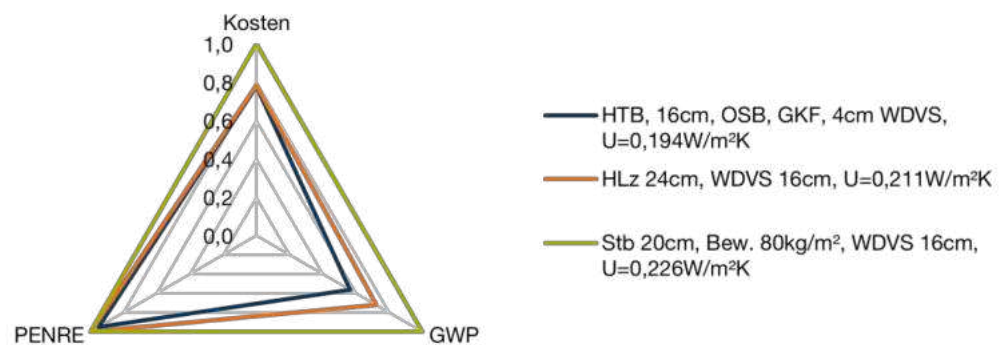


Abbildung 47: Vergleich verschiedener Außenwandkonstruktionen mit vergleichbarem U-Wert (Kosten aus Sirados Baudaten (2025), GWP und PENRE nach Ökobaudat (BMWSB, 2023g))

Baukonstruktive und bauphysikalische Anforderungen

Infolge der Studie werden verschiedene Gebäudetypologien untersucht, die hinsichtlich Höhe und Kubatur variieren. Um die Kosten und die Umweltwirkungen ermitteln zu können, muss ein Bauteilkatalog erstellt werden, der alle Anforderungen an Brandschutz, Schallschutz und Wärmeschutz erfüllt. Aus diesem Grund werden nachfolgend die Anforderungen an die einzelnen Schutzziele dargestellt.

Die geplanten Gebäude haben eine Höhe von 7 bis 13 m und sind nur mit Nutzungseinheiten unter 400 m² ausgestattet. Die Fußbodenoberkante des oberen Geschosses liegt bei den Gebäuden mit vier Geschossen über 7 m, sodass sich diese nach MBO (2002) in GK 4 einordnen lassen. Die Mittelflur-Variante mit 3 Geschossen lässt sich mit einer Fußbodenoberkante von unter 7 m der GK 3 zuordnen, sodass geringere Anforderungen an den **Brandschutz** gelten.

In GK 4 müssen tragende Bauteile hochfeuerhemmend ausgeführt werden. Dies ist bei der Ausführung in Mauerwerksbauweise der Fall. Decken der GK 4 müssen ebenfalls hochfeuerhemmend, in Kellergeschossen feuerbeständig ausgeführt werden (LBO BW, § 27d Decken, 2025). Dies erfolgt bei den Varianten durch die Beplankung der Holzbal-kendecken mit 2 x 12,5 mm Gipskartonplatten. 25 % der Flächen eines Raumes dürfen gemäß der Holzbaurichtlinie brennbar ausgeführt werden, weshalb die Brettstapelholz-decken auf Abbrand bemessen werden und sichtbar bleiben.

Oberflächen von Außenwänden müssen nichtbrennbar sein, was bei Wänden aus brennbaren Baustoffen durch eine durchgehende nichtbrennbare Bekleidung mit min-destens 18 mm Dicke erreicht wird (MHolzbauRL2024, Abs. 7.2.1). Aus diesem Grund wird an der Außenseite der Außenwand in Holztafelbauweise eine 18 mm dicke Gipsfa-serplatte vorgesehen.

Notwendige Flure müssen mindestens 1,25 m breit sein und Rauchabschnitte dürfen die maximale Länge von 30 m nicht überschreiten (LBO BW, § 28b Notwendige Flure, offene Gänge, 2025). Wenn ein Laubengang zwei Fluchtrichtungen aufweist, ist an die “Umwehrungen des offenen Gangs zum Freien [...] keine brandschutztechnische An-forderung zu stellen” (LBO BW, § 28b Notwendige Flure, offene Gänge, 2025). Dies ist mit der vorgesehenen Breite von 1,25 m erfüllt. Innere Brandwände werden innerhalb eines Gebäudes in Abständen von 40 m erforderlich (LBO BW, § 27c Brandwände, 2025). Aus diesem Grund werden bei den Varianten Mittelflur und Spänner Brand-schutztüren vorgesehen. Ein Rettungsweg darf von jedem Punkt innerhalb eines Auf-enthaltsraumes zu einem Ausgang in ein notwendiges Treppenhaus oder ins Freie nicht länger als 35 m sein (LBO BW, § 28a Notwendige Treppenräume, Ausgänge, 2025).

Tabelle 2 der DIN 4109-1:2018-01 enthält Anforderungswerte für den **Schallschutz** in Wohngebäuden, die als Mindestwerte zu verstehen sind (Holzbau Deutschland-Institut e.V., 2019). Die für die Studie relevanten Grenzwerte werden in Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 14: Ausgewählte Grenzwerte nach Tabelle 2 der DIN 4109-1:2018-01

Kategorie	Bauteil	R' _w [dB]	L' _{n,w} [dB]
Decken	Wohnungstrenndecken (auch Treppen)	≥ 54	≤ 50
Treppen	Treppenläufe und Podeste	-	≤ 53
Wände	Wohnungstrennwände und Wände zwischen fremden Arbeits-räumen, sowie Treppenraumwände und Wände neben Haus-fluren	≥ 53	-

	Schachtwände von Aufzuganlagen an Aufenthaltsräumen	≥ 57	-
Türen	Türen, die von Hausfluren oder Treppenräumen unmittelbar in Aufenthaltsräume – außer Flure und Dielen – von Wohnungen	≥ 37	-

Hinsichtlich des **Wärmeschutzes** wird am GEG-Mindeststandard orientierend ein maximaler Wärmedurchgangskoeffizient von $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angesetzt.

Vordimensionierung

Um die notwendigen Bauteilabmessungen der unterschiedlichen Gebäudevarianten zu ermitteln, erfolgt eine Vordimensionierung der Decken und der tragenden Wände. Für die Varianten Laubengang, Mittelflur und Spanner wird eine Schottenbauweise mit Deckenspannrichtung quer zur Gebäudelängsachse geplant. Die Stahlbetontreppenhäuser dienen der Aussteifung. Bei der Variante Laubengang erfolgt die Aussteifung durch die tragenden Wohnungstrennwände. Um die Flexibilität innerhalb der Wohnungseinheiten sicherzustellen, wird nur jede zweite Innenwand tragend ausgeführt. Tabelle 15 zeigt die untersuchten Raster und Spannweiten der Gebäudevarianten.

Tabelle 15: Spannweiten der untersuchten Varianten

Variante	Laubengang		Mittelflur	Spanner			Hofhaus
Raster [m]	2,8	3,2	2,8	2,3	2,5	2,8	3
Spannweite [m]	5,6	6,4	5,6	4,6	5	5,6	6

Für die Vordimensionierung der Decken und Dächer werden folgende Nachweise erbracht:

- Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
- Nachweis der Durchbiegung
- Schwingungsnachweis nach Hamm & Richter
- Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit
- Biegenachweis
- Schubnachweis
- Auflagerpressung

Die Nachweisführung wird in Anhang F dargestellt. Für die Deckensysteme ist der Schwingungsnachweis maßgeblich, wodurch sich die in Tabelle 16 dargestellten notwendigen Querschnitte ergeben.

Tabelle 16: Ergebnisse der Vordimensionierung der Deckensysteme

Raster [m]	2,3	2,5	2,8	3	3,2
Spannweite [m]	4,6	5	5,6	6	6,4
Holzbalken h [m] x b [m]	0,24 x 0,10	0,24 x 0,12	0,28 x 0,12	0,28 x 0,14	0,28 x 0,16
Brettstapelholz d [m]	0,14	0,16	0,18	0,18	0,20

Für die tragenden Innenwände erfolgt die Bemessung einer Erdgeschosswand. In allen Fällen sind die Nachweise für eine 24 cm dicke Mauerwerkswand (KL 12, M10) erfüllt.

Bauteilkatalog

Alle Gebäudevarianten werden auf Grundlage eines einheitlichen Bauteilkatalogs geplant, wobei sich lediglich die Dicken der tragenden Bauteile unterscheiden. Die gewählten Bauteilaufbauten sind in Anhang D dargestellt.

Für alle Gebäudevarianten werden **tragende Innenwände** in Mauerwerksbauweise mit Holzdecken vorgesehen. Die Wahl der Mauerwerksbauweise ermöglicht eine Reduktion der Projektkosten und Unterzüge aus Holz erlauben Durchbrüche (siehe Anhang D, Abbildung 79). Die **nichttragenden Innenwände** werden als Trockenbauwände des Typs CW50 ausgeführt (siehe Anhang D, Abbildung 80).

Der Einsatz von **Holzdecken** trägt zur Verringerung der Umweltwirkungen bei. Für alle Gebäudevarianten erfolgt deshalb sowohl die Vordimensionierung von BST-Decken als auch von HBD, gefolgt von einer Bewertung der Kosten und der ökologischen Auswirkungen. Die Einhaltung der schallschutztechnischen Anforderungen wird durch die Orientierung an den Bauteilaufbauten der Plattform *dataholz.eu* sichergestellt.

Alle Gebäudevarianten werden mit einem extensiv begrünten **Flachdach** mit Wasserretention geplant, auf dem eine PV-Anlage installiert werden soll (siehe Anhang D, Abbildung 75 und Abbildung 76).

Für die **Außenwände** werden eine Ausführung in Mauerwerksbauweise sowie eine in Holztafelbauweise hinsichtlich der ökologischen und ökonomischen Auswirkungen auf

Gebäudeebene untersucht. Die Holztafelbauweise bietet ökologische Vorteile und ermöglicht eine hohe Vorfertigung sowie ein geringes Konstruktionsgewicht. Wenn Holzdecken und Holzaußenwände von unterschiedlichen Firmen gefertigt werden, entsteht ein zusätzliches Gewerk, das den Bauprozess verkompliziert. Daher wird auch eine Außenwand in Mauerwerksbauweise mit Wärmedämmverbundsystem (WDVS) als Alternative geprüft. (siehe Anhang D, Abbildung 77 und Abbildung 78)

Aufgrund der Deckenspannrichtungen und der Schottenbauweise müssen die Außenwände an den kurzen Gebäudeseiten tragend ausgeführt werden. Dies ist sowohl mit einer Mauerwerksaußenwand als auch mit einer Holztafelbauwand möglich.

Die Laubengang-Varianten haben einen **Laubengang**, der als eigenständiges Tragsystem aus Stahlbetonfertigteilen ausgelegt ist. Die Befestigung der Stahlbetonelemente erfolgt über tragende Wärmedämmelemente an den Holztafelbauwänden bzw. an den aussteifenden Deckenelementen.

3.2.2. Ergebnisse der Kostenanalyse

In der Kostenanalyse wird eine lichte Raumhöhe von 2,8 m zugrunde gelegt, da dies das Optimum der Belichtungsstudie darstellt. Der Vergleich wird für die Ausführung mit BST-Decken und HTB-AW durchgeführt. Die Gebäudevarianten gliedern sich in die vier Erschließungstypologien Laubengang, Mittelflur, Spänner und Hofhaus. Für diese werden jeweils unterschiedliche Gebäuderaster untersucht, die in der Gebäudevariantenbezeichnung in Metern angegeben sind. Als Referenzgebäude wird der Laubengang mit der Bezeichnung *Referenz* gewählt, der ein mit 3,2 m praxisübliches Gebäuderaster sowie eine praxisübliche Kompaktheit aufweist.

Die Analyse der Nettoherstellungskosten pro Quadratmeter Wohnfläche zeigt, dass die Erschließung über einen Mittelflur die geringsten Kosten verursacht (siehe Abbildung 48). Aufgrund der geringeren Fenster- und Hüllfläche pro Quadratmeter Wohnfläche fallen bei der Mittelflurvariante Kosten für Fenster und Rollläden an, die 40 % unter denen der Referenzvariante liegen. Der kostengünstigste Mittelflur weist in der Konstruktion pro Quadratmeter Wohnfläche eine Kostenersparnis von etwa 13 % gegenüber der auf.

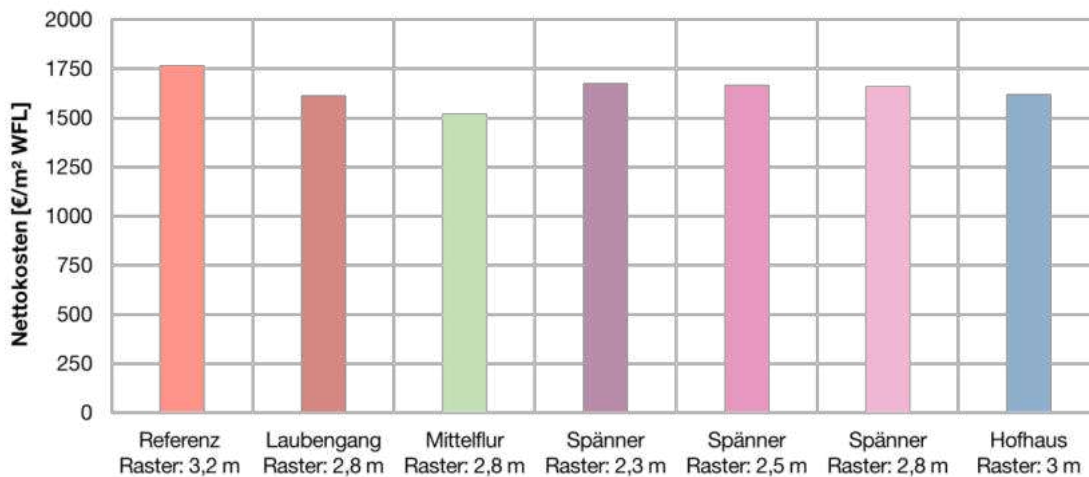


Abbildung 48: Kosten der unterschiedlichen Gebäudevarianten mit Angabe der Rastergrößen in Metern für die KG 300 ohne Erdarbeiten und Tiefgarage pro Quadratmeter Wohnfläche bei 2,8 m lichter Raumhöhe

Die Spänner weisen im Vergleich zur Referenz 6 bis 8 % geringere Nettokosten pro Quadratmeter Wohnfläche auf. Die Gegenüberstellung unterschiedlicher Rastergrößen ergibt, dass bei einer Rastergröße von 2,5 m die minimalen Nettokosten pro Quadratmeter Wohnfläche erreicht werden. Im Vergleich zu den Mittelflurvarianten weisen die Spänner eine geringere Kompaktheit, eine größere Fassadenfläche und damit höhere Quadratmeterkosten auf.

In der Gegenüberstellung mit der Referenz erweisen sich auch das Hofhaus und die Laubengangvariante mit einem Raster von 2,8 m (*Laubengang R 2.8*) als kostengünstig. Die erzielte Einsparung entspricht in diesem Fall knapp 10 % der Nettokosten pro Quadratmeter Wohnfläche.

Die Analyse der Grundrisse zeigt, dass die Verwendung kleinerer Raster, die Planung von kleineren Räumen und daraus resultierend, kleineren Wohnungen ermöglicht. Beim Spänner können mit 102 WE die meisten Wohnungen eingeplant werden, gefolgt vom Mittelflur (87 WE), dem Referenzgebäude (84 WE) und dem *Hofhaus* (80 WE). Die somit entstehenden kleinen Wohnungen sind, trotz gleicher Zimmeranzahl, günstiger als die größeren Wohnungen, die bei größeren Rastern realisierbar sind. Allerdings erhöhen die kleinen Raumgrößen den Innenwandanteil, wodurch die Kosten für Innenwände pro Quadratmeter Wohnfläche bei den Mittelflur- und Spännervarianten 40 % höher sind als beim Referenzgebäude.

Neben den Erschließungstypologien beeinflussen einzelne Bauteilgruppen die Wirtschaftlichkeit (siehe Abbildung 49). Die Analyse der Konstruktionskosten nach Bauteil-

gruppe zeigt den Einfluss der Balkone, der Sanitärbereiche und der Laubengangkonstruktion auf die Gesamtkosten. Erhöht sich bei konstanter Wohnfläche die Anzahl der Nutzungseinheiten, für die jeweils ein Badezimmer und ein Balkon vorgesehen sind, steigen die Gesamtkonstruktionskosten pro Quadratmeter Wohnfläche entsprechend an. Führt die Bereitstellung vieler kleiner Nutzungseinheiten jedoch dazu, dass insgesamt mehr Personen im Gebäude leben, sinken die Kosten pro Person.

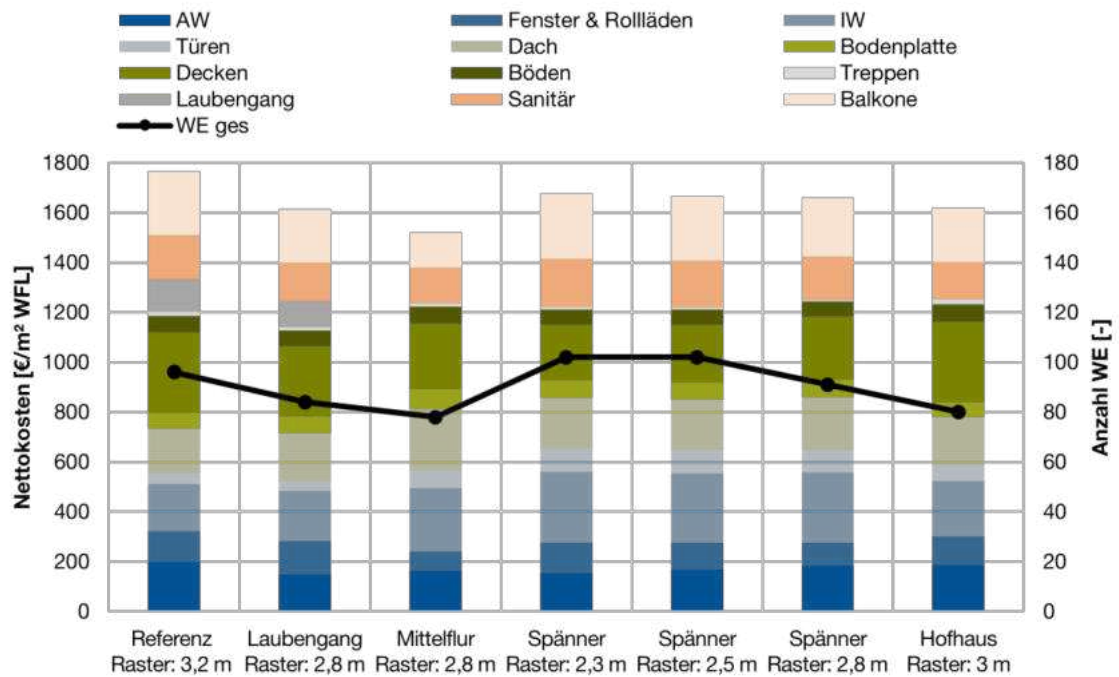


Abbildung 49: Nettokosten der unterschiedlichen Gebäudevarianten mit Angabe der Rastergrößen in Metern für die KG 300 pro Quadratmeter Wohnfläche ohne Betrachtung der Erdarbeiten und Tiefgarage bei 2,8 m lichter Raumhöhe, sowie Anzahl der Wohneinheiten der Gebäudevarianten

Ein Vergleich der Kosten bei unterschiedlichen Raumhöhen zeigt, dass sich die Nettokosten bei einer Erhöhung der lichten Raumhöhe von 2,5 auf 2,8 bzw. von 2,8 auf 3,1 m um 2,4 % bis 3,1 % erhöhen (siehe Abbildung 50). Diese liegt bei der Laubengang-Referenz bei 2,5 %. Beim Mittelflur zeigt sich eine größere Preissteigerung von bis zu 3,1 %, beim Spänner sind es etwa 2,8 %. Das Raumvolumen erhöht sich um 12 %.

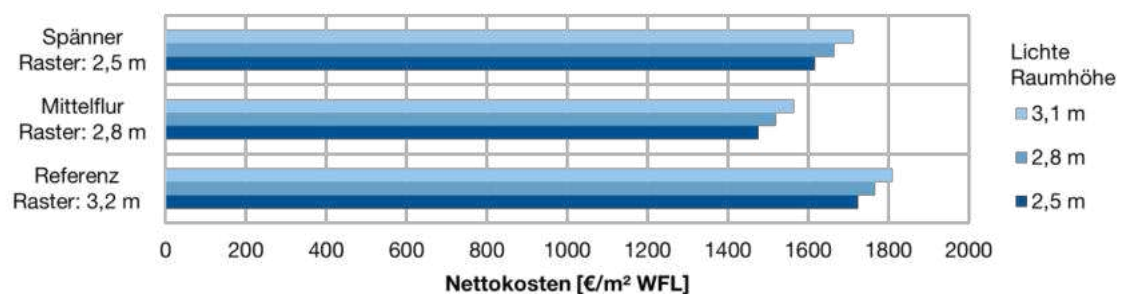


Abbildung 50: Nettokosten ausgewählter Varianten der KG 300 pro Quadratmeter Wohnfläche ohne Betrachtung der Erdarbeiten und Tiefgarage bei verschiedenen lichten Raumhöhen

Kosten des Gesamtprojektes

Abbildung 51 zeigt die hochgerechneten Gesamtprojektkosten der Gebäudevarianten. Die hohen Gesamtkosten des Spenders resultieren insbesondere aus den hohen Kosten der Tiefgarage. Diese ergeben sich aus dem großen Bedarf an Stellplätzen, der wiederum durch die erhöhte Zahl an Nutzungseinheiten dieser Variante sowie den festgelegten Stellplatzschlüssel von 1,0 bedingt ist. Der Mittelflur erreicht 9 % geringere Gesamtprojektkosten als der Referenz-Laubengang.

KG 200 und KG 600 machen nur einen geringen Anteil an den Gesamtkosten aus. KG 300 erreicht, ohne die Tiefgarage zu berücksichtigen, einen Anteil von rund 60 % der Gesamtkosten. Veränderungen der Konstruktionskosten wirken sich daher in erheblichem Maße auf die Gesamtwirtschaftlichkeit des Projekts aus. Die KG 400 der Gebäude umfasst etwa 10 bis 12 % der Gesamtkosten. Die Baunebenkosten (KG 700) belaufen sich auf 11 bis 13 % der Gesamtprojektkosten. Da die Berechnung der KG 400, 600 und 700 auf der Bruttogrundfläche der jeweiligen Gebäudevarianten basiert, liegen diese für die Mittelflurvariante etwa 20 % höher als für die Laubengangreferenz. Die Gesamtkosten der Tiefgarage (KG 300, 400 und 700) belaufen sich insgesamt auf 15 bis 22 % der Gesamtkosten, wobei diese aufgrund der Unterschiede in der notwendigen Stellplatzanzahl stark schwanken.

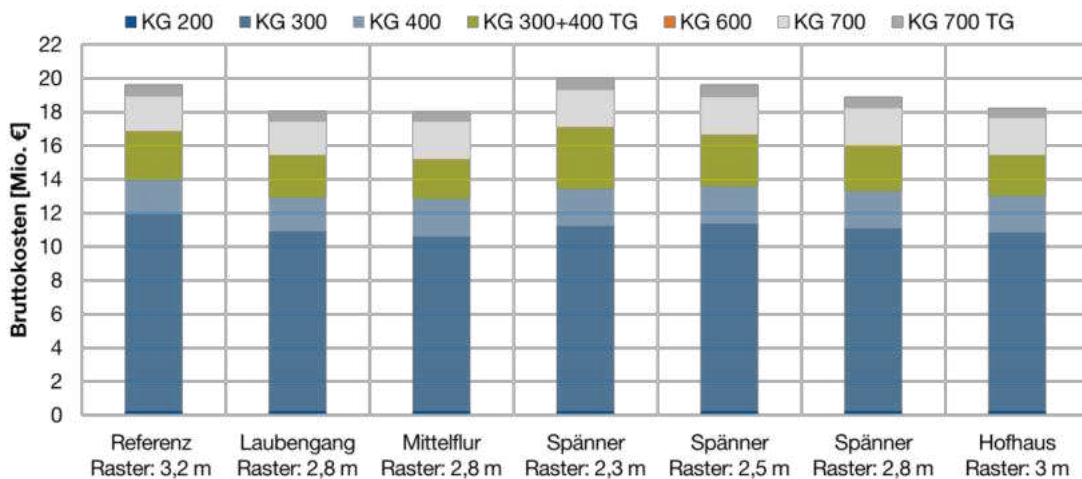


Abbildung 51: Bruttokosten der Gebäudevarianten für die Kostengruppen 200 bis 400 sowie 600 und 700

Kosten im Betrieb

Die Unterschiede in der Gebäudekubatur führen zu leichten Unterschieden im Energieverbrauch der Gebäude im Betrieb und damit auch in den Kosten für die Bereitstellung von Heizwärme- und Warmwasserenergie.

Bei einer Jahresarbeitszahl von 3 und einer lichten Raumhöhe von 2,8 m ergibt sich ein Stromverbrauch der **Wärmepumpe** von 127 bis 137 MWh/a. Bei einem Strompreis von durchschnittlich 29,1 ct/kWh belaufen sich die Stromkosten auf 37.000 bis 40.000 € pro Jahr.

Bei der Verwendung von **Fernwärme** sind bei einer lichten Raumhöhe von 2,8 m 383 bis 411 MWh/a Wärmeenergie erforderlich. Dies führt bei einem Jahresgrundpreis von 15270 €, einem Jahresverrechnungspreis von 139 € und einem Preis pro kWh von 12,95 Cent (Arbeitspreis, CO₂-Preis & Gasumlagenpreis) zu Gesamtkosten von 65.000 bis 69.000 € (Stadtwerke Ludwigsburg, 2025).

Der Einbau einer **Photovoltaikanlage** verursacht je nach Gebäudevariante aufgrund der unterschiedlichen Dachfläche unterschiedliche Kosten, Umweltwirkungen und Leistungen. Aufgrund der durchschnittlichen Lebensdauer von 30 Jahren ist ein Austausch notwendig, wodurch sich die Kosten der Anlage auf 500.000 bis 740.000 € belaufen. Bei einer Einspeisevergütung von 10,45 Cent/kWh und einer Volleinspeisung ergeben sich Einnahmen von 24.000 bis 36.000 € pro Jahr. Unter den getroffenen Annahmen amortisiert sich die Anlage etwa nach 21 Jahren, wobei sie nach 30 Jahren erneuert werden muss. Alternativ gesprochen, ergeben sich über 50 Jahre hinweg monatlich Profite von 500 bis 800 €.

Es ist anzunehmen, dass der Preis der PV-Anlage, die Stromerzeugung, sowie die Einspeisevergütung von den Annahmen abweichen können. Darüber hinaus würde der Einbau eines Speichers sowie die Eigennutzung des Stroms voraussichtlich zu weiteren finanziellen Vorteilen führen, da der Strompreis am Markt signifikant über der Einspeisevergütung liegt.

Der **Vergleich der Kosten im Betrieb** in Abbildung 52 zeigt, dass die Kosten der Wärmepumpe niedriger sind als die der Fernwärme, wobei die geringeren Energiebedarfe des Spänners zu den günstigsten Kosten führen. Die Analyse zeigt, dass durch die veränderte Gebädekubatur der *Mittelflur R 2.8* im Vergleich zum Referenzgebäude 15 % geringere Heiz- und Warmwasserkosten benötigt. Beim *Späanner R 2.5* kann eine Reduktion von 10 % erreicht werden.

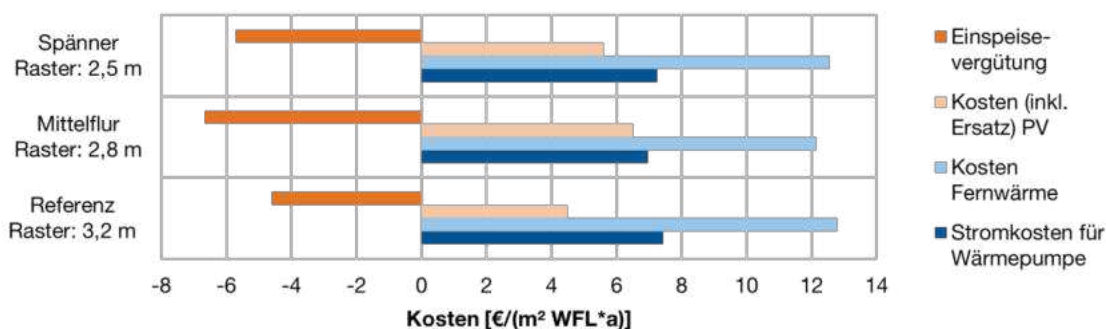


Abbildung 52: Genäherte Kosten und potenzielle Einspeisevergütungen im Betrieb ausgewählter Gebäudevarianten

Ausblick Kosten

Bezogen auf die Kostenbilanz über 25 Jahre schneidet der *Spannerraster 2,5* am besten ab. Wie in Abbildung 53 dargestellt, ergibt sich im Vergleich zur *Referenz* über einen Zeitraum von 25 Jahren ein Delta von 1,4 Millionen €, das sich aus den Mehreinnahmen aus der Miete von 14.300 € pro Jahr und den Einsparungen bei den Konstruktionskosten von 6 % zusammensetzt. Im Vergleich zur Referenz sinken die Kaltmieten durchschnittlich um 4 %. Gleichzeitig kann der städtische Bauträger bei gleicher Wohnfläche 2,5 % höhere Gesamtmieteinnahmen erzielen, da der Mietspiegel für kleinere Wohnungen höhere Mieten zulässt.

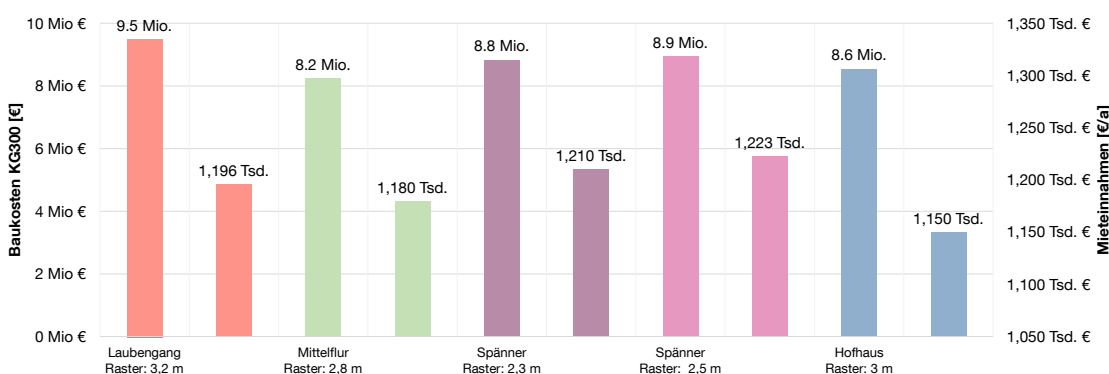


Abbildung 53: Nettokosten der Gebäudevarianten für die KG 300 (ohne Erdarbeiten und Tiefgarage) bei 2,8 m lichter Raumhöhe und netto Mieteinnahmen pro Jahr

3.2.3. Ergebnisse der LCA

Die Ergebnisse der Ökobilanzierung zeigen, dass die Tiefgaragen und Bodenplatten aufgrund der verbauten Stahlbetonmassen rund ein Drittel des gesamten GWPs der Konstruktionen ausmachen. Auch die Balkone haben aufgrund ihrer tragenden Stahlkonstruktion einen signifikanten Einfluss auf das GWP. Für den detaillierten Vergleich der Varianten werden die Emissionen der Balkone und Tiefgaragen vernachlässigt, da sie mit der Anzahl der Wohnungseinheiten im Gebäude korrelieren.

Der Vergleich der Umweltwirkungen der Konstruktion der Varianten untereinander zeigt, dass der Referenz-Laubengang das größte GWP und PENRE pro m² NRF und Jahr aufweist (vgl. Abbildung 54). Die Mittelflur- und Spänner-Varianten haben im Vergleich zum Referenzgebäude über den gesamten Lebenszyklus einen etwa 10 % geringeren nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf. Auch hinsichtlich des GWPs bestehen Einsparpotenziale. So liegt das GWP der Spänner-Varianten um 8 bis 9 % und das GWP der Mittelflur-Variante um 11 % unter dem des Referenzgebäudes. Wie bei den Kosten zeigt sich beim Vergleich der Spänner-Varianten ein Optimum bei einem Rastermaß von 2,5 m.

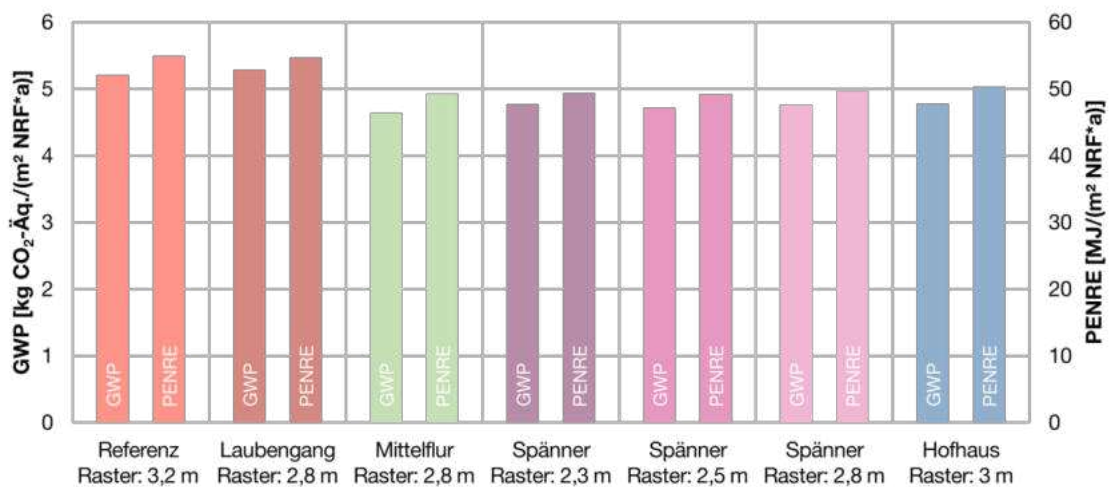


Abbildung 54: GWP und PENRE pro Quadratmeter Nettoraumfläche und Jahr (Module A1-3, B4, C3-4) ohne Berücksichtigung der Erdarbeiten, Tiefgaragen und Balkone bei 2,8 m lichter Raumhöhe

Abbildung 55 zeigt das Treibhauspotenzial der Varianten aufgeteilt nach Bauteilen. Der detaillierte Vergleich der unterschiedlichen Rastermaße der Spänner bei einer lichten Raumhöhe von 2,8 m zeigt, dass sich mit abnehmendem Rastermaß zwar die Emissionen von Decken, Bodenplatte und Dach reduzieren, gleichzeitig jedoch die Emissionen der Fensterflächen steigen. Bei der Betrachtung der Innenwände erweist sich, wie auch bei der Betrachtung des Gesamtgebäudes, ein Rastermaß von 2,5 m als optimal hinsichtlich des GWP, da die Fläche tragender Wände geringer ausfällt.

Die geringen Emissionen der Mittelflur-Varianten beruhen primär auf der Wohnungstrennwandfläche, die mit der geringeren Anzahl an Wohnungseinheiten korreliert. Durch die Gebäudekubatur und die effizientere Grundrissgestaltung lässt sich pro Geschoss mehr Wohnfläche realisieren. Dadurch genügen bei der Mittelflur-Variante bereits 3 Geschosse, um eine Wohnfläche zu erreichen, für die die anderen Varianten 3,5 bis 4 Geschosse benötigen. Entsprechend reduziert sich die benötigte Außenwandfläche. Die

Einsparung des GWP der Gebäudehülle der Mittelflur-Variante gegenüber der Laubengang-Referenz beträgt 5 %, wie in den dunkelblauen Säulen in Abbildung 55 zu erkennen ist.

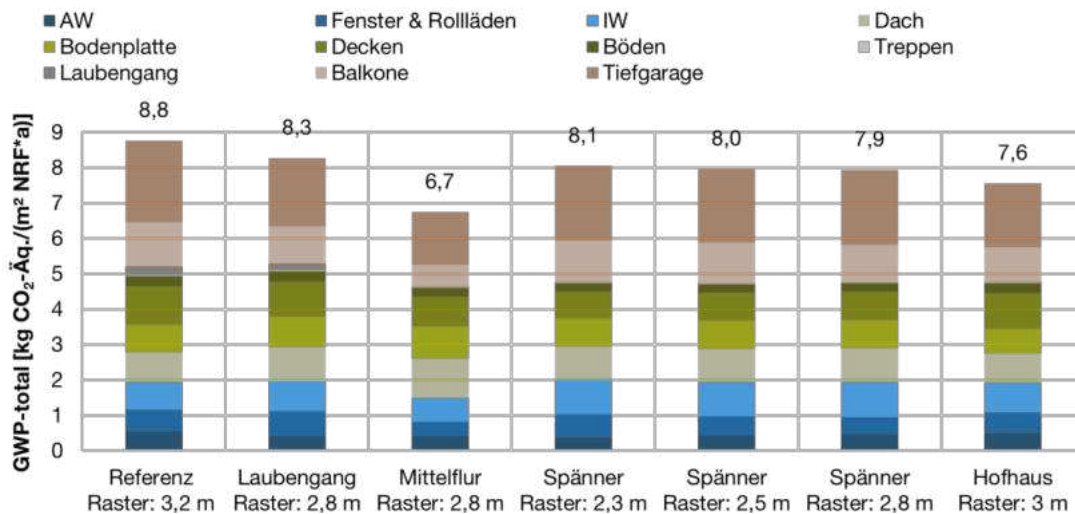


Abbildung 55: GWP-total der untersuchten Varianten für Module A-C bei 2,8 m lichter Raumhöhe pro m² NRF und Jahr nach Bauteilen

Darüber hinaus werden die Umweltwirkungen bei verschiedenen lichten Raumhöhen verglichen. Der Vergleich zeigt, dass das GWP um durchschnittlich 2 % steigt, wenn die lichte Raumhöhe um 10 % von 2,5 m auf 2,8 m bzw. von 2,8 m auf 3,2 m erhöht wird.

Insgesamt zeigt die Analyse der grauen Emissionen den Vorteil der untersuchten Varianten gegenüber der Laubengang-Referenz. Durch eine Reduktion der Rastermaße und eine Vergrößerung der Gebäudetiefen lassen sich die Umweltwirkungen der Konstruktion pro Quadratmeter Nettogrundfläche und Jahr um etwa 10 % reduzieren.

Umweltwirkung des Energieverbrauchs im Betrieb

Die Berechnung des Energieverbrauchs im Betrieb (B6) zeigt, dass die Emissionen von B6 pro Quadratmeter und Jahr um 60 bis 90 % über der Summe der grauen Emissionen liegen (vgl. Abbildung 56). Unter Berücksichtigung der Emissionen über den gesamten Lebenszyklus (graue Emissionen und Energieverbrauch im Betrieb bei Verwendung einer Wärmepumpe) ergeben sich für den Spänner im Vergleich zur Laubengang-Referenz Reduktionen des GWPs von 8 bis 11 %. Der Mittelflur weist im Vergleich zur Laubengang-Referenz eine Einsparung von 18 % des GWPs auf.

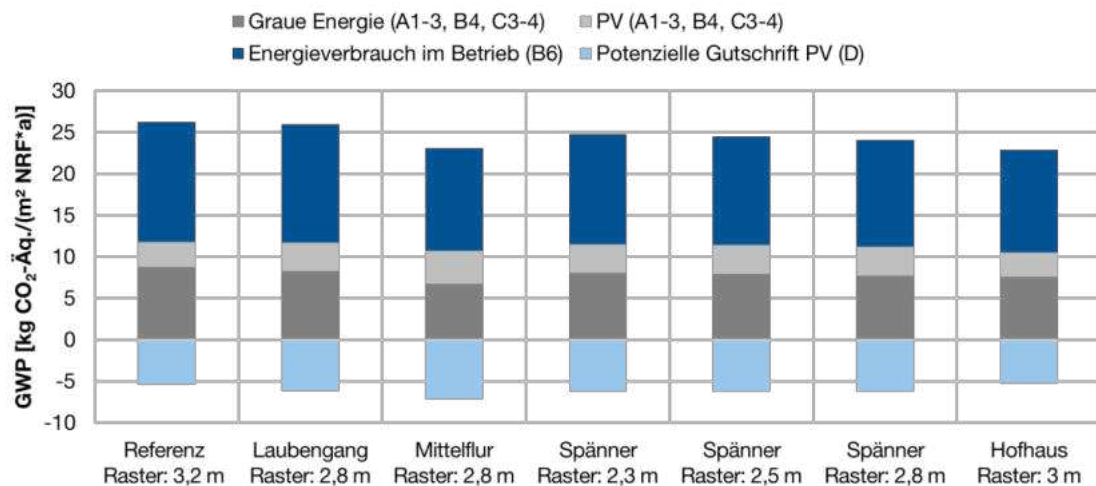


Abbildung 56: GWP der Gebäudevarianten für die graue Energie, den Energieverbrauch im Betrieb und die potenzielle Gutschrift durch PV bei 2,8 m lichter Raumhöhe pro m² NRF und Jahr bei Verwendung einer Wärmepumpe

Die Umweltwirkungen der PV-Anlage setzen sich aus Emissionen bei der Herstellung, dem Austausch und der Entsorgung sowie einer Gutschrift im Modul D zusammen. Die Gutschrift im Modul D stellt die „ersparten Aufwendungen durch Substitution nach Abzug der Netzverluste von 5%“ (BMWSB, 2023c) sowie die vergleichsweise geringen Emissionen am End-of-Life der Materialien dar. Bei allen betrachteten Varianten liegen die GWP-Gutschriften im Modul D über den Emissionen der Herstellung und der Entsorgung der Module. Bei Gebäuden mit kleineren Rastern lassen sich tiefere Gebäudetiefen realisieren. Bei gleichbleibender Gebäudelänge weisen diese kompakteren Gebäude eine größere Grundfläche und damit auch eine größere Dachfläche auf. Somit lassen sich mehr PV-Module installieren und dadurch mehr Strom erzeugen.

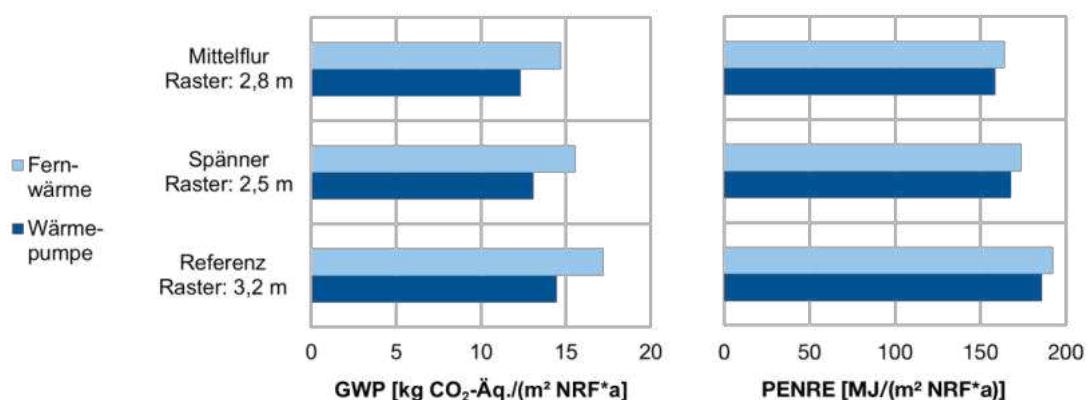


Abbildung 57: GWP und PENRE des Moduls B6 „Energieverbrauch im Betrieb“ bei der Verwendung einer Wärmepumpe und dem Bezug von Fernwärme für drei ausgewählte Varianten

Der reduzierte Energiebedarf der kompakteren Varianten (siehe Kapitel 2.2.3) spiegelt sich auch in den Umweltwirkungen wider. Der Spänner weist bei der Verwendung einer Wärmepumpe sowie bei der Nutzung von Fernwärme 10 % geringere GWP- und

PENRE-Werte auf als das Referenzgebäude. Die Reduktion beim Mittelflur beträgt 15 %. Die Umweltwirkungen der Fernwärmenutzung liegen etwa 4 % über denen der Wärmepumpennutzung. Bei der Betrachtung werden die Herstellung, der Austausch und die Entsorgung der technischen Gebäudeausrüstung vernachlässigt, weshalb der unter Umständen variierende Aufwand zwischen Fernwärme und Wärmepumpe nicht quantifiziert werden kann.

Insgesamt führen die reduzierten Energiebedarfe des Späners und des Mittelflurs gegenüber dem Referenzgebäude zu 10 bis 15 % geringeren Umweltwirkungen im Betrieb. Die Verwendung einer PV-Anlage hat das Potenzial, diese Umweltwirkungen um weitere 10 % zu senken.

Vergleich mit QNG und BR18-Grenzwert

Bei Verwendung einer Wärmepumpe belaufen sich die Gesamtemissionen der Gebäude ohne Berücksichtigung der Emissionen der KG 400 auf einen Wert zwischen 19 und 23 kg CO₂-Äq./((m² NRF*a)). Der Grenzwert nach QNG von 24 kg CO₂-Äq./((m² NRF*a)) kann demnach unterschritten werden. Bei Addition des Sockelbetrags zur Berücksichtigung der KG400 nach QNG (BBSR, 2024) überschreitet der Laubengang den Grenzwert, während der Späner (mit 2,5 m Raster) mit 22,2 und der Mittelflur (mit 2,8 m Raster) mit 20,3 kg CO₂-Äq./((m² NRF*a)) den Grenzwert einhalten. Aufgrund der fehlenden Detailplanung zur Ausführung der TGA wird von einer Ermittlung der Umweltwirkungen der KG 400 über den Sockelbetrag hinaus abgesehen.

Der in Dänemark vorgeschriebene Zielwert von 12 kg CO₂-Äq./((m² RFA*a)) beruht im Vergleich zur Berechnung nach QNG auf signifikant geringeren Annahmen des GWPs für Strom. Gemäß der dänischen Berechnungsgrundlagen (Tabelle 6, Dänische Sozial- und Wohnungsbaubehörde, 2023b) belaufen sich diese auf lediglich 10 % der Ökobaudat-Werte (vgl. Datensätze Strommix 2030, 2040 und 2050, BMWBS, 2023g). Aufgrund der Unsicherheiten hinsichtlich der Vergleichbarkeit wird auf einen detaillierten Vergleich der Ergebnisse dieser Studie mit dem dänischen Grenzwert verzichtet. Eine Übertragung der Umweltwirkungen aus Dänemark für Strom auf die hier durchgeführten Ökobilanzstudien ergibt durchschnittliche GWP-Werte von 10 kg CO₂-Äq./((m² NRF*a)). Für eine Bewertung müsste die Studie jedoch vollständig den Anforderungen des BR18 folgend geführt werden.

3.2.4. Gegenüberstellung Kosten – Umweltwirkung – Belichtung

In Abbildung 58 werden die Nettokonstruktionskosten, die Umweltwirkungen, die Belichtungsqualität (dargestellt als sDA) sowie die durchschnittlichen Wohnungsgrößen

der untersuchten Gebäudevarianten gegenübergestellt. Die Grafik verdeutlicht die reduzierten Kosten und Umweltwirkungen der Spänner bei gleichzeitig geringen Wohnflächen und hoher Tageslichtverfügbarkeit. Der Mittelflur erreicht zwar geringe Konstruktionskosten und Umweltwirkungen pro Quadratmeter, weist jedoch auch geringere Tageslichtqualitäten auf und erfüllt im Durchschnitt nicht das Ziel, kleinere Wohnungen zu schaffen.

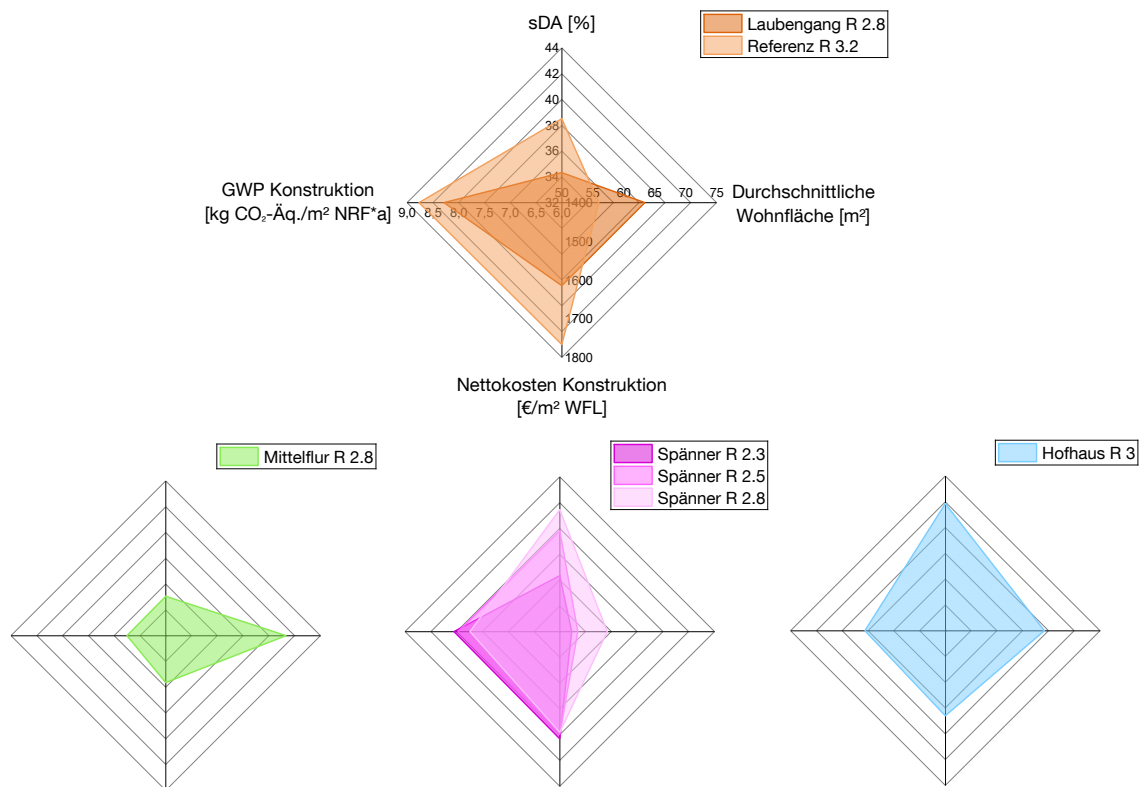


Abbildung 58: Spinnendiagramm zur Gegenüberstellung der Spatial Daylight Autonomy, der GWPs der KG 300 (ohne Erdarbeiten und Tiefgarage), der Nettokosten der KG 300 sowie der durchschnittlichen Wohnfläche pro Wohnung für die untersuchten Gebäudevarianten

Arbeitspaket 3: Abgleich mit Nutzer- und Betreiberanforderungen

Die Nutzer- und Betreiberanforderungen werden im Projekt differenziert betrachtet. Als Stellvertretung der Nutzerperspektive werden sowohl die planerische Erfahrung des Architekten als auch die tatsächlichen Nachfrageprofile der Wohnungsbau Ludwigsburg herangezogen. Die Betreiberperspektive wird durch die Wohnungsbau Ludwigsburg selbst vertreten. In der Vorentwurfsphase werden auf dieser Grundlage zentrale Komfortparameter definiert, die aus architektonischer Sicht im zeitgenössischen Neubau als erforderlich gelten. Dazu zählen insbesondere private Außenräume in Form von Balkonen sowie eine ausreichende natürliche Belichtung der Wohnräume. Seitens der Wohnungsbau Ludwigsburg zeigt sich zudem eine hohe Nachfrage nach kostengünstigem Wohnraum mit einer hohen Zimmeranzahl, insbesondere durch Familien und Alleinerziehende.

3.2.5. Wirtschaftlichkeit und Kaltmietenperspektive

Kompaktere Wohnungsgrößen ergeben konsequenterweise eine bessere Ausnutzung von Grundstücken und Ressourcen und damit eine höhere Anzahl an zu realisierenden Wohneinheiten. Einschränkend wirkt dabei die Abhängigkeit von der Anzahl PKW und Fahrradstellplätze je Wohneinheit. Die durch kompaktere Wohnungsgrößen entstehenden Materialeinsparungen im Bereich der KG 300 (Rohbau/ Ausbau) werden zumindest in Teilen durch erhöhte Aufwendungen in der KG 400 (Haustechnik/ Sanitär) ausgeglichen.

Kompaktere Wohnungen mit gleicher Zimmeranzahl bis zu einer Gesamtwohnfläche bis ca. 75 m² erzielen am Mietmarkt in Ludwigsburg eine höhere Durchschnittsmiete / m² Wohnfläche. Dadurch könnten sich die höheren Investitionskosten im Bereich KG 400 ausgleichen lassen.

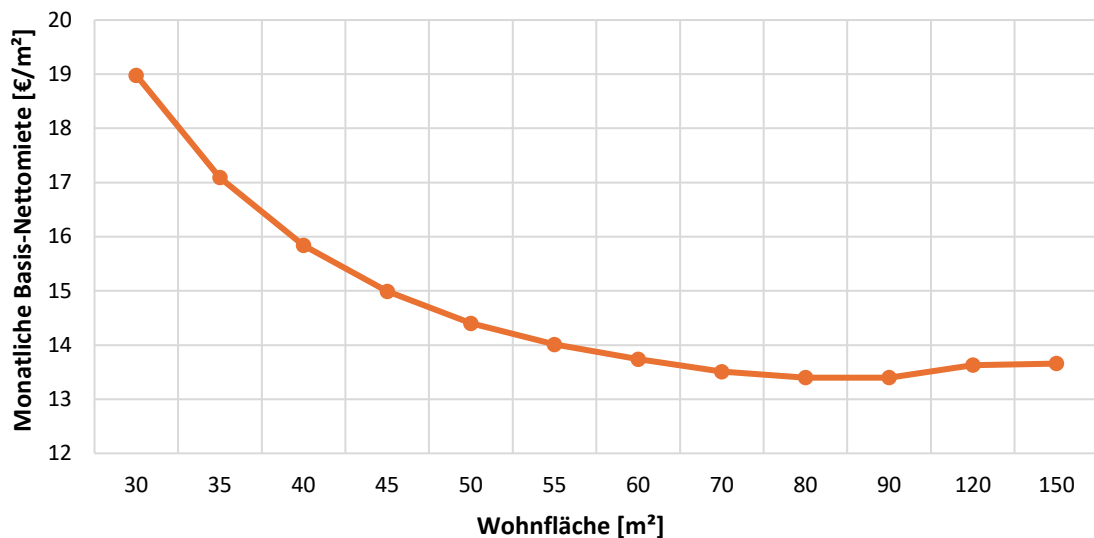


Abbildung 59: Monatliche Basis-Nettomiete nur in Abhängigkeit von Wohnfläche in Ludwigsburg (Stadt Ludwigsburg, 2025b)

Die höhere Anzahl an Wohnungen in Kombination mit einer standardisierten, bzw. typologisierten Bauweise sollten die in Teilen erhöhten Investitionskosten im Bereich der KG 400 mehr als kompensieren und dadurch die Durchschnittsmieten je Wohnungstyp (2-, 3-, 4-, 5-Zimmerwohnung) reduzieren.

Im Vergleich zur Referenz sinken die Kaltmieten durchschnittlich um 4 %. Gleichzeitig kann der städtische Wohnungsbauer höhere Gesamtmieteinnahmen von 2,5 % bei gleicher Wohnfläche erzielen, da der Mietspiegel bei kleineren Wohnungen höhere Mieten zulässt.

Limitationen der Kaltmietenperspektive

Die Mieten werden auf Basis des Mietspiegels der Stadt Ludwigsburg berechnet. Aufgrund teils deutlich unterschiedlicher Mietspiegelniveaus zwischen verschiedenen Städten ist bei einer Übertragung der Ergebnisse auf andere Standorte eine entsprechende Anpassung bzw. Einordnung erforderlich. Grundsätzlich sind die Mietberechnungen insbesondere für mittelgroße Städte in Baden-Württemberg gut vergleichbar.

3.2.6. Anforderungen des sozialen Wohnungsbaus bzw. der Wohnungsgrößen

In Abbildung 60 sind die Vorgaben für die Quadratmeterzahl im sozialen Wohnungsbau für Baden-Württemberg dargestellt. Die jeweiligen ausgearbeiteten Varianten sind alle im zulässigen Bereich. Dabei ist erkennbar, dass die Spannervarianten immer sehr nah an der Mindestgrenze sind, was ja auch dazu führt, dass mehr Wohneinheiten untergebracht werden können.

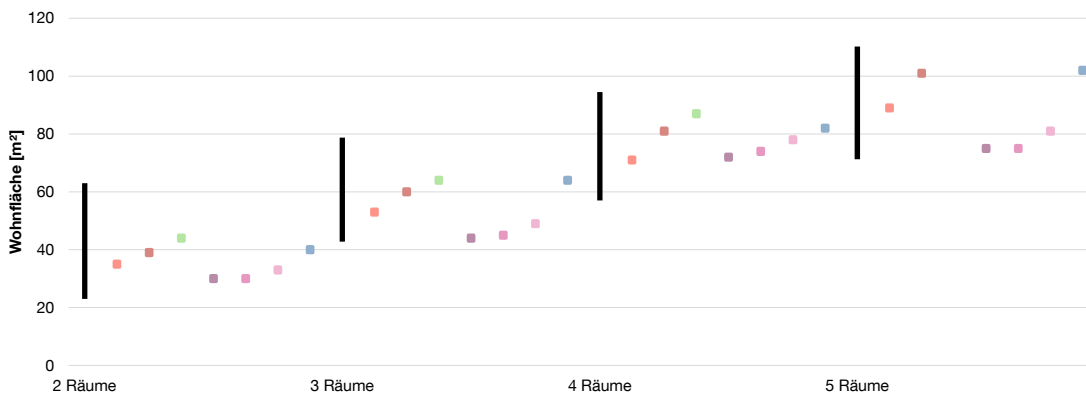


Abbildung 60: Darstellung der minimal und maximal zulässigen Wohnfläche für den sozialen Wohnungsbau in Baden-Württemberg und die jeweiligen Varianten je nach Raumanzahl. Die Reihenfolge ist von links nach rechts: *Referenz*, *Laubengang R 2.8*, *Mittelflur R 2.8*, *Spänner R 2.3*, *Spänner R 2.5*, *Spänner R 2.8*, *Hofhaus*

3.2.7. Skalierbarkeit und Übertragbarkeit auf andere Baugrundstücke

Um die Skalierbarkeit und Übertragbarkeit sicherzustellen werden im Kern über drei Hebel abgesichert:

1. Modularer Wohnungsbaukasten

Die entwickelten Wohnungsgrundrisse sind als modularer Baukasten konzipiert und nach Zimmeranzahl systematisch aufgebaut. Alle Grundrisse folgen konsequent einem einheitlichen Rastermaß, wodurch sich die Gebäudestrukturen ohne grundlegende Anpassungen verkürzen oder verlängern lassen. Diese strikte Rasterlogik ermöglicht eine hohe Skalierbarkeit und Übertragbarkeit auf unterschiedliche Baugrundstücke und städtebauliche Rahmenbedingungen. Beispielhaft sind in Abbildung 28 die Grundrisse der Erschließungstypologie *Spänner R 2.5* dargestellt. Die weiteren im Projekt entwickelten Wohnungsgrundrisse sind in den Plänen im Anhang A dokumentiert.



Abbildung 28: Wohnungsgrundrisse der Typologie *Spänner R 2,5*

2. Parametrische/Simulationsgestützte Methodik für andere Kontexte des Außenraums

Der maßgebliche limitierende Faktor für die Gebäudetiefe ist die maximal mit natürlicher Belichtung ausreichend versorgbare Raumtiefe. Die Effektivität der Tageslichtversorgung über Fenster wird dabei wesentlich durch die jeweilige Umgebungsbebauung beeinflusst. Aus diesem Grund werden in der Studie zwei unterschiedliche Simulationsvarianten zur Ermittlung der erforderlichen Fenstergrößen untersucht: eine Fassadensituation zu einem freistehenden Grundstück sowie eine Fassadensituation mit angrenzender Nachbarbebauung. Auf Basis dieser Differenzierung lassen sich die Ergebnisse flexibel auf unterschiedliche städtebauliche Kontexte übertragen.

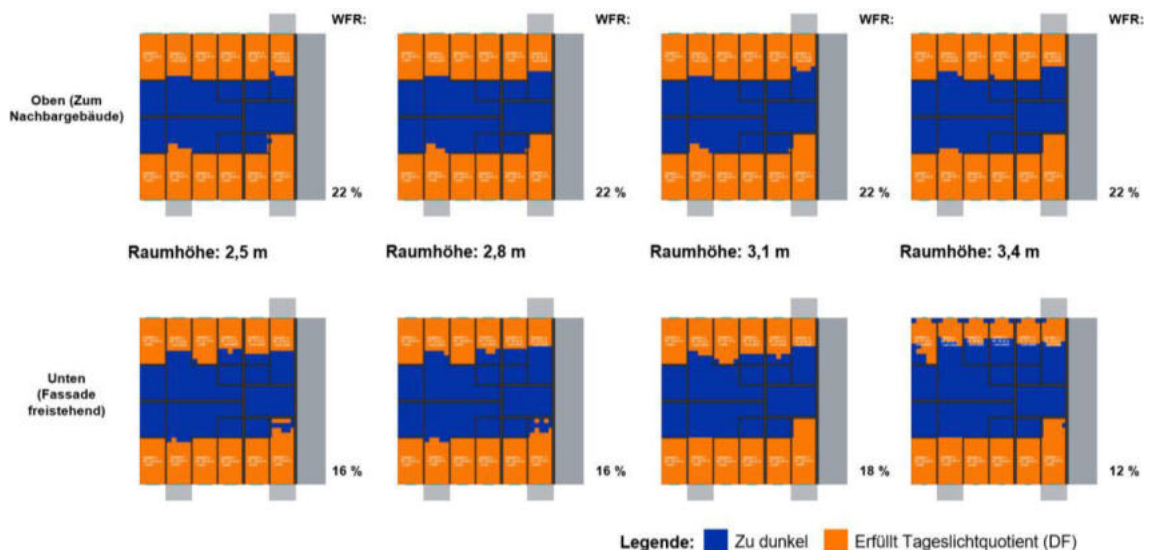


Abbildung 61: Tageslichtuntersuchung mit Unterscheidung zwischen der Fassade zum Nachbargebäude und Fassade freistehend

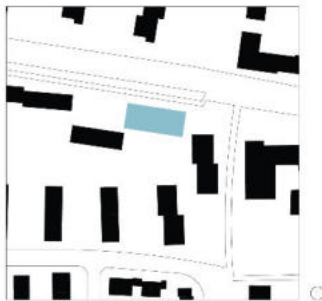
3. Validierung über weitere Grundstücke der WBL

Zur Überprüfung der Übertragbarkeit und Skalierbarkeit der entwickelten Entwurfsansätze stellte die Wohnungsbau Ludwigsburg zusätzliche Beispielgrundstücke im Stadtgebiet zur Verfügung. Die Grundstücke sind überwiegend durch eine offene Bebauungsstruktur geprägt (freistehende Gebäude, meist ohne direkte Nachbarbebauung), teils liegen jedoch auch Situationen mit Zeilen- bzw. Reihenbebauung vor. Damit bilden

sie – im Sinne einer Potenzialanalyse zur Anwendung auf weitere Grundstücke – realistische Rahmenbedingungen für die Prüfung der Typologie.

Die Anwendung der Wohnbautypologie *Spänner R 2.5* zeigt grundsätzlich eine gute Übertragbarkeit auf weitere Grundstücke, ist in ihrer Plausibilität jedoch stark von Grundstücksbreite und -tiefe abhängig. In allen untersuchten Fällen konnte gegenüber dem Bestand eine BGF-Steigerung von ca. 600 – 700 m² erzielt werden; insgesamt ermöglicht die Typologie damit eine deutlich höhere Wohnraumdicke als die jeweilige Bestandssituation (vgl. Vergleichsbeispiele Straßenäcker 22+24, Donaustraße 6+8 und Hirschbergerstr. 105+107 der Abbildung 62).

Straßenäcker 22+24



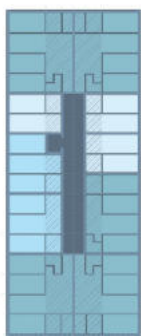
Bestand

Geschosse: 4
BGF: ~2.000 m²

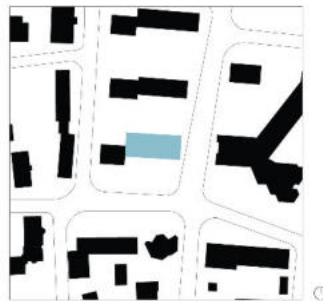
Spänner R 2.5

Geschosse: 4
BGF: 2.742 m²
WE: 40

Regelgeschoss:



Donaustraße 6+8



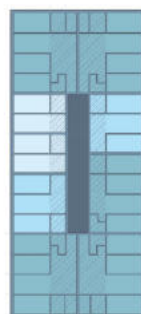
Bestand

Geschosse: 4
BGF: ~1.971 m²

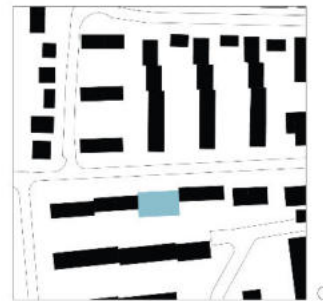
Spänner R 2.5

Geschosse: 4
BGF: 2.574 m²
WE: 36

Regelgeschoss:



Hirschbergstr. 105+107



Bestand

Geschosse: 4
BGF: ~1.176 m²

Spänner R 2.5

Geschosse: 4
BGF: 1.902 m²
WE: 32

Regelgeschoss:

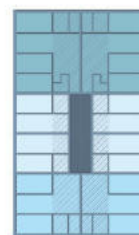


Abbildung 62: Vergleich von Bestand und Anwendung der Typologie *Spänner R 2.5* auf drei Beispielgrundstücke in Ludwigsburg (BGF und Geschossigkeit); Untersuchung mit Überschreiten der Baulinie (BauNVO § 23 Abs. 3)

Schließlich ist der Ersatz von Bestandsgebäuden zugunsten der Typologie nicht in allen Fällen sinnvoll und erfordert eine Einzelfallabwägung, insbesondere mit Blick auf graue Emissionen (Embodied Carbon) sowie mögliche Alternativen wie Anbau, Aufstockung oder Erweiterung. Insgesamt eignet sich die Typologie als Ansatz zur Nachverdichtung

bestehender Strukturen, setzt dafür jedoch angepasste städtebauliche und rechtliche Rahmenbedingungen voraus, um die Potenziale praktisch heben zu können.

4. Fazit und Ausblick

4.1. Fazit

Ein kleineres Raster ermöglicht es, suffizientere Wohnungen mit kleineren Räumen zu bauen. Bei der Erschließungsform des Spänners ist es möglich, die größtmögliche Dichte an kleinen Wohnungen zu erreichen. Das entspricht 6 Wohneinheiten mehr als bei der *Referenz*. Bezogen auf die Kostenbilanz über 25 Jahre schneidet der *Spänner R 2.5* am besten ab. Mit Mehreinnahmen aus der Miete und Einsparungen bei der KG 300 von 6 % ergibt sich im Vergleich zur *Referenz* ein Delta von 1,4 Millionen €. Im Vergleich zur *Referenz* sinken die Kaltmieten durchschnittlich um 4 %. Gleichzeitig kann der Bauherr bei gleicher Wohnfläche um 2,5 % höhere Gesamtmieteinnahmen erzielen, da der Mietspiegel für kleinere Wohnungen höhere Mieten zulässt.

Bei der Tageslichtsimulation schneidet die Raumhöhe von 2,8 m durchschnittlich am besten ab. Diese bildet ein Optimum zwischen zu schmalen Fenstern, bei denen die Laibung verschattet, und den Vorteilen höherer Fenster, die mehr Licht in die Tiefe bekommen. Im Variantenvergleich mit 2,8 m Raumhöhe erreichen der *Laubengang R 2.8* und der *Mittelflur R 2.8* die erforderliche sDA von 40 % nicht. Das *Hofhaus* hat mit 60 % die besten Tageslichtkonditionen. Danach folgen die Spänner, wobei der *Spänner R 2.5* mit 46 % nahezu dasselbe Tageslichtergebnis wie die *Referenz* mit 47 % erreicht, trotz eines 3,4 m tieferen Baukörpers.

Für die Bereitstellung von Heizwärme und Warmwasser im Betrieb, benötigen alle tieferen Gebäude weniger Energie als die Referenzvariante, wobei die Einsparungen von 3 % beim *Spänner R 2.5* bis zu 9 % beim *Hofhaus* reichen. Dies bestätigt die Hypothese, dass kompaktere Gebäude energieeffizienter sind.

Die Kostenanalyse zeigt das Potenzial kompakterer Gebäudevarianten auf. Die Konstruktionskosten des *Mittelflurs 2.8* liegen pro Quadratmeter Wohnfläche etwa 13 % unter denen der *Referenz*. Die Konstruktionskosten der Spänner werden um 6 bis 8 % reduziert. Hinsichtlich der Gesamtprojektkosten führen die Stellplatzvorgaben zu höheren Tiefgaragenkosten bei Varianten mit vielen Wohnungseinheiten. Dies verzerrt den Vergleich der Gesamtprojektkosten, sodass die Spänner hier hohe Kosten aufweisen. Der geringere Energiebedarf für Heizung und Warmwasser im Betrieb spiegelt sich auch in den Betriebskosten der Gebäude wider.

Der Vergleich der grauen Emissionen zeigt einen Vorteil der kompakteren Gebäudevarianten gegenüber der *Referenz*. Eine Reduktion der Rastermaße bei gleichzeitiger Vergrößerung der Gebäudetiefen ermöglicht eine Reduktion der Umweltwirkungen der Konstruktion pro Quadratmeter Nettogrundfläche und Jahr um etwa 10 %. Die Mittelflurvarianten weisen aufgrund geringerer Emissionen der Wände und Fenster die niedrigsten Umweltwirkungen (GWP und PENRE) auf, gefolgt von den Spännervarianten und dem Hofhaus. Die Tiefgarage, Bodenplatte und Balkone machen etwa ein Drittel der grauen Emissionen aus.

4.2. Ausblick

Die Ergebnisse des Projekts bilden eine verlässliche Grundlage für die Weiterentwicklung eines kostengünstigen und ressourceneffizienten Geschosswohnungsbaus. Der nächste Schritt besteht darin, die erarbeiteten Strategien in einem realen Bauvorhaben zu erproben. Die Wohnungsbau Ludwigsburg plant daher, auf dem Grundstück in der Markgröninger Straße einen Prototyp zu realisieren, der als Reallabor dient und die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse praktisch überprüfbar macht.

Ein besonderes Potenzial zeigt sich dabei in der suffizienzorientierten Gebäudetiefe: Durch eine flächeneffiziente Organisation der Grundrisse kann die erforderliche Wohnfläche auf weniger Geschosse verteilt werden. Gelingt es, die Zielwohnfläche bereits innerhalb von drei Geschossen zu erreichen, bleibt das Gebäude in einer niedrigeren Brandschutzklasse. Dies führt zu reduzierten Anforderungen (beispielsweise an Rettungswege, Materialwahl und Abschottungen) und könnten damit ein weiteres relevantes Einsparpotenzial führen (durch niedrigere Konstruktionskosten, weniger komplexe Detailausbildungen, reduzierte Prüf- und Dokumentationspflichten sowie eine insgesamt höhere Planungs- und Ausführungssicherheit).

Darüber hinaus ermöglicht das Reallabor eine vertiefte Untersuchung der Nutzerakzeptanz hinsichtlich suffizienter Grundrisse. Dabei stellt sich die zentrale Frage, welche räumlichen Kompromisse für Nutzende zumutbar sind und wie qualitative Aspekte, etwa durch gezielte Nutzung von Raumhöhe und Proportionen, weiterhin hohen Wohnkomfort gewährleisten können. Die Kombination aus baulicher Erprobung, Nutzungsanalyse und ökonomischer Bewertung liefert somit wertvolle Erkenntnisse für zukünftige Standards und Strategien.

Die im Projekt gewonnenen Resultate sollen zudem in die Politikberatung des Strategiedialogs Baden-Württemberg einfließen. Dadurch können die gewonnenen Erkenntnisse nicht nur lokal in Ludwigsburg umgesetzt, sondern auch auf übergeordneter Ebene zur Weiterentwicklung Suffizienzorientierter Rahmenbedingungen beitragen.

5. Leitfaden

5.1. Suffizienz – Bedeutung und Rolle im nachhaltigen Bauen

Der Begriff Suffizienz leitet sich vom lateinischen *sufficere* ab und bedeutet „ausreichen“ oder „genug sein“. In der Nachhaltigkeitsdebatte beschreibt Suffizienz eine eigenständige Strategie, die darauf abzielt, den Ressourcen- und Energieverbrauch durch eine bewusste Reduktion unnötiger Anforderungen sowie das Hinterfragen etablierter Komfort- und Konsumnormen zu verringern. Sie ergänzt damit die Strategien Effizienz und Konsistenz, die gemeinsam die drei Grundpfeiler nachhaltigen Handelns bilden:



Abbildung 63: Nachhaltigkeitsstrategien (Grafik: DGNB, eigene Darstellung)

Effizienz („Besser“) erhöht die Leistung pro Ressourceneinheit.

- *Beispiel Wohnen: ein besser gedämmtes Fenster spart Heizenergie bei gleicher Wohnfläche.*
- *Beispiel Heizen: eine Wärmepumpe erzeugt mit derselben Menge Strom mehr Nutzwärme.*
- *Beispiel Bauen: optimierte Bauteile verringern Materialeinsatz bei gleichbleibender Funktion.*

Konsistenz („Anders“) zielt auf die Nutzung naturverträglicher Technologien, Stoffe und Verfahren.

- *Beispiel Wohnen: Einsatz biobasierter Materialien wie Holz oder Lehm.*
- *Beispiel Heizen: Nutzung erneuerbarer Energieträger statt fossiler Brennstoffe.*
- *Beispiel Bauen: Kreislauffähige Bauteile, recyclingfreundliche Konstruktionen.*

Suffizienz („Weniger“) reduziert den Verbrauch, indem Nachfrage und Bedarf strukturell sinken.

- *Beispiel Wohnen: kompaktere Grundrisse bei gleicher Nutzbarkeit.*
- *Beispiel Heizen: geringere Heizlast durch kleinere, gut zonierte Wohnungen.*
- *Beispiel Bauen: begrenzte technische Ausstattung, einfache, robuste Konstruktionen.*

Während Effizienz und Konsistenz versuchen, das bestehende System „besser“ oder „anders“ zu gestalten, stellt Suffizienz die grundsätzliche Frage: Wie viel ist wirklich notwendig?

5.1.1. Warum Effizienz und Konsistenz alleine nicht genügen

In vielen Bereichen wurden bereits erhebliche Effizienzsteigerungen erzielt, etwa durch bessere Dämmstandards, effizientere Heizsysteme oder optimierte Haustechnik. Dennoch ist der absolute Ressourcenverbrauch im Gebäudebereich weiter gestiegen. Ein zentraler Grund hierfür ist der *Rebound-Effekt*: Einsparungen durch Effizienz oder neue Technologien werden häufig durch einen höheren Konsum überkompensiert.

Beispiele für Rebound-Effekte im Gebäude- und Wohnbereich:

- besser gedämmte Gebäude → höhere Raumtemperaturen, mehr beheizte Räume, längeres Lüften
- effiziente Heizungssysteme → mehr beheizte Fläche, längere Laufzeiten
- reduziertem Primärenergiebedarf steht oft ein wachsender Materialeinsatz (zum Beispiel durch Gebäudedämmung) gegenüber
- steigender Wohlstand und Zunahme von Single-Haushalten → mehr Zimmer, größere Wohnungen, mehr beheizte Fläche pro Person

Suffizienz setzt genau hier an: nicht beim „Wie“, sondern beim „Wie viel“. Im Bauwesen bedeutet dies, Komfort-, Flächen- und Ausstattungsansprüche so zu gestalten, dass sie mit deutlich geringerem Ressourcenaufwand erfüllt werden, ohne die Lebensqualität zu beeinträchtigen.

Komfortanspruchsänderungen im Laufe der Geschichte

Die Notwendigkeit suffizienter Strategien zeigt sich eindrücklich im historischen Vergleich: Die durchschnittliche Wohnfläche pro Person in Deutschland hat sich in den letzten Jahrzehnten nahezu verdoppelt. Während um 1950 viele Familien auf weniger als 15 m² pro Person lebten, liegt der heutige Durchschnitt bei über 47 m² pro Person. Parallel dazu sind Ausstattungsstandards, Gerätezahlen, Sanitär- und Abstellflächen

sowie individuelle Komfortansprüche, wie Raumtemperaturen und die Anzahl an beheizten Zimmern, kontinuierlich gestiegen. Diese Entwicklung verdeutlicht zweierlei:

- Ein erheblicher Teil der heutigen Wohnfläche basiert auf Standards statt auf realen Bedürfnissen.
- Die baulichen und energetischen Einsparungen der letzten Jahrzehnte wurden durch das Flächenwachstum weitgehend aufgezehrt.

Dies Phänomen wird in der folgenden Grafik noch einmal verdeutlicht. Trotz der immer effizienten laufenden Häuser ist der Gesamtenergieverbrauch pro Person in den letzten dreißig Jahren kaum gesunken.

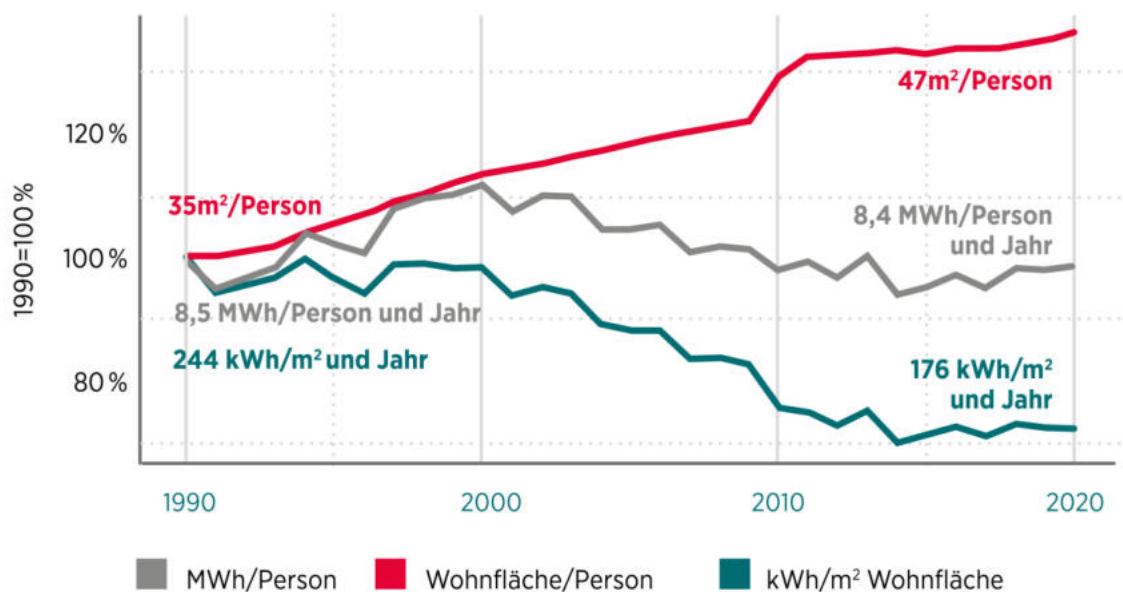


Abbildung 64: Energieverbrauch in MWh/Person seit 1990 (Gräbner-Radkowsch, Lage & Wiese, 2022)

5.1.2. Eingrenzung des Leitfadens: Flächensuffizienz

Im vorliegenden Leitfaden steht insbesondere die Flächensuffizienz im Mittelpunkt. Sie beschreibt eine Reduktion des Ressourcen- und Energieverbrauchs durch kompaktere, intelligent organisierte Gebäude und Grundrisse. Dabei geht es weder um Enge noch um Einschränkung, sondern um eine qualitätsvolle, funktionale und bezahlbare Wohnraumentwicklung, die die tatsächlichen Bedürfnisse der Nutzerinnen und Nutzern in den Vordergrund stellt.

Flächensuffizienz bedeutet:

- weniger Wohnfläche pro Person – aber bessere Nutzbarkeit,
- kompaktere Gebäude – aber erhöhte Aufenthaltsqualität,

Damit wird die Suffizienz im Geschosswohnungsbau zu einem zentralen Hebel, um bezahlbare, klimaverträgliche und zukunftsfähige Wohngebäude zu realisieren.

5.1.3. Eingrenzung des Leitfadens (Spänner R 2.5)

In der Studie wird eine Vielzahl von Gebäudetiefen und Erschließungsvarianten entwickelt und qualitativ und quantitativ verglichen. Im Ergebnis wird die Variante *Spänner R 2.5* als die optimale Variante identifiziert, weil diese Variante ein Optimum von Flächeneffizienz, Kosten und Behaglichkeit aufweist.

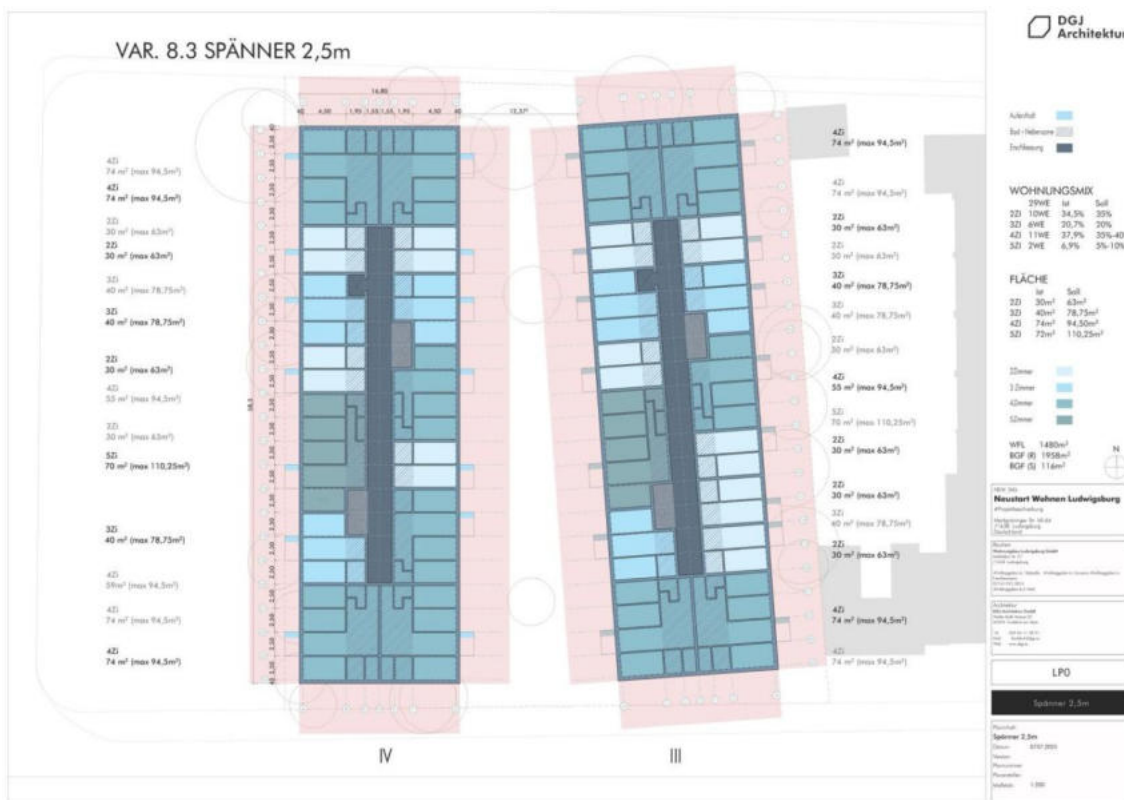


Abbildung 65: *Spänner R 2.5*, Gebäudetiefe 16,8 m, Grundrisse des gesamten Grundstücks ohne Maßstab. DGJ Architektur GmbH, 2025

Es ist zu betonen, dass die Optimierung sich auf die spezifischen Voraussetzungen des Grundstücks in Ludwigsburg bezieht. Bei anderen Grundstücksgrößen und -geometrien können andere Gebäudetypen sinnvoller sein, insbesondere, wenn die Gebäude höher geplant werden können, wodurch sich das A/V-Verhältnis weiter optimieren lässt. Bei dem gegebenen Grundstück in Ludwigsburg sind im Hinblick auf das Planungsrecht (§34 BauGB) mehr als vier Geschosse nicht untersucht worden.

5.2. Entwurfsempfehlungen

Die Hypothese des Projekts war die Untersuchung des Potentials zur Optimierung des Wohnungsbaus durch die Anpassung der Kubatur des Gebäudes – insb. der Gebäudetiefe und der Kompaktheit. Im Ergebnis ließ sich nachweisen, dass Gebäudevolumen mit größeren Tiefen im Wohnungsbau geplant werden können, die Wohnqualität durch geeignete Planung nicht verschlechtert wird und die Kosten insgesamt reduziert werden können. Zur erfolgreichen Umsetzung dieser Strategie sollen im Folgenden konkrete Hinweise gegeben werden.

5.2.1. Architektur:

Zielbild und Flächensuffizienz

Oberstes Ziel der Planung kostengünstiger Wohnungen sollte sein, den Flächenverbrauch zu reduzieren (siehe oben „Flächensuffizienz“). Dazu sind folgende Maßnahmen hilfreich:

- Tiefgarage und Stellplätze kritisch hinterfragen: In der Studie machen Tiefgaragen (KG 300/400/700) etwa 16 – 22 % der Gesamtprojektkosten aus, sodass eine Reduktion des Stellplatzschlüssels erhebliches Kosten- und GWP-Potenzial bietet.
- Kleine, kompakte Wohnungen mit vielen Zimmern (z.B. 3-Zimmer in 75 m²) priorisieren, da sie für sozialen Wohnungsbau besonders nachgefragt sind und gleichzeitig flächeneffizient bleiben.
- Wohnflächen innerhalb der Förderbandbreiten, aber bewusst im unteren Bereich ansetzen (z.B. 3-Zimmer-Wohnung um 75 m²) und auf gut nutzbare Zimmer statt auf repräsentative Größe fokussieren.
- Verkehrsflächen minimieren: kurze, möglichst gerade Flure, wenig „Leerzonen“ und stattdessen Durchwohnen und Mehrfachnutzung von Räumen (z.B. Ess-/Arbeitsbereich kombiniert).
- Stauraum integrativ planen (Einbauschränke, Abstellnischen, Möbelschichten entlang der tragenden Innenwände), damit Kellerflächen reduziert oder teilweise ersetzt werden können.

Übergeordnete Effizienzstrategien: Kosten- und Umweltwirkung im Grundriss mitdenken

Neben der Suffizienz bietet auch die Effizienz in der Gebäudeplanung viele Möglichkeiten der Optimierung. Die zentralen Erkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Balkone als teure Bauteile bewusst einsetzen: Anzahl und Größe reduzieren, einfache, robuste Konstruktionen wählen oder teilweise durch gemeinschaftliche Außenräume (Dachterrassen, Erdgeschoss-Gemeinschaftsgärten) ersetzen.
- Deckenraster und Spannweiten für flächensparende Grundrisse optimieren; kürzere Spannweiten senken Deckenkosten und Materialmenge und verbessern gleichzeitig die Anpassungsfähigkeit (z.B. Rasterreduzierung von 6,4 m auf 5 m bei Massivbau und 3m bis 5m bei Holzbau).
- Modulare Regelgrundrisse mit wiederholbarem Raster entwickeln, die auf andere Grundstücke übertragbar sind (z.B. Anpassung an mehr Geschosse, andere Länge, leicht veränderte Orientierung), ohne das Prinzip der Flächensuffizienz aufzugeben.
- Kompakte, suffiziente Grundrisse reduzieren graue Emissionen der Konstruktion (z.B. etwa 10 % weniger GWP bei den optimierten Varianten im Projekt), weil weniger Hülle und Material pro m² Wohnfläche notwendig sind.

Städtebauliche Setzung

In den Entwürfen und Variantenstudien wird Gebäudetiefen zwischen 12 m und 20 m untersucht. Die besonders tiefen Gebäudegrundrisse sind durch folgende Maßnahmen ermöglicht worden:

- Nord-Süd-Orientierung des Baukörpers. Bei einer Ost-West-Orientierung sind die großen Gebäudetiefen nicht möglich, weil rein nordorientierte Wohnungen nicht zulässig und sinnvoll sind.
- Zonierung des Gebäudes: Anordnung der Nicht-Aufenthaltsräume (Bad, Küche, Flure und Erschließung) in der Mitte des Gebäudes, in dem die Belichtung für Aufenthaltsräume nicht ausreichend ist.

Gebäudetiefe, Raster und Kubatur

Ziel der Untersuchung waren möglichst kleine Wohnungen mit vielen Zimmern. Im Zusammenhang mit den größeren Gebäudetiefen entstehen lange, schmale Zimmer. Die Herausforderung lag darin, die minimale Zimmerbreite zu identifizieren, die zukunftsfähige Wohnungen ermöglicht.

Die minimale Rasterbreite von 2,5 m wird auch deshalb gewählt, weil sich damit die Stützenstellung in einem Untergeschoss abbilden ließen, um die Stellung der Stellplätze zu optimieren.

Bei den Grundriss-Studien wird von einem gleichmäßigen Raster für die Räume ausgegangen. Die Gleichförmigkeit führt zu einem einheitlichen und effizienten Tragwerk und trägt zur Kostenoptimierung bei (Skaleneffekte). Gleichzeitig bedingt das gleichförmige Raster eine in Teilen ungünstige Verteilung der Flächen und Räumen in der Wohnung.

Zusammenfassend lassen sich folgende Empfehlungen geben:

- Gebäudetiefen zwischen ca. 16 und 18 m nutzen, wenn eine konsequente Innen-Außen-Zonierung und ein Tageslichtkonzept vorhanden sind; dadurch verbessert sich das AV-Verhältnis und die Hüllfläche sinkt relativ zur Wohnfläche.
- Wohnungen so zuschneiden, dass alle Aufenthaltsräume (Wohnen, Schlafen, Arbeiten) an der Fassade liegen und Nebenräume (Bad, WC, Abstellräume, Teile der Küche) in den wenig belichteten inneren Zonen.
- Ein kleines Raster (z.B. 2,5 m) ermöglicht kleinere, gut proportionierte Zimmer, verkürzt Deckenspannweiten und senkt so Konstruktionskosten und Materialeinsatz.
- Die im Projekt untersuchte Spänner-Variante mit 2,5-m-Raster und Gebäudetiefe von etwa 16,8 m kombiniert hohe Flächeneffizienz, gute Belichtung und reduzierte Kosten und erzielt mehr Wohneinheiten als die *Referenz*.
- Kompakte Volumen mit möglichst wenig Vor- und Rücksprüngen bevorzugen, um Hüllfläche, Wärmebrücken und Fassadenkosten zu begrenzen.

Wohnqualität und Möblierbarkeit

Bei einem Achsraster von 2,5 m ergeben sich insbesondere für das Schlafzimmer mit einer lichten Breite von ca. 2,3 m die Schwierigkeit, dass ein Standard-Doppeltbett

Das Wohnzimmer in der Minimal-Variante ist auch vergleichsweise klein. Deswegen wurden vergrößerte Varianten mit zweiachsigen Wohnzimmern entwickelt.



Die Erhöhung der Gebäudetiefe wurde in der Studie durch eine Erhöhung der Raumhöhen in den Wohnungen flankiert. Die höheren Räume haben dabei Vorteile für die Belichtung, die tiefer in das Gebäude geführt werden kann. Auch eröffnen die höheren Räume Chancen, die geringe Fläche durch eine vertikale Anordnung von Möbeln und Wohnfunktionen zu kompensieren. Hier wurden für die kleinen Kinder- und Schlafzimmer folgende Varianten erarbeitet:

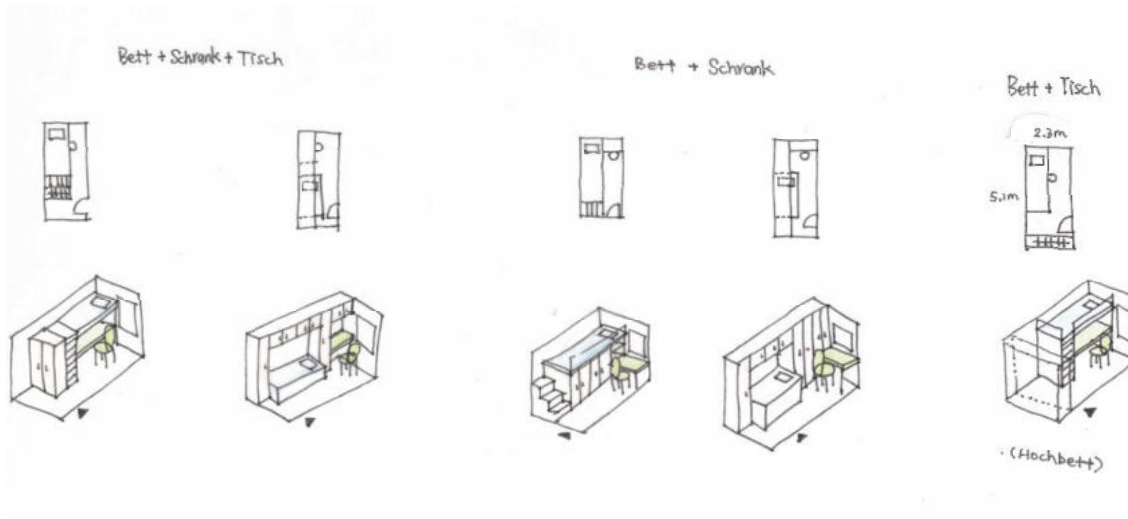


Abbildung 68: Skizzen für die Nutzung der kleinen Zimmer mit großen Raumhöhen (DGJ Architektur GmbH, 2025)

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Raumgeometrie auf gute Belichtung optimieren: eher schmalere, längere Räume mit Fenster an der Schmalseite nutzen, damit Tageslicht tief in die Grundrisse eindringen kann.
- Raumhöhen von etwa 2,8 m als robustes Optimum wählen; sie verbessern das Raumempfinden in kompakten Wohnungen und tragen in Verbindung mit geeigneten Fensterproportionen zu einer besseren Tageslichtverteilung bei.
- Fensteranteile im sinnvollen Bereich dimensionieren: ausreichend große Fenster für gute sDA-Werte, aber keine übermäßigen Glasflächen, um sommerlichen Wärmeschutz und Kosten im Griff zu behalten.
- Aufenthaltsräume bevorzugt nach Ost, Süd oder West orientieren; Nordorientierung vor allem für Nebenräume, Erschließung und ggf. Arbeits-/Nebenbereiche, wenn die bauordnungsrechtlichen Anforderungen erfüllt bleiben.

5. Organisation von Nebenräumen und Haustechnik

- Bäder, WCs, Installationsschächte und Küchen in einem kompakten Installationskern bündeln, um Leitungswege, Schachтанzahl und Haustechnikkomplexität zu reduzieren.
- Abstell- und Technikräume dorthin legen, wo die Belichtung schwach ist (Kernzonen, Bereiche ohne Fassadenkontakt) und damit Fassadenfläche für Aufenthaltsräume freihalten.

- Hauswirtschaftsbereiche in die Wohnungen integrieren (Nische für Waschmaschine/Trockner, Kombi-Stauraum) und gemeinschaftliche Waschräume für bestimmte Wohnformen (Cluster, WGs) vorsehen, um Technik zu konzentrieren.

Nutzungs Offenheit und neue Wohnformen

Die langfristige Nutzbarkeit der Wohnungen hängt auch davon ab, dass sie sich für andere Nutzungen und Wohnpraktiken anpassen lassen. Der demographische Wandel führt zur Auflösung der familiären Strukturen. Seit der Corona-Pandemie sind zunehmend andere Nutzungen in die Wohnungen eingetragen worden, insbesondere Home-office und mobiles Arbeiten. Sinnvoll ist es also die Wohnungen so zu entwerfen, dass diese für andere Nutzungen und Wohnformen sinnvoll sind. Hier liegt die Gefahr der Reduktion der Wohnflächen: Wenn die Wohnfläche reduziert wird, dann sind die Wohnungen passgenau (tight fit) auf die spezifische Nutzung ausgelegt, was zukünftige Umnutzung erschwert. Deswegen sollte – im Rahmen der notwendigen Reduktion der Wohnflächen – auf folgende Aspekte geachtet werden:

- Grundrisse so anlegen, dass Zimmer neutral nutzbar bleiben (Schlafen/Arbeiten/Wohnen), um unterschiedliche Lebensphasen und Belegungszahlen ohne Umbauten zu ermöglichen.

Tageslicht:

In Abbildung 69 ist schematisch eine Tageslichtauswertung für eine gleichgroße Raumfläche mit einer schmalen und breiten Raumgeometrie dargestellt. Die beiden Varianten sind für einen hohen Raum von 3,4 m und einen niedrigen Raum von 2,5 m simuliert. Zusätzlich dazu werden beide Varianten mit einem gleichen WFR, sprich immer demselben Fensterflächenanteil, und in Rot umrandet mit derselben WWR (konstantes Verhältnis der Fensterfläche zur Wandfläche). Der sDA mit gleicher WFR verschlechtert sich um 4 % beim breiten Raum und um 2 % beim schmalen Raum durch die Raumhöhe. Dabei sieht man allerdings, dass beim höheren Raum das Licht viel weiter in die Tiefe kommt und die Ecken bei dem Fenster weniger gut ausgeleuchtet sind. Bei der sDA-Analyse wird die Position der Punkte nicht berücksichtigt und alle werden mit gleicher Wertigkeit berücksichtigt. Dabei kann in Frage gestellt, inwiefern das Sinn macht, da Leute sich tendenziell weniger in den Raumecken aufhalten und der tiefe Lichteinfall den Raum gleichmäßiger ausleuchtet. Wenn man die normalerweise betrachtete WWR im Vergleich dazu sieht, fällt auf, dass der höhere und breitere Raum 20 % mehr sDA aufweist und der schmalere Raum sich um 10 % verbessert. Das bedeutet, wenn man bereit ist den Fensterflächenanteil zu vergrößern und das hinsichtlich des sommerlichen Komforts anderweitig berücksichtigt, bekommt man mit höheren Räumen und dem gleichen WWR besser beleuchtete Räume und kann somit auch tiefer bauen.

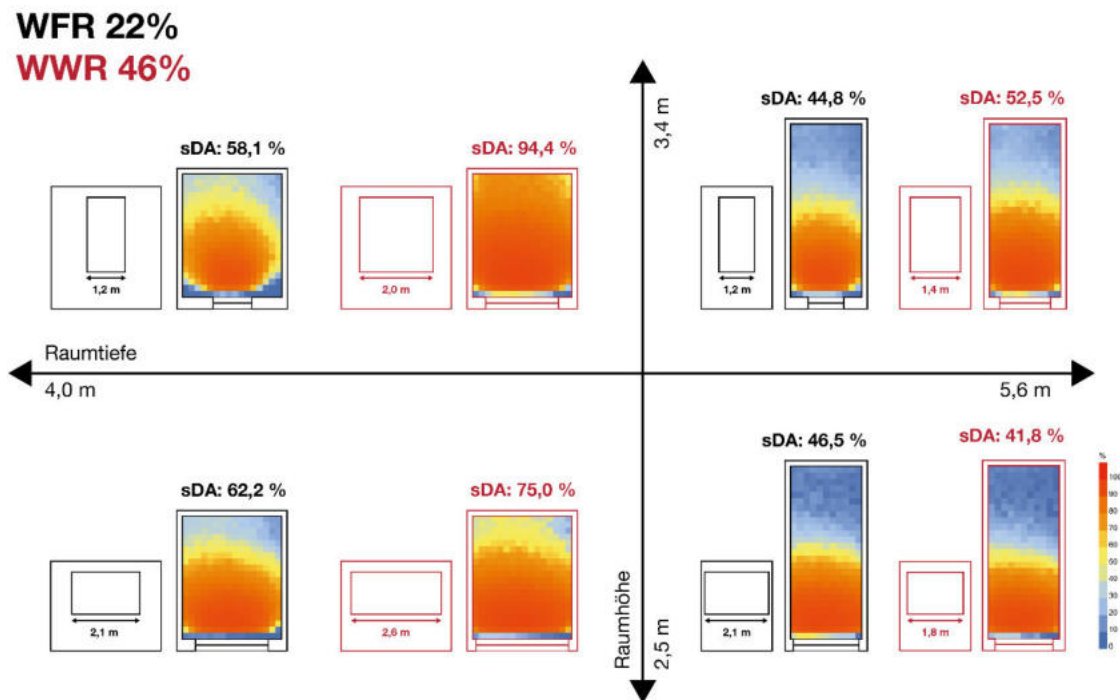


Abbildung 69: sDA-Auswertung von gleichgroßen Räumen mit gleichgroßer WFR (schwarz umrandet) und WWR (rot umrandet) im Vergleich

Kosten und Nachhaltigkeit:

Die Kostenanalyse zeigt den großen Einfluss der Tiefgaragenkosten auf die Gesamtprojektkosten. Die KG 300, 400 und 700 der Tiefgaragen machen 16 bis 22 % der Gesamtprojektkosten aus. Folglich wird eine Untersuchung der Reduktion des Stellplatzschlüssels empfohlen. Die Pareto-Analyse der Kosten in KG 300 in Abbildung 70 zeigt ebenfalls den hohen Einfluss der Tiefgaragenkosten sowie die Reduktion der Deckenkosten in der optimierten Variante. Die Deckenkosten können reduziert werden, da die Spannweite aufgrund des kleineren Rasters von 6,4 m auf 5 m reduziert wird. Auch die Balkone stellen einen bedeutenden Hebel zur Reduktion der Gesamtkosten dar, beispielsweise indem eine kostengünstigere Bauweise gewählt oder die Anzahl der Balkone reduziert wird.

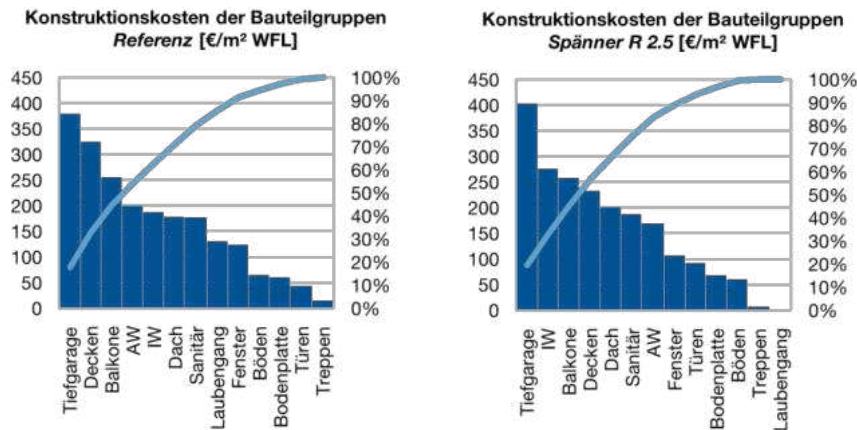


Abbildung 70: Pareto-Analyse der Kosten der Bauteile der Konstruktion der Gebäudevarianten *Referenz* (links) und *Spänner R 2.5* (rechts)

Der Vergleich des GWPs der Bauteilgruppen zeigt ebenfalls den starken Einfluss der Tiefgarage. Weitere maßgebliche Bauteile hinsichtlich des GWP sind die Balkone und die Decken.

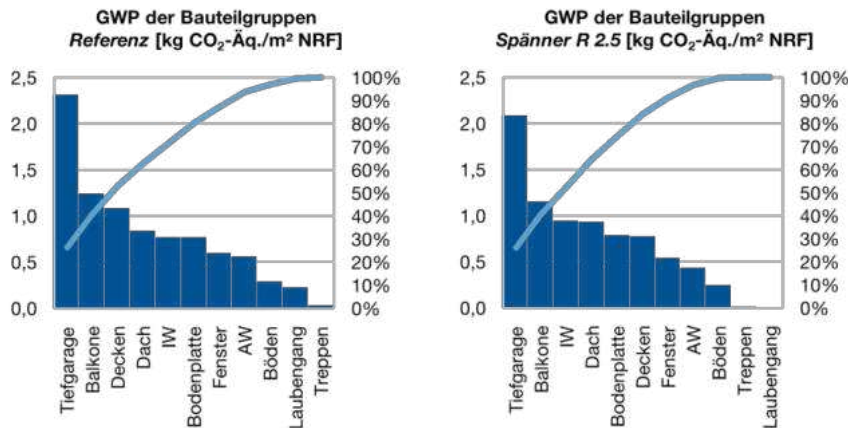


Abbildung 71: Pareto-Analyse des GWPs der Bauteile der Konstruktion der Gebäudevarianten *Referenz* (links) und *Spänner R 2.5* (rechts)

Entwurfsempfehlungen zur Reduktion der Kosten und Umweltwirkungen

- Überarbeitung des Stellplatzkonzepts, um eine Tiefgarage zu vermeiden oder deren Größe zu reduzieren.
- Entwicklung günstigerer und nachhaltigerer Balkonsysteme oder Anpassung der Wohnkonzepte, beispielsweise durch den Austausch von Balkonen gegen Gemeinschaftsgärten.
- Verkleinerung der Deckenspannweiten durch geringere Gesamtgebäude- oder Stützenraster
- Planung kompakterer Gebäude, um die Fassadenflächen im Verhältnis zur Wohnfläche zu verringern.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht der Arbeitspakete	10
Abbildung 2: Wohnungsgröße (Stand: Juni 2022) Förderfähigkeit einer Mietwohnung. (L-Bank, 2022)	12
Abbildung 3: Grundriss des 2. Obergeschoss der Siedlung Hardturm in Zürich der Wohnungsgesellschaft Kraftwerk 1, Darstellung: Stücheli Architekten (Stücheli Architekten, o. J.)	16
Abbildung 4: Grundrissbeispiel der Siedlung Zwicky Süd (<i>Zwicky Süd</i> , o. J.).....	17
Abbildung 5: 2.Obergeschoss der Güterstraße 8 (Siedlung Hollinger) der Genossenschaft Warmbächli (Wohnbaugenossenschaft Warmbächli, o. J.a).....	18
Abbildung 6: Genossenschaftsstraße 13, pool Architekten, Grundriss (Feuerstein & Leeb, 2015, S. 105).....	20
Abbildung 7: Grundriss Regelgeschoss.....	22
Abbildung 8: Regelgeschoss Grundriss.....	24
Abbildung 9: 3 Zimmer-Wohnung.....	24
Abbildung 10: Visualisierung Raumnutzung/Mieterausbau	24
Abbildung 11: Grundriss Regelgeschoss.....	26
Abbildung 12: Grundriss 3-Zimmer Wohnung	26
Abbildung 13: Gemeinschaftlicher Wohnbereich	26
Abbildung 14: "einfach bauen" Forschungshäuser in Bad Aibling (Jarmer & Franke, 2024).....	27
Abbildung 15: Eindrücke für kreative Nutzung von Raumhöhe durch die NutzerInnen in den <i>Einfach Bauen</i> Forschungshäusern in Bad Aibling (Jarmer & Franke, 2024).....	28
Abbildung 16: Schemaskizze der Randbedingungen für die Fensterdimensionierung	33
Abbildung 17: Mietspiegel der Stadt Ludwigsburg aus dem Jahr 2025 ohne Berücksichtigung der Wohnungsmerkmale (Stadt Ludwigsburg, 2025a)	39
Abbildung 18: <i>Laubengang R 2.8</i> , Gebäudetiefe 16,3 m, Grundrisse gesamtes Grundstück ohne Maßstab.	43
Abbildung 19: <i>Laubengang R 2.8</i> , Gebäudetiefe 16,3 m, Grundrisse Wohnungen.	44
Abbildung 20: <i>Laubengang R 3.2</i> , Gebäudetiefe 12,8 m, Grundrisse gesamtes Grundstück ohne Maßstab.	45

Abbildung 21: <i>Laubengang R 3.2</i> , Gebäudetiefe 12,8 m, Grundrisse Wohnungen.	45
Abbildung 22: <i>Mittelflur R 2.8</i> , Gebäudetiefe 19,3 m, Grundrisse gesamtes Grundstück ohne Maßstab.	46
Abbildung 23: <i>Mittelflur R 2.8</i> , Gebäudetiefe 19,3 m, Grundrisse Wohnungen.	47
Abbildung 24: Referenz: Blumenmarkt Berlin; Architects: ifau, Heide & von Beckerath Berlin, Germany 2012-2018; (Foto: Andrew Alberts).....	47
Abbildung 25: <i>Spänner R 2.3</i> , Gebäudetiefe 18 m, Grundrisse gesamtes Grundstück ohne Maßstab.	49
Abbildung 26: <i>Spänner R 2.3</i> , Gebäudetiefe 18 m, Grundrisse Wohnungen.....	50
Abbildung 27: <i>Spänner R 2.5</i> , Gebäudetiefe 16,8 m, Grundrisse gesamtes Grundstück ohne Maßstab.	50
Abbildung 28: <i>Spänner R 2.5</i> , Gebäudetiefe 16,8 m, Grundrisse Wohnungen.....	51
Abbildung 29: <i>Spänner R 2.8</i> , Gebäudetiefe 16,2 m, Grundrisse gesamtes Grundstück ohne Maßstab.	51
Abbildung 30: <i>Spänner R 2.8</i> , Gebäudetiefe 16,2 m, Grundrisse Wohnungen.....	52
Abbildung 31: <i>Hofhaus</i> , Grundrisse gesamtes Grundstück ohne Maßstab.....	53
Abbildung 32: <i>Hofhaus</i> , Grundrisse Wohnungen.	53
Abbildung 33: Variantenvergleich Wohnfläche, DGJ Architektur GmbH, 2025.....	54
Abbildung 34: Variantenvergleich der Gebäudetiefen, DGJ Architektur GmbH, 2025.	55
Abbildung 35: Variantenvergleich der Flächeneffizienz, DGJ Architektur GmbH, 2025.	56
Abbildung 36: Variantenübersicht in Wohnungsgrößen und Wohnungsmix, DGJ Architektur GmbH, 2025.	56
Abbildung 37: Besonnung der untersuchten Varianten mit 2,8 m Raumhöhe und dem größtmöglichen Fensterflächenanteil	59
Abbildung 38: Kompaktheit von Wohnräumen.....	60
Abbildung 39: sDA-Tageslichtergebnisse für alle Erschließungsvarianten	61
Abbildung 40: sDA-Tageslichtergebnisse für den <i>Spänner R 2.5</i> bei Fenstern und Balkonfenstern	62
Abbildung 41: Darstellung des Einflusses der Laibung und der Balkone auf den Tageslichteinfall	62
Abbildung 42: Tageslichtergebnisse bei 2,8 m Raumhöhe mit der größtmöglichen Window-to-floor-ratio.....	63
Abbildung 43: Jahresenergiebedarf für Heizung und Trinkwarmwasser in MWh/m²a für alle Gebäudetypologien und Raster, mit der Einsparung zur Referenzvariante und der Anzahl der Wohneinheiten	64

Abbildung 44: Schematische Darstellung des Vorgehens in AP 2	65
Abbildung 45: Vergleich tragender Innenwände (Kosten nach BKI (2024d), GWP und PENRE nach Ökobaumat (BMWSB, 2023g)).....	67
Abbildung 46: Vergleich von Deckenkonstruktionen als HBD und BST-Decke für Spannweiten von 4,6 m bis 6,4 m (Kosten aus Sirados Baudaten (2025), GWP und PENRE nach Ökobaumat (BMWSB, 2023g))	68
Abbildung 47: Vergleich verschiedener Außenwandkonstruktionen mit vergleichbarem U-Wert (Kosten aus Sirados Baudaten (2025), GWP und PENRE nach Ökobaumat (BMWSB, 2023g)).....	69
Abbildung 48: Kosten der unterschiedlichen Gebäudevarianten mit Angabe der Rastergrößen in Metern für die KG 300 ohne Erdarbeiten und Tiefgarage pro Quadratmeter Wohnfläche bei 2,8 m lichter Raumhöhe	74
Abbildung 49: Nettokosten der unterschiedlichen Gebäudevarianten mit Angabe der Rastergrößen in Metern für die KG 300 pro Quadratmeter Wohnfläche ohne Betrachtung der Erdarbeiten und Tiefgarage bei 2,8 m lichter Raumhöhe, sowie Anzahl der Wohneinheiten der Gebäudevarianten ..	75
Abbildung 50: Nettokosten ausgewählter Varianten der KG 300 pro Quadratmeter Wohnfläche ohne Betrachtung der Erdarbeiten und Tiefgarage bei verschiedenen lichten Raumhöhen	75
Abbildung 51: Bruttokosten der Gebäudevarianten für die Kostengruppen 200 bis 400 sowie 600 und 700.....	76
Abbildung 52: Genäherte Kosten und potenzielle Einspeisevergütungen im Betrieb ausgewählter Gebäudevarianten.....	78
Abbildung 53: Nettokosten der Gebäudevarianten für die KG 300 (ohne Erdarbeiten und Tiefgarage) bei 2,8 m lichter Raumhöhe und netto Mieteinnahmen pro Jahr	78
Abbildung 54: GWP und PENRE pro Quadratmeter Nettoraumfläche und Jahr (Module A1-3, B4, C3-4) ohne Berücksichtigung der Erdarbeiten, Tiefgaragen und Balkone bei 2,8 m lichter Raumhöhe	79
Abbildung 55: GWP-total der untersuchten Varianten für Module A-C bei 2,8 m lichter Raumhöhe pro m ² NRF und Jahr nach Bauteilen.....	80
Abbildung 56: GWP der Gebäudevarianten für die graue Energie, den Energieverbrauch im Betrieb und die potenzielle Gutschrift durch PV bei 2,8 m lichter Raumhöhe pro m ² NRF und Jahr bei Verwendung einer Wärmepumpe	81

Abbildung 57: GWP und PENRE des Moduls B6 „Energieverbrauch im Betrieb“ bei der Verwendung einer Wärmepumpe und dem Bezug von Fernwärme für drei ausgewählte Varianten	81
Abbildung 58: Spinnendiagramm zur Gegenüberstellung der Spatial Daylight Autonomy, der GWPs der KG 300 (ohne Erdarbeiten und Tiefgarage), der Nettokosten der KG 300 sowie der durchschnittlichen Wohnfläche pro Wohnung für die untersuchten Gebäudevarianten.....	83
Abbildung 59: Monatliche Basis-Nettomiete nur in Abhängigkeit von Wohnfläche in Ludwigsburg (Stadt Ludwigsburg, 2025b)	85
Abbildung 60: Darstellung der minimal und maximal zulässigen Wohnfläche für den sozialen Wohnungsbau in Baden-Württemberg und die jeweiligen Varianten je nach Raumanzahl. Die Reihenfolge ist von links nach rechts: <i>Referenz</i> , <i>Laubengang R 2.8</i> , <i>Mittelflur R 2.8</i> , <i>Spänner R 2.3</i> , <i>Spänner R 2.5</i> , <i>Spänner R 2.8</i> , <i>Hofhaus</i>	86
Abbildung 61: Tageslichtuntersuchung mit Unterscheidung zwischen der Fassade zum Nachbargebäude und Fassade freistehend	87
Abbildung 62: Vergleich von Bestand und Anwendung der Typologie <i>Spänner R 2.5</i> auf drei Beispielgrundstücke in Ludwigsburg (BGF und Geschossigkeit); Untersuchung mit Überschreiten der Baulinie (BauNVO § 23 Abs. 3)...	88
Abbildung 63: Nachhaltigkeitsstrategien (Grafik: DGNB, eigene Darstellung)	93
Abbildung 64: Energieverbrauch in MWh/Person seit 1990 (Gräbner-Radkowitzsch, Lage & Wiese, 2022)	95
Abbildung 65: <i>Spänner R 2.5</i> , Gebäudetiefe 16,8 m, Grundrisse des gesamten Grundstücks ohne Maßstab. DGJ Architektur GmbH, 2025.....	96
Abbildung 27: <i>Spänner R 2.5</i> , Zonierung des Grundrisses, ohne Maßstab. DGJ Architektur GmbH, 2025	99
Abbildung 27: <i>Spänner R 2.5</i> , Wohnungsgrundrisse und Möblierung, ohne Maßstab. DGJ Architektur GmbH, 2025	101
Abbildung 15: Skizzen für die Nutzung der kleinen Zimmer mit großen Raumhöhen (DGJ Architektur GmbH, 2025)	102
Abbildung 66: sDA-Auswertung von gleichgroßen Räumen mit gleichgroßer WFR (schwarz umrandet) und WWR (rot umrandet) im Vergleich	104
Abbildung 67: Pareto-Analyse der Kosten der Bauteile der Konstruktion der Gebäudevarianten <i>Referenz</i> (links) und <i>Spänner R 2.5</i> (rechts).....	105
Abbildung 68: Pareto-Analyse des GWPs der Bauteile der Konstruktion der Gebäudevarianten <i>Referenz</i> (links) und <i>Spänner R 2.5</i> (rechts).....	105

Abbildung 69: Ausschnitt aus dem Preisblatt Fernwärme Ludwigsburg für die Berechnung der Betriebskosten bei Verwendung von Fernwärme (Stadtwerke Ludwigsburg, 2025)	121
Abbildung 70: Darstellung der Holzbalkendecke nach Geschossdecke gdrnxa07b-04 (dataholz.eu, 2025d)	124
Abbildung 71: Darstellung der Brettstapelholzdecke, angepasst nach Geschossdecke gdmnxxn02-01 (dataholz.eu, 2025c).....	124
Abbildung 72: Darstellung des Dachs in Holzbalkenbauweise, angepasst nach Flachdach/flachgeneigtes Dach fdmogo01 (dataholz.eu, 2025b).....	125
Abbildung 73: Darstellung des Dachs in Brettstapelholzbauweise, angepasst nach Flachdach/flachgeneigtes Dach fdmogo01 (dataholz.eu, 2025b).....	126
Abbildung 74: Darstellung der Außenwand in Holztafelbauweise, angepasst nach Außenwand awropo22b (dataholz.eu, 2025a)	127
Abbildung 75: Darstellung der Außenwand in Mauerwerksbauweise (Achtziger, Pfeifer, Ramcke & Zilch, 2001)	127
Abbildung 76: Darstellung der Innenwand in Mauerwerksbauweise (Achtziger et al., 2001).....	128
Abbildung 77: Darstellung der nichttragenden Innenwand als Metallständerwand (Knauf, 2024).....	128

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Reflexionsgrade der Oberflächen für die Tageslichtsimulation	31
Tabelle 2: Varianten mit den untersuchten Parametern.....	32
Tabelle 3: Fensterabmessungen	33
Tabelle 4: Kriterien zur Einstufung des Empfehlungsniveaus für die Besonnung nach DIN EN 17037:2022	34
Tabelle 5: Für die Energiebedarfsberechnung (auf Grundlage der DIN EN 12831) herangezogenen U-Werte der Bauteile (nach GEG; vereinfachtes Verfahren).....	35
Tabelle 6: Berücksichtigte Elemente bei der Kostenermittlung der Kostengruppe 300 Bauwerk - Baukonstruktion.....	37
Tabelle 7: Kostenannahmen aller Kostengruppen für die Berechnung der Gesamtprojektkosten der Gebäudevarianten.....	37
Tabelle 8: Variantenübersicht und gebäudekundliche Kennwerte, DGJ Architektur GmbH, 2025.....	54
Tabelle 9: Variantenvergleich GFZ und Geschossigkeit, DGJ Architektur GmbH, 2025.	55
Tabelle 10: Wohnfläche pro Geschoss, Gesamtwohnfläche, Effizienz	55
Tabelle 11: Wohnungsanzahl und durchschnittliche Wohnfläche, Gesamtwohnfläche, Effizienz.....	57
Tabelle 12: Typische Wohnungsgrößen nach Typ, Gesamtwohnfläche, Effizienz	58
Tabelle 13: Gegenüberstellung der Materialitäten.....	66
Tabelle 14: Ausgewählte Grenzwerte nach Tabelle 2 der DIN 4109-1:2018-01	70
Tabelle 15: Spannweiten der untersuchten Varianten	71
Tabelle 16: Ergebnisse der Vordimensionierung der Deckensysteme.....	72
Tabelle 17: Kosten der Bauteile nach Sirados (<i>Sirados Baudaten</i> , 2025) und BKI (BKI, 2024a, 2024b, 2024c)	122

Formelverzeichnis

Formel 1: Berechnung der Transmissionswärmeverluste	35
Formel 2: Berechnung der Lüftungswärmeverluste	36

Literaturverzeichnis

- Achtziger, J., Pfeifer, G., Ramcke, R. & Zilch, K. (2001). *Mauerwerk Atlas*. DETAIL.
<https://doi.org/10.11129/detail.9783955531652>
- Bau- und Wohngenossenschaft Kraftwerk1. (o. J.). *Siedlung Hardturm*. Verfügbar unter: <https://kraftwerk1.ch/siedlungen/hardturm?>
- BBSR. (2024, 19. Juli). *Anhang 3.1.1 zur ANLAGE 3: Bilanzierungsregeln des QNG für Wohngebäude, Stand 19.07.2024* (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Hrsg.) (ANLAGE 3 zum Handbuch des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude).
- BKI. (2024a). *Baukosten Gebäude Neubau 2024. Baukosten Gebäude 2024 (Teil 1)*. Stuttgart: RM Rudolf Müller Medien.
- BKI. (2024b). *BKI Baukosten Bauelemente Neubau 2024. Baukosten Bauelemente 2024 (Teil 2)*. Stuttgart: RM Rudolf Müller Medien.
- BKI. (2024c). *Konstruktionsatlas KA2. Bauteile mit Ökobilanzen, CO₂-Äquivalenten und Baupreisen für die nachhaltige und wirtschaftliche Planung*. Stuttgart: RM Rudolf Müller Medien.
- BKI. (2024d). *Neubau Baupreise kompakt 2024. Statistische Baupreise für Positionen mit Kurztexten*. Stuttgart: RM Rudolf Müller Medien.
- BMWSB (Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB), Hrsg.). (2023a). *ÖKOBAUDAT - Prozess-Datensatz: Fernwärme Mix Deutschland (de)*. Verfügbar unter:
https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=bff1909a-5383-49bb-a450-aa9543e7a9ee&version=20.24.070&stock=OBD_2024_I&lang=de
- BMWSB (Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB), Hrsg.). (2023b). *ÖKOBAUDAT - Prozess-Datensatz: Photovoltaiksystem 1200 kWh/m²*a (de)*. Verfügbar unter:
https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=0c15bd96-1b56-4626-8ee4-1cbb9c3742c8&version=20.24.070&stock=OBD_2024_I&lang=de
- BMWSB (Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB), Hrsg.). (2023c). *ÖKOBAUDAT - Prozess-Datensatz: Photovoltaiksystem 1200 kWh/m²*a (de)*.
- BMWSB (Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB), Hrsg.). (2023d). *ÖKOBAUDAT - Prozess-Datensatz: Residual Strommix 2030*

(basierend auf "EU Referenz Szenario 2020") (de). Verfügbar unter:
https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=d69ad4c9-b104-43c3-9750-353ce6332f4e&version=20.24.070&stock=OBD_2024_I&lang=de

BMWSB (Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB), Hrsg.). (2023e). *ÖKOBAUDAT - Prozess-Datensatz: Residual Strommix 2040* (basierend auf "EU Referenz Szenario 2020") (de). Verfügbar unter:
https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=45df6f6e-6fe3-4db0-87d0-e85e80c101d0&version=20.24.070&stock=OBD_2024_I&lang=de

BMWSB (Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB), Hrsg.). (2023f). *ÖKOBAUDAT - Prozess-Datensatz: Residual Strommix 2050* (basierend auf "EU Referenz Szenario 2020") (de). Verfügbar unter:
https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=628a5a75-a05d-4785-9aaa-4002b848010a&version=20.24.070&stock=OBD_2024_I&lang=de

BMWSB (Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB), Hrsg.). (2023g). *ÖKOBAUDAT Version 2023-I vom 15.06.2023*.

BMWSB (Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB), Hrsg.). (2025a). *Nutzungsdauern von Bauteilen - Stand: 04.11.2025*.

BMWSB (Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB), Hrsg.). (2025b). *QNG Anforderungen. Besondere Anforderungen*.

Bundesverband Wärmepumpe e.V.. *Klimakarte*. Verfügbar unter:
<https://www.waermepumpe.de/werkzeuge/klimakarte/>

Dänische Sozial- und Wohnungsbaubehörde. (2023a). BR18 (1.1.-31.12.2023). Verfügbar unter: https://www.bygningsreglementet.dk/historisk/version-14/tekniske-bestemmelser/11/krav/297_298/#1ab326c1-f76e-45c1-a0a0-7a89e0f61ccb

Dänische Sozial- und Wohnungsbaubehörde. (2025b). BR18, B2 Tabeller til kapitel 11 - Energiforbrug. Verfügbar unter:
https://www.bygningsreglementet.dk/bilag/b2/bilag_2/

Dataholz.eu (Hrsg.). (2025a). *Aussenwand awropo22b*. Verfügbar unter:
https://www.dataholz.eu/bauteile/aussenwand/detail/kz/awropo22b.htm?tx_nudataholz_nudataholzbauteildetail%5BbauteileGueltigkeitsbereich%5D=DEUTSCHLAND&tx_nudataholz_nudataholzbauteildetail%5BbauteileKlasse%5D=Aussenwand&tx_nudataholz_nudataholzbauteildetail%5BbauteileQueryParamValues%5D=aw_k_1%3Baw_f_2&cHash=d967de909de8446e8b0757068ce14f6e

- Dataholz.eu (Hrsg.). (2025b). *Flachdach/flachgeneigtes Dach fdmogo01*. Verfügbar unter: <https://www.dataholz.eu/bauteile/flachdach-flachgeneigtes-dach/detail/kz/fdmogo01.htm>
- Dataholz.eu (Hrsg.). (2025c). *Geschossdecke gdmnxxn02-01*. Verfügbar unter: <https://www.dataholz.eu/bauteile/geschossdecke/variante/kz/gdmnxxn02/nr/01.htm>
- Dataholz.eu (Hrsg.). (2025d). *Geschossdecke gdmnxa07b-04*. Verfügbar unter: <https://www.dataholz.eu/bauteile/geschossdecke/variante/kz/gdmnxa07b/nr/4.htm>
- Deutsches Institut für Bautechnik. (2002). Musterbauordnung. MBO.
- DIN 277:2021-08. *Grundflächen und Rauminhalte im Hochbau*.
- DIN 276:2018-12. *Kosten im Bauwesen*.
- DIN EN 15804:2022-03. *Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012+A2:2019 + AC:2021*.
- DIN 4109-1:2018-01 (Januar 2018). *Schallschutz im Hochbau - Teil 1: Mindestanforderungen*.
- Duplex Architekten AG. (2025, 19. Dezember). *Mehr als Wohnen – Hunziker Areal*. Verfügbar unter: <https://duplex-architects.com/projekt/010-mehr-als-wohnen-hunziker-areal-1/#haus-m>
- Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz. Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise. MHolzBauRL. Verfügbar unter: https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Amtliche_Mitteilungen/2025_2_MHolzBauRL_2024.pdf
- Feuerstein, C. & Leeb, F. (2015). *GenerationenWohnen. Neue Konzepte für Architektur und soziale Interaktion*. Edition DETAIL. <https://doi.org/10.11129/9783955532628>
- Genossenschaft warmbächli (2017). *Gut leben - Wohnen und Arbeiten im Warmbächli. Projektdokumentation*. Verfügbar unter: https://www.warmbaechli.ch/static/website/download/Warmbaechli_Dossier_2018.pdf
- Gieße, A. (ADAC, Hrsg.). (2025, 29. Oktober). *Einspeisevergütung für PV-Anlagen: EEG-Förderung für 2025 und 2026*. Verfügbar unter: <https://www.adac.de/rundums-haus/energie/spartipps/einspeiseverguetung-pv-anlagen/#tabelle-zeigt-foerdersaetze-fuer-2025>
- Gräbner-Radkowsch, C., Lage, J. & Wiese, F. (2022). Zur ökonomischen Bedeutung von Suffizienz. *Makronom*. Verfügbar unter: <https://makronom.de/zur-oekonomischen-bedeutung-von-suffizienz-42099>

- Heckmann, M. & Glock, C. (2025). Graue Emissionen von Hochbaudeckensystemen – Praxis-Umfrage und Hintergründe zur neuen DAfStb-Richtlinie. *Beton- und Stahlbetonbau*, 120(1), 22–32. <https://doi.org/10.1002/best.202400076>
- Hoffmann, M. (2019). *Wohnen, Leben, Arbeiten im Hunziker Areal in Zürich. Strukturen - Prozesse - Erfahrungen*. Begleitstudie 2015 - 2019. Verfügbar unter: https://www.age-stiftung.ch/fileadmin/user_upload/Projekte/2009/00012/Hunziker_Areal_e-Version_lang.pdf
- Holzbau Deutschland-Institut e.V. (Hrsg.). (2019). *Schallschutz im Holzbau - Grundlagen und Vorbemessung*. Verfügbar unter: https://informationsdienst-holz.de/fileadmin/Publikationen/2_Holzbau_Handbuch/R03_T03_F01_Schallschutz_Grundlagen_Vorbemessung_2019.pdf
- Jarmer, T. & Franke, L. (2024). *Einfach Bauen II. Erkenntnisse*. Basel: Birkhäuser.
- Knauf (Hrsg.). (2024). *W11.de Knauf Metallständerwände. Knauf Metallständerwände W111.de - Knauf Metallständerwand - Einfachständerwerk, einlagig beplankt* (01/2024). Verfügbar unter: <https://knauf.com/api/download-center/v1/assets/8092dada-020a-458f-935c-2e9d6037f627?download=true&country=DE&locale=de-DE>
- Kraftwerk1. (2025, 28. November). *Siedlung Zwicky Süd*. Verfügbar unter: <https://kraftwerk1.ch/siedlungen/zwicky-sued>
- Kunkel, U. (deutsche bauzeitung, Hrsg.). (2016). *Umgarntes Wohnen. Wohnbebauung Zwicky-Süd in Zürich-Dübendorf (CH)*. Verfügbar unter: <https://www.nextroom.at/building.php?id=37743&sid=41486&inc=pdf>
- Land Baden-Württemberg. Landesbauordnung für Baden-Württemberg. LBO BW.
- L-Bank. (2022). *Wohnungsgrößen*. Verfügbar unter: https://www.l-bank.de/binaries/content/documents/lbank/allgemein/wohnungsunternehmen/dokumente/mietwohnungsfinanzierung-bw---forderlinie-kommunal/wohnungsgrößen_merkblatt/wohnungsgrößen_merkblatt/hippocms%3Adownloadversions/hippocms%3Afile
- Osterwalder-Meier, A. & Deola, B. (2010). *Konstruktionslehre für den Hochbau – Heft 2: Bausysteme*. LMK Lehrmittel GmbH.
- Pool Architekten Zürich.. *Wohnsiedlung "Mehr als Wohnen", Hunzikerareal*. Verfügbar unter: <https://www.poolarch.ch/projekte/2009/0243-maw/>
- (2025). Sirados Baudaten [Computer software]: WEKA Media GmbH & Co. KG. Verfügbar unter: <https://live.sirados.de/>

- Stadt Ludwigsburg. (2025a). Mietspiegel_Ludwigsburg_2025_FINAL. Verfügbar unter:
https://www.ludwigsburg.de/site/Ludwigsburg-Internet-2020/get/params_E-1681760768/24168310/Mietspiegel_Ludwigsburg_2025_FINAL.pdf
- Stadt Ludwigsburg. (2025b). *QUALIFIZIERTER MIETSPIEGEL 2025 FÜR LUDWIGSBURG. Gültig vom 1. August 2025 bis 31. Juli 2027*. Verfügbar unter:
https://www.ludwigsburg.de/site/Ludwigsburg-Internet-2020/get/params_E882495696/24168310/Mietspiegel_Ludwigsburg_2025_FINAL.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Stadtwerke Ludwigsburg. (2025). *Nachhaltig, zukunftssicher, effizient: Fernwärme*. Verfügbar unter: <https://www.swlb.de/versorgungsgebiete>
- Stücheli Architekten, Z. (Hrsg.). (o. J.). *Grundriss 2. Obergeschoss Haus A. Kraftwerk1 Siedlung Hardturm, Zürich West*. Verfügbar unter:
https://kraftwerk1.ch/files/Plaene/Hardturm/Kraftwerk1_Hardturm_2OG.pdf
- Tozan, B., Hoxha, E., Olsen, C. O., Rose, J., Kragh, J., Andersen, C. E. et al. (2024). A novel approach to establishing bottom-up LCA-based limit values for new construction. *Building and Environment*, 263, 111891.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111891>
- WEKA Media GmbH & Co. KG (Hrsg.). (2024, 12. Dezember). *Sirados - Über Uns*. Verfügbar unter: <https://www.sirados.de/blog/sirados-ueber-uns>
- Wohnbaugenossenschaft Warmbächli. (o. J.a). *Grundrisse*. Verfügbar unter:
<https://www.warmbaechli.ch/projekt/grundrisse/>
- Wohnbaugenossenschaft Warmbächli (Hrsg.). (o.J.b). *Planungsleitfaden der Wohnbaugenossenschaft Warmbächli für die Entwicklung der Güterstraße 8 auf dem Areal Warmbächliweg. Projektpflichtenheft für Planerinnen und Planer*. Verfügbar unter:
https://www.warmbaechli.ch/static/website/download/Warmbaechli_Planungsleitfaden_v2.0.pdf
- (O. J.). *Zwicky Süd. 4 1/2 - Zimmer-Wohnung - Haus 5, Am Wasser 9, Dübendorf*. Verfügbar unter: https://kraftwerk1.ch/files/Plaene/Zwicky-Sued/2022_Zwy_4.5_4_9.pdf

Anhang A Grundrisse

VAR. 1.1 LAUBENGANG 2,8m

2Zi
41 m² (max 47,25m²)

2Zi
39 m² (max 47,25m²)

2Zi
39 m² (max 47,25m²)

2Zi
39 m² (max 47,25m²)

4Zi
82 m² (max 78,75m²)

4Zi
82 m² (max 78,75m²)

4Zi
82 m² (max 78,75m²)

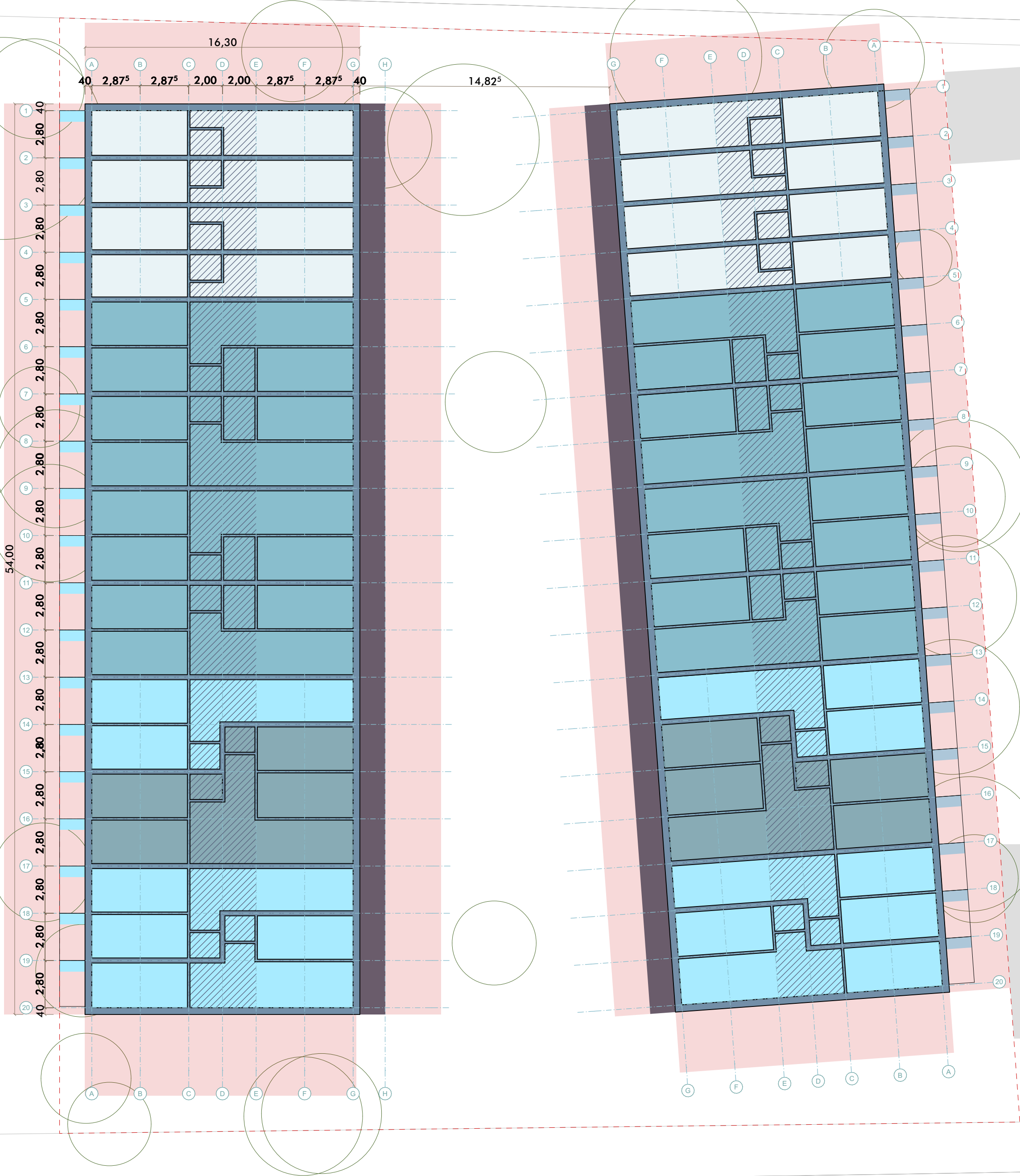
4Zi
82 m² (max 78,75m²)

3Zi
61 m² (max 63m²)

5Zi
102 m² (max 94,50m²)

3Zi
61 m² (max 63m²)

3Zi
62 m² (max 63m²)

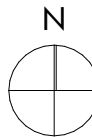


Aufenthalt
Bad + Nebenzone
Erschliessung

WOHNUNGSMIX

	24WE	Ist	Soll
2ZI	8WE	33,3%	35%
3ZI	6WE	25%	20%
4ZI	8WE	33.3%	35%-40%
5ZI	2WE	8,4%	5%-10%

2Zimmer
3 Zimmer
4Zimmer
5Zimmer



NSW_045
Neustart Wohnen Ludwigsburg
#Projektbeschreibung
Markgröninger Str. 50-64
71638 Ludwigsburg
Deutschland

Bauherr
Wohnungsbau Ludwigsburg GmbH
Mathilden Str. 21
71638 Ludwigsburg
#Auftraggeber:in Titelpräfix #Auftraggeber:in Vorname #Auftraggeber:in
Familienname
07141 910-3814
#Auftraggeber:in E-Mail

Architektur
DGJ Architektur GmbH
Walter-Kolb-Strasse 22
60594 Frankfurt am Main
Tel 069 66 11 38 01
Mail frankfurt@dgj.eu
Web www.dgj.eu

LPO

Laubengang 2,8m

Planinhalt:
Laubengang 2,8m
Datum: 07.07.2025
Version:
Plannummer:
Planersteller:
Maßstab: 1:200

VAR. 1.2 LAUBENGANG 2,8m

Laubengang 2,8m var.2

4Zi
82 m² (max 78,75m²)

2Zi
39 m² (max 47,25m²)

2Zi
39 m² (max 47,25m²)

4Zi
82 m² (max 78,75m²)

3Zi
61 m² (max 63m²)

5Zi
102 m² (max 94,50m²)

4Zi
82 m² (max 78,75m²)

3Zi
61 m² (max 63m²)

3Zi
60 m² (max 63m²)

4Zi
83 m² (max 78,75m²)

4Zi
83 m² (max 78,75m²)

2Zi
39 m² (max 47,25m²)

2Zi
39 m² (max 47,25m²)

4Zi
82 m² (max 78,75m²)

3Zi
61 m² (max 63m²)

5Zi
102 m² (max 94,50m²)

4Zi
82 m² (max 78,75m²)

2Zi
39 m² (max 47,25m²)

2Zi
39 m² (max 47,25m²)

2Zi
39 m² (max 47,25m²)

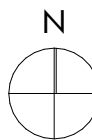
4Zi
83 m² (max 78,75m²)

Aufenthalt
Bad + Nebenzone
Erschliessung

WOHNUNGSMIX

	21WE	Ist	Soll
2ZI	7WE	33,3%	35%
3ZI	4WE	19%	20%
4ZI	8WE	38.2%	35%-40%
5ZI	2WE	9,5%	5%-10%

2Zimmer
3 Zimmer
4Zimmer
5Zimmer



NSW_045
Neustart Wohnen Ludwigsburg
#Projektbeschreibung
Markgröninger Str. 50-64
71638 Ludwigsburg
Deutschland

Bauherr
Wohnungsbau Ludwigsburg GmbH
Mathilden Str. 21
71638 Ludwigsburg
Familienname
#Auftraggeber:in Titelpräf. #Auftraggeber:in Vorname #Auftraggeber:in
07141 910-3814
#Auftraggeber:in E-Mail

Architektur
DGJ Architektur GmbH
Walter-Kolb-Strasse 22
60594 Frankfurt am Main
Tel 069 66 11 38 01
Mail frankfurt@dgj.eu
Web www.dgj.eu

LPO

Laubengang 2,8m var.2

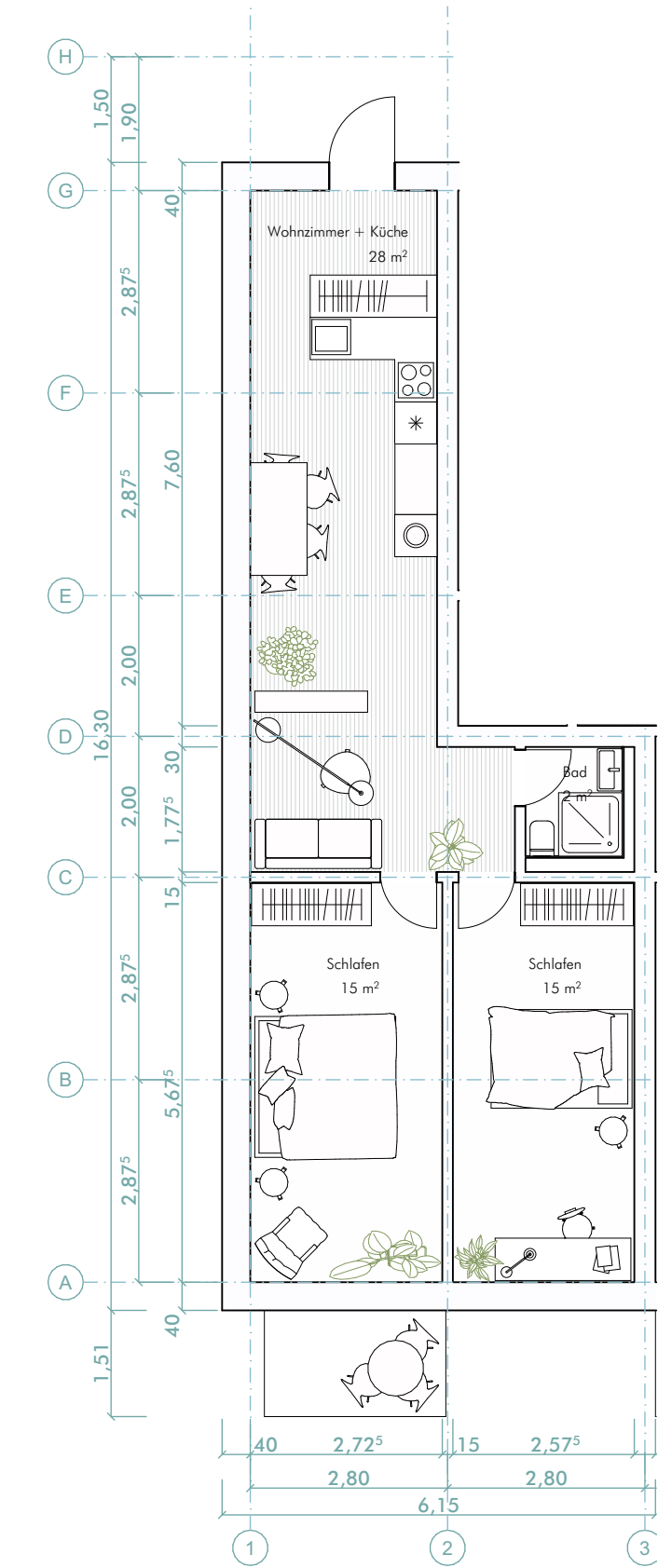
Planinhalt:
Laubengang 2,8m var.2
Datum: 07.07.2025
Version:
Plannummer:
Planersteller:
Maßstab: 1:200

IV

IV

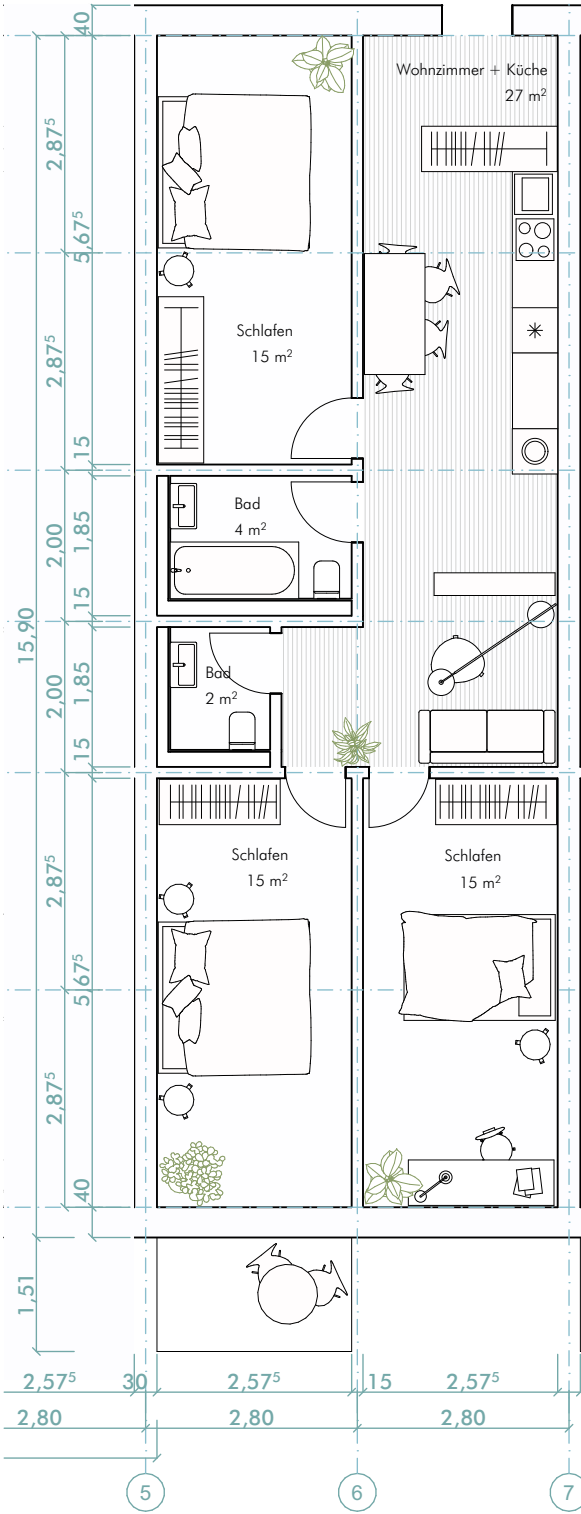
Möblierung Laubengang 2,8m

3 Zimmer



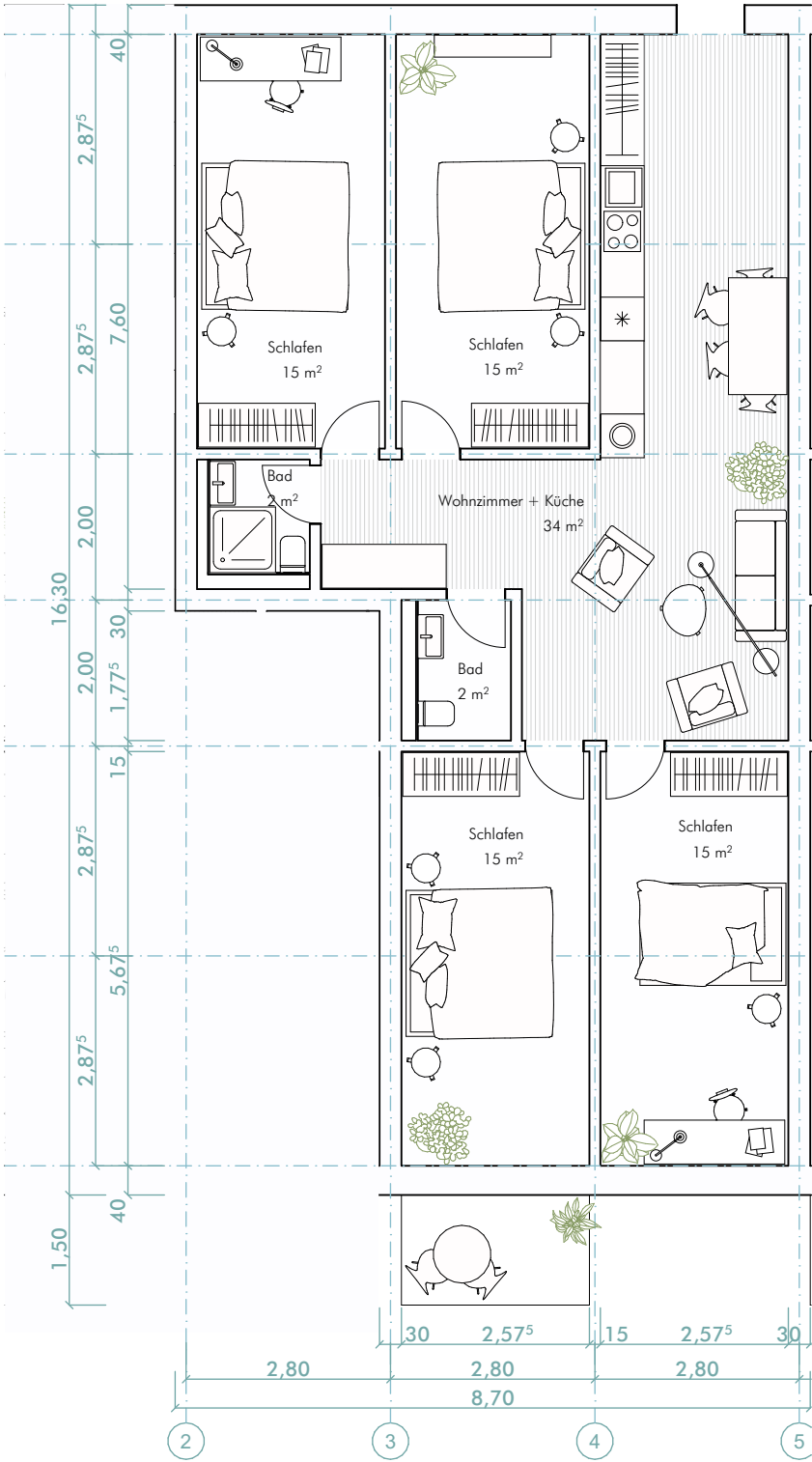
Max. WF 65 m²
Wohnfläche
Genannt: 60 m²

4 Zimmer

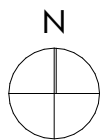
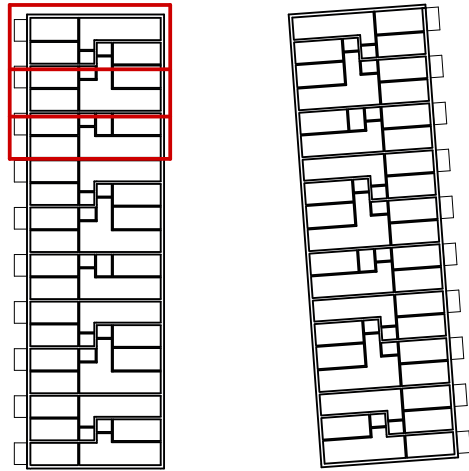


Max. WF 80 m²
Wohnfläche
Genannt: 78 m²

5 Zimmer



Max. WF 95 m²
Wohnfläche
Genannt: 96 m²



NSW_045
Neustart Wohnen Ludwigsburg
#Projektbeschreibung
Markgröninger Str. 50-64
71638 Ludwigsburg
Deutschland

Bauherr
Wohnungsbau Ludwigsburg GmbH
Mathilden Str. 21
71638 Ludwigsburg
Familienname
#Auftraggeber:in Titelpräfix #Auftraggeber:in Vorname #Auftraggeber:in
07141 910-3814
#Auftraggeber:in E-Mail

Architektur
DGJ Architektur GmbH
Walter-Kolb-Strasse 22
60594 Frankfurt am Main
Tel 069 66 11 38 01
Mail frankfurt@dgj.eu
Web www.dgj.eu

LP0

Möblierungs var.1 Laubengang
2,8m

Planinhalt:
Möblierungs var.1 Laubengang 2,8m
Datum: 07.07.2025
Version:
Plannummer:
Planersteller:
Maßstab: 1:100

VAR. 1.3 LAUBENGANG 3,2m

2Zi
36 m² (max 47,25m²)

2Zi
34 m² (max 47,25m²)

2Zi
34 m² (max 47,25m²)

2Zi
34 m² (max 47,25m²)

4Zi
70 m² (max 94,50m²)

4Zi
70 m² (max 94,50m²)

4Zi
70 m² (max 94,50m²)

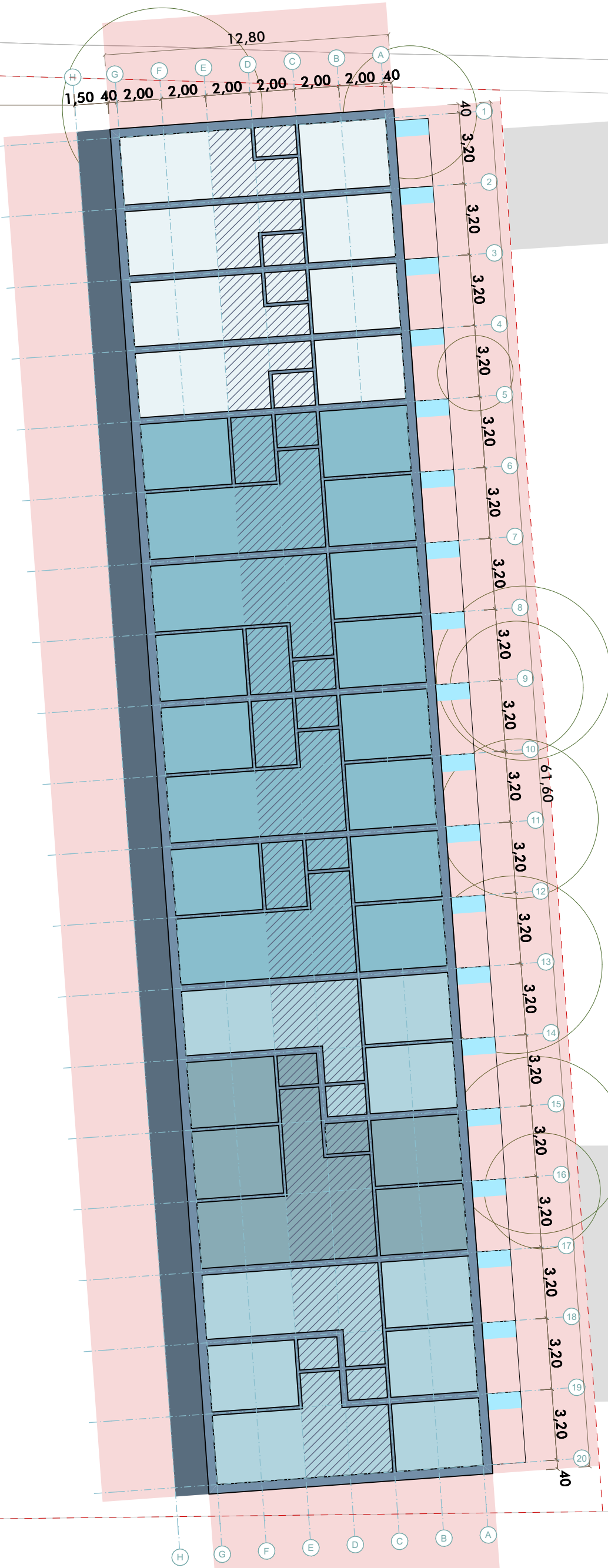
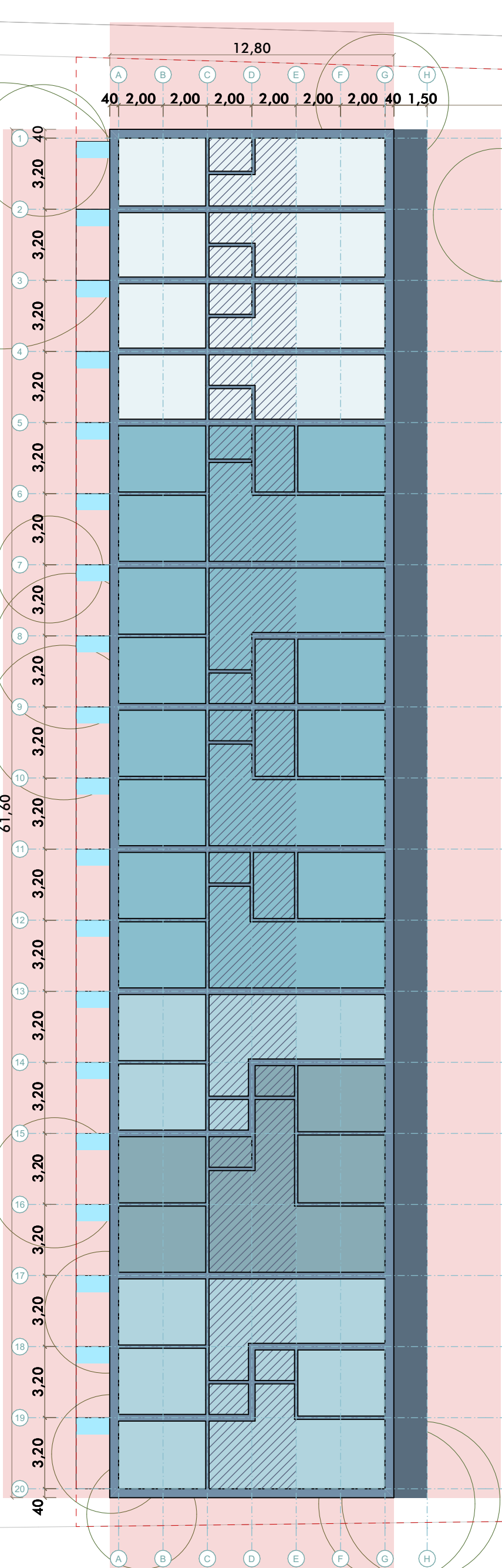
4Zi
70 m² (max 94,50m²)

3Zi
52 m² (max 78,75m²)

5Zi
88 m² (max 94,50m²)

3Zi
52 m² (max 78,75m²)

3Zi
53 m² (max 78,75m²)

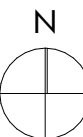


Aufenthalt
Bad + Nebenzone
Erschliessung

WOHNUNGSMIX

	24WE	Ist	Soll
2ZI	8WE	33,3%	35%
3ZI	6WE	25%	20%
4ZI	8WE	33,3%	35%-40%
5ZI	2WE	8,4%	5%-10%

2Zimmer
3 Zimmer
4Zimmer
5Zimmer



NSW_045
Neustart Wohnen Ludwigsburg
#Projektbeschreibung
Markgröninger Str. 50-64
71638 Ludwigsburg
Deutschland

Bauherr
Wohnungsbau Ludwigsburg GmbH
Mathilden Str. 21
71638 Ludwigsburg
Familienname
#Auftraggeber:in Titelpräfix #Auftraggeber:in Vorname #Auftraggeber:in
07141 910-3814
#Auftraggeber:in E-Mail

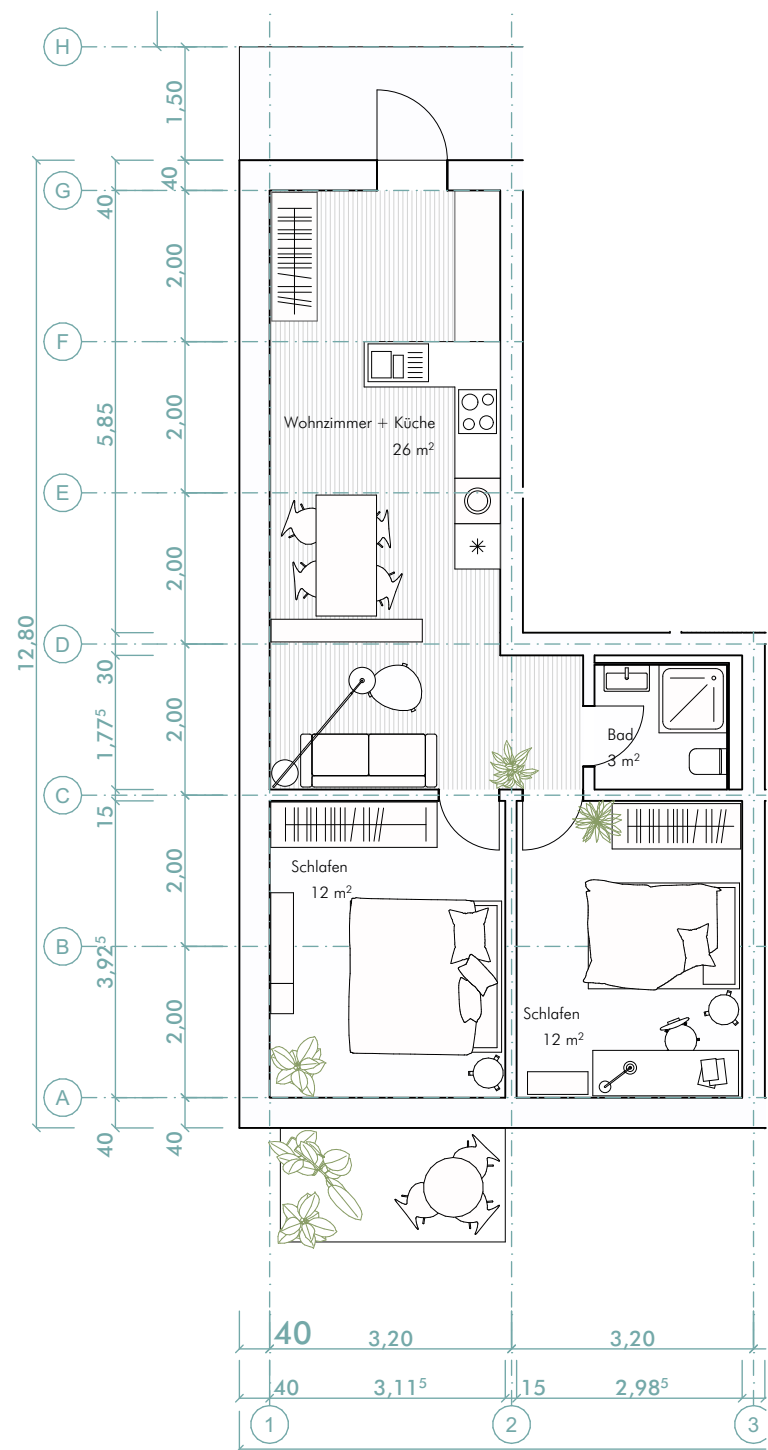
Architektur
DGJ Architektur GmbH
Walter-Kolb-Strasse 22
60594 Frankfurt am Main
Tel 069 66 11 38 01
Mail frankfurt@dgj.eu
Web www.dgj.eu

LPO

Laubengang 3,2m

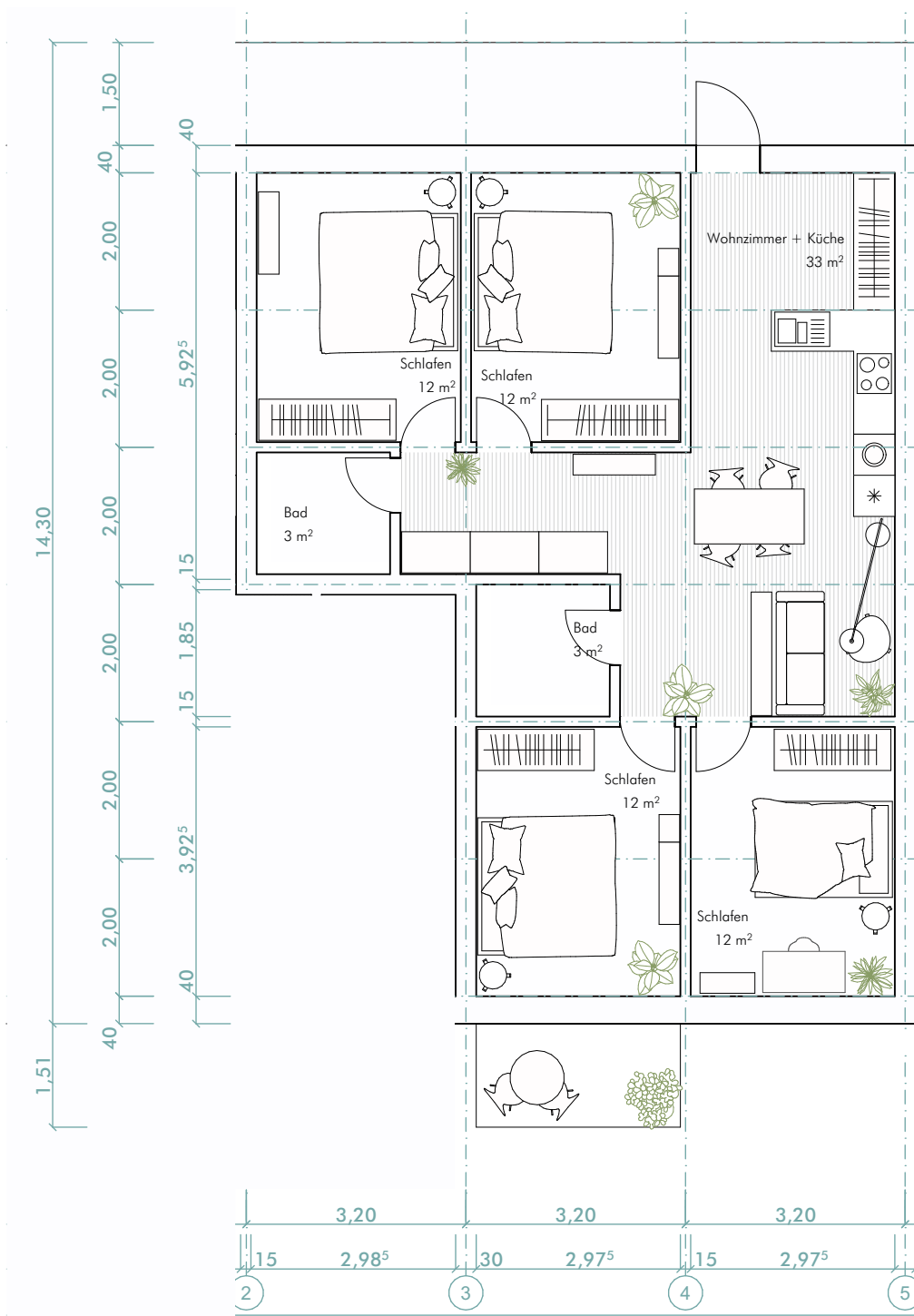
Planinhalt:
Laubengang 3,2m
Datum: 07.07.2025
Version:
Plannummer:
Planersteller:
Maßstab: 1:200

3 Zimmer



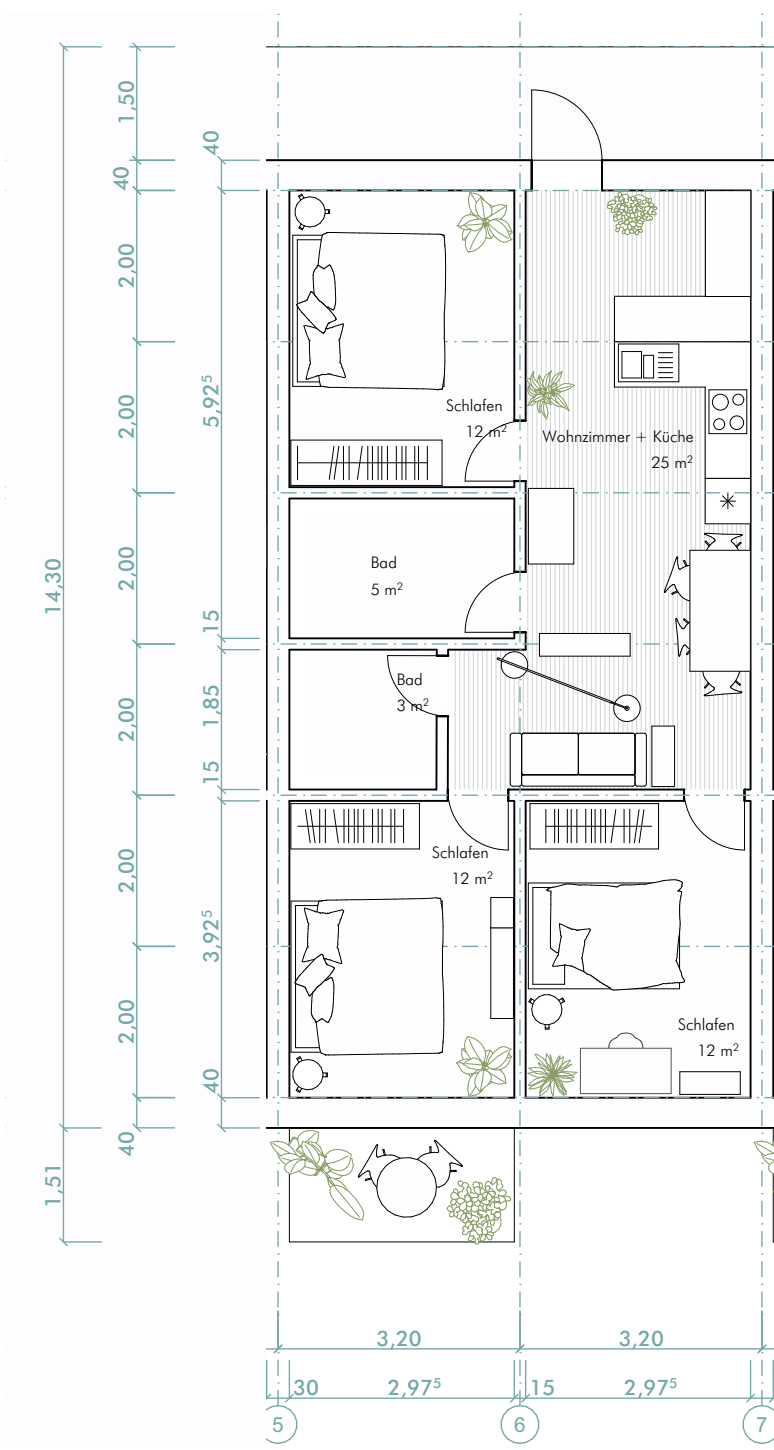
Max. WF 65 m²
Wohnfläche
Genannt: 53 m²

5 Zimmer

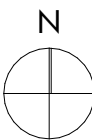
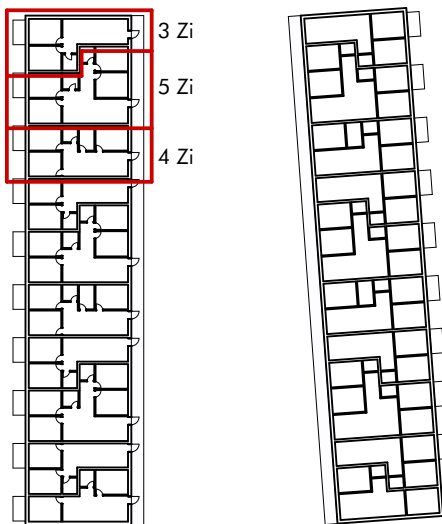


Max. WF 95 m²
Wohnfläche
Genannt: 87 m²

4 Zimmer



Max. WF 72 m²
Wohnfläche
Genannt: 69 m²



NSW_045
Neustart Wohnen Ludwigsburg
#Projektbeschreibung
Markgröninger Str. 50-64
71638 Ludwigsburg
Deutschland

Bauherr
Wohnungsbau Ludwigsburg GmbH
Mahliden Str. 21
71638 Ludwigsburg
Familienname
#Auftraggeber:in Titelpräfix #Auftraggeber:in Vorname #Auftraggeber:in
07141 910-3814
#Auftraggeber:in E-Mail

Architektur
DGJ Architektur GmbH
Walter-Kolb-Strasse 22
60594 Frankfurt am Main
Tel 069 66 11 38 01
Mail frankfurt@dgj.eu
Web www.dgj.eu

LP0

Möblierungs var.2 Laubengang
3,2m

Planinhalt:
Möblierungs var.2 Laubengang 3,2m
Datum: 07.07.2025
Version:
Plannummer:
Planersteller:
Maßstab: 1:100

VAR. 2.2 MITTELFLUR 2,5m

5Zi
97 m² (max 94,50m²)

3Zi
62 m² (max 78,75m²)

4Zi
84 m² (max 94,50m²)

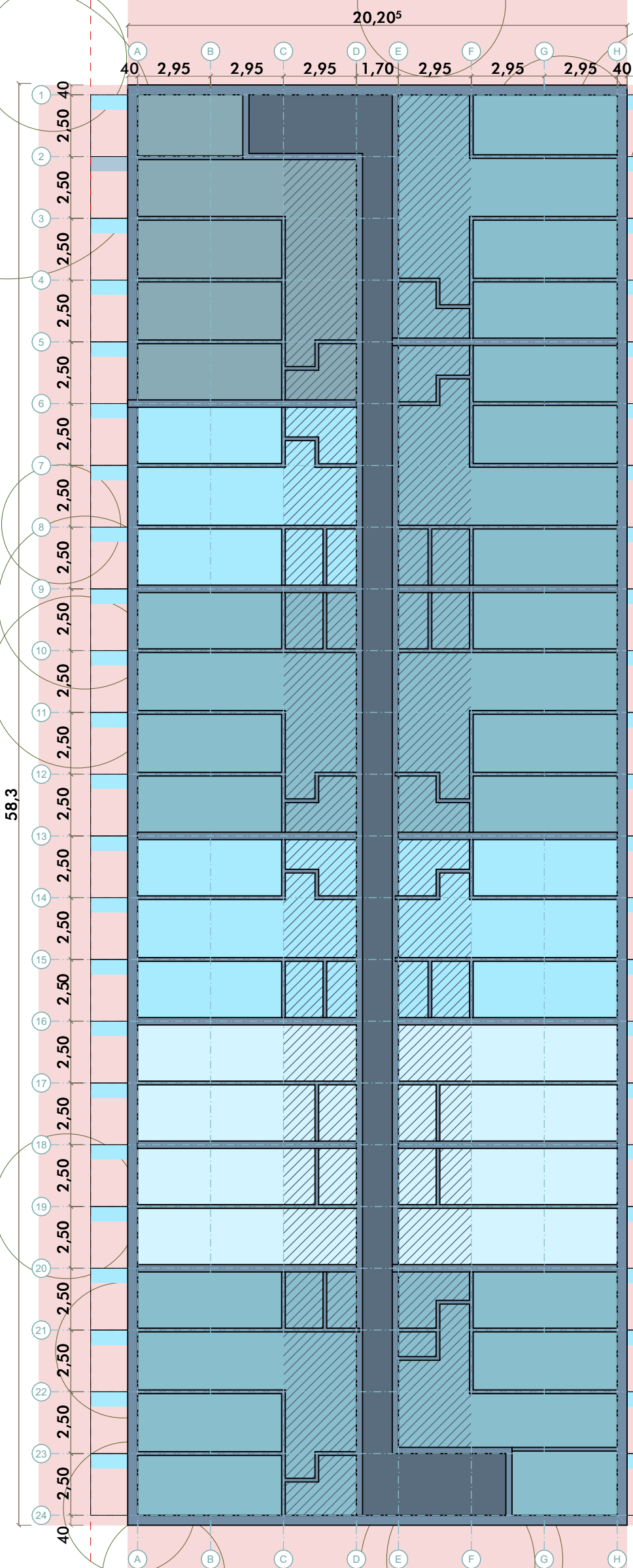
3Zi
62 m² (max 78,75m²)

2Zi
43 m² (max 47,25m²)

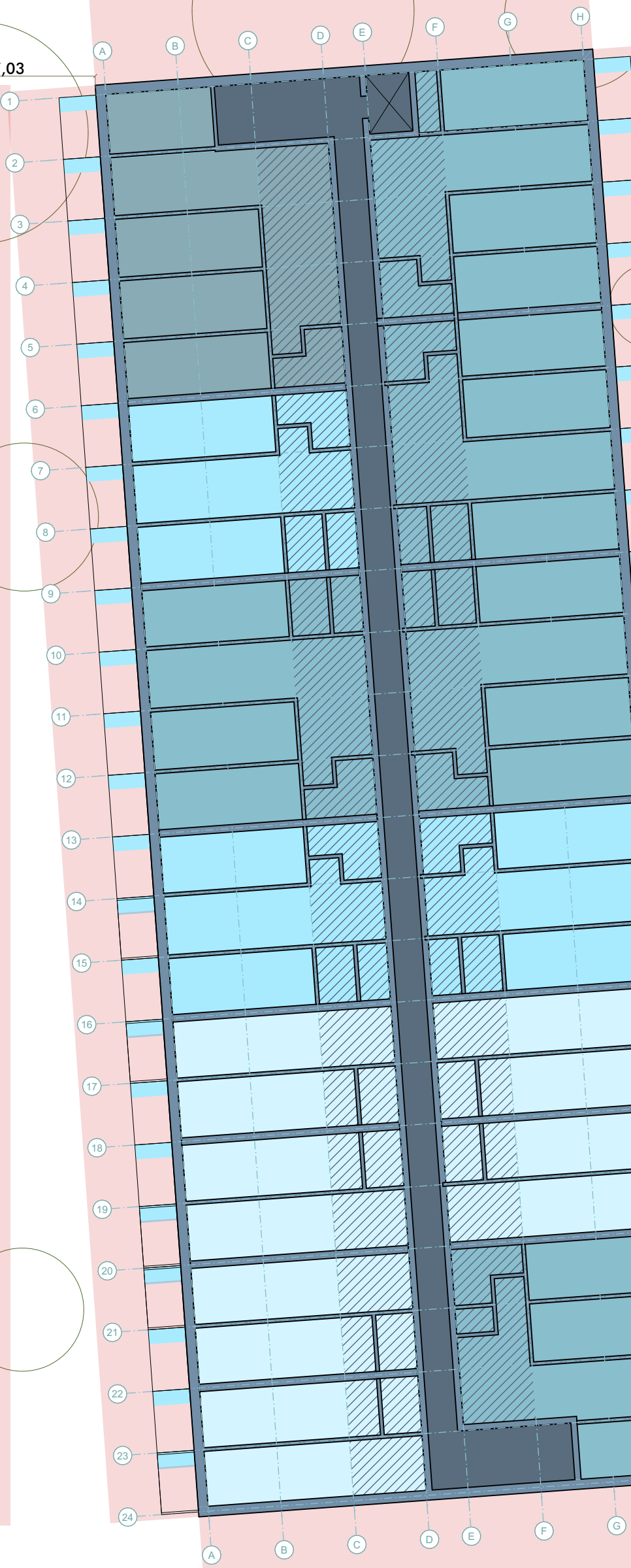
2Zi
43 m² (max 47,25m²)

4Zi
86 m² (max 94,50m²)

4Zi
71 m² (max 94,50m²)



4Zi
81 m² (max 94,50m²)

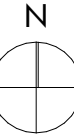


Aufenthalt
Bad + Nebenzone
Erschliessung

WOHNUNGSMIX

	29WE	Ist	Soll
2Zi	10WE	34,5%	35%
3Zi	6WE	20,7%	20%
4Zi	11WE	37,9%	35%-40%
5Zi	2WE	6,9%	5%-10%

2Zimmer
3 Zimmer
4Zimmer
5Zimmer



NSW_045
Neustart Wohnen Ludwigsburg
#Projektbeschreibung
Markgröninger Str. 50-64
71638 Ludwigsburg
Deutschland

Bauherr
Wohnungsbau Ludwigsburg GmbH
Mathilden Str. 21
71638 Ludwigsburg
#Auftraggeber:in Titelpräfix #Auftraggeber:in Vorname #Auftraggeber:in Familienname
07141 910-3814
#Auftraggeber:in E-Mail

Architektur
DGJ Architektur GmbH
Walter-Kolb-Strasse 22
60594 Frankfurt am Main
Tel 069 66 11 38 01
Mail frankfurt@dgj.eu
Web www.dgj.eu

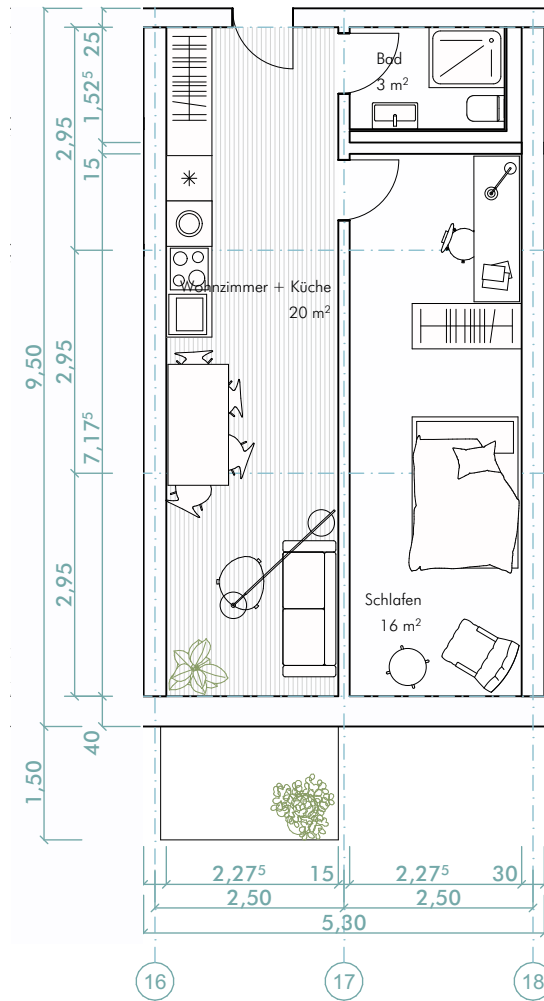
LPO

Mittelflur 2,5m

Planinhalt:
Mittelflur 2,5m
Datum: 07.07.2025
Version:
Plannummer:
Planersteller:
Maßstab: 1:200

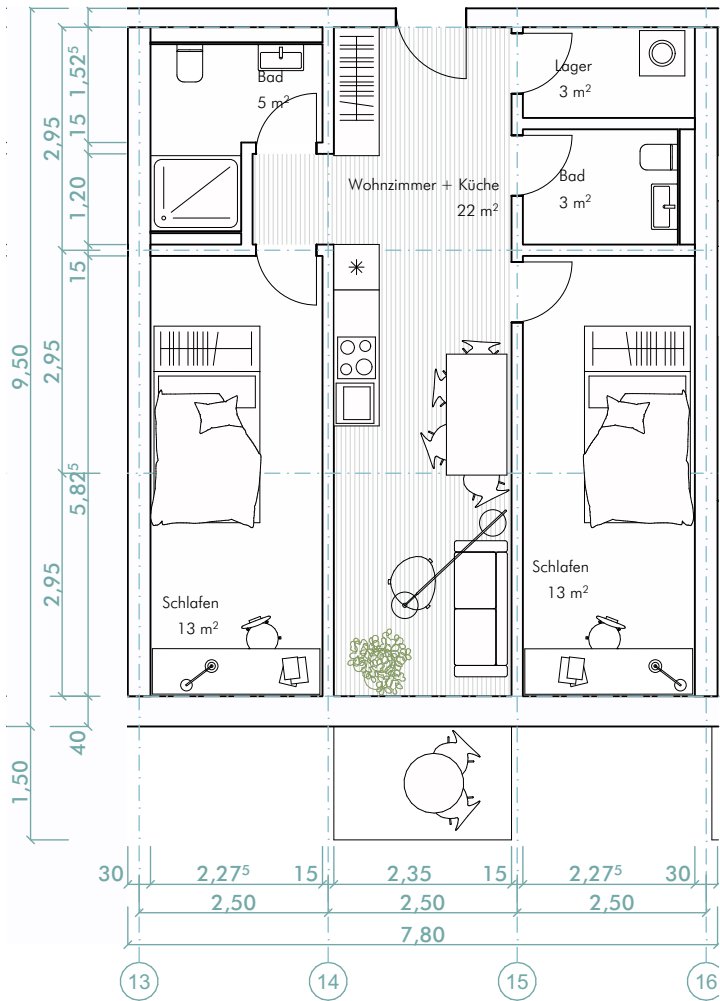
Möblierung Mittelflur 2,5m

2 Zimmer



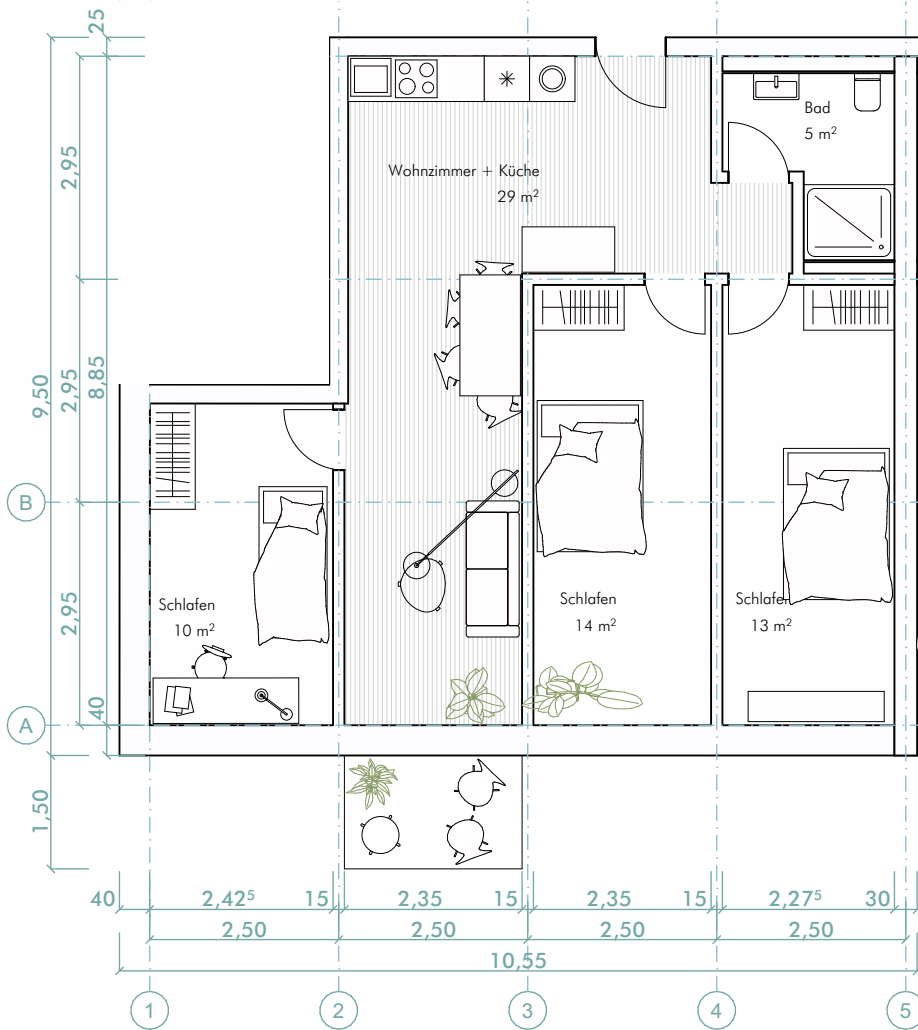
Max. WF 50 m²
Wohnfläche
Genannt: 39 m²

3 Zimmer



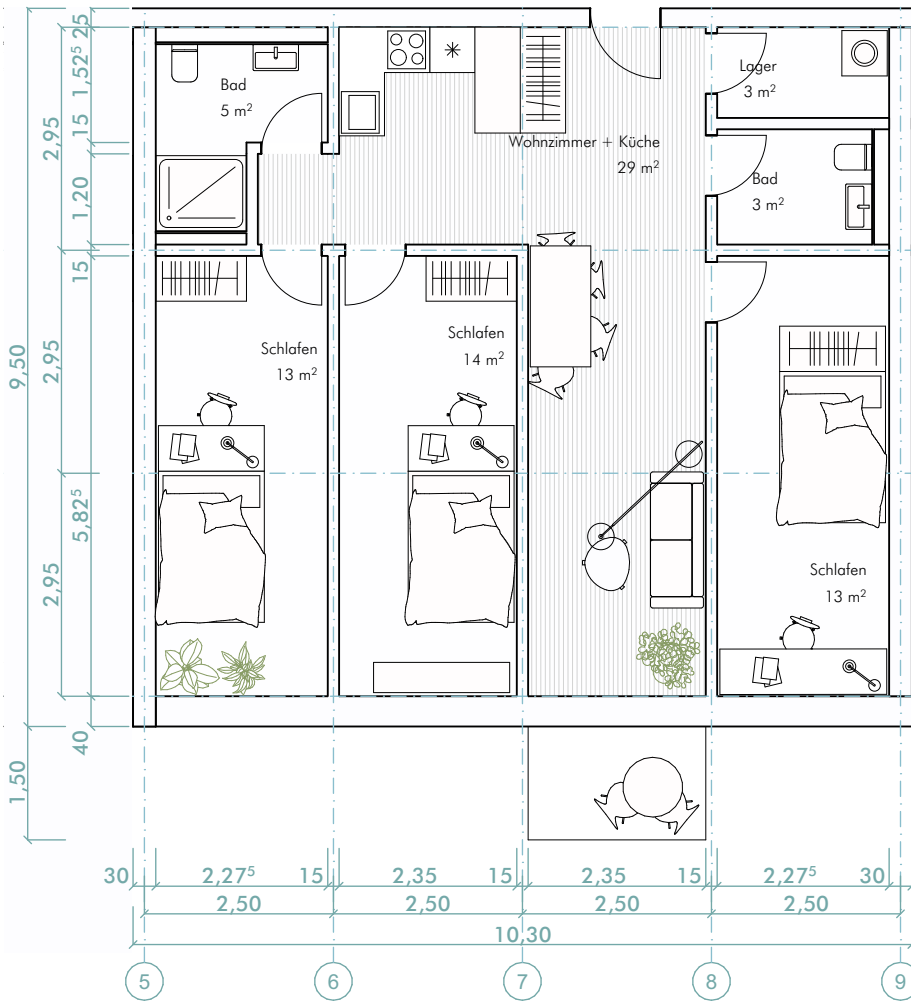
Max. WF 65 m²
Wohnfläche
Genannt: 59 m²

4 Zimmer

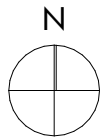
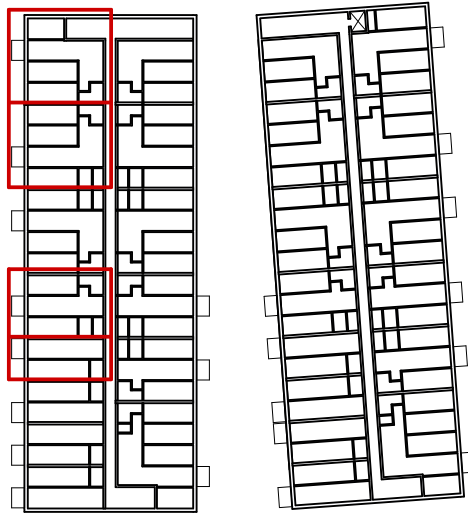


Max. WF 80 m²
Wohnfläche
Genannt: 71 m²

4 Zimmer



Max. WF 80 m²
Wohnfläche
Genannt: 80 m²



NSW_045
Neustart Wohnen Ludwigsburg
#Projektbeschreibung
Markgröninger Str. 50-64
71638 Ludwigsburg
Deutschland

Bauherr
Wohnungsbau Ludwigsburg GmbH
Mathilden Str. 21
71638 Ludwigsburg
Familienname
#Auftraggeber:in Titelpräfix #Auftraggeber:in Vorname #Auftraggeber:in
07141 910-3814
#Auftraggeber:in E-Mail

Architektur
DGJ Architektur GmbH
Walter-Kolb-Strasse 22
60594 Frankfurt am Main
Tel 069 66 11 38 01
Mail frankfurt@dgj.eu
Web www.dgj.eu

LPO

Möblierungs var.1 Mittelflur 2,5m

Planinhalt:
Möblierungs var.1 Mittelflur 2,5m
Datum: 07.07.2025
Version:
Plannummer:
Planersteller:
Maßstab: 1:100

VAR. 2.3 MITTELFLUR 2,8m

5Zi
104 m² (max 94,50m²)

4Zi
92 m² (max 94,50m²)

3Zi
66 m² (max 78,75m²)

4Zi
90 m² (max 94,50m²)

3Zi
66 m² (max 78,75m²)

2Zi
45 m² (max 47,25m²)

2Zi
45 m² (max 47,25m²)

2Zi
47 m² (max 47,25m²)

4Zi
86 m² (max 94,50m²)

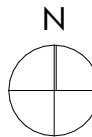
4Zi
79 m² (max 94,50m²)

Aufenthalt
Bad + Nebenzone
Erschliessung

WOHNUNGSMIX

	26WE	Ist	Soll
2ZI	8WE	30,8%	35%
3ZI	6WE	23,1%	20%
4ZI	10WE	38,5%	35%-40%
5ZI	2WE	7,7%	5%-10%

2Zimmer
3 Zimmer
4Zimmer
5Zimmer



NSW_045
Neustart Wohnen Ludwigsburg
#Projektbeschreibung
Markgröninger Str. 50-64
71638 Ludwigsburg
Deutschland

Bauherr
Wohnungsbau Ludwigsburg GmbH
Mahliden Str. 21
71638 Ludwigsburg
#Auftraggeber:in Titelpräfix #Auftraggeber:in Vorname #Auftraggeber:in Familienname
07141 910-3814
#Auftraggeber:in E-Mail

Architektur
DGJ Architektur GmbH
Walter-Kolb-Strasse 22
60594 Frankfurt am Main
Tel 069 66 11 38 01
Mail frankfurt@dgj.eu
Web www.dgj.eu

LPO

Mittelflur 2,8m

Planinhalt:
Mittelflur 2,8m
Datum: 07.07.2025
Version:
Plannummer:
Planersteller:
Maßstab: 1:200

VAR. 2.4 MITTELFLOOR 2,8m

4Zi
79 m² (max 94,50m²)

4Zi
90 m² (max 94,50m²)

3Zi
66 m² (max 78,75m²)

2Zi
45 m² (max 47,25m²)

2Zi
45 m² (max 47,25m²)

2Zi
47 m² (max 47,25m²)

4Zi
86 m² (max 94,50m²)

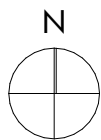
5Zi
104 m² (max 94,50m²)

Aufenthalt
Bad + Nebenzone
Erschliessung

WOHNUNGSMIX

	20WE	Ist	Soll
2Zi	6WE	30%	35%
3Zi	4WE	20%	20%
4Zi	8WE	40%	35%-40%
5Zi	2WE	10%	5%-10%

2Zimmer
3 Zimmer
4Zimmer
5Zimmer



NSW_045
Neustart Wohnen Ludwigsburg
#Projektbeschreibung
Markgröninger Str. 50-64
71638 Ludwigsburg
Deutschland

Bauherr
Wohnungsbau Ludwigsburg GmbH
Mathilden Str. 21
71638 Ludwigsburg
#Auftraggeber:in Titelpräfix #Auftraggeber:in Vorname #Auftraggeber:in Familienname
07141 910-3814
#Auftraggeber:in E-Mail

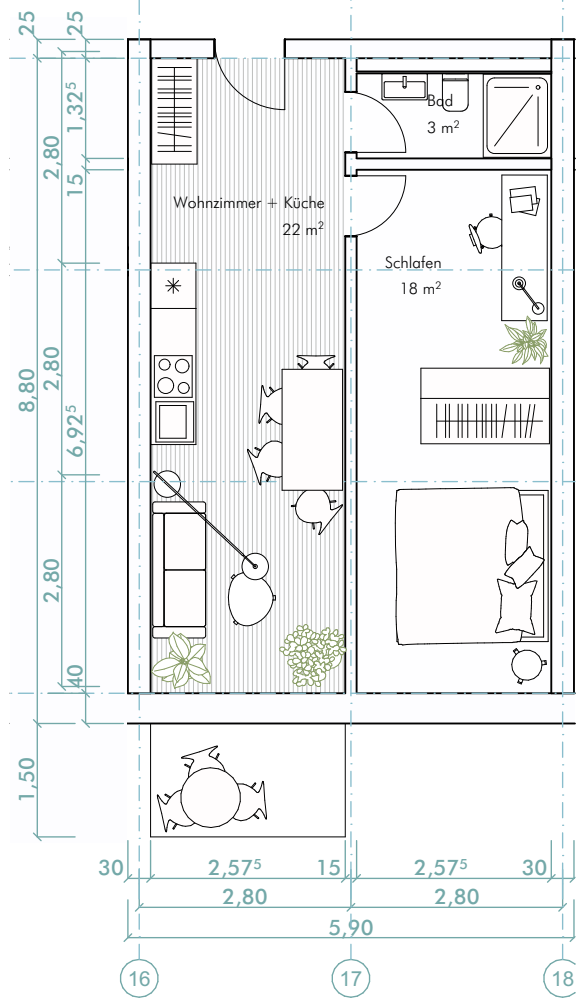
Architektur
DGJ Architektur GmbH
Walter-Kolb-Strasse 22
60594 Frankfurt am Main
Tel 069 66 11 38 01
Mail frankfurt@dgj.eu
Web www.dgj.eu

LPO

Mittelfloor 2,8m var.2

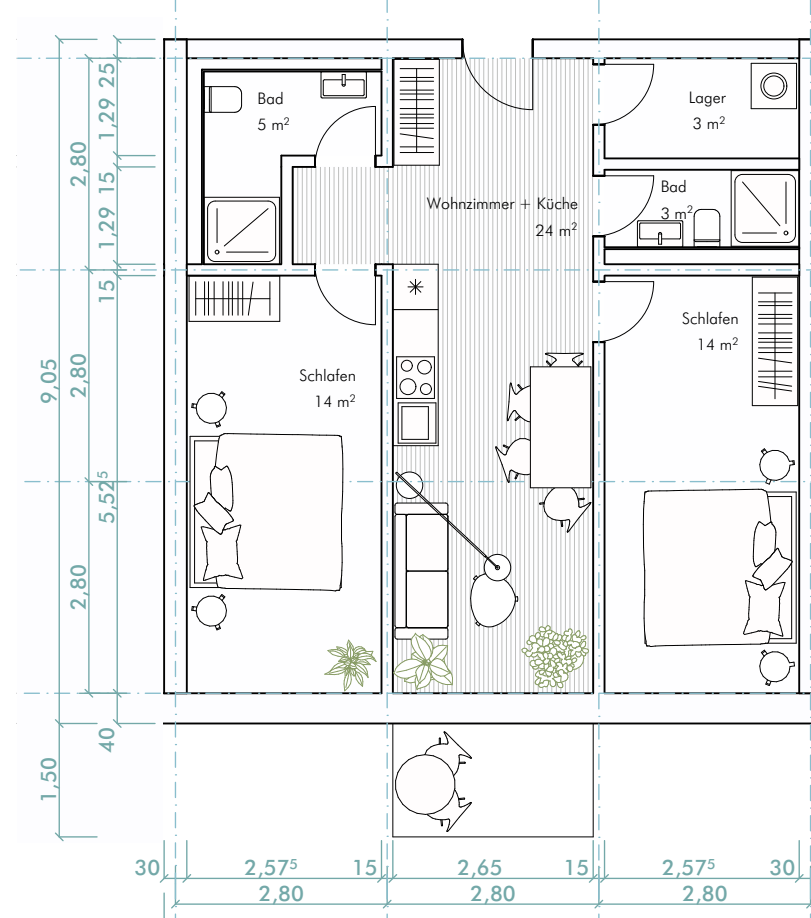
Planinhalt:
Mittelfloor 2,8m var.2
Datum: 07.07.2025
Version:
Plannummer:
Planersteller:
Maßstab: 1:200

2 Zimmer



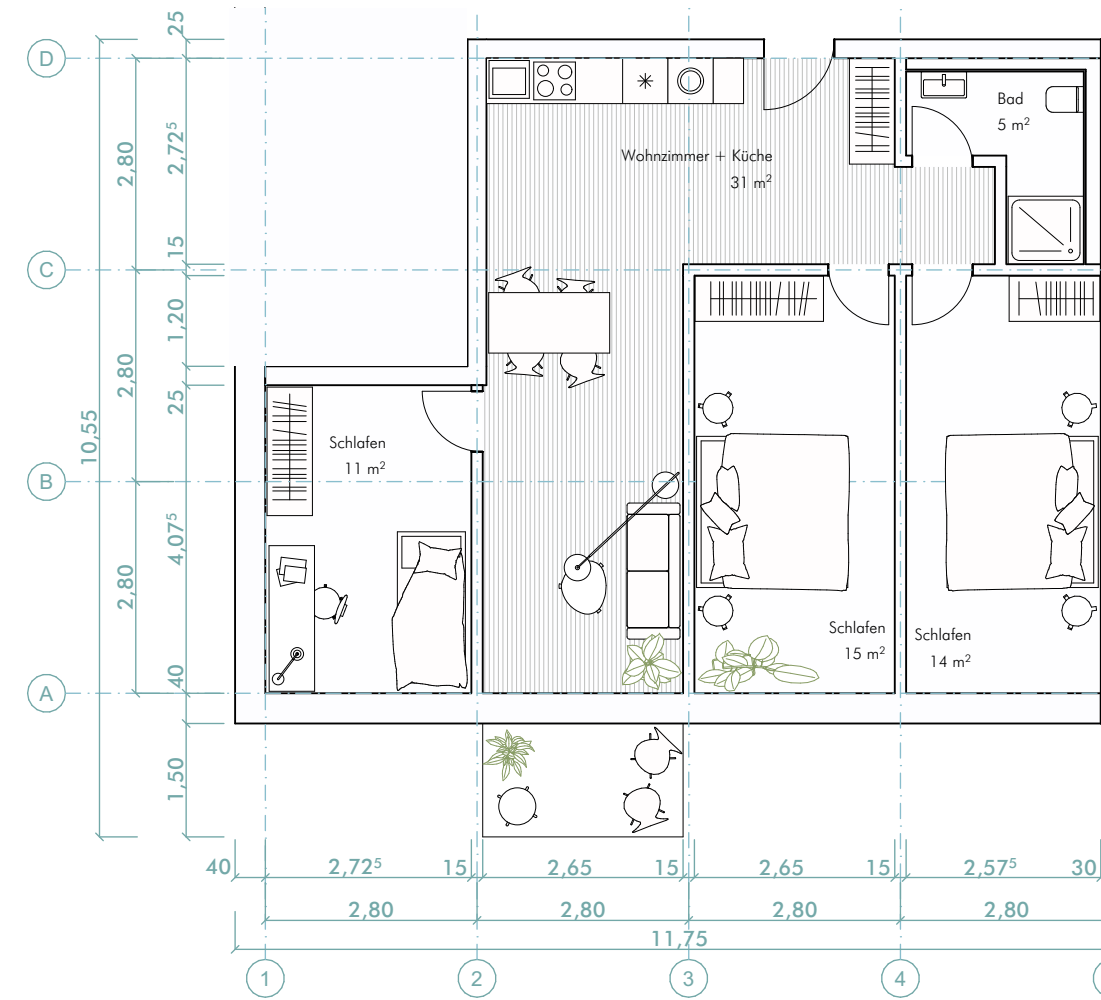
Max. WF 50 m²
Wohnfläche
Genannt: 43 m²

3 Zimmer



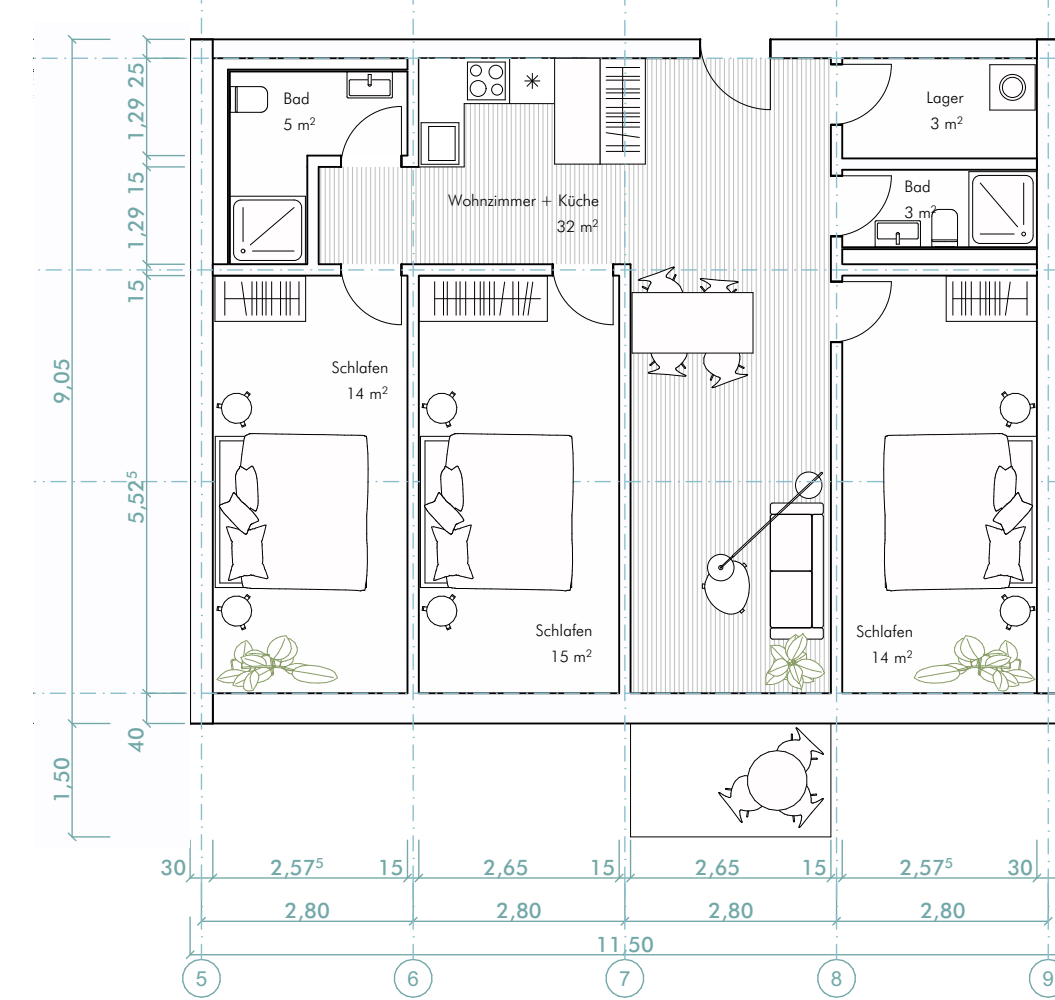
Max. WF 80 m²
Wohnfläche
Genannt: 63 m²

4 Zimmer

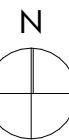
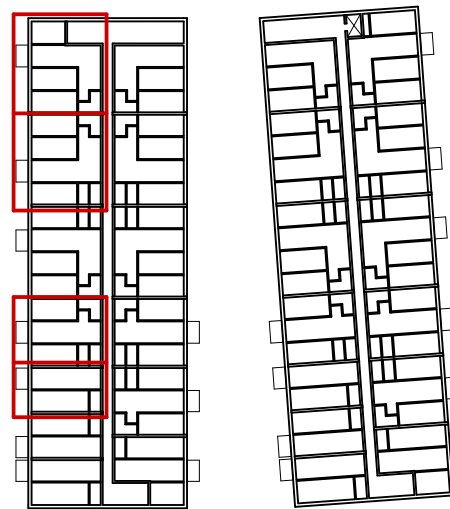


Max. WF 80 m²
Wohnfläche
Genannt: 76 m²

4 Zimmer



Max. WF 80 m²
Wohnfläche
Genannt: 86 m²



NSW_045

Neustart Wohnen Ludwigsburg

#Projektbeschreibung

Markgröninger Str. 50-64
71638 Ludwigsburg
Deutschland

Bauherr
Wohnungsbau Ludwigsburg GmbH
Mathilden Str. 21
71638 Ludwigsburg

#Auftraggeber:in Titelpräfix: #Auftraggeber:in Vorname #Auftraggeber:in
Familienname
07141 910-3814
#Auftraggeber:in E-Mail

Architektur
DGJ Architektur GmbH
 Walter-Kolb-Strasse 22
 60594 Frankfurt am Main

Tel 069 66 11 38 01
 Mail frankfurt@dgj.eu
 Web www.dgj.eu

LPO

Möblierungs var.1 Mittelflur 2,8m

Planinhalt:
Möblierungs var.1 Mittelflur 2,8m
Datum: 07.07.2025
Version:
Plannummer:
Planersteller:
Maßstab: 1:100

VAR. 8.2 SPÄNNER 2,3m

4Zi
75 m² (max 78,75m²)

2Zi
31 m² (max 47,25m²)

3Zi
43 m² (max 63m²)

5Zi
79 m² (max 94,50m²)

3Zi
46 m² (max 63m²)

3Zi
46 m² (max 63m²)

4Zi
75 m² (max 78,75m²)

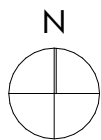
4Zi
63 m² (max 78,75m²)

Aufenthalt
Bad + Nebenzone
Erschliessung

WOHNUNGSMIX

	29WE	Ist	Soll
2ZI	10WE	34,5%	35%
3ZI	6WE	20,7%	20%
4ZI	11WE	37,9%	35%-40%
5ZI	2WE	6,9%	5%-10%

2Zimmer
3 Zimmer
4Zimmer
5Zimmer



NSW_045
Neustart Wohnen Ludwigsburg
#Projektbeschreibung
Markgröninger Str. 50-64
71638 Ludwigsburg
Deutschland

Bauherr
Wohnungsbau Ludwigsburg GmbH
Mahliden Str. 21
71638 Ludwigsburg
Familienname
#Auftraggeber:in Titelpräfix #Auftraggeber:in Vorname #Auftraggeber:in
07141 910-3814
#Auftraggeber:in E-Mail

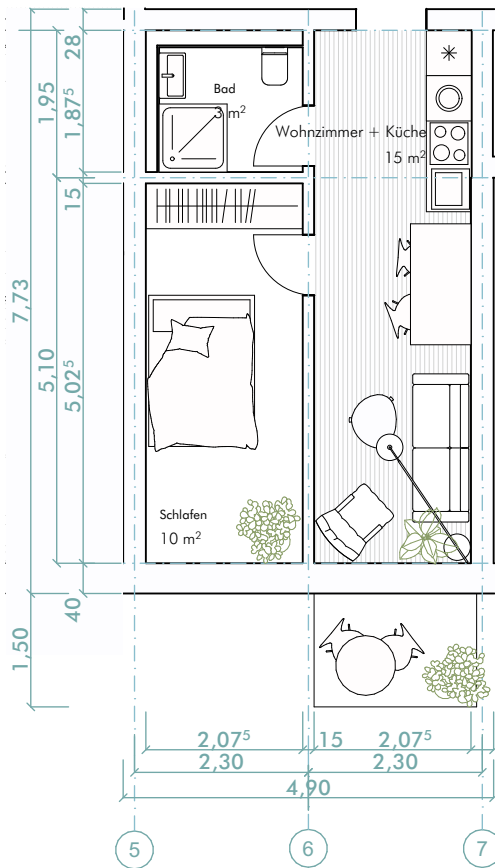
Architektur
DGJ Architektur GmbH
Walter-Kolb-Strasse 22
60594 Frankfurt am Main
Tel 069 66 11 38 01
Mail frankfurt@dgj.eu
Web www.dgj.eu

LPO

Spänner 2,3m

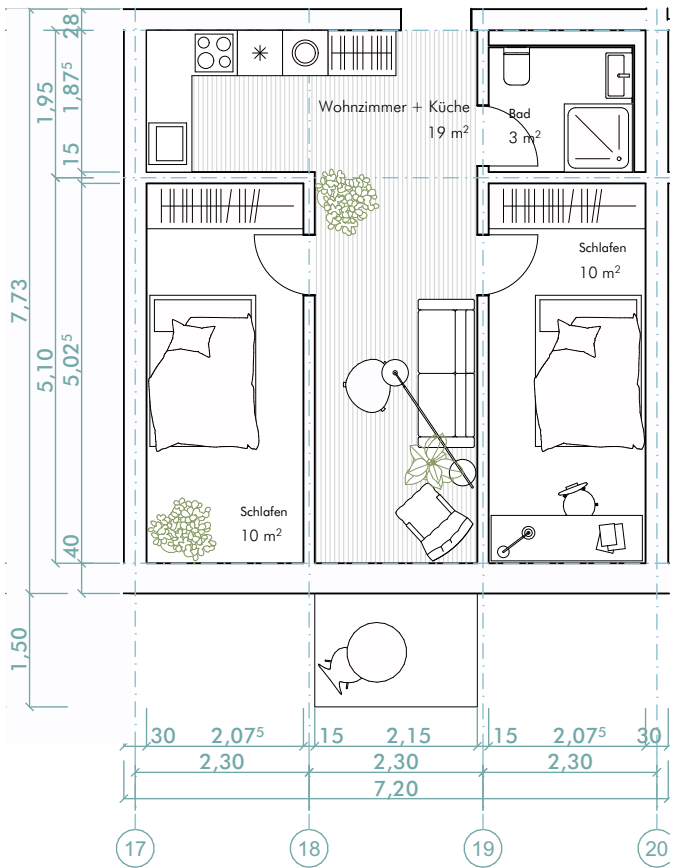
Planinhalt:
Spänner 2,3m
Datum: 07.07.2025
Version:
Plannummer:
Planersteller:
Maßstab: 1:200

2 Zimmer



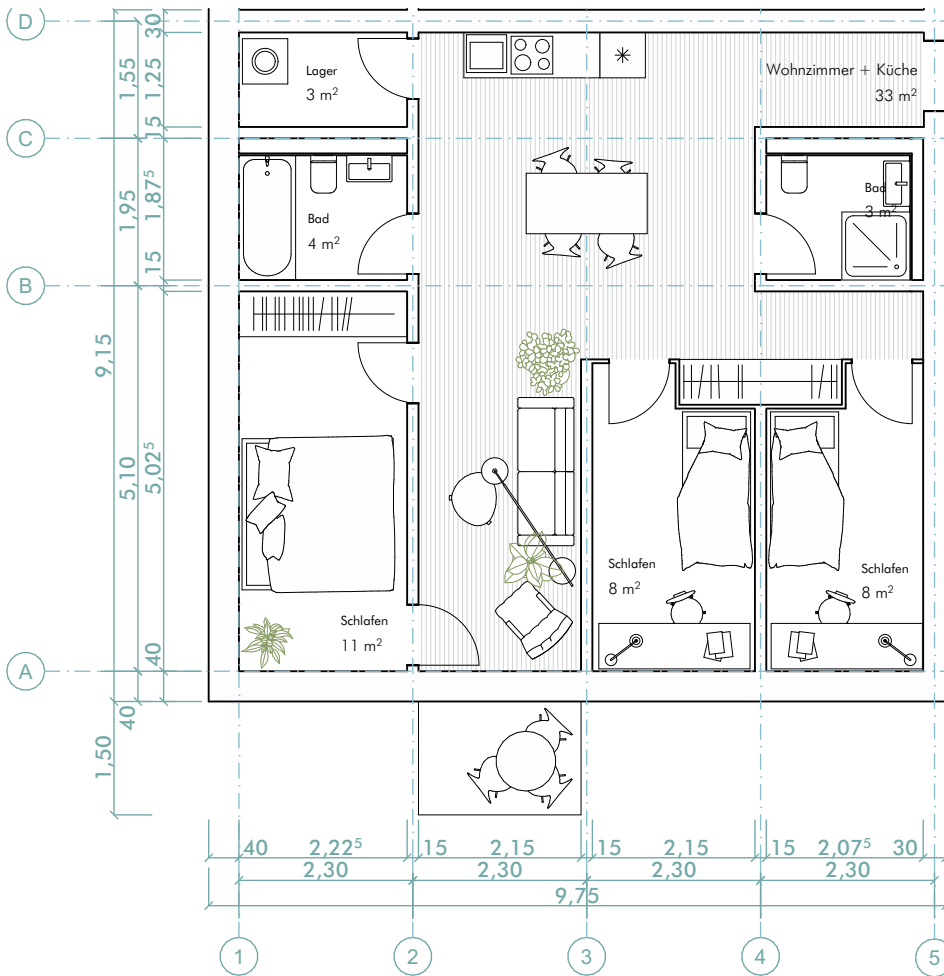
2 Zimmer
Max. 50 m²
Wohnfläche
Soll:
Ist: 28 m²

3 Zimmer



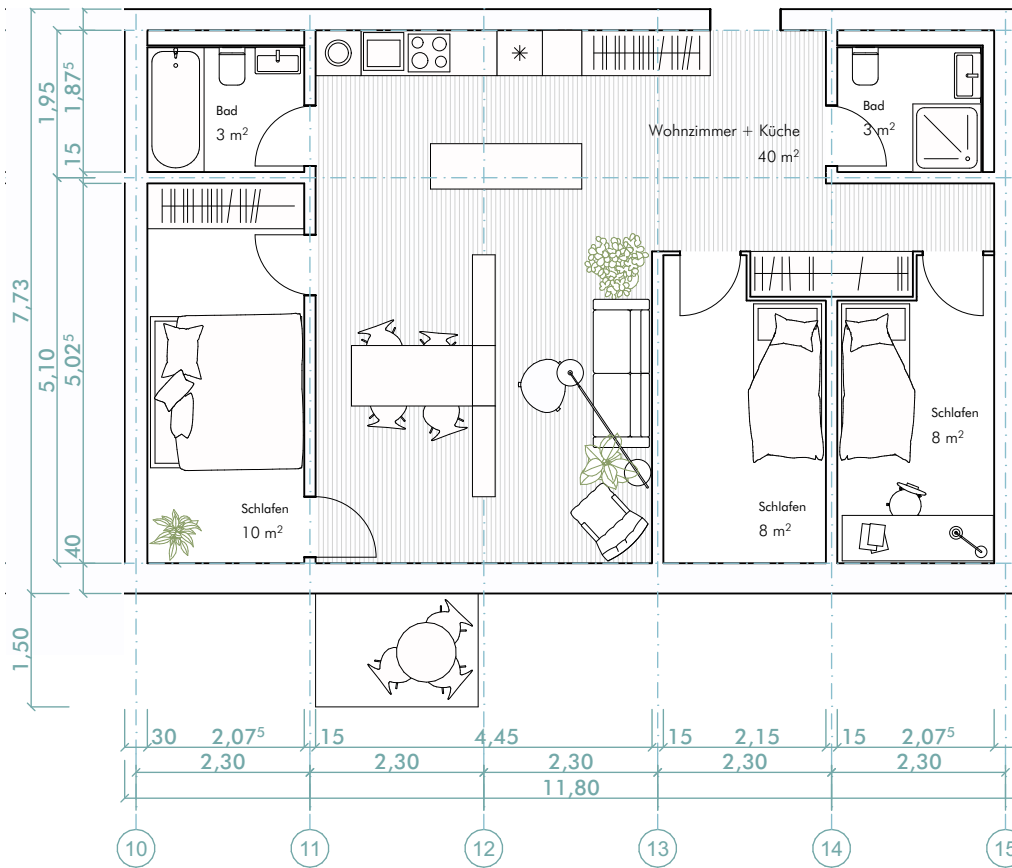
3 Zimmer
Max. 65 m²
Wohnfläche
Soll:
Ist: 42 m²

4 Zimmer

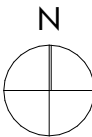
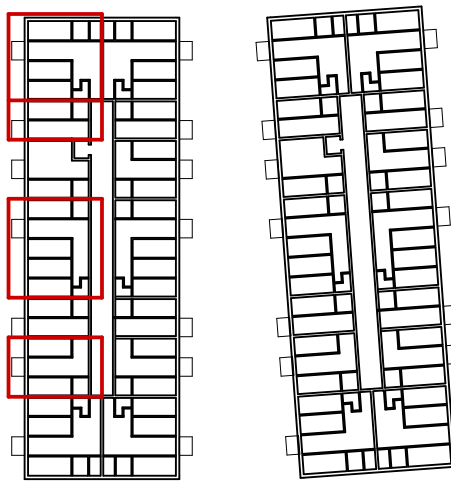


4 Zimmer
Max. 80 m²
Wohnfläche
Soll:
Ist: 70 m²

4 Zimmer



4 Zimmer
Max. 80 m²
Wohnfläche
Soll:
Ist: 72 m²



NSW_045
Neustart Wohnen Ludwigsburg
#Projektbeschreibung
Markgröninger Str. 50-64
71638 Ludwigsburg
Deutschland

Bauherr
Wohnungsbau Ludwigsburg GmbH
Mathilden Str. 21
71638 Ludwigsburg
#Auftraggeber:in Titelpräfix: #Auftraggeber:in Vorname #Auftraggeber:in
Familienname
07141 910-3814
#Auftraggeber:in E-Mail

Architektur
DGJ Architektur GmbH
Walter-Kolb-Strasse 22
60594 Frankfurt am Main
Tel 069 66 11 38 01
Mail frankfurt@dgj.eu
Web www.dgj.eu

LPO

Möblierungs Spänner 2,3m

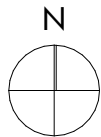
Planinhalt:
Möblierungs Spänner 2,3m
Datum: 07.07.2025
Version:
Plannummer:
Planersteller:
Maßstab: 1:100

Aufenthalt
Bad + Nebenzone
Erschliessung

WOHNUNGSMIX

	29WE	Ist	Soll
2ZI	10WE	34,5%	35%
3ZI	6WE	20,7%	20%
4ZI	11WE	37,9%	35%-40%
5ZI	2WE	6,9%	5%-10%

2Zimmer
3 Zimmer
4Zimmer
5Zimmer



NSW_045
Neustart Wohnen Ludwigsburg
#Projektbeschreibung
Markgröninger Str. 50-64
71638 Ludwigsburg
Deutschland

Bauherr
Wohnungsbau Ludwigsburg GmbH
Mathilden Str. 21
71638 Ludwigsburg
Familienname
#Auftraggeber:in Titelpräf. #Auftraggeber:in Vorname #Auftraggeber:in
07141 910-3814
#Auftraggeber:in E-Mail

Architektur
DGJ Architektur GmbH
Walter-Kolb-Strasse 22
60594 Frankfurt am Main
Tel 069 66 11 38 01
Mail frankfurt@dgj.eu
Web www.dgj.eu

LPO

Spänner 2,5m

Planinhalt:
Spänner 2,5m
Datum: 07.07.2025
Version:
Plannummer:
Planersteller:
Maßstab: 1:200

VAR. 8.3 SPÄNNER 2,5m

4Zi
77 m² (max 78,75m²)

2Zi
31 m² (max 47,25m²)

3Zi
42 m² (max 63m²)

5Zi
78 m² (max 94,50m²)

2Zi
30 m² (max 47,25m²)

3Zi
47 m² (max 63m²)

4Zi
77 m² (max 78,75m²)

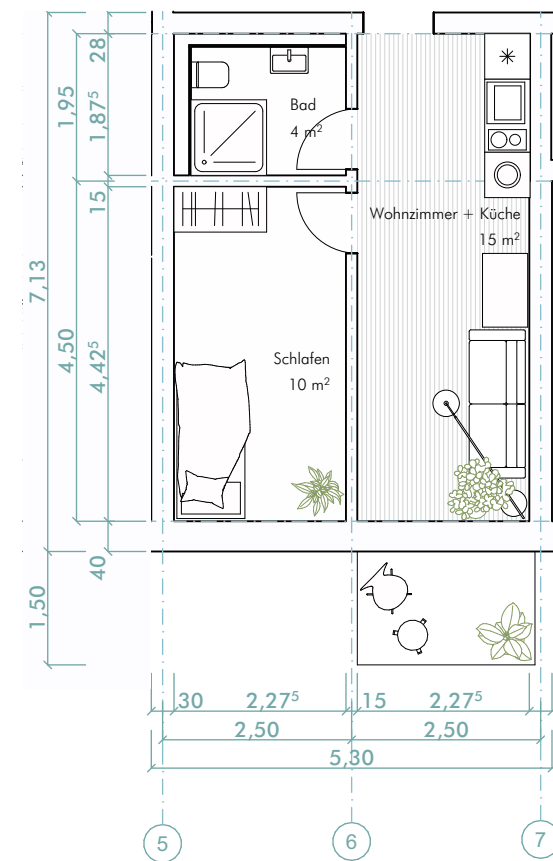
4Zi
62 m² (max 78,75m²)

IV

IV

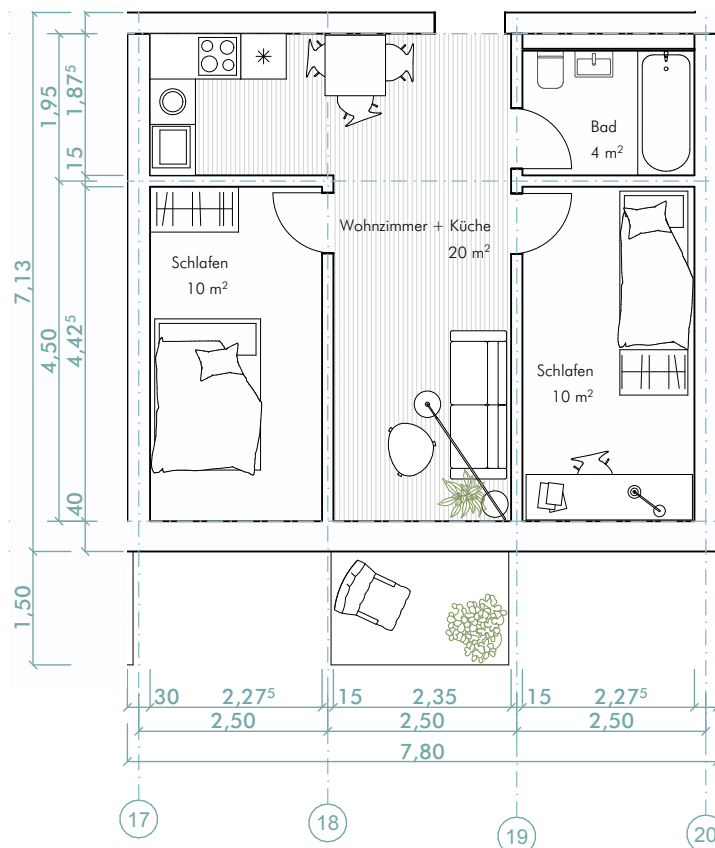
Möblierung Spänner 2,5m

2 Zimmer



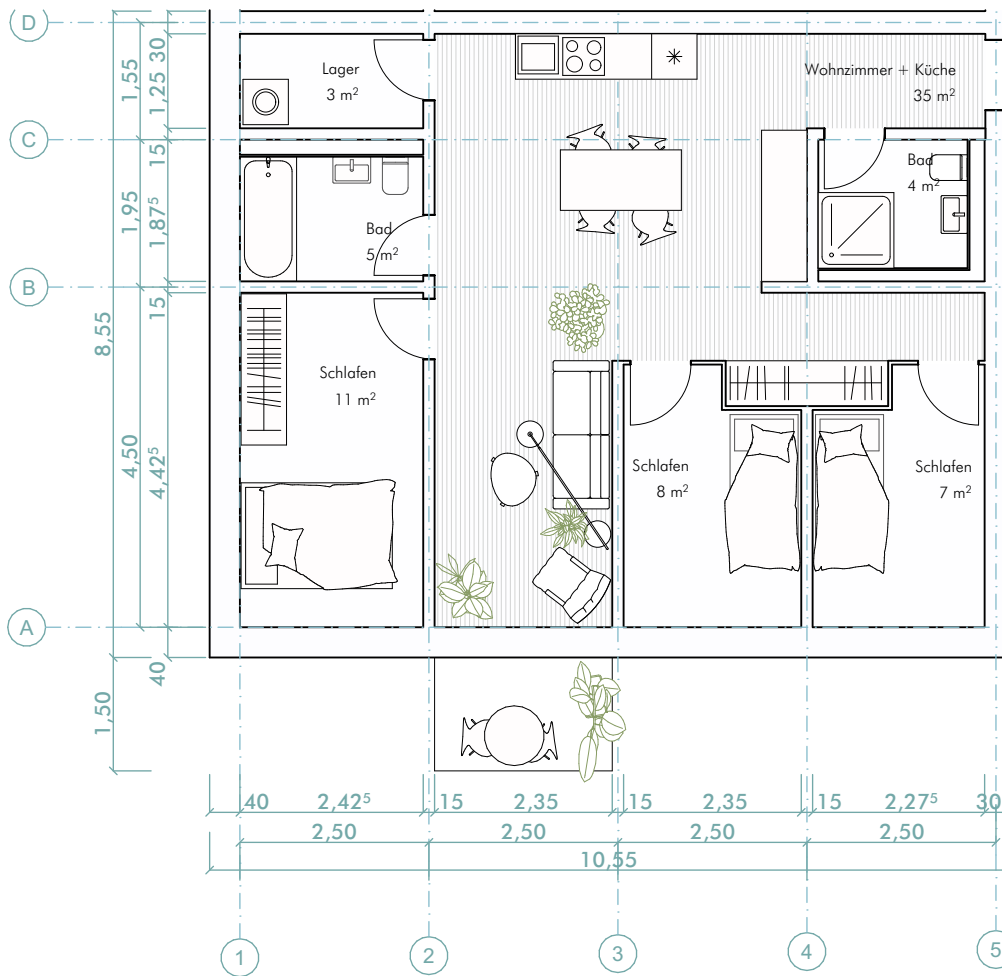
Max. 50 m²
Wohnfläche
Soll:
Ist: 29 m²

3 Zimmer



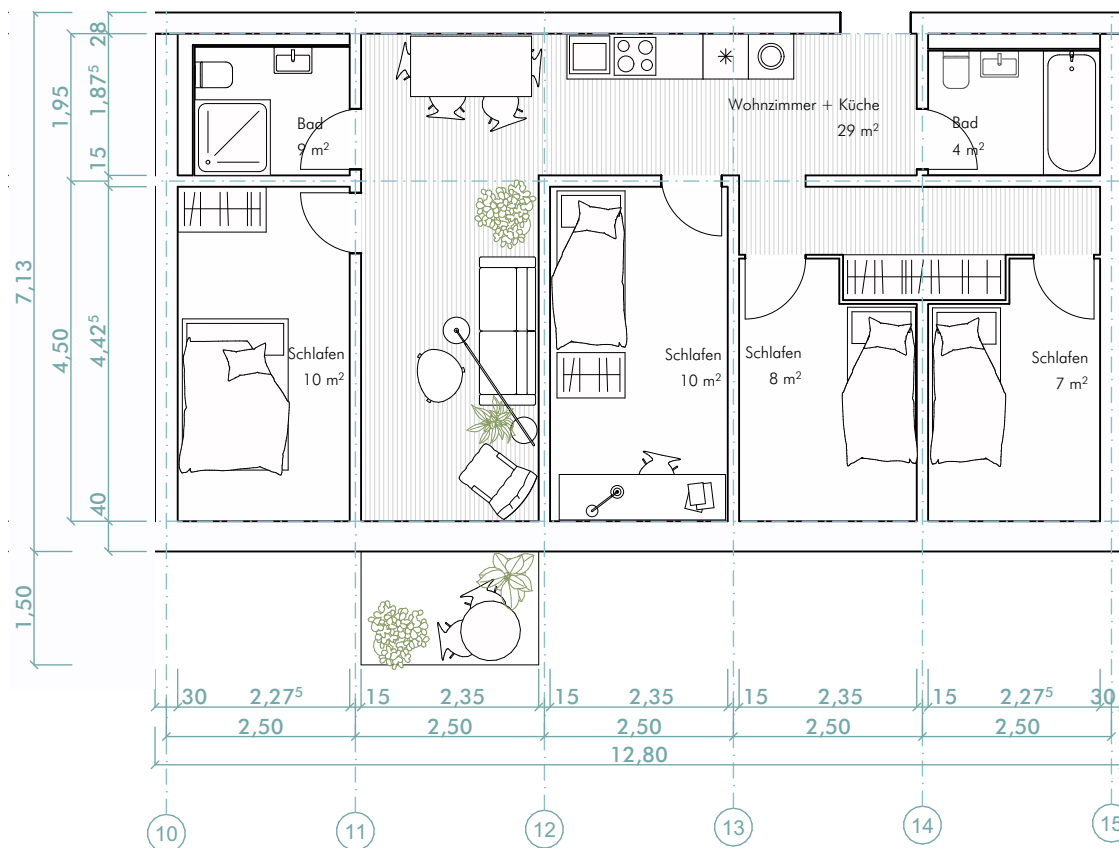
Max. 65 m²
Wohnfläche
Soll:
Ist: 44 m²

4 Zimmer

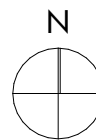
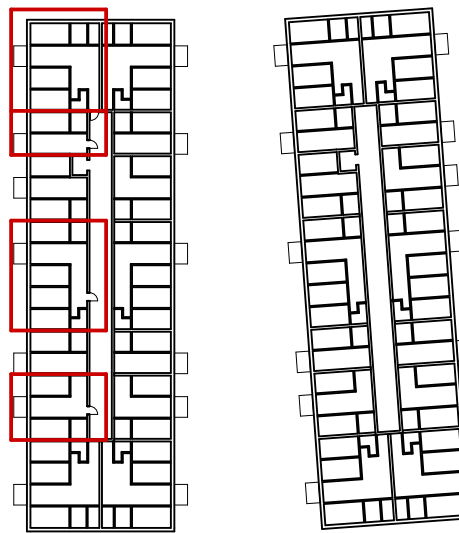


Max. 80 m²
Wohnfläche
Soll:
Ist: 73 m²

5 Zimmer



Max. 95 m²
Wohnfläche
Soll:
Ist: 77 m²



NSW_045
Neustart Wohnen Ludwigsburg
#Projektbeschreibung
Markgröninger Str. 50-64
71638 Ludwigsburg
Deutschland

Bauherr
Wohnungsbau Ludwigsburg GmbH
Mathilden Str. 21
71638 Ludwigsburg
Familienname
#Auftraggeber:in Titelpräfix #Auftraggeber:in Vorname #Auftraggeber:in
07141 910-3814
#Auftraggeber:in E-Mail

Architektur
DGJ Architektur GmbH
Walter-Kolb-Strasse 22
60594 Frankfurt am Main
Tel 069 66 11 38 01
Mail frankfurt@dgj.eu
Web www.dgj.eu

LPO

Möblierungs Spänner 2,5m

Planinhalt:
Möblierungs Spänner 2,5m
Datum: 07.07.2025
Version:
Plannummer:
Planersteller:
Maßstab: 1:100

VAR. 8.4 SPÄNNER 2,8m

4Zi
81 m² (max 78,75m²)

2Zi
34 m² (max 47,25m²)

3Zi
46 m² (max 63m²)

5Zi
85 m² (max 94,50m²)

3Zi
46 m² (max 63m²)

4Zi
81 m² (max 78,75m²)

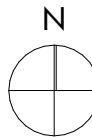
4Zi
68 m² (max 78,75m²)

Aufenthalt
Bad + Nebenzone
Erschliessung

WOHNUNGSMIX

	26WE	Ist	Soll
2Zi	8WE	30,8%	35%
3Zi	6WE	23,1%	20%
4Zi	10WE	38,5%	35%-40%
5Zi	2WE	7,7%	5%-10%

2Zimmer
3 Zimmer
4Zimmer
5Zimmer



NSW_045
Neustart Wohnen Ludwigsburg
#Projektbeschreibung
Markgröninger Str. 50-64
71638 Ludwigsburg
Deutschland

Bauherr
Wohnungsbau Ludwigsburg GmbH
Mahliden Str. 21
71638 Ludwigsburg
Familienname
#Auftraggeber:in Titelpräfix #Auftraggeber:in Vorname #Auftraggeber:in
07141 910-3814
#Auftraggeber:in E-Mail

Architektur
DGJ Architektur GmbH
Walter-Kolb-Strasse 22
60594 Frankfurt am Main
Tel 069 66 11 38 01
Mail frankfurt@dgj.eu
Web www.dgj.eu

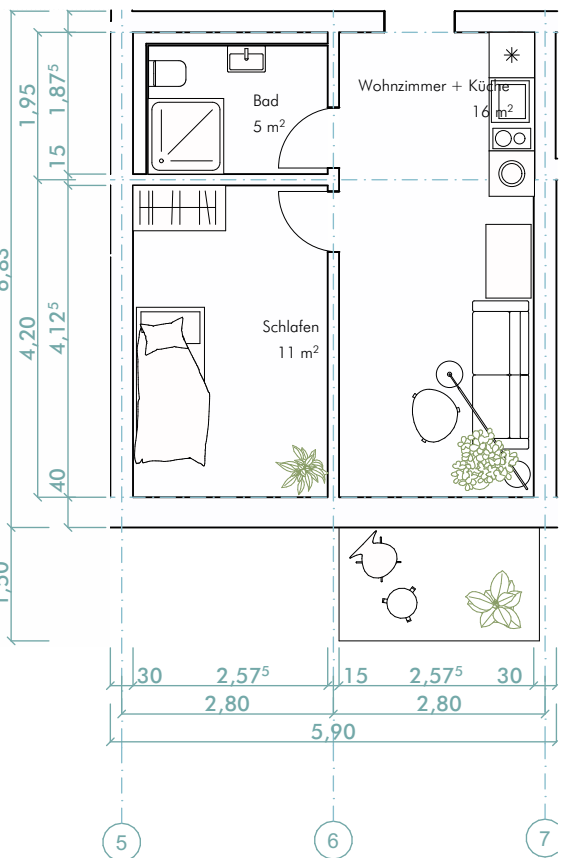
LPO

Spänner 2,8m

Planinhalt:
Spänner 2,8m
Datum: 07.07.2025
Version:
Plannummer:
Planersteller:
Maßstab: 1:200

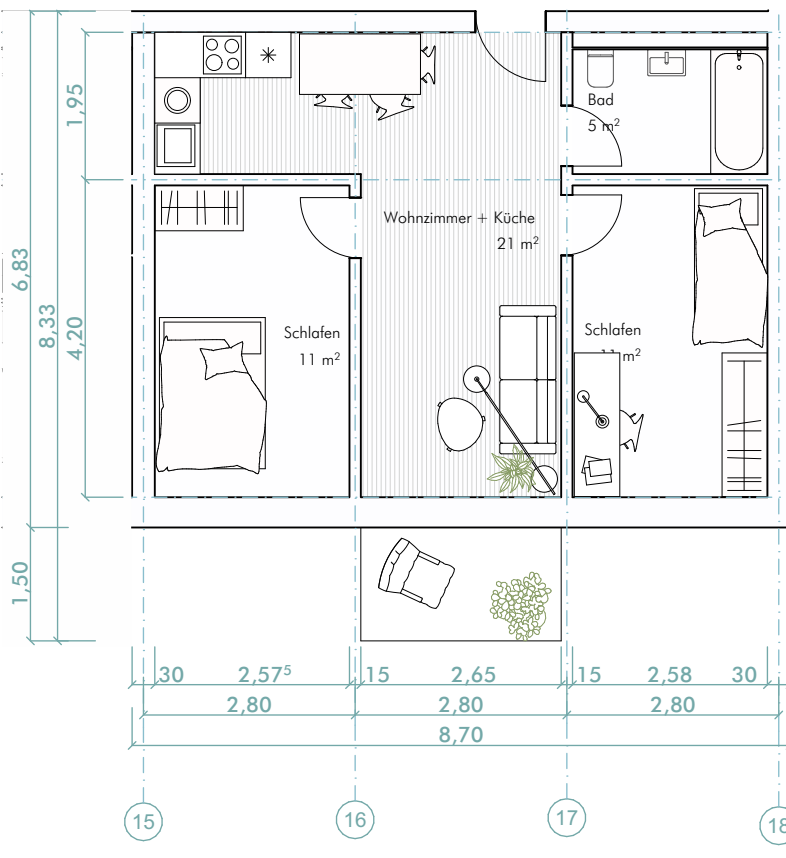
Möblierung Spänner 2,8m

2 Zimmer



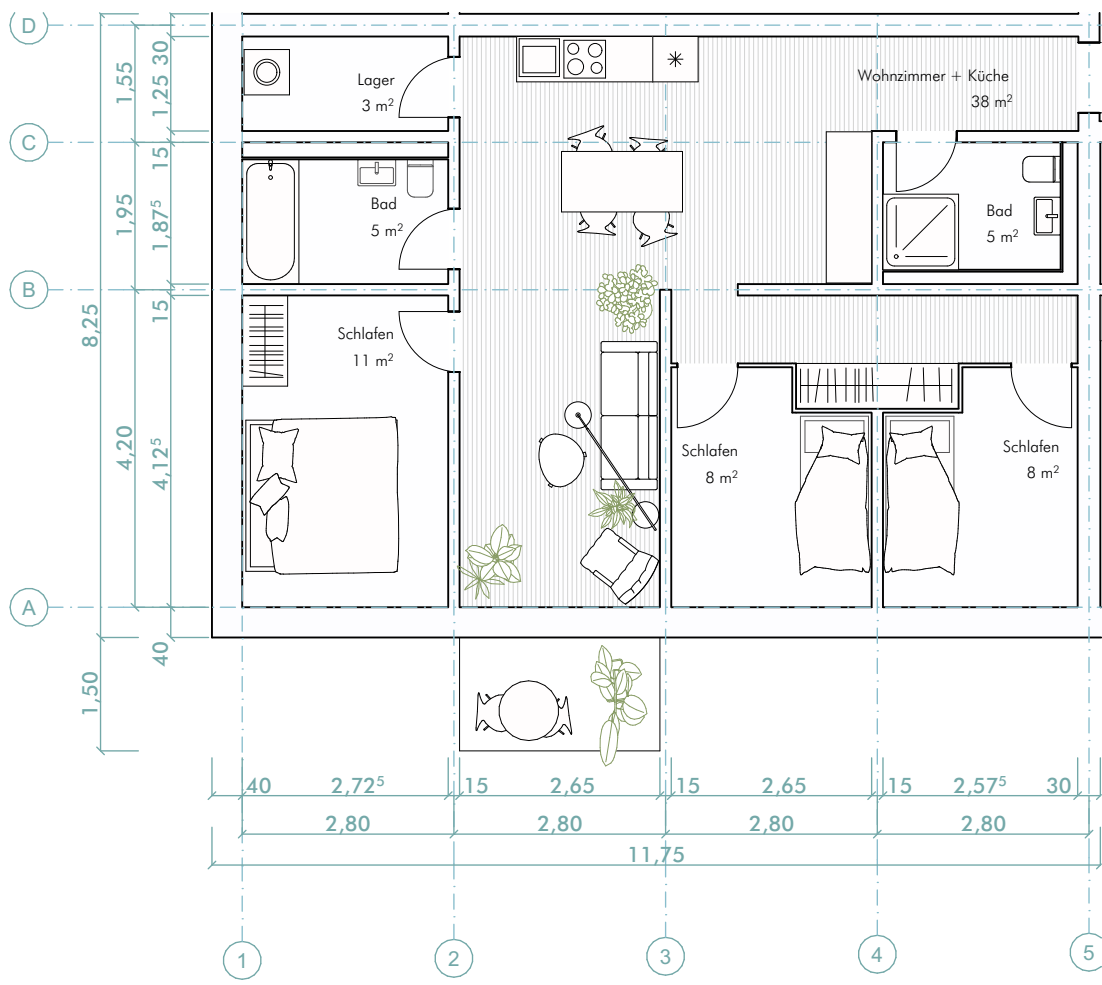
Max. 50 m²
Wohnfläche
Soll:
Ist: 32 m²

3 Zimmer



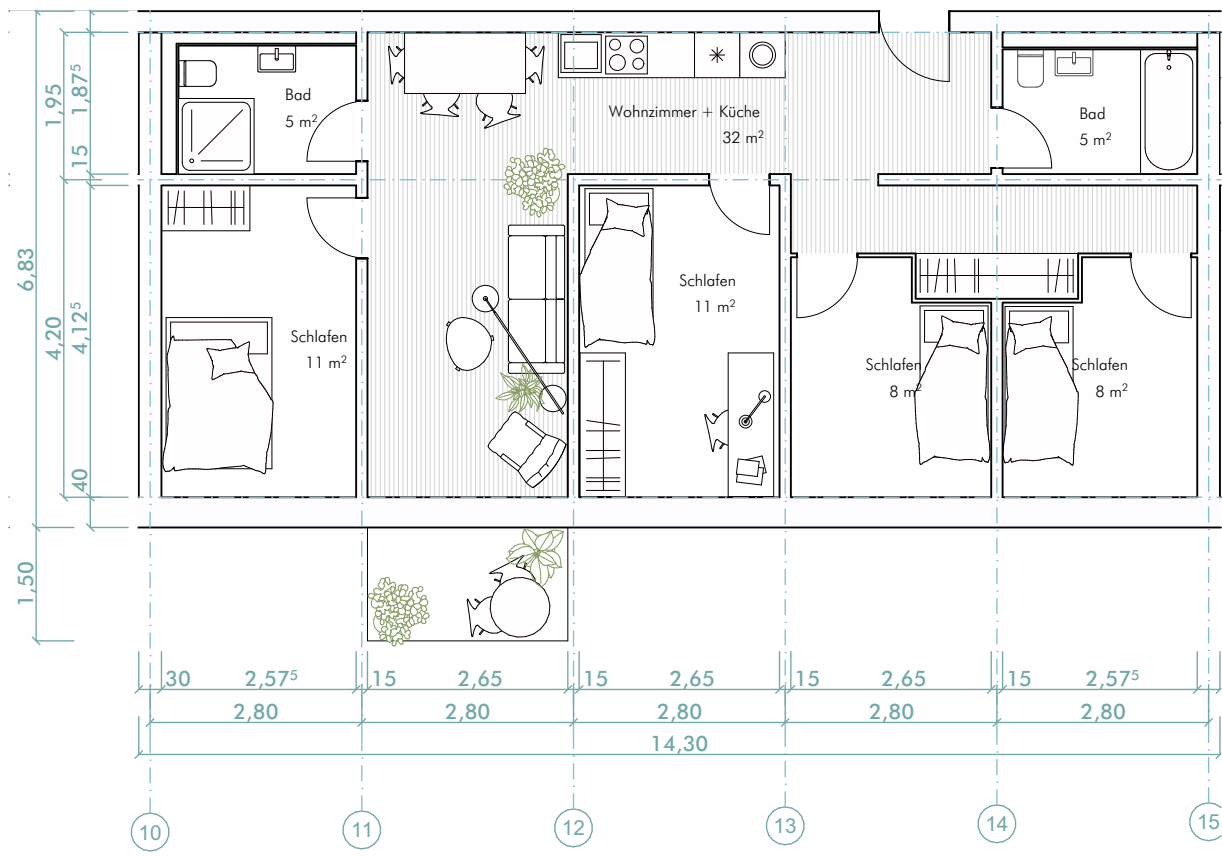
Max. 65 m²
Wohnfläche
Soll:
Ist: 48 m²

4 Zimmer

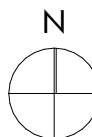
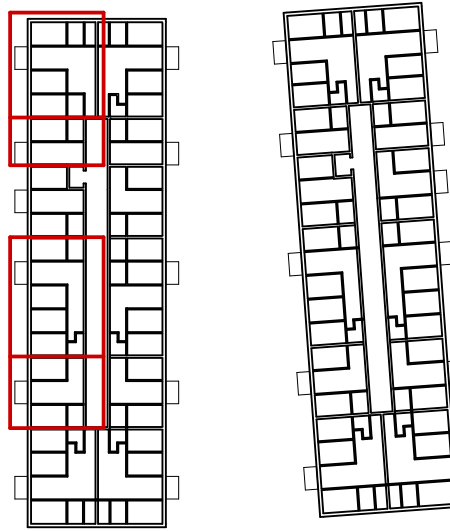


Max. 80 m²
Wohnfläche
Soll:
Ist: 73 m²

5 Zimmer



Max. 95 m²
Wohnfläche
Soll:
Ist: 80 m²



NSW_045
Neustart Wohnen Ludwigsburg
#Projektbeschreibung
Markgröninger Str. 50-64
71638 Ludwigsburg
Deutschland

Bauherr
Wohnungsbau Ludwigsburg GmbH
Mathilden Str. 21
71638 Ludwigsburg
Familienname #Auftraggeber:in Titelpräfix #Auftraggeber:in Vorname #Auftraggeber:in
07141 910-3814
#Auftraggeber:in E-Mail

Architektur
DGJ Architektur GmbH
Walter-Kolb-Strasse 22
60594 Frankfurt am Main
Tel 069 66 11 38 01
Mail frankfurt@dgj.eu
Web www.dgj.eu

LPO

Möblierungs Spänner 2,8m

Planinhalt:
Möblierungs Spänner 2,8m
Datum: 07.07.2025
Version:
Plannummer:
Planersteller:
Maßstab: 1:100

VAR. 10+11 HOF ATRIUM

5Zi
106 m² (max 94,50m²)

2Zi
50 m² (max 47,25m²)

2Zi
41 m² (max 47,25m²)

4Zi
83 m² (max 78,75m²)

3Zi
65 m² (max 63m²)

4Zi
93 m² (max 78,75m²)

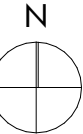
3Zi
46 m² (max 63m²)

2Zi
41 m² (max 47,25m²)

WOHNUNGSMIX

	20WE	Ist	Soll
2ZI	6WE	30%	35%
3ZI	6WE	30%	20%
4ZI	6WE	30%	35%-40%
5ZI	2WE	10%	5%-10%

- 2Zimmer
3 Zimmer
4Zimmer
5Zimmer



NSW_045
Neustart Wohnen Ludwigsburg
#Projektbeschreibung
Markgröninger Str. 50-64
71638 Ludwigsburg
Deutschland

Bauherr
Wohnungsbau Ludwigsburg GmbH
Mathilden Str. 21
71638 Ludwigsburg
#Auftraggeber:in Titelpräfix #Auftraggeber:in Vorname #Auftraggeber:in
Familienname
07141 910-3814
#Auftraggeber:in E-Mail

Architektur
DGJ Architektur GmbH
Walter-Kolb-Strasse 22
60594 Frankfurt am Main
Tel 069 66 11 38 01
Mail frankfurt@dgj.eu
Web www.dgj.eu

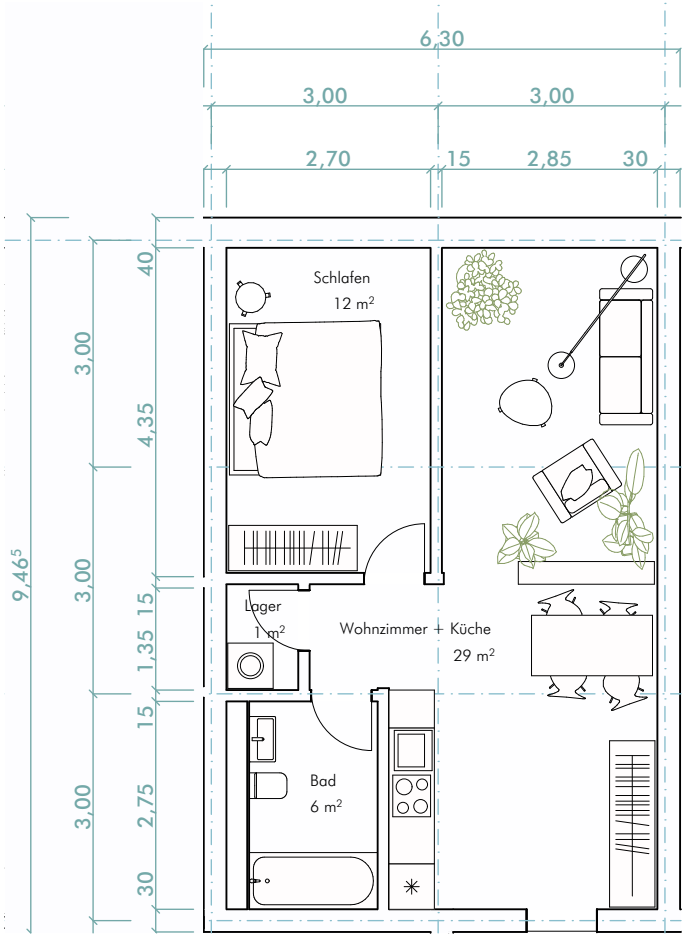
LPO

Hofhaus 3m

Planinhalt:
Hofhaus 3m
Datum: 07.07.2025
Version:
Plannummer:
Planersteller:
Maßstab: 1:200

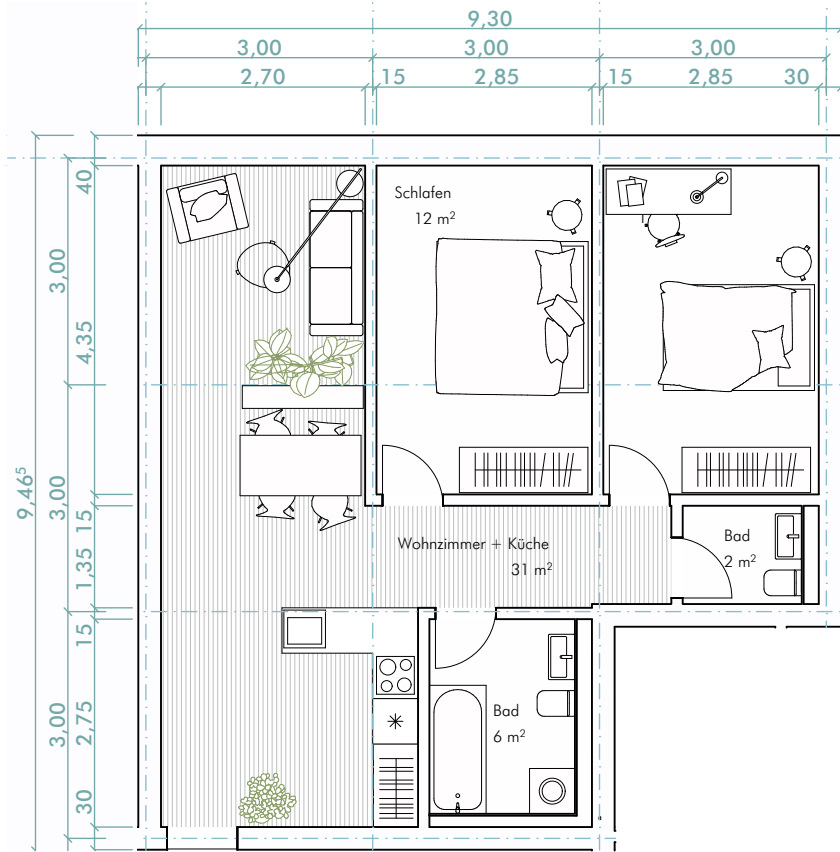
Möblierung Hof Atrium 3m

2 Zimmer



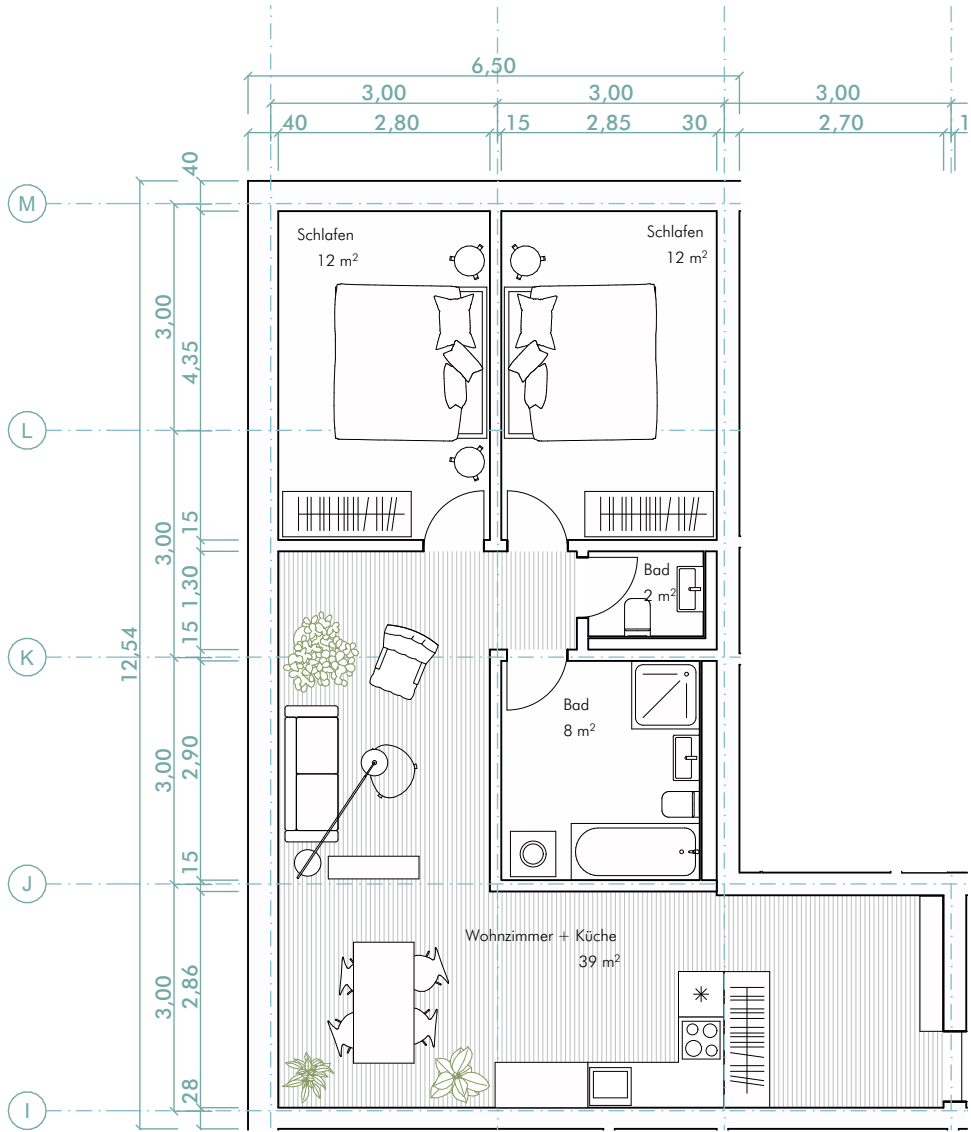
Max. WF 50 m²
Wohnfläche
Genannt: 48 m²

3 Zimmer

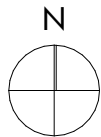
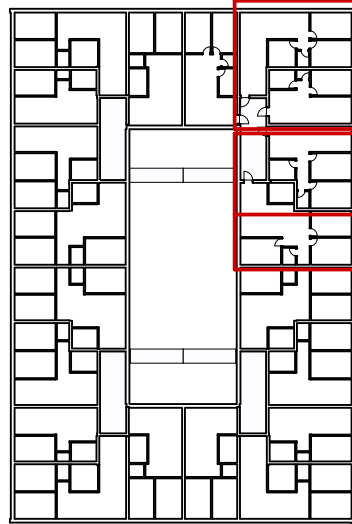


Max. WF 65 m²
Wohnfläche
Genannt: 63 m²

3 Zimmer



Max. WF 65 m²
Wohnfläche
Genannt: 73 m²



NSW_045
Neustart Wohnen Ludwigsburg
#Projektbeschreibung
Markgröninger Str. 50-64
71638 Ludwigsburg
Deutschland

Bauherr
Wohnungsbau Ludwigsburg GmbH
Mathilden Str. 21
71638 Ludwigsburg
#Auftraggeber:in Titelpräfix #Auftraggeber:in Vorname #Auftraggeber:in
Familienname
07141 910-3814
#Auftraggeber:in E-Mail

Architektur
DGJ Architektur GmbH
Walter-Kolb-Strasse 22
60594 Frankfurt am Main
Tel 069 66 11 38 01
Mail frankfurt@dgj.eu
Web www.dgj.eu

LPO

Möblierungs var.1 Hofhaus

Planinhalt:
Möblierungs var.1 Hofhaus
Datum: 07.07.2025
Version:
Plannummer:
Planersteller:
Maßstab: 1:100

Anhang B Oberflächenfarben für Simulation der Geschossstudie

Annahmen	Farbe (RAL)	R-R.				G-R.	B-R.	Rauheit	Spiegelung
Verglasung		Transmission							
Fenster	-	0,73						-	-
Wände									
Innenwand/Decke	9016	0,729				0,902	0,841	0	0
außen	80 80 10	0,649				0,571	0,458	0,08	0,1
Boden	80 80 10	0,649				0,571	0,458	0,1	0,08
Balkon/Laubengang									
oben	9016	0,729				0,902	0,841	0	0
unten	7040	0,264				0,358	0,384	0	0
Umgebung	Light painted Concrete	0,493				0,510	0,499	0	0

Anhang C Kosten Fernwärme



Anlage 2a zum Wärmeliefervertrag

Preisblatt Fernwärme

Geltungsbereich: Ludwigsburg Eglosheim Verbundnetz

1. Wärmepreise (Stand: 01.01.2025)

Der Wärmepreis setzt sich zusammen aus dem verbrauchsunabhängigen Jahresgrundpreis, der verbrauchsunabhängigen Jahresverrechnungspreis, dem verbrauchsabhängigen Arbeitspreis, dem verbrauchsabhängigen CO₂-Preis und dem Gasumlagenpreis.

1.1 Der Jahresgrundpreis für die vereinbarte Anschlussleistung beträgt:

	netto in €/kW pro Jahr	brutto in €/kW pro Jahr
für die ersten 90 kW	65,27	77,67
für alle weiteren kW bis 200 kW	63,02	74,99
für alle weiteren kW über 200 kW	60,77	72,32

1.2 Der Jahresverrechnungspreis beträgt für die installierten Mess- und Begrenzungseinrichtungen bei einer vereinbarten Anschlussleistung:

	netto in € pro Jahr	brutto in € pro Jahr
bis 140 kW	103,31	122,94
über 140 kW bis 210 kW	116,60	138,75
über 210 kW bis 420 kW	129,38	153,97
über 420 kW	194,32	231,24

1.3 Der Arbeitspreis für die abgenommene Wärmemenge beträgt:

netto in Cent/kWh	brutto in Cent/kWh
10,14	12,06

1.4 Der CO₂-Preis für die abgenommene Wärmemenge wird errechnet auf Grundlage des in § 10 Abs. 2 Satz 2 BEHG festgelegten Festpreises pro Emissionszertifikat sowie den Emissionsfaktoren der eingesetzten Brennstoffe und beträgt:

netto in Cent/kWh	brutto in Cent/kWh
0,36	0,43

1.5 Der Gasumlagenpreis für die abgenommene Wärmemenge beträgt:

netto in Cent/kWh	brutto in Cent/kWh
0,39	0,46

Abbildung 72: Ausschnitt aus dem Preisblatt Fernwärme Ludwigsburg für die Berechnung der Betriebskosten bei Verwendung von Fernwärme (Stadtwerke Ludwigsburg, 2025)

Anhang D Kosten der Bauteile

Tabelle 17: Kosten der Bauteile nach Sirados (*Sirados Baudaten*, 2025) und BKI (BKI, 2024a, 2024b, 2024c)

KG	Element	Preis Sirados (netto)		Preis BKI (brutto)	
322	Bodenplatte	187	€/m ²	238	€/m ²
331	Wand - AW Stahlbeton	456	€/m ²	459	€/m ²
332	Wand - AW Holztafelbau	355	€/m ²	468	€/m ²
332	Wand - AW Mauerwerk	358	€/m ²	388	€/m ²
334	Fenster 1-flg: bis 0,7 m ²			957	€/m ²
334	Fenster 1-flg: bis 1,7 m ²	595	€/m ²	504	€/m ²
334	Fenster 2-flg: bis 2,5 m ²			880	€/m ²
334	Fenster festverglast	336	€/m ²		
334	Fenstertüren	403	€/m ²	534	€/m ²
341	Wand - IW tragend Mauerwerk HLz	173	€/m ²	239	€/m ²
341	Wand - IW tragend Stahlbeton	226	€/m ²	255	€/m ²
342	Wand - IW nichttragend	115	€/m ²	139	€/m ²
344	Tür - Wohnungstür	1627	€/St	1083	€/m ²
344	Tür - Brandschutztür	2682	€/St	905	€/m ²
344	Tür - Zimmertür	682	€/St	579	€/m ²
351	Decke - Holzbalkendecke + Bodenaufbau	250 - 297	€/m ²	337 - 369	€/m ²
351	Decke - Brettstapeldecke + Bodenaufbau	294 - 370	€/m ²	316 - 503	€/m ²
351	Unterzug KVH	32 - 41	€/m	45 - 53	€/m
351	Unterzug BSH	47 - 63	€/m	62	€/m
351	Laubengang - Plattform + Entwässerung	970	€/m ²	186	€/m ²
333	Laubengang - Stützen	124	€/m	212	€/m
359	Laubengang - Geländer	322	€/m	652	€/m ²
351	Balkon	1839	€/m ²	-	
352	Treppe	6853	€/St	633	€/m
353	Bodenbelag - Parkett	118	€/m ²	162	€/m ²
353	Bodenbelag - Linoleum	58	€/m ²	81	€/m ²

353	Bodenbelag - Fliesen	98	€/m²	137	€/m²
361	Dach - Holzbalken	458 - 526	€/m²	477 - 500	€/m²
361	Dach - Brettstapelholz	553 - 608	€/m²	491 - 653	€/m²
389	Bad	9933	€/St	-	

Anhang E Bauteilkatalog

Holzbalkendecke		
	Dicke [mm]	Komponente
A	50	Zementestrich od. Anhydritestrich
B		Trennschicht Kunststoff
C	30	Trittschalldämmung MW-T [$s'=10 \text{ MN/m}^3$]
D	40	Schüttung lose
E		Rieselschutz
F	18	OSB
G	XXX	Konstruktionsholz (XX/..; $e=500$)
H	100	Mineralwolle [040; ≥ 30 ; $\geq 1000^\circ\text{C}$]
I		Holz Fichte Sparschalung (24/100; $a=400$)
J	27	Federschiene zwischen Sparschalung angeordnet
K	25	Gipsfaserplatte

Abbildung 73: Darstellung der Holzbalkendecke nach Geschossdecke gdrnxa07b-04 (dataholz.eu, 2025d)

Brettstapelholzdecke		
	Dicke [mm]	Komponente
A	60	Zementestrich od. Anhydritestrich
B		Trennschicht Kunststoff
C	30	Trittschalldämmung MW-T [$s'=10 \text{ MN/m}^3$]
D	60	Splittschüttung ungebunden
E		Rieselschutz
F	XX	Brettstapelholz (verklebt) $d \geq 140,0$

Abbildung 74: Darstellung der Brettstapelholzdecke, angepasst nach Geschossdecke gdmnxn02-01 (dataholz.eu, 2025c)

Dach in Holzbalkenbauweise		
	Dicke [mm]	Komponente
A		PV-Module
B	120	extensive Dachbegrünung
C	80	Retention
D	4	Schutzmatten
E	15	Dachabdichtung Bitumen E
F	100	Mineralwolle [040; ≥30; ≥1000°C]
G	4	Dampfsperre
H	18	OSB
I	XXX	Konstruktionsholz (XX/...; e=500)
J	100	Mineralwolle [040; ≥30; ≥1000°C]
K		Holz Fichte Sparschalung (24/100; a=400)
L	27	Federschiene zwischen Sparschalung angeordnet
M	25	Gipsfaserplatte
A		PV-Module

Abbildung 75: Darstellung des Dachs in Holzbalkenbauweise, angepasst nach Flachdach/flachgeneigtes Dach
fdmogo01 (dataholz.eu, 2025b)

Dach in Brettstapelholzbauweise		
	Dicke [mm]	Komponente
A		PV-Module
B	120	extensive Dachbegrünung
C	80	Retention
D	4	Schutzmatten
E	15	Dachabdichtung Bitumen E
F	300	Mineralwolle [040; ≥30; ≥1000°C]
G	XX	Brettstapelholz (verklebt) d ≥ 140,0

Abbildung 76: Darstellung des Dachs in Brettstapelholzbauweise, angepasst nach Flachdach/flachgeneigtes Dach
fdmogo01 (dataholz.eu, 2025b)

Außenwand in Holztafelbauweise		
	Dicke [mm]	Komponente
A	7	Putzsystem
B	40	Holzfaserdämmplatte WF-PT [045; 180]
C	18	Gipsfaserplatte
C	15	OSB
D	160	Konstruktionsholz (60/...; e=625)
E	160	Mineralwolle [040; ≥16; <1000°C]
F		Dampfbremse
G	12,5	Gipsfaserplatte
H	12,5	Gipsfaserplatte

Abbildung 77: Darstellung der Außenwand in Holztafelbauweise, angepasst nach Außenwand awropo22b (dataholz.eu, 2025a)

Außenwand aus Mauerwerk mit WDVS		
	Dicke [mm]	Komponente
A	15	Gipsputz
B	240	Hochlochziegelmauerwerk 17,5cm
C	150	Wärmedämmung
D	10	Kunstharzputz

Abbildung 78: Darstellung der Außenwand in Mauerwerksbauweise (Achtziger, Pfeifer, Ramcke & Zilch, 2001)

Innenwand aus Mauerwerk		
	Dicke [mm]	Komponente
A	5	Gipsputz
B	240	Hochlochziegelmauerwerk 24cm
C	5	Gipsputz

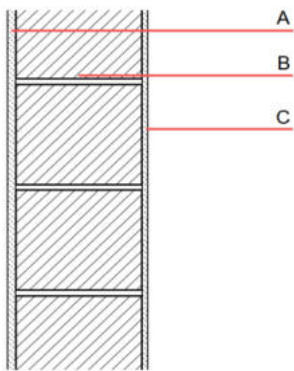


Abbildung 79: Darstellung der Innenwand in Mauerwerksbauweise (Achtziger et al., 2001)

Nichttragende Innenwand		
	Dicke [mm]	Komponente
A	12,5	Gipskartonplatte
B	50	Wandprofile CW50 e=62,5cm
C	40	Mineralwolle
D		Dämmstreifen
E	12,5	Gipskartonplatte

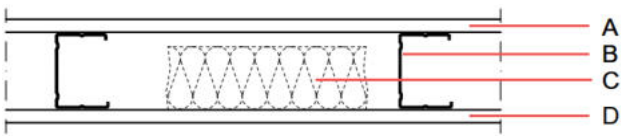


Abbildung 80: Darstellung der nichttragenden Innenwand als Metallständerwand (Knauf, 2024)

Anhang F Vordimensionierung der Decken

Holzbalkendecke

Lastannahmen

Veränderliche Lasten

Nutzlast

$q_{k,1}$ =	2 kN/m ²
Lastweiterleitung: $q_{k,1}$ =	1,5 kN/m ²
Trennwandzuschlag: $q_{k,2}$ =	0,8 kN/m ²
Summe: q_k =	2,8 kN/m ²

Schneelast

Schneelastzone:	2
Höhe:	266 m.ü.NN
s_k =	0,85 kN/m ²

Windlast

w_k =	0 kN/m ²
---------	---------------------

Ständige Lasten

Deckenaufbau Holzbalkendecke:

Komponente	Dicke [mm]	Rohdichte [kg/m ³]	Gewicht [kg/m ²]
Zementestrich od. Anhydritestrich		50	2000
			1400
Trennschicht Kunststoff		30	68
Trittschalldämmung MW-T		40	1800
Lose Schüttung			72,0
Rieselschutz			
OSB		18	600
			10,8
Brettschichtholz (XX/XX; e=625)		280	450
			28,2
Mineralwolle		100	30
			2,3
Holz Sparschalung (24/100; a=400)			450
			0,4
Federschiene zwischen Sparschalung		27	
Gipsplatte Typ DF (GKF)		25	800
			20,0
			235,8

Balkenabstand e [mm]	625
Balkenhöhe h [mm]	280
Balkenbreite b [mm]	140
$g_{k,1}$ =	2,4 kN/m ²

Systemparameter

γ_g =	1,35	$\psi_{1,s}$ =	0,2
γ_q =	1,5	$\psi_{2,s}$ =	0
$\psi_{0,q}$ =	0,7	$\psi_{0,w}$ =	0,6
$\psi_{1,q}$ =	0,5	$\psi_{1,w}$ =	0,2
$\psi_{2,q}$ =	0,3	$\psi_{2,w}$ =	0
$\psi_{0,s}$ =	0,5		

Nutzungsklasse	1
Lasteinwirkungsdauer =	mittlere Einwirkung
k_{mod} =	0,80
k_{def} =	0,60
γ_M =	1,3

	Fall A	Fall B	Fall C	Fall D	Fall E
Holzart	KVH	BSH	BSH	BSH	BSH
Holzart	C24	GL 24h	GL 24h	GL 24h	GL 24h
$f_{m,k}$ [N/mm ²]		24	24	24	24
$f_{v,k}$ [N/mm ²]		3,6	3,5	3,5	3,5
$E_{t,0,mean}$ [N/mm ²]		11000	11600	11600	11600

Fall A	Fall B	Fall C	Fall D	Fall E
Raster [m]	2,3	2,5	2,8	3
Spannweite [m]	4,6	5	5,6	6
Balkenabstand e [m]	0,625	0,625	0,625	0,625
Balkenhöhe h [mm]	240	240	280	280
Balkenbreite b [mm]	100	120	120	140
I_y [cm ⁴]	11520	13824	21952	25611
W_y [cm ³]	960	1152	1568	1829
Deckenfeldbreite [m]	6	6	6	6

Lastkombinationen

GZI

Nutzlast maßg.	7,44 kN/m ²
----------------	------------------------

GZG

Nutzlast maßg.	
Charakteristische Komb.	5,20 kN/m ²
Häufige Kombination	3,80 kN/m ²
Ständige Kombination	3,24 kN/m ²

Statisches System

Einfeldträger

GZG-Nachweise

Durchbiegungen

k_{def} = 0,60 (BSH/VH, NKL 2)

Überhöhung w_c = 0 mm

	Fall A	Fall B	Fall C	Fall D	Fall E
Raster [m]	2,3	2,5	2,8	3	3,2
$w_{inst,g}$ [mm]	6,90	7,61	7,54	8,52	9,65
$w_{inst,q}$ [mm]	8,05	8,88	8,80	9,94	11,26

Anfangsdurchbiegung

w_{fin} [mm]	14,95	16,49	16,34	18,46	20,91
$w_{fin,genz} = l/300$ [mm]	15,33	16,67	18,67	20,00	21,33
NW	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt

Enddurchbiegung

w_{fin} [mm]	20,54	22,66	22,45	25,36	28,73
$w_{fin,genz} = l/200$ [mm]	23,00	25,00	28,00	30,00	32,00
NW	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt

$w_{fin,net}$ [mm]	14,91	16,44	16,29	18,40	20,85
$w_{fin,net,genz} = l/300$ [mm]	15,33	16,67	18,67	20,00	21,33
NW	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt

Schwingungen

Berechnung nach Hamm

Deckenart	Decke innerhalb NE (Einfamilienhäuser)				
Schallschutzbewertung	1,5 bis 2,5				

f_{genz} = 6 Hz

w_{genz} = 1 mm

a_{genz} = 0,1 m/s²

Konstruktive Anforderungen:

Art der Rohdecke	Holzbalkendecke oder Trägerroste		
Art des Estrichs	schwimmender Nassestrich		
Anf. Deckenaufbau:	schwimmend auch ohne Schüttung		

Dicke	Dichte	E-Modul
[mm]	[kg/m ³]	[N/mm ²]
50	2000	15000
40	1800	0

Zementestrich od. Anhydritestrich

Lose Schüttung

	Fall A	Fall B	Fall C	Fall D	Fall E
$El_{estrich,h}$ [MNm ²]	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156
$El_{estrich,b}$ [MNm ²]	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156
$El_{holz,i}$ [MNm ²]	2,028	2,566	4,074	4,753	5,432
El_i [MNm ²]	2,184	2,722	4,231	4,910	5,589
m [kg/m ²]	240 kg/m ²				

Frequenzkriterium

Eigenfrequenz f_e [Hz]	7,1	6,7	6,7	6,7	5,9
Grenzfrequenz f_{Genz} [Hz]	6	6	6	6	6

Steifigkeitskriterium

Mittragende Breite b_{ef} [m]	2,16	2,22	2,23	2,30	2,38
Durchbiegung $w(2kN)$ [mm]	0,86	0,86	0,78	0,80	0,82
Grenzdurchbiegung w_{Genz} [mm]	1	1	1	1	1

Beschleunigungskriterium

$f_e < f_{Genz}$?	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja
$f_{min} \leq f_e < f_{Genz}$?	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja
Brücksichtigung von a_{Genz} ?	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja

Deckenart	Holzbalkendecken und mechanisch verbundene Brettstapeldecken mit schwimmendem Estrich				
-----------	---	--	--	--	--

Lehr'sches Dämpfungsmaß D [-]

Gewichtskraft Testperson G [N]

Fourierkoeffizient α_3 [-]

	Fall A	Fall B	Fall C	Fall D	Fall E
a [m/s ²]	0,282	0,259	0,231	0,216	0,304
Grenzbeschl. a_{Genz} [m/s ²]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

GZI - Nachweise kalt

Biegenachweis

Pro Balken: p_d [kN/m]

M_d [kNm]

A_d [kN]

$\sigma_{x,o}$

$f_{m,d}$

NW

	Fall A	Fall B	Fall C	Fall D	Fall E
p_d	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65
M_d	12,30	14,53	18,23	20,93	23,81
A_d	10,70	11,63	13,02	13,95	14,88
$\sigma_{x,o}$	12,8	12,6	11,6	11,4	11,4
$f_{m,d}$	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8
NW	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt

Schubnachweis

A₀ [N]

A [mm²]

τ_d [N/mm²]

f_{v,d} [N/mm²]

NW

Auflagerpressung

Länge des Auflagers: l₀ =

Auflagerbedingung:

k_{c,90} =

a =

l₁ =

Δl_{te} = Δl_{ti} =

l_{eff} =

σ_{c,90,d} [N/mm²]

f_{c,90,d} [N/mm²]

σ_{c,90,d} / (f_{c,90,d} * k_{c,90}) [-]

NW

Mauerwerk-Innenwände unter HBD

Lasten

g_{k,Dach} =

Annahme

3,8 kN/m²

Auflagerkräfte aus Decke

A_{k,g} [kN/m]

A_{k,q} [kN/m]

A_{k,q=1,5} [kN/m]

Auflagerkräfte aus Dach

A_{k,g} [kN/m]

A_{k,s} [kN/m]

Systemparameter

Steinfestigkeitsklasse

Mörtelklasse

f_k [N/mm²]

Steinrohddichte [kg/dm³]

Wandhöhe [m]

KL12

M10

5,6

1,8

3

Wandstärke [m]

Gewicht MW & Putz [kN/m²]

g_{Wand} [kN/m]

Normalkraft auf Wohnungstrennwand im EG

	Fall A	Fall B	Fall C	Fall D	Fall E
N _s	3,9	4,3	4,8	5,1	5,4
N _q	31,7	34,5	38,6	41,4	44,2
N _{g,24cm}	53,9	58,3	64,9	69,3	73,7
N _{ed,24cm}	123,4	133,7	149,2	159,5	169,9
N _{g,17,5cm}	53,0	57,4	64,0	68,4	72,8
N _{ed,17,5cm}	122,1	132,5	148,0	158,3	168,6
N _{g,11,5cm}	52,2	56,6	63,2	67,6	72,0
N _{ed,11,5cm}	121,0	131,3	146,8	157,2	167,5

Nachweis überwiegend vertikal beanspruchter Wände nach DIN EN 1996-3/NA

Wandstärke [m]

h_{el} [m]

p₂ [-]

φ₁ [-]

φ₂ [-]

φ [-]

a [m]

t [m]

ζ [-]

f_d [N/mm²]

N_{Ed} [MN/m]

	Fall A	Fall B	Fall C	Fall D	Fall E
t = 0,24	0,12	0,13	0,15	0,16	0,17
N _{Ed} [MN/m]	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
NW	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt

	Fall A	Fall B	Fall C	Fall D	Fall E
t = 0,175	0,12	0,13	0,15	0,16	0,17
N _{Ed} [MN/m]	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
N _{Ed} [MN/m]	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt
NW	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt

Brettstapelholzdecke

Lastannahmen

Veränderliche Lasten

Nutzlast

$q_{k,1}$ =	2 kN/m ²
Lastweiterleitung: $q_{k,1}$ =	1,5 kN/m ²
Trennwandzuschlag: $q_{k,2}$ =	0,8 kN/m ²
Summe: q_k =	2,8 kN/m ²

Schneelast

Schneelastzone:	2
Höhe:	266 m.ü.NN
s_k =	0,85 kN/m ²

Windlast

w_k =	0 kN/m ²
---------	---------------------

Ständige Lasten

Deckenaufbau Brettstapelholzdecke:

Komponente	Dicke [mm]	Rohdichte [kg/m ³]	Gewicht [kg/m ²]
Zementestrich		60	2000
Trennschicht Kunststoff			1400
Trittschalldämmung MW-T		30	68
Spitttschüttung ungebunden		60	1700
Rieselschutz			
Brettstapelholz (verklebt) d ≥ 140,0		200	500
		350	324,0

$g_{k,ST}$ = 3,3 kN/m²

Systemparameter

γ_g =	1,35	$\psi_{1,s}$ =	0,2
γ_q =	1,5	$\psi_{2,s}$ =	0
$\psi_{0,q}$ =	0,7	$\psi_{0,w}$ =	0,6
$\psi_{1,q}$ =	0,5	$\psi_{1,w}$ =	0,2
$\psi_{2,q}$ =	0,3	$\psi_{2,w}$ =	0
$\psi_{0,s}$ =	0,5		

Nutzungsklasse	1
Lasteinwirkungsdauer =	mittlere Einwirkung
k_{mod} =	0,80
k_{def} =	0,60
γ_M =	1,3

Holzart	BSH
Holzart	GL 24h
$f_{m,k}$ [N/mm ²]	24
$f_{v,k}$ [N/mm ²]	3,5
$E_{t,0,mean}$ [N/mm ²]	11600

Fall A	Fall B	Fall C	Fall D	Fall E
2,3	2,5	2,8	3	3,2
4,6	5	5,6	6	6,4
1	1	1	1	1
140	160	180	180	200
1000	1000	1000	1000	1000
22867	34133	48600	48600	66667
3267	4267	5400	5400	6667
6	6	6	6	4

Raster [m]
Spannweite [m]
Balkenabstand e [m]
Balkenhöhe h [mm]
Balkenbreite b [mm]
I_y [cm ⁴]
W_y [cm ³]
Deckenfeldbreite [m]

Lastkombinationen

GZI

Nutzlast maßg.

8,66 kN/m²

GZG

Nutzlast maßg.

Charakteristische Komb.

Häufige Kombination

Ständige Kombination

6,10 kN/m²

4,70 kN/m²

4,14 kN/m²

Statisches System

Einfeldträger

GZG-Nachweise

Durchbiegungen

k_{def} = 0,60 (BSH/VH, NKL 2)

Überhöhung w_c = 0 mm

	Fall A	Fall B	Fall C	Fall D	Fall E
Raster [m]	2,3	2,5	2,8	3	3,2
$w_{inst,g}$ [mm]	7,25	6,78	7,50	9,88	9,32
$w_{inst,q}$ [mm]	6,15	5,75	6,36	8,38	7,91

Anfangsdurchbiegung

w_{inst} [mm]	13,41	12,54	13,86	18,26	17,23
$w_{inst,genz} = l/300$ [mm]	15,33	16,67	18,67	20,00	21,33
NW	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt

Charakteristische Komb.

Enddurchbiegung

w_{fin} [mm]	18,87	17,64	19,50	25,69	24,25
$w_{fin,genz} = l/200$ [mm]	23,00	25,00	28,00	30,00	32,00
NW	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt

Ständige Kombination

$w_{fin,net}$ [mm]	14,56	13,61	15,05	19,83	18,71
$w_{fin,net,genz} = l/300$ [mm]	15,33	16,67	18,67	20,00	21,33
NW	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt

Schwingungen

Berechnung nach Hamm

Deckenart	Decke innerhalb NE (Einfamilienhäuser)				
Schallschutzbewertung	1,5 bis 2,5				

f_{genz} = 6 Hz

w_{genz} = 1 mm

a_{genz} = 0,1 m/s²

Konstruktive Anforderungen:

Art der Rohdecke	Flächige Massivholzdecke		
Art des Estrichs	schwimmender Nassestrich		
Anf. Deckenaufbau:	schwimmend auch ohne Schüttung		

	Dicke	Dichte	E-Modul
	[mm]	[kg/m ³]	[N/mm ²]
Zementestrich od. Anhydritestrich	60	2000	15000
Spalttschüttung ungebunden	60	1700	0

	Fall A	Fall B	Fall C	Fall D	Fall E
$EI_{estrich,h}$ [MNm ²]	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270
$EI_{estrich,b}$ [MNm ²]	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270
$EI_{holz,i}$ [MNm ²]	2,653	3,959	5,638	5,638	7,733
EI [MNm ²]	2,923	4,229	5,908	5,908	8,003
m [kg/m ²]	330 kg/m ²				

Frequenzkriterium

Eigenfrequenz f_e [Hz]	7,0	7,1	6,7	5,8	6,0
Grenzfrequenz f_{Genz} [Hz]	6	6	6	6	6

Steifigkeitskriterium

Mittragende Breite b_{ef} [m]	2,31	2,28	2,35	2,52	2,49
Durchbiegung w (2kN) [mm]	0,60	0,54	0,53	0,60	0,55
Grenzdurchbiegung w_{Genz} [mm]	1	1	1	1	1

Beschleunigungskriterium

$f_e < f_{Genz}$?	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja
$f_{min} \leq f_e < f_{Genz}$?	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja
Brücksichtigung von a_{Genz} ?	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja

Deckenart

Decken aus verleimten Brettstapelelementen mit schwimmendem Estrich					
---	--	--	--	--	--

Lehr'sches Dämpfungsmaß D [-]

Gewichtskraft Testperson G [N]

Fourierkoeffizient α_3 [-]

	Fall A	Fall B	Fall C	Fall D	Fall E
a [m/s ²]	0,307	0,283	0,253	0,236	0,331
Grenzbeschl. a_{Genz} [m/s ²]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

GZI - Nachweise kalt

Biegenachweis

Pro Balken: p_d [kN/m]	8,66	8,66	8,66	8,66	8,66
M_d [kNm]	22,89	27,05	33,93	38,95	44,31
A_d [kN]	19,91	21,64	24,23	25,97	27,70
$\sigma_{x,o}$	7,0	6,3	6,3	7,2	6,6
$f_{m,d}$	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8
NW	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt

Schubnachweis

A_t [N]

A [mm²]

τ_a [N/mm²]

$f_{v,d}$ [N/mm²]

NW

Auflagerpressung

Länge des Auflagers: l_b =

Auflagerbedingung:

$k_{c,90}$ =

a =

l_1 =

$\Delta l_{te} = \Delta l_{ti}$ =

l_{eff} =

$\sigma_{c,90,d}$ [N/mm²]

$f_{c,90,d}$ [N/mm²]

$\sigma_{c,90,d} / (f_{c,90,d} * k_{c,90})$ [-]

NW

Lasten

$g_{k,Dach}$ = 3,8 kN/m² Annahme

Auflagerkräfte aus Decke

$A_{k,g}$ [kN/m]

$A_{k,q}$ [kN/m]

$A_{k,q=1,5}$ [kN/m]

Auflagerkräfte aus Dach

$A_{k,g}$ [kN/m]

$A_{k,s}$ [kN/m]

Systemparameter

Steinfestigkeitsklasse

Mörtelklasse

f_k [N/mm²]

Steinrohddichte [kg/dm³]

Wandhöhe [m]

Fall A	Fall B	Fall C	Fall D	Fall E
19907	21638	24234	25965	27696
140000	160000	180000	180000	200000
0,21	0,20	0,20	0,22	0,21
2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt

0,1 m
BSP l1 ≥ 2h bei kont. Lagerung: Nadel-VH l1 ≥ 2h bei Einzellagerung
1,5
0 m
4,6 m
0 mm
0,1 m

Fall A	Fall B	Fall C	Fall D	Fall E
0,20	0,22	0,24	0,26	0,28
1,54	1,54	1,54	1,54	1,54
0,09	0,09	0,11	0,11	0,12
erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt

Mauerwerk-Innenwände unter BST

Fall A	Fall B	Fall C	Fall D	Fall E
7,6	8,3	9,2	9,9	10,6
6,4	7,0	7,8	8,4	9,0
5,3	5,8	6,4	6,9	7,4
8,7	9,5	10,6	11,4	12,2
2,0	2,1	2,4	2,6	2,7

KL12

M10

5,6 DIN EN 1996-3/NA:2019-12 Tab5

1,8

3

Wandstärke [m]	0,24	0,175	0,115
Gewicht MW & Putz [kN/m ²]	4,6	3,7	2,6 (SBT 3,9)
g_{wand} [kN/m]	1,1	0,8	0,5

Normalkraft auf Wohnungstrennwand im EG

	Fall A	Fall B	Fall C	Fall D	Fall E
N_s	3,9	4,3	4,8	5,1	5,4
N_q	31,7	34,5	38,6	41,4	44,2
$N_{g,24cm}$	66,4	71,8	80,1	85,5	91,0
$N_{ed,24cm}$	140,1	151,9	169,6	181,4	193,2
$N_{g,17,5cm}$	65,5	70,9	79,2	84,6	90,1
$N_{ed,17,5cm}$	138,9	150,7	168,4	180,2	192,0
$N_{g,11,5cm}$	63,0	68,5	76,7	82,2	87,7
$N_{ed,11,5cm}$	135,6	147,4	165,1	176,9	188,7

Nachweis überwiegend vertikal beanspruchter Wände nach DIN EN 1996-3/NA

Wandstärke [m]	0,24	0,175	0,115
h_{el} [m]	2,70	2,25	2,25
ρ_2 [-]	0,90	0,75	0,75
	für $t \leq 175\text{mm}$	für $t \leq 175\text{mm}$	
	$\leq 250\text{mm}$		
ϕ_1 [-]	nicht maßg., da kein Endauflager		
ϕ_2 [-]	0,29	0,24	0,004
ϕ [-]	0,29	0,24	0,00
a [m]	0,12	0,09	0,06
t [m]	0,24	0,18	0,12
ζ [-]	0,85	0,85	0,85
f_d [N/mm ²]	3,17		
N_{Rd} [MN/m]	0,22	0,14	0,00

	Fall A	Fall B	Fall C	Fall D	Fall E
$t = 0,24$					
N_{Ed} [MN/m]	0,14	0,15	0,17	0,18	0,19
N_{Rd} [MN/m]	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
NW	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt

$t = 0,175$					
N_{Ed} [MN/m]	0,14	0,15	0,17	0,18	0,19
N_{Rd} [MN/m]	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
NW	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt

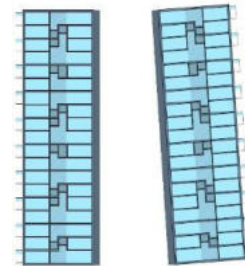
Anhang G Übersichtsblätter Kosten & LCA

Variante: V1.1 Laubengang 2,8

Geschossigkeit:	3,5 -	BGF(R):	6160 m ²
Rasterlänge:	2,8 m	WFL:	5327 m ²
Lichte Raumhöhe:	2,8 m	NGF(R):	5564 m ²
		Gebäudeklasse:	4

Konstruktion

Bauteil	Konstruktionsweise	Kosten netto
Außenwand	Holztafelbauweise (16 cm HTB, 4 cm WDVS)	355 €/m ²
Wohnungstrennwand	Mauerwerk (24 cm)	173 €/m ²
Flurwand	-	
Tragende Innenwände	Mauerwerk (24 cm)	173 €/m ²
Nichttragende Innenwände	Metallständer CW50	115 €/m ²
Decken	BST-Decke 180, Zementestrich, TSD, Schüttung	342 €/m ²
Dach	Dach BST 180, Mineralwolle, Begrünung	581 €/m ²
Balkone	Stahlkonstruktion, Gitterrost, Holzbekleidung	1839 €/m ²
Laubengang	Betonfertigteil, Gitterrostboden, Holzbekleidung	970 €/m ²
Stützen Laubengang	Betonfertigteil	124 €/m
Bodenplatte	Stahlbeton 25 cm, XPS-Dämmung 12 cm	187 €/m ²



Außenwandöffnungen

Hofseite:	Außenseite:
Fenster:	
Breite: 1,78 m	Breite: 1,58 m

Balkontüren:	
Breite: 1,78 m	Breite: 1,78 m

Kostengruppe 300

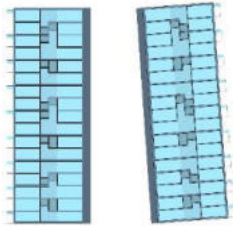
	Nettokosten [€]	GWP [kg CO ₂ -Äq.]	PENRE [MJ]
Außenwände	792.623	119.078	1.898.509
Fenster	702.796	189.349	2.256.978
Innenwände	1.066.547	240.357	1.524.901
Türen	215.757		
Dach	1.022.528	264.241	3.363.546
Decken	1.507.465	276.678	3.045.830
Böden	340.458	81.566	1.059.140
Treppen	68.532	8.613	53.589
Laubengang	544.224	49.860	303.935
Sanitär	834.406		
Balkone	1.147.586	295.552	2.836.250
Bodenplatte	359.662	239.710	1.703.624
Tiefgarage	-	537.413	3.869.165
Summe	8.602.584	2.302.418	21.915.467
pro m ² WFL	1.615	432	4.114
pro m ² NGF(R)		414	3.939

Gesamtprojekt

	Bruttokosten [€]
KG 200	266.580
KG 300	10.660.799
KG 400	1.971.200
KG 300+400 TG	2.501.184
KG 600	0
KG 700	30.800
KG 700 TG	2.026.640
Summe	17.457.203
pro m ² WFL	3.277

Variante: V1.2 Laubengang 2,8

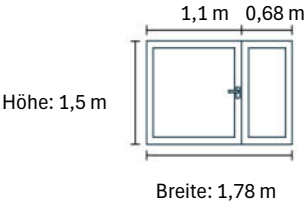
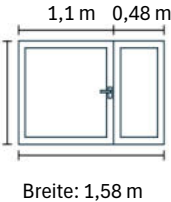
Geschossigkeit:	4 -	BGF(R):	6256 m ²
Rasterlänge:	2,8 m	WFL:	5452 m ²
Lichte Raumhöhe:	2,8 m	NGF(R):	5642 m ²
		Gebäudeklasse:	4

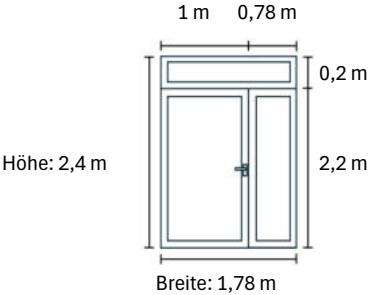
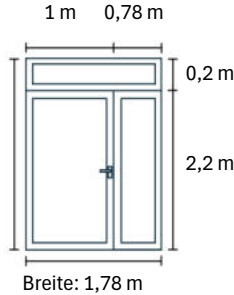


Konstruktion

Bauteil	Konstruktionsweise	Kosten netto
Außenwand	Holztafelbauweise (16 cm HTB, 4 cm WDVS)	355 €/m ²
Wohnungstrennwand	Mauerwerk (24 cm)	173 €/m ²
Flurwand	-	
Tragende Innenwände	Mauerwerk (24 cm)	173 €/m ²
Nichttragende Innenwände	Metallständer CW50	115 €/m ²
Decken	BST-Decke 180, Zementestrich, TSD, Schüttung	342 €/m ²
Dach	Dach BST 180, Mineralwolle, Begrünung	581 €/m ²
Balkone	Stahlkonstruktion, Gitterrost, Holzbekleidung	1839 €/m ²
Laubengang	Betonfertigteil, Gitterrostboden, Holzbekleidung	970 €/m ²
Stützen Laubengang	Betonfertigteil	124 €/m
Bodenplatte	Stahlbeton 25 cm, XPS-Dämmung 12 cm	187 €/m ²

Außenwandöffnungen

Hofseite:	Außenseite:
Fenster:	
	

Balkontüren:	
	

Kostengruppe 300

	Nettokosten [€]	GWP [kg CO ₂ -Äq.]	PENRE [MJ]
Außenwände	795.904	119.571	1.906.369
Fenster	811.403	217.793	2.595.441
Innenwände	1.122.771	240.485	1.554.081
Türen	223.263		
Dach	908.914	234.881	2.989.819
Decken	1.607.559	295.096	3.248.472
Böden	347.506	83.135	1.081.178
Treppen	82.239	10.335	64.307
Laubengang	564.288	51.698	315.207
Sanitär	834.406		
Balkone	1.204.966	310.329	2.978.063
Bodenplatte	319.699	213.076	1.514.332
Tiefgarage	-	29.241	480.454
Summe	8.822.917	1.805.640	18.727.722
pro m ² WFL	1.618	331	3.435
pro m ² NGF(R)		320	3.319

Gesamtprojekt

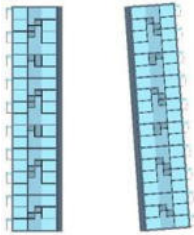
	Bruttokosten [€]
KG 200	266.580
KG 300	10.875.808
KG 400	2.001.920
KG 300+400 TG	2.501.184
KG 600	0
KG 700	31.280
KG 700 TG	2.058.224
Summe	17.734.996
pro m ² WFL	3.253

Variante: V1 Laubengang 3,2

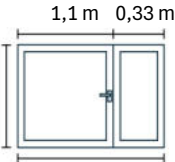
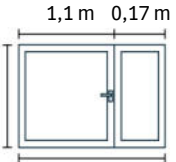
Geschossigkeit:	4 -	BGF(R):	6320 m ²
Rasterlänge:	3,2 m	WFL:	5376 m ²
Lichte Raumhöhe:	2,8 m	NGF(R):	5693 m ²
		Gebäudeklasse:	4

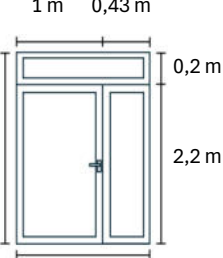
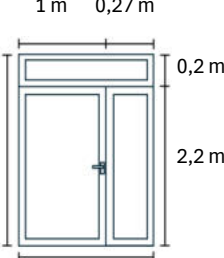
Konstruktion

Bauteil	Konstruktionsweise	Kosten netto
Außenwand	Holztafelbauweise (16 cm HTB, 4 cm WDVS)	355 €/m ²
Wohnungstrennwand	Mauerwerk (24 cm)	173 €/m ²
Flurwand	-	
Tragende Innenwände	Mauerwerk (24 cm)	173 €/m ²
Nichttragende Innenwände	Metallständer CW50	115 €/m ²
Decken	BST-Decke 200, Zementestrich, TSD, Schüttung	370 €/m ²
Dach	Dach BST 200, Mineralwolle, Begrünung	608 €/m ²
Balkone	Stahlkonstruktion, Gitterrost, Holzbekleidung	1839 €/m ²
Laubengang	Betonfertigteil, Gitterrostboden, Holzbekleidung	970 €/m ²
Stützen Laubengang	Betonfertigteil	124 €/m
Bodenplatte	Stahlbeton 25 cm, XPS-Dämmung 12 cm	187 €/m ²



Außenwandöffnungen

Hofseite:	Außenseite:
Fenster:	
	
Breite: 1,43 m	Breite: 1,27 m

Balkontüren:	
	
Breite: 1,43 m	Breite: 1,27 m

Kostengruppe 300

	Nettokosten [€]	GWP [kg CO ₂ -Äq.]	PENRE [MJ]
Außenwände	1.065.528	160.078	2.552.179
Fenster	666.262	171.479	2.046.897
Innenwände	1.010.288	220.697	1.415.960
Türen	245.099		
Dach	959.501	240.778	3.071.552
Decken	1.749.557	309.598	3.448.801
Böden	349.596	83.641	1.087.674
Treppen	82.239	10.335	64.307
Laubengang	708.602	64.910	396.438
Sanitär	953.606		
Balkone	1.377.103	354.662	3.403.500
Bodenplatte	329.608	219.679	1.561.265
Tiefgarage	-	33.418	549.090
Summe	9.496.989	1.869.275	19.597.664
pro m ² WFL	1.767	348	3.645
pro m ² NGF(R)		328	3.442

Gesamtprojekt

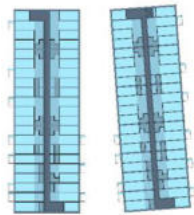
	Bruttokosten [€]
KG 200	266.580
KG 300	11.681.806
KG 400	2.022.400
KG 300+400 TG	2.858.496
KG 600	0
KG 700	31.600
KG 700 TG	2.079.280
Summe	18.940.162
pro m ² WFL	3.523

Variante: V2.1 Mittelflur 2,8

Geschossigkeit:	3 -	BGF(R):	6900 m ²
Rasterlänge:	2,8 m	WFL:	5418 m ²
Lichte Raumhöhe:	2,8 m	NGF(R):	6312 m ²
		Gebäudeklasse:	3

Konstruktion

Bauteil	Konstruktionsweise	Kosten netto
Außenwand	Holztafelbauweise (16 cm HTB, 4 cm WDVS)	355 €/m ²
Wohnungstrennwand	Mauerwerk (24 cm)	173 €/m ²
Flurwand	Mauerwerk (17,5 cm)	181 €/m ²
Tragende Innenwände	Mauerwerk (24 cm)	173 €/m ²
Nichttragende Innenwände	Metallständer CW50	115 €/m ²
Decken	BST-Decke 180, Zementestrich, TSD, Schüttung	226 €/m ²
Dach	Dach BST 180, Mineralwolle, Begrünung	581 €/m ²
Balkone	Stahlkonstruktion, Gitterrost, Holzbekleidung	1627 €/m ²
Stahlbetonkern-Außenwand	Stahlbeton 20 cm, WDVS 25 cm	456 €/m ²
Stahlbetonkern-Innenwand	Stahlbeton 20 cm	226 €/m ²
Bodenplatte	Stahlbeton 25 cm, XPS-Dämmung 12 cm	187 €/m ²



Außenwandöffnungen

Hofseite:	Außenseite:
Fenster:	
Breite: 1,27 m	Breite: 1,13 m

Balkontüren:	
Breite: 1,27 m	Breite: 1,13 m

Kostengruppe 300

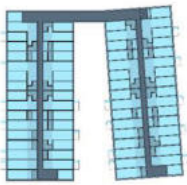
	Nettokosten [€]	GWP [kg CO ₂ -Äq.]	PENRE [MJ]
Außenwände	876.526	135.350	2.071.370
Fenster	426.696	121.808	1.456.008
Innenwände	1.360.145	216.412	1.507.318
Türen	394.634		
Dach	1.336.280	345.321	4.395.614
Decken	1.440.739	263.992	2.907.034
Böden	366.426	86.813	1.140.839
Treppen	67.356	6.890	42.871
Laubengang			
Sanitär	774.805		
Balkone	765.057	197.034	1.890.834
Bodenplatte	430.412	286.864	2.038.748
Tiefgarage	-	469.196	3.414.165
Summe	8.239.077	2.129.681	20.864.800
pro m ² WFL	1.521	393	3.851
pro m ² NGF(R)		337	3.306

Gesamtprojekt

	Bruttokosten [€]
KG 200	266.580
KG 300	10.358.231
KG 400	2.208.000
KG 300+400 TG	2.322.528
KG 600	34.500
KG 700	2.270.100
KG 700 TG	561.132
Summe	18.021.071
pro m ² WFL	3.326

Variante: V2.2 Mittelflur 2,8

Geschossigkeit:	4 -	BGF(R):	7592 m ²
Rasterlänge:	2,8 m	WFL:	5544 m ²
Lichte Raumhöhe:	2,8 m	NGF(R):	6917 m ²
		Gebäudeklasse:	4



Konstruktion

Bauteil	Konstruktionsweise	Kosten netto
Außenwand	Holztafelbauweise (16 cm HTB, 4 cm WDVS)	355 €/m ²
Wohnungstrennwand	Mauerwerk (24 cm)	173 €/m ²
Flurwand	Mauerwerk (17,5 cm)	181 €/m ²
Tragende Innenwände	Mauerwerk (24 cm)	173 €/m ²
Nichttragende Innenwände	Metallständer CW50	115 €/m ²
Decken	BST-Decke 180, Zementestrich, TSD, Schüttung	226 €/m ²
Dach	Dach BST 180, Mineralwolle, Begrünung	581 €/m ²
Balkone	Stahlkonstruktion, Gitterrost, Holzbekleidung	1627 €/m ²
Stahlbetonkern-Außenwand	Stahlbeton 20 cm, WDVS 25 cm	456 €/m ²
Stahlbetonkern-Innenwand	Stahlbeton 20 cm	226 €/m ²
Bodenplatte	Stahlbeton 25 cm, XPS-Dämmung 12 cm	187 €/m ²

Außenwandöffnungen

	Hofseite:	Außenseite:
Fenster:	Höhe: 1,5 m Breite: 1,27 m	Höhe: 1,5 m Breite: 1,13 m
Balkontüren:	Höhe: 2,4 m Breite: 1,27 m	Höhe: 2,4 m Breite: 1,13 m

Kostengruppe 300

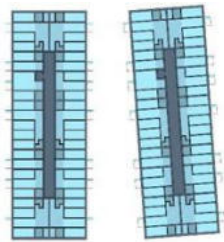
	Nettokosten [€]	GWP [kg CO ₂ -Äq.]	PENRE [MJ]
Außenwände	1.088.439	168.408	2.569.581
Fenster	462.571	133.181	1.591.828
Innenwände	1.477.891	238.847	1.645.819
Türen	393.162		
Dach	1.098.894	283.975	3.614.746
Decken	1.776.876	325.881	3.587.920
Böden	417.230	97.949	1.299.856
Treppen	101.034	10.335	64.307
Laubengang			
Sanitär	874.139		
Balkone	1.032.828	265.996	2.552.625
Bodenplatte	353.950	235.904	1.676.570
Tiefgarage	-	609.133	4.343.397
Summe	9.077.015	2.369.610	22.946.648
pro m ² WFL	1.637	427	4.139
pro m ² NGF(R)		343	3.318

Gesamtprojekt

	Bruttokosten [€]
KG 200	266.580
KG 300	11.258.595
KG 400	2.429.440
KG 300+400 TG	2.620.288
KG 600	37.960
KG 700	2.497.768
KG 700 TG	633.072
Summe	19.743.703
pro m ² WFL	3.561

Variante: V8 Spanner 2,3

Geschossigkeit:	3,5 -	BGF(R):	6769 m ²
Rasterlänge:	2,3 m	WFL:	5271 m ²
Lichte Raumhöhe:	2,8 m	NGF(R):	6078 m ²
		Gebäudeklasse:	4



Konstruktion

Bauteil	Konstruktionsweise	Kosten netto
Außenwand	Holztafelbauweise (16 cm HTB, 4 cm WDVS)	355 €/m ²
Wohnungstrennwand	Mauerwerk (24 cm)	173 €/m ²
Flurwand	Mauerwerk (17,5 cm)	181 €/m ²
Tragende Innenwände	Mauerwerk (24 cm)	173 €/m ²
Nichttragende Innenwände	Metallständer CW50	115 €/m ²
Decken	BST-Decke 140, Zementestrich, TSD, Schüttung	226 €/m ²
Dach	Dach BST 160, Mineralwolle, Begrünung	553 €/m ²
Balkone	Stahlkonstruktion, Gitterrost, Holzbekleidung	1627 €/m ²
Stahlbetonkern-Außenwand	-	
Stahlbetonkern-Innenwand	Stahlbeton 20 cm	226 €/m ²
Bodenplatte	Stahlbeton 25 cm, XPS-Dämmung 12 cm	187 €/m ²

Außenwandöffnungen

Hofseite:	Außenseite:
Fenster:	
Breite: 1,61 m	Breite: 1,32 m

Balkontüren:	
Breite: 1,61 m	Breite: 1,32 m

Kostengruppe 300

	Nettokosten [€]	GWP [kg CO ₂ -Äq.]	PENRE [MJ]
Außenwände	803.025	120.641	1.923.425
Fenster	648.199	192.420	2.296.761
Innenwände	1.482.542	296.522	1.913.712
Türen	509.090		
Dach	1.069.543	285.187	3.621.995
Decken	1.184.795	231.170	2.476.751
Böden	323.959	76.293	1.009.051
Treppen	63.146	6.460	40.192
Laubengang			
Sanitär	1.008.240		
Balkone	1.386.667	357.125	3.427.136
Bodenplatte	361.682	241.057	1.713.195
Tiefgarage	-	640.077	4.609.661
Summe	8.840.888	2.446.952	23.031.878
pro m ² WFL	1.677	464	4.370
pro m ² NGF(R)		403	3.789

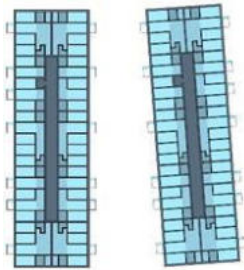
Gesamtprojekt

	Bruttokosten [€]
KG 200	266.580
KG 300	10.986.272
KG 400	2.166.080
KG 300+400 TG	3.644.582
KG 600	33.845
KG 700	2.227.001
KG 700 TG	733.788
Summe	20.058.148
pro m ² WFL	3.805

Variante: V8 Spanner 2,5

Geschossigkeit: 3,5 -
Rasterlänge: 2,5 m
Lichte Raumhöhe: 2,8 m

BGF(R): 6853 m²
WFL: 5369 m²
NGF(R): 6155 m²
Gebäudeklasse: 4



Konstruktion

Bauteil	Konstruktionsweise	Kosten netto
Außenwand	Holztafelbauweise (16 cm HTB, 4 cm WDVS)	355 €/m²
Wohnungstrennwand	Mauerwerk (24 cm)	173 €/m²
Flurwand	Mauerwerk (17,5 cm)	181 €/m²
Tragende Innenwände	Mauerwerk (24 cm)	173 €/m²
Nichttragende Innenwände	Metallständer CW50	115 €/m²
Decken	BST-Decke 160, Zementestrich, TSD, Schüttung	226 €/m²
Dach	Dach BST 160, Mineralwolle, Begrünung	553 €/m²
Balkone	Stahlkonstruktion, Gitterrost, Holzbekleidung	1627 €/m²
Stahlbetonkern-Außenwand	-	
Stahlbetonkern-Innenwand	Stahlbeton 20 cm	226 €/m²
Bodenplatte	Stahlbeton 25 cm, XPS-Dämmung 12 cm	187 €/m²

Außenwandöffnungen

Hofseite:

Fenster:

Außenseite:

Balkontüren:

Kostengruppe 300

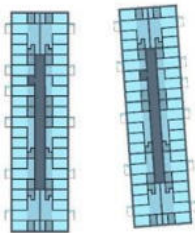
	Nettokosten [€]	GWP [kg CO ₂ -Äq.]	PENRE [MJ]
Außenwände	903.352	135.713	2.163.732
Fenster	575.588	168.932	2.018.207
Innenwände	1.479.475	292.421	1.891.670
Türen	509.090		
Dach	1.083.750	288.976	3.670.109
Decken	1.261.760	241.016	2.619.668
Böden	326.233	76.650	1.016.299
Treppen	42.097	4.306	26.794
Laubengang			
Sanitär	1.008.240		
Balkone	1.386.667	357.125	3.427.136
Bodenplatte	366.487	244.259	1.735.952
Tiefgarage	-	643.187	4.631.710
Summe	8.942.739	2.452.585	23.201.276
pro m² WFL	1.666	457	4.321
pro m² NGF(R)		398	3.770

Gesamtprojekt

	Bruttokosten [€]
KG 200	266.580
KG 300	11.113.252
KG 400	2.192.960
KG 300+400 TG	3.037.152
KG 600	34.265
KG 700	2.254.637
KG 700 TG	733.788
Summe	19.632.634
pro m² WFL	3.657

Variante: V8 Spanner 2,8

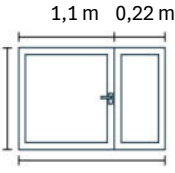
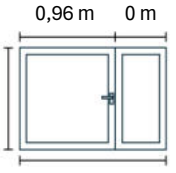
Geschossigkeit:	3,5 -	BGF(R):	6762 m ²
Rasterlänge:	2,8 m	WFL:	5250 m ²
Lichte Raumhöhe:	2,8 m	NGF(R):	6055 m ²
		Gebäudeklasse:	4

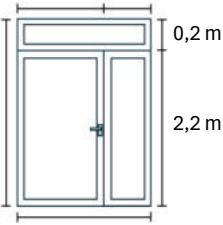
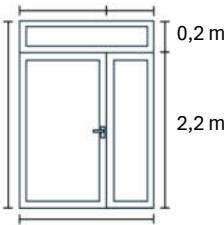


Konstruktion

Bauteil	Konstruktionsweise	Kosten netto
Außenwand	Holztafelbauweise (16 cm HTB, 4 cm WDVS)	355 €/m ²
Wohnungstrennwand	Mauerwerk (24 cm)	173 €/m ²
Flurwand	Mauerwerk (17,5 cm)	181 €/m ²
Tragende Innenwände	Mauerwerk (24 cm)	173 €/m ²
Nichttragende Innenwände	Metallständer CW50	115 €/m ²
Decken	BST-Decke 180, Zementestrich, TSD, Schüttung	226 €/m ²
Dach	Dach BST 180, Mineralwolle, Begrünung	581 €/m ²
Balkone	Stahlkonstruktion, Gitterrost, Holzbekleidung	1627 €/m ²
Stahlbetonkern-Außenwand	-	
Stahlbetonkern-Innenwand	Stahlbeton 20 cm	226 €/m ²
Bodenplatte	Stahlbeton 25 cm, XPS-Dämmung 12 cm	187 €/m ²

Außenwandöffnungen

Hofseite:	Außenseite:
Fenster:	
	
Breite: 1,32 m	Breite: 0,96 m

Balkontüren:	
	
Breite: 1,32 m	Breite: 0,96 m

Kostengruppe 300

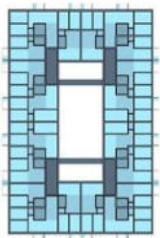
	Nettokosten [€]	GWP [kg CO ₂ -Äq.]	PENRE [MJ]
Außenwände	966.829	145.250	2.315.773
Fenster	477.931	141.005	1.685.660
Innenwände	1.469.486	299.583	1.917.545
Türen	470.512		
Dach	1.121.645	289.855	3.689.583
Decken	1.341.707	245.715	2.706.163
Böden	320.949	75.219	1.000.017
Treppen	42.097	4.306	26.794
Laubengang			
Sanitär	903.939		
Balkone	1.243.218	320.181	3.072.605
Bodenplatte	361.278	240.788	1.711.280
Tiefgarage	-	581.870	4.189.272
Summe	8.719.592	2.343.772	22.314.692
pro m ² WFL	1.661	446	4.250
pro m ² NGF(R)		387	3.685

Gesamtprojekt

	Bruttokosten [€]
KG 200	266.580
KG 300	10.841.448
KG 400	2.163.840
KG 300+400 TG	2.709.616
KG 600	33.810
KG 700	2.224.698
KG 700 TG	654.654
Summe	18.894.646
pro m ² WFL	3.599

Variante: V11 Hofhaus 3

Geschossigkeit:	4 -	BGF(R):	6760 m ²
Rasterlänge:	3,0 m	WFL:	5280 m ²
Lichte Raumhöhe:	2,8 m	NGF(R):	6131 m ²
		Gebäudeklasse:	4



Konstruktion

Bauteil	Konstruktionsweise	Kosten netto
Außenwand	Holztafelbauweise (16 cm HTB, 4 cm WDVS)	355 €/m ²
Wohnungstrennwand	Mauerwerk (24 cm)	173 €/m ²
Flurwand	-	
Tragende Innenwände	Mauerwerk (24 cm)	173 €/m ²
Nichttragende Innenwände	Metallständer CW50	115 €/m ²
Decken	BST-Decke 180, Zementestrich, TSD, Schüttung	342 €/m ²
Dach	Dach BST 200, Mineralwolle, Begrünung	608 €/m ²
Balkone	Stahlkonstruktion, Gitterrost, Holzbekleidung	1839 €/m ²
Stahlbetonkern-Außenwand	Stahlbeton 20 cm, WDVS 25 cm	456 €/m ²
Stahlbetonkern-Innenwand	Stahlbeton 20 cm	226 €/m ²
Bodenplatte	Stahlbeton 25 cm, XPS-Dämmung 12 cm	187 €/m ²

Außenwandöffnungen

Hofseite:	Außenseite:
Fenster:	

Balkontüren:	

Kostengruppe 300

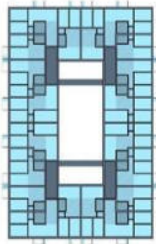
	Nettokosten [€]	GWP [kg CO ₂ -Äq.]	PENRE [MJ]
Außenwände	982.877	154.644	2.300.676
Fenster	599.633	176.487	2.106.355
Innenwände	1.163.225	258.893	1.627.961
Türen	358.877		
Dach	1.007.983	252.944	3.226.750
Decken	1.704.566	312.586	3.441.694
Böden	380.860	90.331	1.185.686
Treppen	101.034	10.335	64.307
Laubengang			
Sanitär	794.672		
Balkone	1.147.586	295.552	2.836.250
Bodenplatte	313.823	209.159	1.486.497
Tiefgarage	-	557.798	3.977.194
Summe	8.555.136	2.318.728	22.253.369
pro m ² WFL	1.620	439	4.215
pro m ² NGF(R)		378	3.630

Gesamtprojekt

	Bruttokosten [€]
KG 200	266.580
KG 300	10.587.482
KG 400	2.163.200
KG 300+400 TG	2.382.080
KG 600	33.800
KG 700	2.224.040
KG 700 TG	575.520
Summe	18.232.702
pro m ² WFL	3.453

Variante: V12 Hofhaus Atrium

Geschossigkeit:	4 -	BGF(R):	6760 m ²
Rasterlänge:	3,0 m	WFL:	5280 m ²
Lichte Raumhöhe:	2,8 m	NGF(R):	6158 m ²
		Gebäudeklasse:	4



Konstruktion

Bauteil	Konstruktionsweise	Kosten netto
Außenwand	Holztafelbauweise (16 cm HTB, 4 cm WDVS)	355 €/m ²
Wohnungstrennwand	Mauerwerk (24 cm)	173 €/m ²
Außenwand Atrium	Holztafelbauweise (16 cm HTB)	198 €/m ²
Tragende Innenwände	Mauerwerk (24 cm)	173 €/m ²
Nichttragende Innenwände	Metallständer CW50	115 €/m ²
Decken	BST-Decke 180, Zementestrich, TSD, Schüttung	342 €/m ²
Dach	Dach BST 200, Mineralwolle, Begrünung	608 €/m ²
Balkone	Stahlkonstruktion, Gitterrost, Holzbekleidung	1839 €/m ²
Stahlbetonkern-Atriumwand	Stahlbeton 20 cm	226 €/m ²
Stahlbetonkern-Innenwand	Stahlbeton 20 cm	226 €/m ²
Bodenplatte	Stahlbeton 25 cm, XPS-Dämmung 12 cm	187 €/m ²

Außenwandöffnungen

Hofseite:	Außenseite:
Fenster:	
Breite: 2,60 m	Breite: 1,37 m

Balkontüren:	
Breite: 0,00 m	Breite: 1,37 m

Kostengruppe 300

	Nettokosten [€]	GWP [kg CO ₂ -Äq.]	PENRE [MJ]
Außenwände	710.826	117.084	1.709.156
Fenster	643.190	190.189	2.268.990
Innenwände	1.163.225	258.893	1.627.961
Türen	358.877		
Dach	1.007.983	252.944	3.226.750
Decken	1.704.566	312.586	3.441.694
Böden	386.440	91.684	1.203.029
Treppen	101.034	10.335	64.307
Laubengang			
Sanitär	794.672		
Balkone	1.147.586	295.552	2.836.250
Bodenplatte	313.823	209.159	1.486.497
Tiefgarage	-	555.054	3.957.739
Atriumdach	1.008.826		
Summe	9.341.048	2.293.479	21.822.372
pro m ² WFL	1.769	434	4.133
pro m ² NGF(R)		372	3.544

Gesamtprojekt

	Bruttokosten [€]
KG 200	266.580
KG 300	11.522.718
KG 400	2.163.200
KG 300+400 TG	2.382.080
KG 600	33.800
KG 700	2.224.040
KG 700 TG	575.520
Summe	19.167.938
pro m ² WFL	3.630