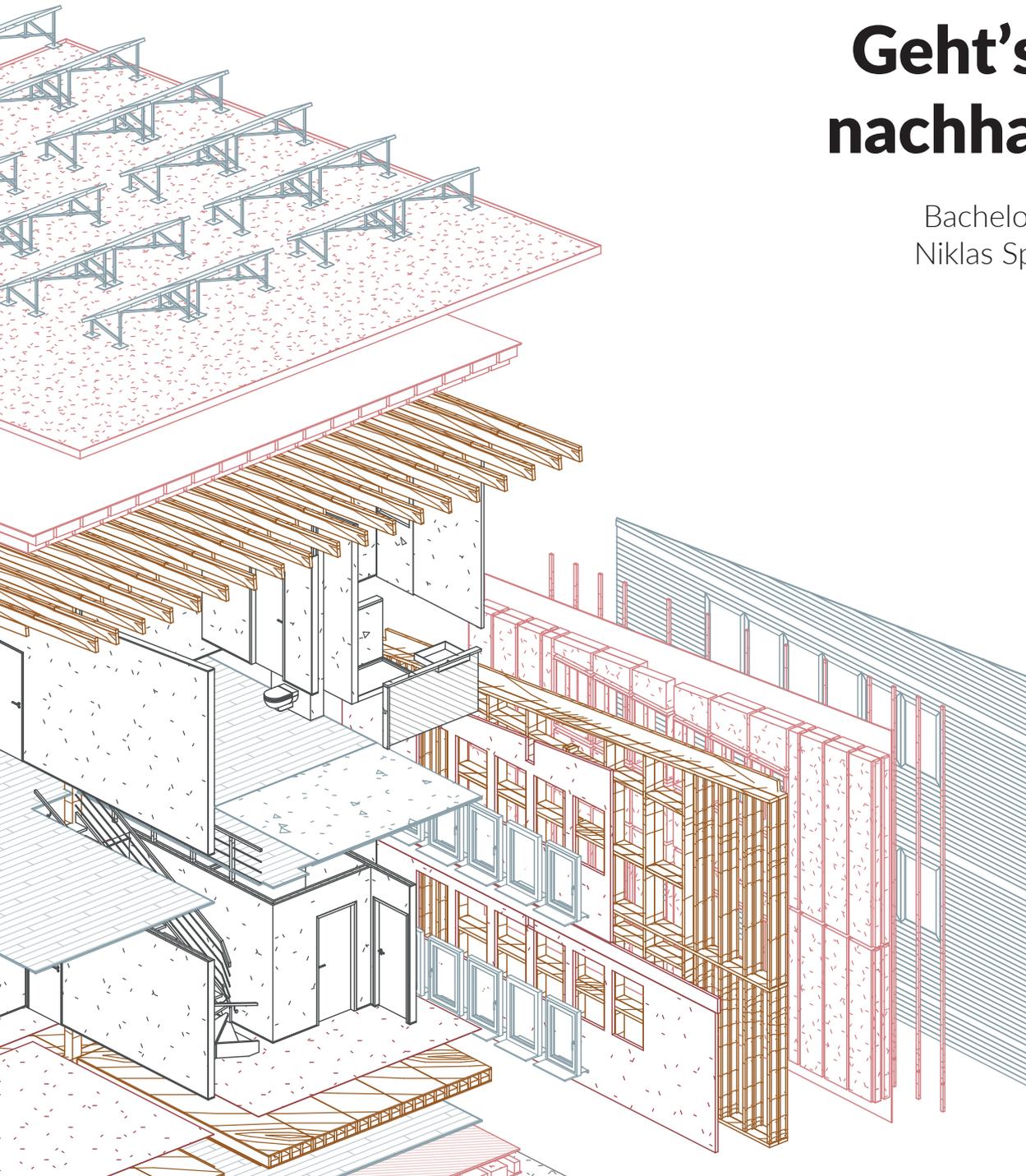


Geht's noch nachhaltiger?

Bachelor Thesis
Niklas Spielbauer



Geht's noch nachhaltiger?

Bachelor Thesis
Niklas Spielbauer

Eine Auseinandersetzung mit gegenwärtigen Nachhaltigkeitsdiskursen und -anforderungen im Einfamilienhausbau, verbunden mit einer material- und ressourcenorientierten Bilanzierung sowie der konzeptionellen Entwicklung eines integrativen, baukonstruktiven und gebäudetechnischen Konzepts zur Umsetzung ganzheitlicher Nachhaltigkeit.

Impressum:

Autor: Niklas Spielbauer
Erstbetreuung: Prof. Dirk Krutke
Zweitbetreuung: Clemens Braun

Abgabedatum: 15.09.2025
Präsentation & Verteidigung: 30.09.2025
HafenCity Universität Hamburg

CC-Lizenz: CC BY-SA 4.0 (Attribution-ShareAlike 4.0)

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	5	TEIL II - NACHHALTIGKEIT VISUALISIEREN	39
Einleitung - Forschungsfragen	7	2.1 Forschung & Vorhaben	41
Vorwort - Positionierung	9	2.1.1 Zielsetzung	42
		2.1.2 Gesetzte Faktoren	43
		2.1.3 Nicht berücksichtigte Faktoren	47
TEIL I - GRUNDLAGEN	11	2.2 Bilanzierung	49
1.1 Definition Nachhaltigkeit	13	2.2.1 A-V Verhältnis	50
1.1.1 Ökologische Nachhaltigkeit	14	2.2.2 PV-Gewinne x Heizlast	55
1.1.2 Soziale Nachhaltigkeit	15	2.2.3 Effizienz Vordimensionierung Tragwerk	64
1.1.3 Ökonomische Nachhaltigkeit	16	2.2.4 Dämmstoffeffizienz	84
1.2 Diskurs - gesellschaftlich & politisch	17	2.2.5 Fensterfläche x Transmissionsverluste	132
1.2.1 Ökologie	18	2.2.6 Wasserhaushalt	142
1.2.2 Ökonomie & Soziologie	21	2.2.7 Regenwasser & Versickerung	148
1.2.3 EFHs, Flächen & Bauart	22	2.3 Fazit	159
1.2.4 Regionale Unterschiede	25		
1.3 Benchmarks & Referenzwerte Nachhaltigkeit	27		
1.3.1 Ökologische Nachhaltigkeit	28		
1.3.2 Soziale Nachhaltigkeit	29		
1.3.3 Ökonomische Nachhaltigkeit	30		
1.4 Status Quo & Anforderungen	31		
1.4.1 Gesetzte & Förderungen	32		
1.4.2 Bund & Länder	33		
1.4.3 Zertifizierungen & Förderungen	34		
1.4.4 Beispiele	35		
1.4.5 Forschung	36		

TEIL III - Ein Konzept der Nachhaltigkeit	161	TEIL IV - KONZEPHTHAUS	225
3.1 Grundriss	163	4.1 Grundstück	228
3.2 Statik	164	4.2 Entwurf - Inspiration und Grundsätze	231
3.3 Baukonstruktion	166	4.3 Konzepthaus und Anpassungsvarianten	235
3.3.1 Sohle	168	4.4 Lebeszyklusanalyse	244
3.3.2 Außenwand	170	4.5 Lebenszykluskostenanalyse	255
3.3.3 Dach	175	4.6 Soziale Bewertung	257
3.3.4 Zwischendecke	180		
3.3.5 Innenwände	184	TEIL V - FAZIT	259
3.3.6 Nasszellen	186	5.1 Allgemein	261
3.3.7 Schächte	188	5.2 Teil I Grundlagen	262
3.3.8 Fenster & Türen	190	5.3 Teil II Nachhaltigkeit visualisieren	263
3.3.9 sonstige innenliegende Bauteile	193	5.4 Teil III Ein Konzept der Nachhaltigkeit	264
3.3.10 sonstige außenliegenden Bauteile	194	5.5 Teil IV Konzepthaus	265
3.3.11 Herstellung	196	5.6 Ausblick	266
3.4 Gebäudetechnik	197	5.7 Appell	267
3.4.1 Strom	198		
3.4.2 Wasser	202	VERZEICHNISSE & ANHANG	269
3.4.3 Wärme	206	Abkürzungsverzeichnis	270
3.4.4 Luft	210	Formelzeichenverzeichnis	272
3.5 Außenbereich	213	Abbildungsverzeichnis	274
3.6 Nutzung	214	Literaturverzeichnis	284
3.6.1 Pflege & Instandhaltung	220	Anhang	300
3.6.2 Umbau & Sanierung	221		

Danksagung

Vorab möchte ich mich bei allen bedanken, die mich auf dem Weg zu und während meiner Bachelorarbeit unterstützt haben.

Die Liebe, Zeit und Hingabe meiner Eltern prägen mich seit jeher und haben sich auch bei der Anfertigung dieser Arbeit erneut gezeigt. Im Rahmen dieser möchte ich mich besonders bei Prof. Dirk Krutke bedanken, dass ich eine der letzten von ihm betreuten Arbeiten an dieser Universität verfassen durfte. Die Zeit an der htw saar wird der an der HCU sicherlich in nichts nachstehen. Ein großes Dankeschön geht auch an Clemens Braun, der trotz Elternzeit und Umbauarbeiten meine Ideen immer wieder hinterfragt und optimiert hat.

Ebenso danke ich meinen Kommilitoninnen Mira für die wissenschaftliche und Noa für die inhaltliche Unterstützung. Besonderer Dank gilt auch meiner Freundin, die mir bei der Gestaltung vieler Grundlagen geholfen hat. Nicht zuletzt möchte ich meinem Vater für seine Geduld und die investierte Zeit beim Redigieren dieser Arbeit danken.

Ein Dank gilt auch mir selbst für das Durchhalten und Fertigstellen dieser Arbeit.

Schließlich möchte ich mich bei allen bedanken, die sich die Zeit nehmen, meine Arbeit mit Interesse zu lesen.

Ich freue mich auf die weitere Ausarbeitung der behandelten Thematik und auf eine Zukunft, in der sich hoffentlich viele Wege wieder kreuzen.

Einleitung - Forschungsfragen

Die Frage „Geht´s noch?“ werden sich viele Klimaschützende und Architekt:innen denken, wenn Nachhaltigkeit in einem Satz mit Einfamilienhäusern (EFHs) genannt wird. Dabei behalten diese Recht, denn den Vergleich in ökologischer und meistens auch sozialer und ökonomischer Nachhaltigkeit verliert ein durchschnittliches EFH gegenüber Mehrfamilienhäusern (MFHs) in fast allen Fällen (Blum 2022b). Die Baubranche und diese Wohnform gilt durch die Verwendung von CO₂ intensiven Materialien und einer mangelnden Nutzung recycelbarer Baustoffe als einer der Antriebe des Klimawandels. Auch der Leerstand vieler EFHs in ländlichen Bereichen Deutschlands bringt die Frage auf, ob der Neubau dieser noch vertretbar ist (Aydt 2023). Die Ideen und Ansätze vieler Gesetze, Zertifizierungen und Projekte, welche Antworten auf diese Probleme gefunden haben und sich gegenseitig in Nachhaltigkeit und Innovation übertreffen, gilt es zu analysieren und bewerten.

Wie nachhaltig kann ein Einfamilienhausneubau sein?
Wie lässt sich die Nachhaltigkeit eines Einfamilienhauses bewerten?
Kann diese Problematik durch wandelbare Innenräume, nachhaltige Materialwahl und kreislaufgerechte Baukonstruktion gelöst werden?

Im Folgenden liegt der Fokus auf einem ökologisch und sozial nachhaltigen baukonstruktiven Konzept, welches die ökonomische Nachhaltigkeit nicht vernachlässigt und damit eine Grundlage gibt, auf der die gestalterische Freiheit und die Vielseitigkeit eines EFH kaum eingeschränkt wird.

Vorwort - Positionierung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit teilweise hoch emotionalisierten Themen. Es gibt auf aktuelle Probleme und Situation in der Wohnpolitik keine richtige oder falsche Antwort. Jedoch gibt es Fakten und Zahlen, welche für oder gegen Methoden und Bauweisen sprechen. Dabei genügt eine kurze Recherche, um herauszufinden, in welchem Maße eine entsprechende Bauweise soziale, ökologische und ökonomische Ansprüche bedient. Es ist schnell erkennbar, welche Nachteile ein Ein- oder Zweifamilienhaus (EZH) gegenüber Reihenhäusern (RHs) oder MFHs mit sich bringen. Ähnlich verhält es sich mit der Thematik von Sanierungen von EZHs. Der Abriss und Neubau ist nur in seltenen Fällen zu bevorzugen, jedoch negiert das nicht den generellen Neubau. Die Auseinandersetzung mit dem Verhältnis von Nachhaltigkeit des Wohngeschehens darf keine Befürwortung oder Bewertung verschiedener Wohnformen sein. Ziel ist es, das veraltete und teilweise verfallene Wohnkonzept von EFHs zu überdenken.

Unter dem Titel „Geht´s noch nachhaltiger?“ wird sich mit der immer häufiger kritisierten Nachhaltigkeit von EFHs auseinandergesetzt. Anhand des Aufzeigens der aktuellen Neubaustandards soll veranschaulicht werden, an welchen Stellen es noch nachhaltigere Methoden gibt. Daneben zeigt eine Auseinandersetzung mit anderen politischen Themen wie z.B. der Flächenverteilung Deutschlands, welche Problematiken behandelt werden müssen. Auf diese Sammlung von aktuellen Zuständen folgt ein Konzept - eine Idee wie EFHs diesen Ansprüchen gerecht werden können. Das Ergebnis darf keine ungeplante Einfamilienhaussiedlung und das Wohnen aller in Neubauten befürworten. Es zeigt eine Möglichkeit auf, durch welche ein Eigenheim den aktuellen Problemen und Anforderungen entsprechen kann. Wenn ein EFH diesen Nachhaltigkeiten entsprechen kann, dann können RHs und MFHs dies potenziell noch nachhaltiger.

Nachhaltigkeit und ihre Bestandteile der Ökologie, Soziologie und Ökonomie (siehe 1.1 Definition Nachhaltigkeit) zu bewerten, abzuwägen und zu vergleichen ist nicht nur im Rahmen dieser Arbeit, sondern im Allgemeinen nicht eindeutig möglich. Jede der folgenden Auseinandersetzungen und Bilanzierungen ist komplex und im Rahmen der Nachhaltigkeit nicht eindeutig zu gewichten. Zu viele Einflüsse und Resultate machen dies innerhalb einer Dimension schwer möglich. Durch die Verschiedenheit dieser Einflüsse und Resultate zwischen den Dimensionen ist keine eindeutige Vergleichbarkeit oder Gewichtung möglich. Um ein Beispiel zu geben: Ökologie ist stark abhängig von dem Standort, Soziologie von sozialen Hintergründen und Ökonomie von finanziellen Strukturen. Jeder Mensch und damit jeder Haushalt und jedes Gebäude unterscheiden sich in diesen Kategorien. Folgende Arbeit ist folglich keine alleinstehende eindeutige Lösung eines Problems. Viel mehr ist sie eine Suche nach messbaren Parametern und einer möglichen Bilanzierung dieser, hauptsächlich in der Dimension der Ökologie. Auf Grund der zuvor genannten Komplexität ist die Behandlung der Problematik eine oberflächliche, sich teilweise vertiefende Forschung. Sie soll ein Gefühl, eine Übersicht und eine objektive Aufmerksamkeit für die behandelte Problematik gewährleisten.

TEIL I

GRUNDLAGEN

1.1 Definition Nachhaltigkeit	13	1.3 Benchmarks & Referenzwerte Nachhaltigkeit	27
1.1.1 Ökologische Nachhaltigkeit	14	1.3.1 Ökologische Nachhaltigkeit	28
1.1.1.1 Lebenszyklusbetrachtung	14	1.3.1.1 Lebenszyklusbetrachtung	28
1.1.1.2 Ressourceneffizienz	14	1.3.1.2 Ressourceneffizienz	28
1.1.1.3 Permanenz	14	1.3.1.3 Permanenz	28
1.1.1.4 Suffizienz und Lowtech	14	1.3.1.4 Suffizienz und Lowtech	28
1.1.1.5 Bio- und Ökopositivität	14	1.3.1.5 Bio- und Ökopositivität	28
1.1.1.6 Wasserschonung	14	1.3.1.6 Wasserschonung	28
1.1.2 Soziale Nachhaltigkeit	15	1.3.2 Soziale Nachhaltigkeit	29
1.1.2.1 Individuum	15	1.3.2.1 Individuum	29
1.1.2.2 Gemeinschaft	15	1.3.2.1 Gemeinschaft	29
1.1.3 Ökonomische Nachhaltigkeit	16	1.3.3 Ökonomische Nachhaltigkeit	30
1.2 Diskurs - gesellschaftlich & politisch	17	1.4 Status Quo & Anforderungen	31
1.2.1 Ökologie	18	1.4.1 Gesetzte & Förderungen	32
1.2.2 Ökonomie & Soziologie	21	1.4.2 Bund & Länder	33
1.2.3 EFHs, Flächen & Bauart	22	1.4.3 Zertifizierungen & Förderungen	34
1.2.4 Regionale Unterschiede	25	1.4.4 Beispiele	35
		1.4.5 Forschung	36

Nachhaltigkeit ist eine häufige und verschieden benutzte Begrifflichkeit. Um die Frage nach etwas Nachhaltigerem beantworten zu können und eine Basis zu schaffen, auf der ein Diskurs und Bilanzierungen verstanden und bewertet werden können, gilt es, diese Begrifflichkeit zu definieren. Die alleinige Definition ermöglicht eine Bewertbarkeit, jedoch keine objektiv messbare. Dafür wird in einem weiteren Schritt diese Bewertbarkeit durch Benchmarks, hard facts und soft facts ermöglicht.

Es folgt eine Definition von Nachhaltigkeit, eine aktuelle politische und gesellschaftliche Einordnung und eine Festlegung für eine Bewertbarkeit.

Anzumerken ist die zeitliche und gesellschaftliche Einordnung dieser Arbeit. Es ist eine subjektive Momentaufnahme eines Architekturstudenten.

1.1 Definition Nachhaltigkeit

Nachhaltigkeit ist ein in vielen Bereichen benutzter Begriff, weshalb es schwer umsetzbar ist ihn grundlegend zu definieren. Nachhaltigkeit und die Sinnhaftigkeit des bewussten Lebens im Jetzt, um zukünftige Generationen ein lebenswertes Leben zu ermöglichen, wurde im internationalen und anerkannten Rahmen das erste Mal von den United Nations (UN) mit der Publikation „our common future“ beschrieben (World Commission on Environment and Development 1987).

Die Aufteilung in die drei Säulen der ökologischen, ökonomischen und sozialen Nachhaltigkeit wurde mit der „Agenda 21“ populär (United Nations Conference on Environment and Development 1992).

Später folgten die Sustainable Development Goals (SDGs) der UN und das Pariser Klimaabkommen (Salzberger 2024). Dies ist nur ein kleiner Auszug der wichtigen Abkommen und Veröffentlichung rund um Nachhaltigkeit. Auch die EU hat weiterführende Regularien festgelegt, welche von den Mitgliedsstaaten zu erfüllen sind. Daraus und aus Deutschlands eigenen Nachhaltigkeitszielen entstanden Gesetze und Normen, um beispielsweise das 1,5°C bzw. 2,0°C Ziel des Pariser Klimaabkommens einzuhalten. Das sind beispielweise das Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (EEWärmeG 2008), welches später von dem Gebäudeenergiegesetz (GEG 2020) abgelöst wurde oder die Energieeinsparverordnung (EnEV 2013), welche Anforderungen an Gebäude und deren Energieeffizienz setzen.

Die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V. (DGNB) ist dabei eine Zertifizierungsmöglichkeit, welche sich auf dem Grundgerüst der drei Säulen der Nachhaltigkeit und der SDGs bedient und diese detailreich für Gebäude ausarbeitet (DGNB 2024). Des Weiteren gibt es das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) und das Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG), welche beide zu dem Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) gehören.

1.1.1 Ökologische Nachhaltigkeit

Die folgenden Punkte versuchen der Dimension dieser Kategorie gerecht zu werden. Eine Unterteilung ist notwendig, um durch den Fokus auf spezielle Unterkategorien andere nicht zu vernachlässigen. Um ökologisch nachhaltig zu bauen benötigt es eine Antwort für alle folgenden Unterkategorien.

1.1.1.1 Lebenszyklusbetrachtung

Ein Grundbestandteil, um ökologisch nachhaltig zu bauen und wohnen, ist eine Lebenszyklusbetrachtung des Wohnraumes. Zu lange wurde nur auf Energiebilanzen und Dämmstoffdicken geachtet. Dabei sind die graue Energie eines Gebäudes und der Rebound-Effekt bedeutende Faktoren. Ersteres lässt sich in einer Lebenszyklusanalyse zusammen mit der Energiebilanz vereinen, der Rebound-Effekt hingegen beschreibt einen widersprüchlichen Prozess. Durch Senkung von benötigter Heizenergie und sich ändernden Familien- und Wohnzielen steigt der Wohnraum pro Person. Das bedeutet wiederum mehr Dämmmaterial mit grauer Energie und mehr Heizenergie pro Person. (Grossarth 2024)

Für der Einhaltung der Kohlenstoffdioxid (CO₂) Ziele Deutschlands ist es wichtig den Rebound-Effekt zu berücksichtigen (siehe 1.2.1 Ökologie).

1.1.1.2 Ressourceneffizienz

Zuvor wurde beschrieben, dass die graue Energie hinter Materialien und ganzen Wohnungen zu berücksichtigen ist. Dabei beschäftigt sich die Ressourceneffizienz nicht mit der Beschaffenheit der Ressource, sondern wie sich möglichst effizient damit bauen lässt, um möglichst wenig davon zu verwenden. Jede Ressource benötigt Energie in der Herstellung und hat einen Einfluss auf ihr ökologisches Umfeld. Folglich gilt es weniger Ressourcen, jedoch diese maximal effizient zu nutzen. (Grossarth 2024)

1.1.1.3 Permanenz

Permanenz beschreibt dabei die Effizienz über die Zeit. Je länger ein Material nutzbar ist, desto höher ist seine ökologische Nachhaltigkeit. Durch eine lange Nutzungszeit des Gebäudes und ein späteres Recycling oder Upcycling wird das Material effizienter in seiner Lebenszyklusbetrachtung. Das Ziel dabei ist ein möglichst kreislaufgerechtes System zu erschaffen. (Grossarth 2024)

1.1.1.4 Suffizienz und Low Tech

Den Bestand zu nutzen und so wenig wie möglich neue Ressourcen für Haustechnik oder komplizierte Baukonstruktion zu nutzen entspricht nicht nur der Ressourceneffizienz. Doch ergibt sich gerade mit der infrage zu stellenden Sanierungsmöglichkeit mancher Gebäude eine Fragestellung, welche über Ressourceneffizienz und ökonomische Effizienz hinausgehen muss. Einfacher und weniger zu bauen ist deshalb eine effektive Methode für ökologisch nachhaltigen Wohnraum. Dabei gilt es einfache Konstruktionen und wenig Technik zu verbauen. (Nagler 2022; Grossarth 2024)

1.1.1.5 Bio- und Ökopositivität

Diese Unterkategorie ist ein qualitatives Leitbild, welches den Einfluss eines Gebäudes auf die Bio- und Ökosphäre in der direkten Umgebung beschreibt. Den entstehenden Anspruch allgemein zu definieren ist auf Grund der Individualität jedes Gebäudes und dessen Umgebung schwer, jedoch gilt, dass ein Neubau oder eine Sanierung keinesfalls die bestehende Biodiversität und das Ökosystem der Umgebung negativ beeinflussen sollte. Im Gegenteil, Ziel ist es, eine Verbesserung dieser und damit eine Bio- und Ökopositivität zu erreichen. (DGNB o.J.a; Grossarth 2024)

1.1.1.6 Wasserschonung

Es ist eines der SDG Ziele Deutschlands, Wasser effizienter zu nutzen. Dabei verwenden wir aktuell Trinkwasser für die Spülung unserer Toiletten und machen damit große Mengen einer endlichen

1.1.2 Soziale Nachhaltigkeit

Ressource zu Schmutzwasser, einem Abfallprodukt. Regenwasser hingegen wird teilweise genutzt, jedoch auch größtenteils zu dem Schmutzwasser hinzu geleitet und damit auch zu einem Abfallprodukt. Hier gilt es folglich Regenwasser und Trinkwasser bestmöglich und effizient zu nutzen, um einen geringen Wasserverbrauch zu garantieren. (Presse- und Informationsamt der Bundesregierung 2023; Streck 2011)

Mit dem Ausgangspunkt, dass Menschen in Industrieländern 70% ihrer Zeit in Innenräumen verbringen, versucht eine Studie „Das Soziale“ auf dem Weg zu einem europäischen Bewertungsstandard zu definieren. Dabei wird diese Ebene weiter unterteilt in das Individuum (Persönliche Aspekte) und die Gemeinschaft (Kollektive Aspekte). (Salzberger 2024)

1.1.2.1 Individuum

Das Individuum hat Bedürfnisse, so wird eine grundlegende Versorgung für die Lebensgrundlage benötigt und eine Arbeitssicherheit muss gewährleistet sein. Für den Aspekt des Wohnens sind Gesundheit, Wohlbefinden und Sicherheit wichtig. Diese drei Punkte sollten von einem Gebäude oder Konzept bestmöglich beantwortet werden, um als sozial nachhaltig zu gelten. Die Messbarkeit dieser Parameter ist nur bedingt möglich und tendiert zu einer subjektiven Einschätzung oder Wahrnehmung. Das verringert aber nicht den Einfluss und die Notwendigkeit eines gesunden, sicheren und angenehmen Lebensraums. (Salzberger 2024; DGNB o.J.b)

1.1.2.2 Gemeinschaft

Auf der Gemeinschaftsebene gilt es Gerechtigkeit, Chancengleichheit, Kohäsion, Teilhabe und Inklusion, als Grundsatz vorauszusetzen. Ziel muss es sein, einen Wohnraum zu erschaffen, der diese Punkte erfüllen kann. Soziale Spannungen, Konflikte, Ausgrenzung, Ungleichheit und Diskriminierungen müssen reduziert und beendet werden. Gegenüber dessen wird mehr Raum für eine Stärkung und Förderung der Gemeinschaft, Teilhabe und Inklusion benötigt, damit diese Werte zu einem Standard werden.

Hier ist die Messbarkeit etwas einfacher, dafür ist es schwer einzuschätzen, welche Gründe es für negative soziale Phänomene gibt. Um als sozial nachhaltig zu gelten, benötigt es jedoch bewertbare Modelle, welche eben genannte negative Gemeinschaftsphänomene verdrängen und positive aktiv fördern. (Salzberger 2024; DGNB 2020)

1.1.3 Ökonomische Nachhaltigkeit

Diese Nachhaltigkeit kann aus verschiedenen Perspektiven betrachtet werden. Aus der Perspektive des Planenden und der ausführenden Gewerke sollte ein Projekt „wirtschaftlich“ sein, es sollten Profite erwirtschaftet werden. Auf Seite des Bauherrn oder der Bauherrin ist es wichtig, dass die Umsetzung bezahlbar wird. Dafür ist es wichtig, die Wohnbelastung zu betrachten (1.2.2 Ökonomie & Soziologie). Für beide Perspektiven ist es nachhaltig, ein möglichst gutes Endprodukt zu erarbeiten und keine überflüssigen finanziellen Verluste zu haben.

Bislang gibt es keine allgemeinen Bewertungsmethoden, aber grundsätzlich lässt sich sagen, dass neben Anschaffungs- und Errichtungskosten gerade Baufolge- und Nutzungskosten Bereiche sind, welche nachhaltiger geplant werden können. Des Weiteren sollten Folgekosten mit einberechnet werden, welche bis zu Krankheit durch das Gebäude reichen können. Deshalb lässt sich diese Nachhaltigkeit gut mit Lebenszykluskosten berechnen. (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz o. J.; Pyschny 2002)

Nicht zu vernachlässigen ist jedoch die zuvor erwähnte Wohnbelastung. Je niedriger diese durch verschiedene Haushaltseinkommen ist, desto besser ist die ökonomische Nachhaltigkeit in Bezug auf ihre soziale Komponente.

1.2 Diskurs - gesellschaftlich & politisch

Woher kommt das Einfamilienhaus? Wie beliebt ist es? Was ist der aktuelle Diskurs dazu? Diese Fragen gilt es zu beantworten, bevor ein Konzept zu dieser Bauart erarbeitet wird. Die Geschichte wird sich nicht verändern, jedoch der aktuelle Diskurs, die Diskussionen und Trends. So stellt diese Arbeit in ihren politischen Dimensionen eine Momentaufnahme dar. In einer Zeit, welche ein starkes Momentum gehen EFHs entwickelt hat. (Spreier 2023; Staub 2017; Höger 2023)

Das Einfamilienhaus wurde durch verschiedene Parameter immer populärer. Was einst eine Wohnform im Grünen der obersten Schichten war, wurde zu einem angeblich notwendigen Ausgleich zur industrialisierten Stadt. Arbeitende sollten in von Konzernen erbauten Siedlungen ein besseres, an den Konzern gebundenes Familienleben führen. Des Weiteren wurde unter der amerikanischen Besatzung nach dem zweiten Weltkrieg der Einfamilienhausbau gefördert. Dahinter waren wiederholt Überzeugungen der Wirtschaftsförderungen Deutschland nach dem Krieg zu einer starken alliierten Macht zu führen und das Ziel, ein patriarchales Familienleben von den steigenden Unsitten in den Städten zu schützen. (Staub 2017)

Nachdem das erste Wohnungsbaugesetz von 1950 den Wohnungsbau förderte, ist das zweite Wohnungsbaugesetz von 1956 ein Bekenntnis zum Einfamilienhaus. Das Aufbauen von Eigentum und Sicherheit in der Form des Eigenheimes gewinnt an Popularität und behält diese für lange Zeit. (Staub 2017; WoBauG 1950; II WoBauG 1956)

Die genannten Faktoren, welche zum heutigen Status führten, fasst Staub zusammen: „Bundesdeutsche Politiker wie auch die Bevölkerung betrachteten das Einfamilienhaus als begehrte Wohnform, eine Wohnform, die das Wirtschaftswunder allen sozialen Schichten verfügbar machen sollte. Das Eigenheim bot ein Stück Natur in Form eines Gartens. Es bot vor allem den Rahmen für einen stabilen Konsum von diversen Haushaltsgütern, das mit

der Kontinuität von patriarchalen Gesellschaftsmustern korrespondierte. Der Eigenheim-Boom der Nachkriegszeit, zu Beginn im Rahmen des Marshallplans von den USA gefördert, wurde [] in der Bundesrepublik von unterschiedlichen Beteiligten als Teil der gesellschaftlichen Modernisierung mit Begeisterung aufgenommen und jahrzehntelang weitergetragen.“ (Staub 2017, 91)

Ein solches Eigenheim ist für jeden Haushalt eine unterschiedlich große Herausforderung. So schränkt es manche einkommensstarken oder vermögenden Haushalte kaum ein, während es für einkommensschwache und unvermögende einen Lebensstil vorgibt. Ob Überstunden oder das Entfallen der Elternzeit, es werden Wege gefunden um den Lebensplan, welchen man mit einem Kaufvertrag und Krediten erschafft, nachzugehen. Dabei wissen sich gerade einkommensschwache Haushalte mit Eigenleistung und gegenseitiger Unterstützung zu helfen. (Höger 2023)

Das Einfamilienhaus in Deutschland hat sich wie gerade beschrieben mit vielen Einflüssen entwickelt. Man kann diese mit dem Status quo in anderen Ländern vergleichen und gleichsetzen. Doch die klimabedingten Beschaffenheiten und Ansprüche, welche aus Normen und Gesetzen hervorgehen, machen es schwer einen internationalen Vergleich auf vielen Dimensionen zu schaffen. Folglich wird in dieser Arbeit fast ausschließlich mit deutscher Gesetzgebung und mitteleuropäischen Klimabedingungen gearbeitet und sich auf dementsprechendem Bau- und Datenbestand bezogen.

Die folgenden Fakten und Grundlagen, werden aufgezeigt und eingeordnet jedoch kaum verglichen oder bewertet. Im Verlauf der Arbeit wird Bezug auf diese Grundlagen genommen und es wird auf dieser Basis argumentiert. Jedoch sollen sie zu diesem Zeitpunkt ein neutrales Verständnis und individuelle Erkenntnisse ermöglichen.

1.2.1 Ökologie

100% schlecht. So könnte man den Beitrag des Bauwesens zu der Ökologie zu Zeiten einer Klimakrise nennen.

CO₂ & Müll

Der 2022 in Deutschland durch den Gebäudebereich entstehende Anteil an Treibhausgas-(THG)-Emissionen beläuft sich auf 40%.

Diese setzen sich zu 33% aus der direkten Nutzung, dem Heizen und Betreiben von Gebäuden, und zu 7% durch Herstellung bzw. Modernisierung der Gebäude und das Erzeugen dafür notwendiger Baustoffe, zusammen. Die nationalen THG-Emissionen werden dafür in CO₂ Äquivalenten (CO₂e) gemessen, eine Einheit, welche verschiedene klimaschädliche Gase auf die Schädlichkeit CO₂s, für eine einfache Vergleichbarkeit, umrechnet. Diese Werte müssen nach dem Bundes-Klimaschutzgesetz im Jahr 2050 auf einem Netto 0 sein. (BBSR 2020)

Das Zwischenziel für 2030 sieht vor, dass der Gebäudesektor noch 66 mio. t CO₂-Äquivalente in diesem Jahr ausstoßen darf. Das entspricht einem noch notwendigen Rückgang von fast der Hälfte des aktuellen Ausstoßes. (Umweltbundesamt 2023)

Abfall

Die Abfallbilanz Deutschlands im Jahr 2023 zeigt deutlich, dass Abfälle aus dem Bausektor den größten Anteil ausmachen. So sind fast 199 mio. Tonnen Bau- und Abbruchabfälle rund 52% der 380 mio. Tonnen gesamt Abfallmasse. (Statistisches Bundesamt o.J.b)

Deutschland spiegelt damit den Anteil an beschriebenen Umweltbelastungen im global Ausmaß fast genau wider. Denn auch global ist die Baubranche für 40% des CO₂-Ausstoßes verantwortlich und für 60% des Müllaufkommens. (Rat für Nachhaltige Entwicklung 2023)

Addiert ergeben diese prozentualen Anteile 100%, folglich lässt sich die überspitzte Überschrift erklären.

Rebound-Effekt

Die ebengenannten Werte hängen direkt mit dem Wohnraumbedarf zusammen. Dieser wiederum hängt von der Anzahl der Bevölkerung und dem Wohnflächenbedarf pro Einwohner ab. Die folgende Tabelle zeigt den Verlauf von der Bevölkerung Deutschlands, der Wohnfläche pro Einwohner und dem CO₂e durch das Wohnen. Quellen der Daten Grundlage sind Veröf-

fentlichungen über die Wohnfläche je Einwohner (Statistisches Bundesamt 2024d), die Bevölkerung Deutschlands (Statistisches Bundesamt 2025d) und der THG-Emissionen durch Haushalte (Umweltbundesamt 2025) der Bundesämter. Das Ausmaß dieses Effektes ist in Abb. 1 visualisiert.

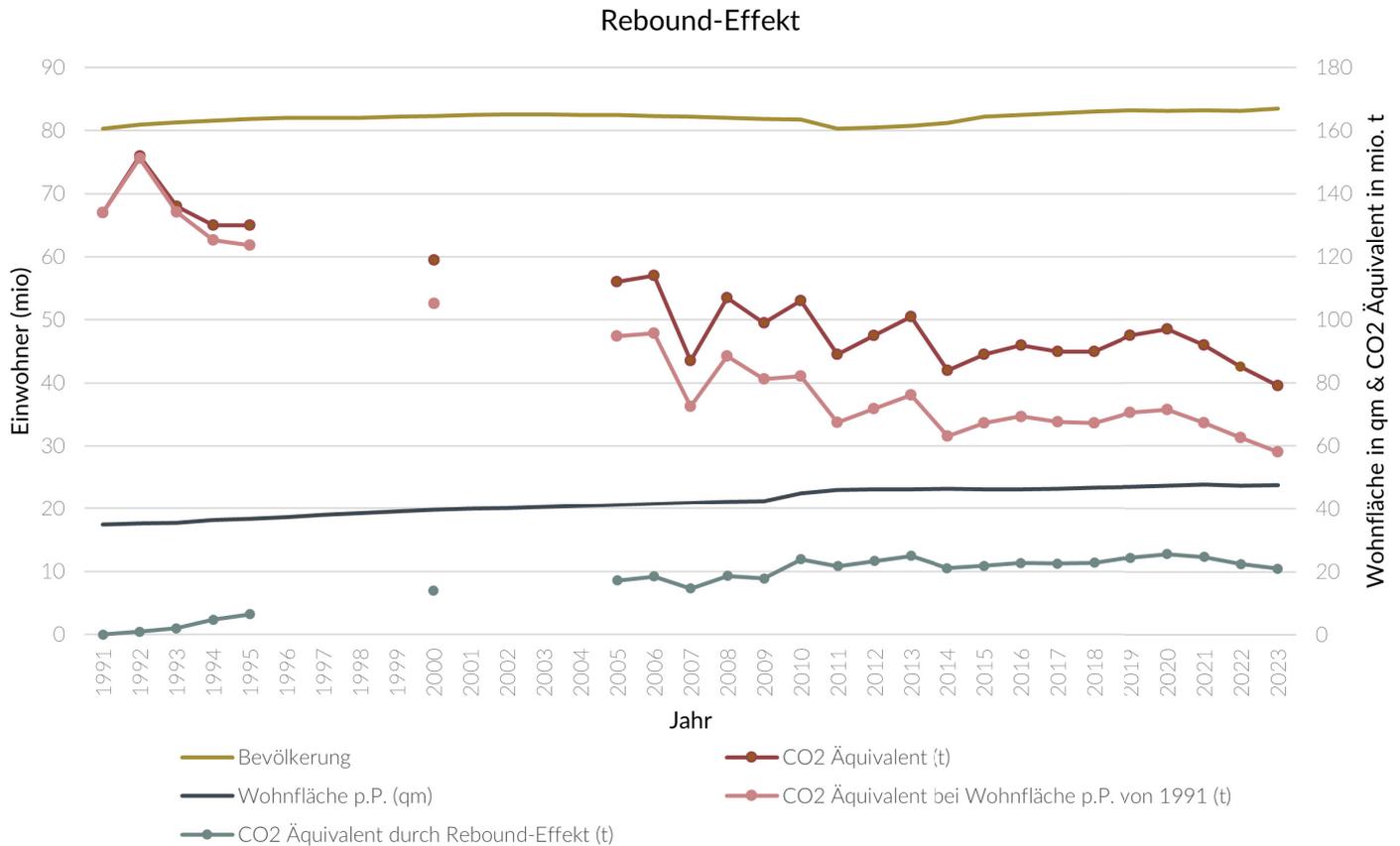


Abb. 1: Rebound-Effekt. Eigene Darstellung

Während der graue Graph das tatsächlich ausgestoßene CO₂e darstellt, zeigt der blaue Graph das CO₂e, welches ausgestoßen worden wäre, wenn der Wohnflächenbedarf auf dem Stand von 1991 geblieben wäre. Dabei wurde die vereinfachte Annahme getroffen, dass die Emissionen (durch Neubau, Sanierung und Betrieb von Wohnungen) direktproportional zu jeweiligen Quadratmetern stehen. Der Grüne Graph ergibt sich aus dem CO₂e, welches dadurch eingespart worden wäre und welches damit ein Ergebnis des Rebound-Effekts ist.

Dieser Effekt würde sich durch den höheren Anstieg der Quadratmeter pro Person in den Jahren seit der Wiedervereinigung bis zum Anfang dieser Tabelle verstärkt zeigen. Aufgrund der ungenauen Datenlage ist er hier nicht repräsentiert (Statistisches Bundesamt 2023a).

Die entstehenden Emissionen sind von der Bevölkerung, ihrem Wohnflächenbedarf, der baulichen Beschaffenheit des Wohnraumes und der Energieversorgung (Strom und Heizenergie) abhängig. Während die zukünftige Bevölkerung Deutschlands stark von Vorhersagen abweichen kann, sind der Wohnflächenbedarf und insbesondere Beschaffenheit und Energieversorgung Parameter, an welchen diese Arbeit ansetzt. Der Faktor der Bevölkerungszahl lässt sich durch einen Faktor 0 der Energieversorgung und der baulichen Beschaffenheit negieren. Dafür müsste sowohl die Energiebilanz als auch die Lebenszyklusanalyse ein möglichst niedriges CO₂e aufweisen.

Wasser

Wasser als Ressource ist ein stark ortsabhängiges Kriterium. Die individuelle Betrachtung dieser Orte lässt sich gut umsetzen, und damit kann ein Wasserhaushalt erstellt und nachvollzogen werden. Auf globaler Ebene gibt es Regionen, die ihren Wasserhaushalt überreizen, was in dem Austrocknen von Oberflächengewässern und zu Grundwasserstress führen kann. Diese Ereignisse sind

im Zusammenhang mit der Klimaerwärmung und einem damit immer stärker belasteten Wasserhaushalt kritisch zu bewerten. Wassernutzungskonflikte bestehen bereits und werden sich, wenn ihnen nicht vorgebeugt wird, vermehren. Im urbanen Raum ist es hierbei unabkömmlich, die nachhaltige Wassernutzung zu fördern. Momentan gibt es keine ausreichenden Vorhaben, Trinkwasser sparsamer zu benutzen und besser wiederzuverwerten oder Regenwasser vermehrt zu versickern und nachhaltiger in unseren Wasserkreislauf einzubinden. (Flörke 2024; Lütkemeier 2025)

In privat Haushalten wurden 2022 126l Wasser täglich pro Person verbraucht. Das ist nur ein kleiner Teil der gesamten Menge Wasser, die jeden Tag für Produktion und Transport unserer Konsumgüter für jede Person verwendet wird. Doch es ist problematisch zu bewerten, dass diese 126l Trinkwasser, welches durch viele Aufwertungsstufen gereinigt wurde, ist, welches zu einem Großteil benutzt wird, um die Toilettenspülung zu betätigen und es damit Trinkwasser zu Abwasser, einem Abfallprodukt zu verwandeln (siehe 1.1.1.6 Wasserschonung). Der Prozess der Trinkwasser- und der Abwasseraufbereitung wird damit unnötig belastet. Währenddessen wird Regenwasser häufig in den gleichen Wasserleitungen wie Abwasser transportiert, wodurch es auch zu einem Abfallprodukt wird. (BMUKN 2024)

Der Wasserverbrauch bei der Produktion von Baustoffen ist mit zu berücksichtigen und kann bei einer Lebenszyklusanalyse mit einberechnet werden.

Biodiversität

Die Baubranche ist durch die Siedlungsvergrößerungen und Urbanisierung unsere Gesellschaft eine große Bedrohung für vorhandene Biodiversität. Von dieser ist die Menschheit abhängig und durch genannte Prozesse, wird diese nachhaltig und teilweise irreversibel zerstört. (Kalisch 2021)

1.2.2 Ökonomie & Soziologie

Preise

Die Baupreise sind in den letzten Jahrzehnten gestiegen. Der Baupreisindex gibt dabei an, um wie viel Prozentpunkte der Preis für individuell geplante EZHs (ohne Grundstück) im Verhältnis zum Vergleichsjahr gestiegen ist. So übertrefft dieser Index von 2010 bis 2022 mit einem Preisanstieg von 64% die 25% der Inflationsrate dieses Zeitraumes. (Statistisches Bundesamt. o.J.a)

Wohnkostenbelastung

„Von 1991 bis Mitte der 2000er Jahre ist der Anteil der Wohnkosten am Haushaltsnettoeinkommen der Menschen in Deutschland von 21 auf gut 28,5 Prozent gestiegen.“ (Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. o.J)

In den letzten Jahren veränderte sich diese kaum. Dieser hohe Wert lässt sich auf einen hohen Wohnungsstandard und einen großen Mietwohnungsmarkt zurückführen. So erreichen Länder wie Dänemark, Schweiz oder Ungarn, welche ähnlich hohe Mietquoten haben, auch ähnlich hohe Werte. Verglichen mit allen europäischen Ländern ist die Wohnkostenbelastung in Deutschland jedoch überdurchschnittlich. (Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. o.J)

Förderungen

Um diese Wohnkostenbelastung in dem Sektor des Wohneigentums zu senken, gibt es Förderungen für Familien durch Förderkredite. Dafür müssen gewisse Vorgaben bei den Bauanträgen und v.a. bei den zu bauenden Gebäuden erfüllt sein. Eine ähnliche Förderung ist das Baukindergeld, welches jedoch nicht in Kombination möglich ist. (KfW. o. J)

In den 2000er Jahren wurde die Wohneigentumsförderung vermehrt zu einem Politikum und für die Maximierung von Wählerstimmen genutzt. So waren die Förderungen nicht verteilungswirksam und haben so nicht den Grundsätzen der Gleichbehandlung aller Bürger:innen entsprochen. Die Förderung der zu Miete wohn-

nenden Bürger und die Förderung finanziell schwacher Familien wurde dabei vernachlässigt. (Verhülsdonk 2000)

Staatlicher Einfluss durch Subventionierung und Förderungen u.a. von Wohneigentum sollte nicht nur als Politikum, sondern als dringliche Notwendigkeit behandelt werden. Unter anderem, aber auch als Mittel, um gegen Diskriminierung bei dem Grundrecht Wohnraum vorzugehen. (Kofner 2004)

1.2.3 EFHs, Flächen & Bauart

Wohnfläche & EFHs

In den Jahren 2013 - 2022 wuchs die Wohnfläche in Deutschland um 7,4%, die Bevölkerung um 4,8%. 31,0% der Wohnungen sind in den 13,0 Millionen EFHs und 15,2% in den 3,2 Millionen ZFHs. (Statistisches Bundesamt 2023a)

Die Frage, wie viele Quadratmeter eine Person durchschnittlich bewohnt, lässt sich mit diesen Zahlen nur bedingt beantworten, da Leerstand nicht berücksichtigt wird. Vernachlässigt man diesen, ergibt es eine durchschnittliche Wohnfläche von 47,4m² pro Person. Dieser Wert hat sich seit 2012 um 2,6%, folglich 1,2m² erhöht. (Statistisches Bundesamt 2023a)

Von 13.971.000 EFHs im Jahr 2001 stieg die Zahl auf 16.269.000 im Jahr 2023. Dabei beträgt der Zuwachs in den letzten Jahren zwischen 78.000 und 93.000. (Statistisches Bundesamt 2025c)

Trend

2024 wurden 14,4% weniger Wohnungen gebaut als im Vorjahr. Dabei hat sich der Rückgang von fertiggestellten EFHs und ZFHs mit -22,1% und -26,2% noch weiter fortgesetzt. Des Weiteren ist der Rückgang der fertiggestellten Wohnungen durch Privatpersonen im Vergleich zu dem Rückgang durch Unternehmen fast doppelt so groß. Im Gegensatz dazu hat sich die durchschnittliche Abwicklungsdauer einer Neubauwohnung in den letzten Jahren erhöht und liegt im Jahr 2024 bei 26 Monaten. (Statistisches Bundesamt 2025a)

Baugenehmigungen

Betrachtet man die Baugenehmigungen für EFHs und ZFHs, sieht man auch dort einen Rückgang. Diese machten 2024 29,4% der genehmigten Neubauwohnungen aus, gingen jedoch um 20,3% (EFH) und 11,3% (ZFH) zurück. Jedoch ist anzumerken, dass Baugenehmigungen keine Fertigstellung garantieren. (Statistisches Bundesamt 2025b)

Verteilung Wohnen

Ende 2024 leben 27,39% der Deutschen in einem eigenen Haus. Den Zeitraum von 2019 bis 2024 betrachtend lässt sich erkennen, dass sich diese Zahl stetig verringert hat. Dafür steigt der Anteil an Einwohner:innen, die in Eigentums- oder Mietwohnungen wohnen. (IfD Allensbach 2024)

Lässt sich dadurch ein Rückgang an Nachfrage erkennen?
Nein!

Die Ergebnisse zeigen bei der Bewertung der Nützlichkeit eine deutliche Präferenz zu EFHs und ZFHs und eine ähnlich starke Abneigung gegenüber MFHs vor allem bei MFHs mit über 10 Parteien. Die Mehrheit der Befragten favorisiert das Wohneigentum gegenüber der Mietwohnung. Gerade bei Eigentümer:innen in Mittel und Kleinstädten ist diese Tendenz zu erkennen. (Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V. 2021)

Der Wunsch nach dem Einfamilienhaus

Umfrageergebnisse und eine hohe Nachfrage geben uns den Eindruck, dass EFHs „die Wohnwünsche breiter Bevölkerungsschichten befriedigt“ (Brandl 2019,3). Weitreichender betrachtet, scheint das EFH jedoch einen Ruhepol, eine Sehnsucht oder ein Zugehörigkeitsgefühl zu bieten (Brandl 2019).

Der Traum vom Eigenheim ist kein naturgegebenes Bedürfnis, sondern das Produkt gesellschaftlicher und ökonomischer Strukturen, die unabhängig von den Einzelpersonen wirke und lediglich in Umfragen wiederholt an die Oberfläche trete (Keller 2018). Folglich sei die Nachfrage und der Wunsch nach dem EFH ein Resultat jahrzehntelanger politischer Förderung, sozialer Einordnung und planungsrechtlicher Bevorzugung mit dem Ziel, hauptsächlich junge Familien und damit zukunftssichere Bewohner anzuwerben und zu verankern. Dabei ist der gesellschaftliche Schaden in Form von finanzieller Selektion und mobilitätstechnischer Belastung

nicht zu unterschätzen. Des Weiteren ist das Konzept von EFH-Siedlungen gegensätzlich zu den meisten aktuellen sozioökonomischen Trends. So spielt die Familiengründung heutzutage erst in späteren Altersgruppen eine größere Rolle, die Nachfrage und der Wunsch nach multilokalem Wohnen steigt. Es gibt experimentellere Ansätze zum gemeinschaftlichen Wohnen und traditionelle Familienstrukturen wandeln sich hin zu einem häufigeren Partnerwechsel. (Brandl 2019)

Die Frage, ob sich der Wunsch nach dem Eigenheim im Grünen gewandelt oder aufgelöst hat, könnte sich mit einer zentralen These beantworten lassen. „[D]ie Wohnwünsche und -bedürfnisse, die das Eigenheim im Grünen zu einem Sehnsuchtsort werden ließen, [haben] keineswegs ihre Bedeutung verloren [], [] das Eigenheim im Grünen in seiner klassischen Form [ist] jedoch in zunehmend geringerem Maße geeignet [] bzw. [wird selten] als Option gesehen, diese erfolgreich zu realisieren. Das Spektrum der Wohnmodelle zur Umsetzung dieser Wohnwünsche und -bedürfnisse ist stattdessen erheblich breiter und individueller geworden.“ (Hnilica 2017, 119)

Flächenverteilung Deutschland

Deutschland umfasst eine Bodenfläche von 357.683 km². Die Siedlungsfläche erstreckt sich auf 9,5% dieser Fläche. Die reine Wohnbaufläche misst 14.249 km² und damit 4,0% der Bodenfläche. Verkehrsflächen sind 5,1% der Gesamtfläche und Gewässer 2,3%. Der Großteil ist Vegetation mit 29,9% Waldfläche und 50,3% landwirtschaftlich genutzter Fläche. (Statistisches Bundesamt 2024b)

Die Verwendung der Flächen der Landwirtschaft teilt sich auf wie folgt. 57,2% Futterpflanzen, 26,9% pflanzliche Ernährung, 12,1% Energiepflanzen und der Rest wird industriell verwendet oder liegt still bzw. in Brache. (Statistisches Bundesamt 2019)

In Abb.2 ist diese Verteilung anhand der Flächen der Bundesländer visualisiert, wobei nicht alle Flächen markiert wurden.



Abb. 2: Flächenverteilung Deutschland. Eigene Darstellung

Flächenverfügbarkeit

Im Rahmen eines Forschungsprogramms 2022, ausgeführt durch das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB), wurde u.a. die Verfügbarkeit von Bauland untersucht. Dabei wurde in drei Kategorien unterteilt: Innenentwicklungspotenziale, weitere baureife Baulandreserven mit gesicherter Erschließung sowie zusätzliche langfristige Baulandpotenziale (Rohbauland und Bauerwartungsland). Dabei belaufen sich die Innenentwicklungspotenziale, Flächen wie Baulücken oder Brachflächen, nach einer Hochrechnung auf mindestens 84.000 ha, was rund 4% der aktuellen Siedlungsfläche entspricht. Baureife Baulandreserven mit gesicherter Erschließung belaufen sich auf zwischen rund 99.000 ha und rund 132.000 ha, von denen ca. 65% für Wohnnutzung vorgesehen sind. Langfristige Baulandpotenziale, bestehend aus B-Plan Potenzialen und Flächennutzungsplan-Potenzialen, erreichen einen Wert von rund 134.000 ha. Bei Flächenbedarfen, welche über das Gesamt-Baulandpotenzial hinaus gingen, ist zu sehen, dass der Anteil dieses Flächenbedarfes für EFHs und ZFHs mit 75% dreimal so hoch ist wie der Flächenbedarf für Geschosswohnungsbau mit 25%. (Blum 2022a)

Flächenbelastung

Eine Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche resultiert aus einer Zunahme von Versiegelung. So erklärt Wibke Feldmann mit Hilfe von anderen Autoren, dass auch Ausgleichsflächen zu dieser Zunahme mit hinein zählen. Diese sollen den Einfluss der Verdrängung des natürlichen Bodens ausgleichen. „Neben der Versiegelung von Böden und damit dem Verlust von Bodenfunktionen kann es zu Veränderung des (Mikro-) Klimas kommen. Durch die Bebauung von Freiflächen gehen Lebensräume von Pflanzen und Tieren verloren und es kommt zu einer Schadstoffanreicherung in der Luft [(Flacke 2003, zitiert nach Hannemann 2010)]. Das Flächenwachstum führt oftmals dazu, dass sich die Anzahl der

wohnnahen Erholungsflächen verringert [(Hutter 2004, zitiert nach Hannemann 2010)] und monofunktionale Nutzungseinheiten vor allem am Stadtrand entstehen, wodurch sich zwangsweise eine Erhöhung der Motorisierung ergibt [(Hoffmann-Riem 2006, zitiert nach Hannemann 2010)].“ (Hannemann 2010, 119)

Versiegelung

Durch die Flächenumnutzung zu Verkehrs- und Siedlungsflächen geht natürlicher Boden verloren. Etwa 45,1% der aktuellen Verkehrs- und Siedlungsflächen sind dabei versiegelt. 2022 liegt der Wert für tägliche Flächenumwidmung bei circa 56 Hektar am Tag. Dabei ist es ein Ziel der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie, bis 2030 unter 30 Hektar pro Tag zu kommen. In der Neuauflage des Integrierten Umweltprogramm 2030 wurden 2016 daraus 20 Hektar pro Tag. Ein Rückgang der prozentualen Versiegelung wird in diesen Zusammenhängen kaum erwähnt. (Umweltbundesamt 2022)

Fazit Neue Flächen

In dem Integriertem Umweltprogramm 2030 beschreibt das Bundesministerium für Umwelt, Natur, Bau und Reaktorsicherheit über den unzureichenden Schutz und die anhaltende Versiegelung von Böden. Die dabei auf den Bau bezogenen Problematiken sind folgenden: „Durch Überbauung kommt es Jahr für Jahr zu erheblichen Verlusten von fruchtbaren Böden. Versiegelte Böden fehlen für die Produktion von Lebensmitteln und nachwachsenden Rohstoffen oder als Grundlage der Biodiversität.“ (BMUB 2016, 66). Der dafür gegebene Lösungsansatz ist: „Flächenversiegelung sollte reduziert werden, zum Beispiel durch weniger neue Straßen und Baugebiete außerhalb von Ortschaften, stattdessen Verdichtung in Städten und mehrstöckige Gebäude.“ (BMUB 2016, 177) Es wird hauptsächlich über Versiegelung gesprochen und über den Verlust fruchtbarer Böden, folglich gilt es diese beiden Faktoren zu vermeiden.

1.2.4 Regionale Unterschiede

Die aktuelle Situation im Wohnungsbau ist widersprüchlich: Einerseits besteht die Strategie für einen umfangreichen Wohnungsbau, andererseits das Vorhaben die Flächenumwandlung in Siedlungs- und Verkehrsflächen unter 30ha bzw. 20ha zu halten. (Osterburg 2023)

Mobilität

Die Anbindung der Wohnungen ist in Deutschland so weit, dass nur 1% der Bevölkerung länger als 30min mit einem PKW benötigt, um zu einem Zentrum zu kommen, welches mit Bildungs-, Versorgungs- und Kultureinrichtungen ausgestattet ist. Jedoch brauchen ca. 20% über 30min mit öffentlichen Verkehrsmitteln, um in solch ein Zentrum zu gelangen. (Presse- und Informationsamt der Bundesregierung o.J.)

Jede Wohntypologie hat zusammen mit ihren Verortungen einen entstehenden notwendigen Verkehrsraum. So werden EFH-Siedlungen in dörflichen Bereichen noch immer auf PKWs angewiesen sein. Damit kommt ein höherer Bedarf von Straßen- und Parkplatzflächen. Doch auch dieser ist optimierbar durch beispielsweise gesammelte Parkplätze oder eine experimentelle Anordnung der EFHs und ZFHs in eine Hofbauweise. (Brandl 2019)

Baumaterialien

Eine Preissteigerung in den letzten Jahren hat man auch bei Baumaterialien sehen können. So kostet Zement 2023 55,7% mehr als 2021. Auch andere energieintensiv herzustellende Baustoffe wie Flachglas stiegen um 26,8% im Preis. Dieser selten gesehene Preisanstieg ist auf die Energiekrise und die Benutzung fossiler Energie zurückzuführen. Baumaterialien aus Holz konnten einen Preisrückgang verzeichnen. So ist Bauschnittholz 15,9% billiger geworden und Konstruktionsvollholz um 28,0%. (Statistisches Bundesamt 2024c)

In dem vorangehenden Text werden Zahlen und Mittelwerte für ganz Deutschland beschrieben. Wieso dies nur auf Deutschlandebene erarbeitet wird, ist in 1.2 Diskurs - gesellschaftlich & politisch erklärt. Dabei ist die Ortsabhängigkeit innerhalb Deutschlands nicht zu vernachlässigen. So sind in dem gesellschaftlich-politischen Diskurs über Flächen und ökonomische Aspekte der Einfamilienhäuser in Deutschland Abweichungen zwischen Stadt und Land und zwischen Ost und West deutlich (Statistisches Bundesamt 2025e).

Hinsichtlich des Eigentumanteils leben 58% der Einwohner:innen zu Miete und 42% besitzen ihre Wohnung. Dieses Verhältnis fällt in den 7 größten Metropolen im Durchschnitt auf 79,6% Miete und 20,4% Eigentumswohnung. Im Gegensatz dazu leben in dünnbesiedelten ländlichen Kreisen 48,1% zur Miete und 51,9% in ihrer Eigentumswohnung. (Statistisches Bundesamt 2023b)

Bei Betrachtung des in siedlungsstrukturellen Kreistypen aufgeteilten Preisindex für Ein- und Zweifamilienhäuser in Abb. 3 ist wiederholt eine Abweichung von Stadt zu Land zu erkennen.

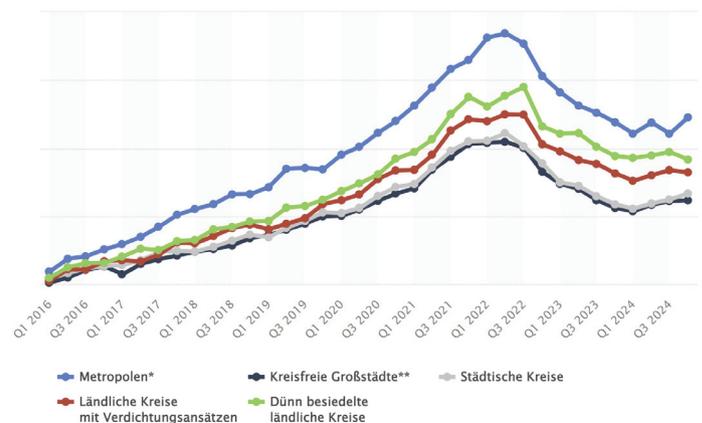


Abb. 3: Preisindex für Ein- und Zweifamilienhäuser nach Kreistypen. Statistisches Bundesamt 2025e

Die zuvor beschriebene Wohnflächen Entwicklung zeigt bei Unterteilung nach Ost und West die in Abb.4 erkennbaren Unterschiede.

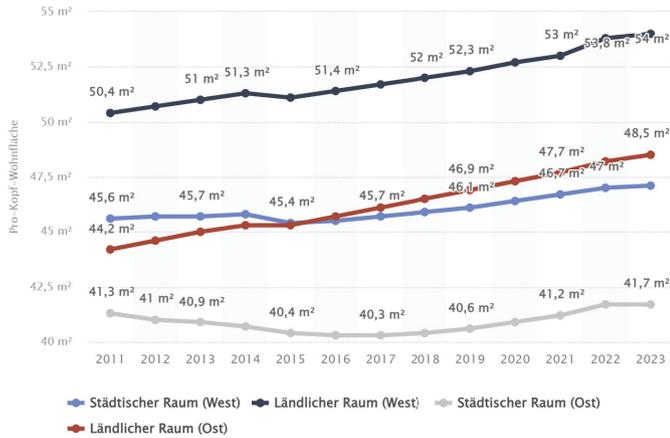


Abb. 4: Wohnfläche im städtischen und ländlichen Raum. BBSR 2024

Diese Unterschiede zwischen Stadt und Land als auch zwischen Ost und West ergeben einen hohen Grad an Individualität jedes betrachteten Grundstückes oder Einfamilienhauses. Diese Unterschiede werden relevant in dem Baukostenindex für das Erstellen eines Hauses. KG 300+400 sind dabei relevant und weisen auch lokale Unterschiede, welche bei der Kostenberechnung eines Bauwerkes zu berücksichtigen sind, auf. (BKI 2022)

Die ökonomische Differenz ist auch in den unterschiedlichen Mietpreisen zu erkennen. Abb. 5 zeigt diese durch eine differenzierte Betrachtung der Mietkosten bei Neubezug.

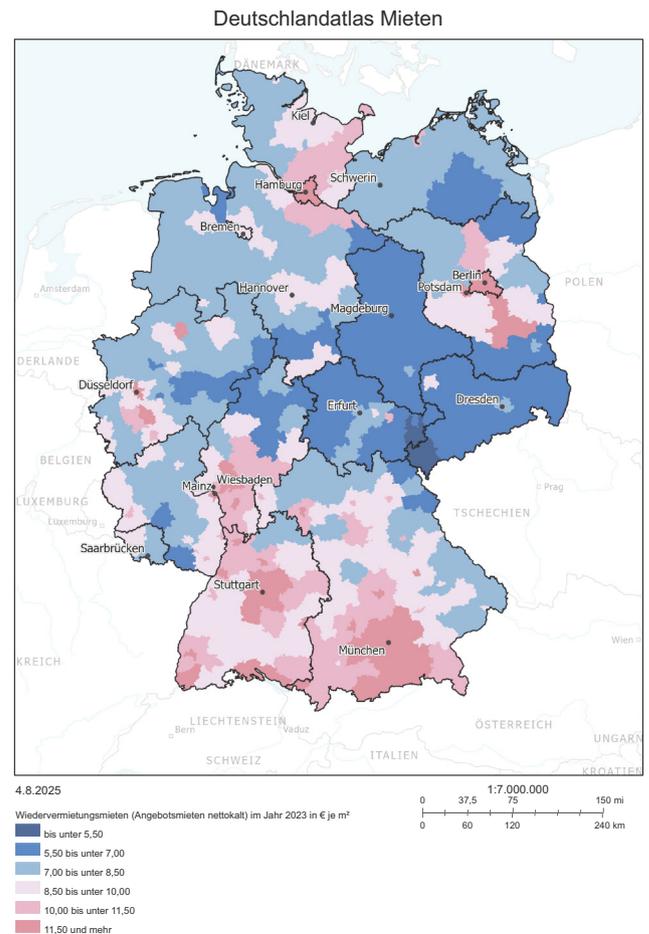


Abb. 5: Deutschlandatlas Mieten. Brack o.J.

1.3 Benchmarks & Referenzwerte Nachhaltigkeit

Durch die Definition und die qualitative Bewertung der Unterkategorien von Nachhaltigkeit ergibt sich die Notwendigkeit einer quantitativen Messbarkeit. Dabei lässt sich vermuten, dass diese durch Normen und Zertifizierungen gegeben ist. Jedoch ergeben diese oft nur einen Teil einer möglichen quantitativen Bewertung: Die Normen DIN EN 15643 und DIN EN 15978 legen Regeln und Vergleichbarkeiten fest. DGNB, QNG und BNB legen Bewertungsparameter und dazugehörige Benchmarks fest, welche verschiedenen Bewertungspunkte hinterlegt sind, wodurch verschiedene Zertifizierungsgrade erreicht werden. Zur Bewertung der Objekte werden Praxisbeispiele und Datenbanken wie das ÖKOBAUDAT verwendet. (BBSR 2023b)

Durch das Sammeln und Vergleichen dieser Benchmarks wird hier ein Standard für das aktuelle Verständnis von Nachhaltigkeit in Deutschland gesetzt. Da dieses auf den staatlichen und unternehmerischen Werten basiert, ist es nicht als eine Definition und Festlegung für Nachhaltigkeit im Bauwesen zu verstehen. Eine eindeutige Definition zu finden ist nicht möglich, das ist aus der Dimension der vorhergegangenen gesellschaftlichen und politischen Einordnung zu erkennen.

DIN EN 15643 definiert die Begrifflichkeiten im Zusammenhang mit Nachhaltigkeit. Des Weiteren definiert sie die Matrix für die Bewertung von Gebäuden und deren Bestandteilen in Bezug auf ihren kompletten Lebenszyklus: (DIN 2021)

DIN EN 15978 definiert den Umgang mit Materialien und das Erstellen von Szenarien für die jeweiligen Abschnitte des Lebenszyklus: „Die Quantifizierung der Gebäudeteile und ihres Lebenszyklus ergibt üblicherweise eine Liste von Mengen/Materialien“ (DIN 2024, 61).

Das ÖKOBAUDAT beziffert hauptsächlich diese Quantifizierung unterteilt in die Abschnitte des Lebenszyklus des jeweiligen Materials oder Prozesses. (BBSR 2023b)

Genauer hierzu in 2.2.4 Dämmstoffeffizienz.

Damit lassen sich nun normgerecht Lebenszyklusanalysen und Berechnungen zu Teilbereichen erstellen. Dabei sind diese aktuell noch nicht gesetzlich, beispielweise im GEG, gefordert (GEG 2020). Wiederum beziehen sich viele Zertifizierungen und Vorgaben nach den zuvor erwähnten SDG-Zielen der UN, welche tiefer greifen als das GEG.

1.3.1 Ökologische Nachhaltigkeit

1.3.1.1 Lebenszyklusbetrachtung

Die maximal erreichbare Kategorie DGNB-Kriterien für kleine Wohngebäude 2024 ist unter anderem durch den netto-treibhausgasneutralen Betrieb des Gebäudes zu erreichen. In der Lebenszyklusanalyse, mit Bezugsgröße der Wohnfläche nach Wohnflächenverordnung, muss ein Lebenszyklus- CO₂-Bilanz von unter 12kg CO₂/m²(NRF)a für diesen erreicht werden. Positiv anrechenbar ist auch eine rechnerisch nachgewiesene CO₂ Bilanz bis 2045, die 0kg nicht überschreitet. Fossile Treibhausgasemissionen (GWPfossil) in der Herstellung (Module A1 bis A3) (siehe 2.2.4 Dämmstoffeffizienz) des Bauwerks unterschreiten 4,2 kg CO₂e /m²a. (DGNB 2024)

1.3.1.2 Ressourceneffizienz

Dieser Punkt wird viel gefordert, jedoch ist es nicht quantitativ verankert. Durch die Lebenszyklusanalysen und die damit verbundenen Zielwerte ist es von großem Vorteil, ressourceneffizient zu planen. Dadurch sind die Zielwerte einfacher einzuhalten, da diese sich auf Wohnfläche und nicht auf Personen oder Gebäude beziehen. (DGNB 2024)

1.3.1.3 Permanenz

Ein Parameter um den Bestand als erhaltungswert zu deklarieren gibt es für Sanierungen folgende Auflage:

„Mindestens 80 % der ursprünglichen Fläche eines Bestandsbaus werden in den Neubau integriert. Die durch diese Maßnahme erreichte Treibhausgasreduktion liegt berechnet vor“. (DGNB 2024, 29)

Permanenz kann auch durch das Vereinfachen von Sanierung und Umbauarbeiten erreicht werden. Generell lässt sich sagen, dass jede relevante Bilanz eines Baustoffes oder Bauprozesses effizienter wird, wenn das Produkt (Gebäude) länger hält, da viele Vorgaben auf die Jahre der Lebensdauer in einer Lebenszyklusanalyse berechnet werden.

1.3.1.4 Suffizienz und LowTech

Hier verhält es sich ähnlich wie bei der Ressourceneffizienz. In der Lebenszyklusanalysen ist es auch für diesen Punkt von Vorteil ihn in der Planung zu berücksichtigen. Jedoch ist auch hier eine Argumentation und das Aufzeigen von verwendeten simplen Techniken eine Möglichkeit zu punkten. So sollte es Ziel sein, mit möglichst wenig Technik und gut genutzten Baustoffen einen dafür maximalen Komfort und gutes Wohlfühl zu erreichen. Suffizienz kann auch durch das Arbeiten mit vorhandenen Ressourcen wie Wärmerückgewinnung erreicht werden. Hierbei gilt es beispielsweise das A/V Verhältnis (siehe 2.2.1 A/V Verhältnis) zu optimieren. (DGNB 2024)

1.3.1.5 Bio & Ökopositivität

Materialeigenschaften, welche über CO₂e hinaus die Bio- oder Ökosphäre negativ beeinflussen, sind zu vermeiden. So ist der höchste DGNB-Standard erreicht, wenn QNG-Kategorien mit Premium eingehalten werden und auf der Baustelle für den Schutz der Bio- oder Ökosphäre vor schädlichen Stoffen der Baustelle geachtet wird. Darunter fallen beispielsweise Asbest, polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK),

Schwermetalle und Feinstaub (im Sinne der Belastung vorgenannter Stoffe). (DGNB 2024)

Die QNG-Anforderungen beziehen sich für verschiedene Arten von Baumaterialien und Prozessen und beschreiben für die jeweilige Kategorie die entsprechenden Normen, welche für den Premium-Status eingehalten werden müssen. Dabei sind vor allem Kunststoffe und Klebstoffe genau zu analysieren. (BMWSB 2023) Im Rahmen der Bodennutzung sind das Weglassen von unterirdischen Bauwerken, möglichst wenig Versiegelung und Bodensanierung zu berücksichtigen. Hier spielt auch das Gründach als positiver Faktor eine Rolle. Erhalt, Konzept, Ausbau und Pflege der Biodiversität vor Ort werden auch bewertet. (DGNB 2024)

1.3.2 Soziale Nachhaltigkeit

1.3.1.6 Wasserschonung

Hierfür bildet eine risikobewertete und dimensionierte Grauwasseraufbereitung den Grundstein. Das gleiche gilt für eine Regenwassernutzungsanlage. Des Weiteren muss für ausreichend Versickerung, Verdunstung und Wasserspeicherung gesorgt sein. Ein möglichst hoher Wassergebrauchskennwert ist notwendig. Wassersparsame Sanitärobjekte sind positiv anzurechnen, ebenso eine alternative Trinkwasseraufbereitung. (DGNB 2024)

1.3.2.1 Individuale Ebene

Hygienische Standards wiegen wichtiger als das Erreichen anderer Nachhaltigkeitsziele, jedoch kann auch durch die Erhöhung dieser und des Wohnkomforts eine bessere soziale Nachhaltigkeit für das Gebäude erreichen. Dazu beitragen können eine gute thermische Qualität, Innenraumluftqualität, Akustik und Schallschutz. Barrierefreiheit, welche über Rollstuhlgerechtigkeit hinaus das gesamte Gebäude betrifft, ist ein Grundstein für Inklusion in Rahmen eines Gebäudes. (Salzberger 2024)

1.3.2.2 Gemeinschaftliche Ebene

DGNB sieht hierbei eine Bewertung der sozialen Einflüsse der verwendeten Materialien, deren Erzeugung und finalen Verarbeitung vor. Es gibt verschiedene Zertifizierungen und Normen, welche eine soziale Nachhaltigkeit bei Baustoffen und Bauprozessen berücksichtigen und einhalten. (DGNB 2024)

Ein qualitativer Aspekt, welcher beide Ebenen betrifft, ist folgender:

„Gebäude mit guten Aufenthaltsqualitäten steigern das Wohlbefinden und die Gesundheit der Nutzer/-innen und Bewohner/-innen. Sie stärken das soziale Miteinander und den Austausch untereinander. Somit wird auch der Nutzwert des Gebäudes entscheidend verbessert.“ (DGNB 2024, 313)

1.3.3 Ökonomische Nachhaltigkeit

Lebenszykluskosten müssen bei der Planung implementiert werden. Nur so können diese möglichst niedrig gehalten werden. Dabei ist der der höchste DGNB-Standard mit weniger als 2.829€/m²BGF der KG 300 und KG 400 nach DIN 276-1 erreicht. Bedarfs- und Bestandsermittlung sind Grundstein für eine ökonomisch nachhaltige Projektplanung. Des Weiteren fallen bei der Vergabe Möglichkeiten bis in die Leistungspositionen Nachhaltigkeit einzuplanen. Beim Bauprozess gibt es viele Parameter auf der Baustelle, die für Sicherheit und eine finanzielle Nachhaltigkeit benötigt werden. So ist dort immer für dokumentierte Qualitätssicherung zu sorgen, um spätere finanzielle Schäden zu vermeiden. Auch hier gibt es extra Punkte für zirkuläres Planen, da Bauteile, die nicht an Wert verlieren, positiv anzurechnen sind. Ein wichtiger Aspekt, die Wertstabilität eines Gebäudes, lässt sich nach dem Standort und den damit verbundenen Klimaeinflüssen und die Vorbeugung eventueller Schäden bewerten. Auch Erzeugung von erneuerbarer Energie vor Ort und digitale Systeme zur energetischen Betriebs- und Verbrauchsoptimierung sind positiv anzurechnen. Flexibilität und Anpassungsfähigkeit dieser Systeme aber auch des gesamten Objektes sind ein weiterer wichtiger Aspekt. (DGNB 2024)

Ein Punkt auf Bauherr:innenseite ist die Finanzierung des Gebäudes. Dieser Punkt beschreibt auch einen sozialen Aspekt, denn Finanzierungskosten nachhaltig zu gestalten hängt nur zum Teil von der persönlichen Motivation ab, sondern hauptsächlich vom Einkommen und dem Vermögen des Haushaltes. Diese sind jedoch, wie in 1.2.2 Ökonomie & Soziologie erklärt, ein Resultat politischer und gesellschaftlicher Strukturen.

1.4 Status Quo & Anforderungen

Die definierte Nachhaltigkeit mit ihren Benchmarks und Referenzwerten kann auf dem Status Quo der Baubranche angewendet werden. So kann erkannt werden, wie groß derzeitige Bemühungen und Forderungen sind. Ziel dabei ist es die Frage „geht´s noch nachhaltiger“ mit dem Status Quo als Bezugspunkt zu beantworten.

1.4.1 Gesetzte & Förderungen

GEG Stand 16.10.2023

Das GEG ist ein Resultat aus Energie und Klimaschutzgesetzen und daraus entstandenen Vorhaben des Bundes. Es stellt Anforderungen an Gebäude. Hier folgt eine Auflistung der wichtigsten Parameter für den Neubau:

Jahres-Primärenergiebedarf Neubau: $\leq 0,55 \times$ Referenzgebäude

Wärmedurchgangsfaktor Außenwände: $\leq 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$

Wärmedurchgangsfaktor Dach: $\leq 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$

Fenster UWUW: $\leq 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$

Luftdichtheit n50n50: $\leq 3 \text{ /h}$ (ohne Lüftung)

Anteil erneuerbare Energien Wärme: $\geq 65\%$ Wärmeerzeugung (GEG 2020)

Mit diesen Werten stellt das GEG messbare Anforderungen für die Energieeffizienz, Nutzung erneuerbarer Energien und den Wärmeschutz von Gebäuden auf. Damit ist die ökologische Nachhaltigkeit besonders in Bezug auf die Einhaltung der Klimaschutzziele und Energieeinsparung ausgerichtet. Ökonomische und soziale Nachhaltigkeit kommt nur in spezifischen Härtefällen vor.

KfW Förderungen

Die Effizienzhaus Standarde, auf welche sich die KfW Förderungen beziehen, werden von dem Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) mit Hilfe der Deutsche Energie-Agentur (dena) erstellt. Durch das Erreichen von verschieden hohen Effizienzhaus Standards bekommt man indirekte Förderungen in Form von niedrigen Zinsen auf einen Baukredit. Diese verschiedenen Programme (296, 297, 298 und 300) sind nach Erreichen des Effizienzhaus 55 oder Effizienzhaus 40 und nach einem erreichten QNG-Zertifikat und anderen Parametern gestaffelt. Dabei ist die maximal zu erreichende Förderung das Programm 300. (KfW 2025a)

Dafür gilt es, die Mindestanforderungen des Effizienzhaus Stufe 40 zu erreichen, die Anforderungen des „Qualitätssiegels Nachhaltiges

Gebäude Premium (QNG-PREMIUM)“ zu erfüllen und nicht mit Öl, Gas oder Biomasse zu heizen. Diese Parameter müssen zertifiziert bestätigt sein, um den Förderkredit zu erhalten. (KfW o.J.)

Die Effizienzhaus-Stufen werden anhand des zuvor erwähnten Referenzgebäudes aus dem GEG berechnet, dabei darf die höchste Stufe (Effizienzhaus-Stufe 40) bis zu 40 % des Primärenergiebedarfes des Referenzgebäudes und bis zu 55 % des Transmissionswärmeverlust erreichen. (KfW 2025b)

1.4.2 Bund & Länder

Das nachhaltige Haus Das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie beschreibt in seinem Ratgeber „Das nachhaltige Haus“, warum und wie man heutzutage Neubauten nachhaltig errichten sollte. Dabei wird ausführlich über hohe Dämmstandards, hochwertige Bauausführung, effiziente Lüftung und energieeffiziente Architektur geschrieben. Diese Kategorien werden auch mit Kennwerten der End- und Primärenergie, Luftdichtigkeit, Heizeffizienz und mehr gekennzeichnet. Das GEG ist dafür die Grundlage und bestimmt die Voraussetzungen für einen Neubau. Diese Voraussetzungen können jedoch mit dem Effizienzhaus 40 oder 55 übertroffen werden. Damit können KfW- oder auch andere Förderungen erlangt werden, jedoch sind diese nachhaltigeren Methoden nicht gesetzlich verankert. Des Weiteren wird empfohlen, auf versteckte Energie und den ökologischen Fußabdruck der Bauprodukte zu achten. Auch dafür gibt es Förderungen und Siegel, jedoch kaum Verpflichtungen. Weiterführend werden auch Nutzungsdauer und Flexibilität sowie ein Kreislaufgedanke erwähnt. Hierfür gibt es wieder Siegel und Standards, die ein Neubau erreichen kann, es werden kaum Förderungen dafür angesprochen. Thematiken, die keine Erwähnung finden sind hier: Wasserwiederverwertung, Versiegelung, Erschließung, Biodiversität und Sozialverträglichkeit. (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz o. J.)

Ähnliche Inhalte mit den gleichen fehlenden Aspekten sind in dem „Energieeffizient bauen und modernisieren - Ratgeber für private Bauherren“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit von 2015 zu finden. (BMUB 2015) Bayern wurde hierbei exemplarisch gewählt, da es einen ausführlichen Ratgeber veröffentlicht hat. Des Weiteren ist es das Bundesland mit den zweitmeisten EFHs. (Statistisches Bundesamt 2024b)

Das geht noch nachhaltiger.

1.4.3 Zertifizierungen & Forderungen

Passivhaus:

Das Passivhaus Institut legt aktuelle folgende Benchmarks für verschiedene Standards fest. Diese werden gemessen an dem Primärenergiebedarf erneuerbarer Energien-(Primary Energy Renewable) PER-Bedarf in kWh/(m²a) (Quadratmeter Wohnfläche) und an der PER-Erzeugung (kWh/(m²a) (Quadratmeter überbaute Fläche).

Damit werden folgenden Klassen geschaffen: (Feist 2015)

Classic (PER-Bedarf < 60)

Plus (PER-Bedarf ≤ 45; PER-Erzeugung ≥ 60)

Premium (PER-Bedarf ≤ 30; PER-Erzeugung ≥ 120)

(Feist 2015)

Des Weiteren gilt ein Passivhaus als Plusenergiehaus, wenn es auf seinem Grundstück in der Jahresbilanz mehr Energie gewinnt, als es verbraucht. Es ist zu erkennen, dass diese rein energetischen Parameter nur ein kleiner Teil der ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeit decken. Andere Aspekte sind hierbei nicht berücksichtigt. (Feist 2015)

Weitere Zertifizierungen

Zertifizierungsinstitute und -unternehmen wie BNB, DGNB oder QNG haben ein breiteres Spektrum für Nachhaltigkeitsbewertungen gegenüber GEG und KfW. Jedoch haben sie eine weitaus geringere Wirkungskraft, da sie fast ausschließlich optional sind. Die höchsten Standards kommen dabei von der DGNB und wurden vor allem für die Vergleichbarkeit in 1.3 Benchmarks & Referenzwerte Nachhaltigkeit verwendet. Sie sind nicht genügend, um eine allumfassende Nachhaltigkeit nach den Kategorien aus 1.1 Definition Nachhaltigkeit zu garantieren. Durch diese Unvollständigkeit, und verschiedene erreichbare Standards, ist eine ausreichend nachhaltige Erfüllung dieser Kriterien nicht gewährleistet.

Haus der Erde

Mit der Positionierung „Das Haus der Erde“ beschreibt der BDA in welchen Bereichen sich Architektur und Stadtplanung verändern müssen. Dabei geht es neben Entkarbonisierung auch um Perspektiven des Neuentdeckens des einfachen Bauens und des Bestandes sowie dem Bauen als eine materielle Ressource. Es soll weniger und einfacher gebaut und dabei mehr wiederverwendet werden. Aber auch stadtplanerische Aspekte der Polyzentralität und damit in Verbindung stehende neue Mobilitätsformen sind eine Notwendigkeit und Forderung. (BDA 2019)

Damit gibt der BDA eine Richtung mit einem Weitblick vor, welche bei kaum einem Ratgeber o.ä. der Regierung oder Länder zu finden ist. Jedoch ist es weder ein Gesetz noch eine Förderung, sondern lediglich eine Positionierung und Forderung.

Allerdings kommt auch hier der Aspekt der Ökologie zu kurz. Wasserknappheit, Versiegelung oder Biodiversität sind kein Bestandteil des „Haus der Erde“.

Auch das geht noch nachhaltiger.

1.4.4 Beispiele

Direkte Beispiele

Es gibt eine Vielzahl an Projekten, welche hier als Beispiel aufgeführt werden könnten. Manche mit Fokus auf Kreislaufgerechtigkeit, manche besonders energieeffizient und andere gebaut aus rein ökologischen Materialien. Die Spezialisierung auf Unterpunkte senkt die Vergleichbarkeit der Projekte. Ein sehr kreislaufgerechtes Gebäude negiert keine hohe Energieeffizienz, jedoch ist es schwer alle wichtigen Aspekte zu behandeln. Der Prozess dieser Arbeit hat aufgezeigt, dass die Verwendung bestehender Ideen mehr Probleme mit sich bringt, als sie löst. Es soll darum gehen, die Grundlagen und die daraus entstandenen Ansprüche direkt in ein Konzept zu übersetzen.

Stadtteil Hüttenthaler Feld, Tittmoning

Ein Beispiel wird jedoch genannt, denn es beantwortet Aspekte, welche in dieser Arbeit wenig thematisiert werden, da sie einem anderen Fokus entspringen als der folgende sehr ökologisch, konstruktiv und technische Fokus.

Ein Familienhausgebiet mit dem Ziel anpassungsfähig, flächeneffizient und bedarfsgerecht zu sein. Hier wurde eine Stadtteilsiedlung errichtet, welche Fläche spart, Biodiversität fördert und eine Identifikation ermöglicht. Durch umfangreiche Siedlungsplanung, sparsame Erschließung, Biodiversitätsberatung und eingeplanter Möglichkeit zur Nachverdichtung soll diese Siedlung keine bestehenden Probleme reproduzieren, sondern diese innovativ beantworten. Grundbausteine waren dafür ein Ladschafts-, Erschließungs-, Gebäudegefüge und wiederkehrende Modelle der Häuser und Wohnhöfe. (Brandl 2019)

1.4.5 Forschung

Nagler - Einfach Bauen

Einfach Bauen ist ein Forschungsprojekt, welches versucht, die Grundsätze der Nachhaltigkeit neu zu denken. So wurden in drei Testhäusern mit einer monolithischen Außenwand aus Leichtbeton, Massivholz (Brettspertholz) oder wärmedämmendem Mauerwerk in der Planung bilanziert und in der Nutzung getestet und gemessen. Ziel der monolithischen Außenwand ist es, die Komplexität im Hochbau verwendeter moderner Wandaufbauten zu reduzieren. Es werden nur nachwachsende oder mineralische Rohstoffe verwendet, und die Umwelt soll durch eine Lebenszyklusbetrachtung möglichst weitreichend geschützt werden. Des Weiteren sollen technische Systeme und häufig sanierte Teile möglichst von der Gebäudekonstruktion getrennt werden. (Nagler 2022)
 Mit den monolithischen Außenwänden wurden folgende Dämmwerte erreicht:

Leichtbeton 0,357 (W/m²K)

Massivholz (Brettspertholz) 0,224 (W/m²K)

Wärmedämmendes Mauerwerk 0,248 (W/m²K)

Die Sohle, das Dach und die Fenster haben immer U-Werte von 0,197 (W/m²K), 0,16 (W/m²K) und 0,9 (W/m²K). Dabei waren die Fenster mit 3-fach-Isolierverglasung ausgeführt, wodurch eine Lichtdurchlässigkeit von ca. 70% entsteht.

Durch diese Bauteile entstanden folgende Werte.

Gebäudeart	Nicht erneuerbare Primärenergie (kWh/m ² a)	CO ₂ e Emissionen (kg CO ₂ e/m ² a)	Heizenergie & Warmwasser (kWh/m ² a)	CO ₂ e-Emission Heizenergie (kg/m ² a)	Baukosten (€/m ²)
Leichtbeton	10,61	4,00	31,27	18,14	2.039
Massivholz	10,01	3,39	30,48	17,67	1.730
Wärmedämmendes Mauerwerk	11,12	3,93	31,37	18,20	1.493

Diese Tabelle wurde mit den in der Publikation „Einfach Bauen“ ermittelten Werten erstellt. (Nagler 2022)

Die Werte der Ökobilanz beziehen sich auf einen Lebenszyklus von 100 Jahren. Die Ökobilanz umfasst Herstellung (A1–A3), Austausch (B4) und Entsorgung (C1–C4).

Vergleich der Außenwände im CO₂e eines Einpersonenhaushalts und einer Transatlantik-Flugreise:

Wandmaterial GWP Außenwand (kg CO₂e, über 100 Jahre auf 30 m² Nutzfläche)

Massivholz Ca. 7.000 kg CO₂e

Leichtbeton Ca. 10.000 kg CO₂e

Mauerwerk Ca. 8.000 bis 9.000 kg CO₂e

Transatlantikflugreise (Hin- und Rückflug Frankfurt–New York) Ca. 4.000 kg CO₂e (Nagler 2022)

Das bedeutet, dass die Herstellung und Lebenszyklus-Emissionen der Außenwände eines Einpersonenhaushalts ca. das 1,8- bis 2,7-fache des CO₂e-Ausstoßes eines Transatlantikfluges betragen.

Diese tiefgehende Forschung ist durch ihren Detail Grad und die realitätsnähe sehr nahbar. Jedoch wurde hier kein ganzheitliches Konzept erforscht, der Hauptfokus lag auf der vielseitigen Erforschung der Außenwand. Somit wurde die ökologische Nachhaltigkeit auch nur nach diesen Aspekten analysiert. Ein Wasserkreislauf oder Energieautarkie wurden nicht angestrebt. Jedoch würde das auch der hier verwendeten Grundsätze durch erhöhten Einsatz von Technik widersprechen.

Jochum & Deurer:

Eine Untersuchung der energetischen, ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeit sucht und definiert einen Bereich der effizientesten Dämmstoffdicke. Dabei geht es darum, die durch das Dämmen eingesparte Energie nicht durch eine höhere Energie in der Produktion zu negieren. Es wird nicht die Frage beantwortet, ob es noch nachhaltiger geht, sondern eher wie es am nachhaltigsten geht. Dabei wurde erforscht, welche Dämmdicken und Standards energetisch bilanziert keinen Vorteil bringen. (Jochum 2014)

Tiefgehende Forschungen und Vergleiche der verschiedenen Dämmstandards und Bauarten gehen auf ähnliche Aspekte ein und vergleichen dabei wieder Energie und CO₂. Die Ergebnisse sind eindeutig. Holzbau und höhere Dämmstandards übertreffen die verglichenen Beispiele in allen Kategorien, außer der Primärenergie. Diese ist teilweise höher als die Konkurrenz, jedoch in einem Rahmen, welcher die Einsparung der Heizenergie übertrifft. (Deurer 2025)

Um diese widersprüchlichen Erkenntnisse zu verstehen und um die Frage „geht´s noch nachhaltiger?“ für das entstehende Konzept zu beantworten, werden in 2.2 Bilanzierungen verschiedene Aspekte der ökologischen Nachhaltigkeit untersucht, gegenübergestellt und bilanziert.

TEIL II

NACHHALTIGKEIT

VISUALISIEREN

2.1 Forschung & Vorhaben	41
2.1.1 Zielsetzung	42
2.1.2 Gesetzte Faktoren	43
2.1.3 Nicht berücksichtigte Faktoren	47
2.2 Bilanzierung	49
2.2.1 A-V Verhältnis	50
2.2.2 PV-Gewinne x Heizlast	55
2.2.3 Effizienz Vordimensionierung Tragwerk	64
2.2.4 Dämmstoffeffizienz	84
2.2.5 Fensterfläche x Transmissionsverluste	132
2.2.6 Wasserhaushalt	142
2.2.7 Regenwasser & Versickerung	148
2.3 Fazit	159

2.1 Forschung & Vorhaben

„Geht’s noch nachhaltiger?“ stellt eine Frage nach Verbesserung. Teil II dieser Arbeit beschäftigt sich mit messbaren Faktoren und Schlussfolgerungen aus diesen Erkenntnissen. Die dafür grundlegende Forschung wird wie folgt aufgebaut sein:

Die Ausgangslage für diese wurde in 1.2 Diskurs - gesellschaftlich & politisch bereits beschrieben. In 1.3 Benchmarks & Referenzwerte Nachhaltigkeit wurden Parameter für die Messbarkeit ausgelegt. Des Weiteren wurden Forschungsbedarf und -bereich durch die wiederholte Forderung nach mehr Nachhaltigkeit eingegrenzt.

2.1.1 Zielsetzung

Erkenntnisinteresse:

Das Erkenntnisinteresse dieser Forschung besteht durch die Vielfalt an Vorgaben, Zertifizierungen oder Ziele im Rahmen des Neubaus von Einfamilienhäusern. Diese erzeugen kein eindeutiges oder verständliches Bild über die Nachhaltigkeit eines Gebäudes. Die Kriterien und sich daraus ergebenden Bewertungen sind oft abstrakt oder nicht tiefgehend. Das vereinfacht den Zugang für viele Menschen, jedoch nimmt es dem Gebäude, seiner Herstellung und den verwendeten Baustoffen ihre Ehrlichkeit. Das Interesse besteht darin, Anforderungen als Grundlage und Status Quo zu verwenden, jedoch eigenständig aus der Beschaffenheit des Gebäudes seinen Einfluss auf verschiedene Aspekte der größtenteils ökologischen Nachhaltigkeit zu untersuchen.

Erkenntnisziel:

Das Ziel ist eine ehrliche Visualisierung dieser Aspekte. Dabei liegt die Ehrlichkeit in den messbaren Beschaffenheiten von Materialien, Gebäuden und Umgebungen, nicht in Punktesystemen und Gewichtungen. Die Visualisierung dieser Werte soll den Vorteil einer unkomplizierten Kommunikation zu der lesenden Person mit sich bringen. Jedoch ist ein Grundlagenverständnis notwendig, um die richtigen Erkenntnisse aus den Visualisierungen zu entnehmen. Die richtigen Erkenntnisse für die wichtigen Aspekte sind das Ziel, welches eine möglichst objektive Darstellung der Nachhaltigkeiten eines Gebäudes erzeugen soll. Dabei ist das „richtig“ für jeden Aspekt in 1.3 Benchmarks & Referenzwerte Nachhaltigkeit rahmengebend erörtert. Die „wichtigen“ Aspekte sind in 1.1 Definition Nachhaltigkeit definiert. Das Ziel beinhaltet auch eine Gewichtung der Aspekte, um mögliche Konflikte zwischen diesen zu lösen.

Problemstellung:

Der Konflikt der Klimakrise und dem damit entstehenden ökologisch nachhaltigen Ansprüchen an das Baugewerbe und den Wohnsektor sind die Grundlage der hier behandelten Probleme.

Der Wohnsektor hat auch eine große Verantwortung für soziale Nachhaltigkeit. Flächen, Wohnkonzepte und Wohnrauminanspruchnahme sind nur ein Teil der in 1.2.3 EFHs, Flächen & Bauart erklärten Probleme. Eng an diesen Problemen hängen die ökonomischen Konflikte aus 1.2.2 Ökonomie & Soziologie. Die Vereinbarkeit dieser Probleme mit dem Neubau eines EFHs und eine umfangreiche und tiefgehende Forschung und Suche nach Antworten bleibt aus.

Forschungsfragen:

Welche Erkenntnisse liefert die kombinierte Bilanzierung verschiedener ökologischer Nachhaltigkeitsindikatoren für die Optimierung von Gebäudekonzepten?

Welche Wechselwirkungen und Zielkonflikte treten bei der Optimierung verschiedener ökologischer Nachhaltigkeitsindikatoren im Gebäudebau auf?

Welche planerischen und konstruktiven Maßnahmen ergeben sich aus der integrierten Bilanzierung verschiedener ökologischer Nachhaltigkeitsindikatoren im Einfamilienhausbau?

Forschungsergebnisse:

Eine Visualisierung der Verhältnismäßigkeiten der ökologischen Aspekte im EFH-Neubau, entsteht als Ergebnis der Forschung. Daraus erstandene Erkenntnisse und eine Gegenüberstellung mit Erkenntnisgewinn von verschiedenen baukonstruktiven Systemen, sollen der Grundstein für Konzepte für den nachhaltigen Neubau von EFHs ergeben.

Forschungsziel:

Ziel ist die Beantwortung der Problematik durch aus den gesammelten Erkenntnissen erstellte baukonstruktive und gebäudetechnische Konzepte. Die Verneinung dieser in einem Konzept, welches

2.1.2 Gesetzte Faktoren

den Nachhaltigkeiten möglichst ausgewogen und gut gerecht wird. Dieses muss im Verhältnis zu der Problematik gesetzt werden, um den Ausgang der Forschung kritisch zu bewerten.

Grenzen und Problematik der Forschung:

Die letzte Forschungsfrage ist unmöglich abschließend in dieser Arbeit zu beantworten. Dafür benötigt es eine tiefere Forschung in die ökologischen Aspekte und v.a. eine Forschung in Ökonomie und Soziologie. Des Weiteren ist diese Arbeit eine Momentaufnahme einer Problematik und eines Forschungs- und technischen Standes, welche sich verändern können und werden. Jedoch ist sie ein logisches Resultat der Problemstellung und der vorhergehenden Forschungsfragen und deshalb Teil der Forschung.

Eine Forschung, welche die Frage nach der nachhaltigsten Möglichkeit des Neubaus eines EFHs beantworten kann, ist durch die vielen Dimensionen der Nachhaltigkeit schwer zu tätigen. Der Rahmen dieser Arbeit bedarf folglich einer Einschränkung. Dabei werden Faktoren gesetzt, ohne diese tiefgehend zu bilanzieren oder zu vergleichen. Im zweiten Schritt werden Parameter ausgeschlossen, um die Forschung auf den ökologischen Bereich zu fokussieren.

Grundsätze für die Soziale Nachhaltigkeit

Erbbaurecht:

Spekulationen mit Immobilien und Grundstücken erhöhen seit Jahren den Druck auf den Wohnungsmarkt. Ein soziales Gut wird zu einer ökonomischen Investition. Damit entsteht soziale Ungerechtigkeit. Dem entgegen steht eine Erbpacht. Das Grundstück wird über eine festgelegte Zeit zu einem jährlichen Zins verpachtet. Dabei hat die pachtende Person das Recht auf besagtem Grundstück zu bauen, Immobilien zu erwerben oder umzubauen. Dieses Recht ist ein in Deutschland lange angewandtes Konzept. In der Zeit nach dem ersten Weltkrieg wurde durch die Einführung der Erbbaurechtsgesetzgebung eine Grundlage geschaffen, um mit gemeinnützigen Wohnungsbaunternehmen bezahlbaren Wohnraum zu schaffen. Seitdem verlor dieses Konzept durch Einflüsse wie die Niedrigzinsphase an Relevanz. (Lichtenberg 2021)

Das Erbbaurecht ist dabei eine Renaissance zu erleben und das gerade auf kommunaler Ebene. Die Kommunen erhalten langfristiges und kalkulierbares Einkommen statt hohe Einmalröse beim Grundstücksverkauf. Je nach Pachtdauer und Zinsen kann die Kommune auch einen großen finanziellen Mehrgewinn erwirtschaften. Durch den Erhalt des Eigentums bleibt ein langfristiger Einfluss auf die Gestaltung der verpachteten Grundstücke und eine Flexibilität für Umstrukturierungen oder Neugestaltungen.

(Faller 2022)

So verpachtet Hamburg Wohngrundstücke für 1,3% jährliche Zinsen. Damit will die Stadt sich Handlungsoptionen für die Zukunft freihalten und die Bodenpreisentwicklung entschleunigen. (hamburg.de GmbH 2023)

Für die folgende Forschung wird davon ausgegangen, dass der mögliche ökonomische Vorteil der Erbpacht nicht durch Kommunen genutzt wird. Ziel sollte es sein, das soziale Gut des Wohnens sozial nachhaltig zu verteilen. Dafür ist das Erbbaugesetz eine gute Methode, um mit niedrigen Zinsen eine Förderung für die Finanzierung einer eigenen Immobilie zu schaffen. Eine Suffizienz eines Gebäudes kann jedoch nur gegeben sein, wenn es längst möglich steht. Folglich ist es von Vorteil, wenn die Erbpacht auf einen langen Zeitraum fällt, um wenig Pächter:innenwechsel und damit Neubauwünsche zu riskieren.

Die folgenden Bilanzierungen werden folglich auf 100 Jahre Nutzungs- und Standdauer bezogen. Diese Zahl entsteht aus aufgerundeten für eine Erbpacht typischen 99 Jahren. Mit dieser glatten Zahl lassen sich die Resultate leichter auf kürzere oder längere Szenarien umrechnen.

Flexibler Grundriss:

Der Wunsch junger Familien nach traditionellen Einfamilienhäusern besteht (siehe 1.2.3 EFHs, Flächen & Bauart), das „Empty Nest Syndrom“, welches das nur noch von den Eltern bewohnte EFH beschreibt, jedoch auch. Durch digitales Arbeiten, günstigeren Wohnraum und weiten Pull-Faktoren zieht es junge Menschen in ländliche Regionen, doch Gemeinden müssen sich diesem Trend anpassen (Norddeutscher Rundfunk 2023).

Ein Grundbaustein für soziale Nachhaltigkeit dieser Forschung und des entstehenden Konzeptes soll die Flexibilität und Wandelbarkeit des Entwurfes sein. Während das Tragwerk, die Sohle, die Außenwände und das Dach für 100 ausgelegt werden sollen,

muss der Innenraum und das äußerliche Erscheinen ohne großen Mehraufwand anpassbar sein. Die Fassade soll bei Erneuerung viele Optionen offenhalten. Der Innenraum, muss an verschiedene Wohn- oder Arbeitsverhältnisse anpassbar sein. Dabei ist die ökonomische Nachhaltigkeit nicht zu vergessen.

Die dadurch festgelegten Faktoren sind folgende:

Ein Tragwerk, welches getrennt von Innenwänden funktioniert. Innenwände, welche ohne tiefgehenden baulichen Eingriff umgebaut werden können. Ein Außenwandaufbau, welcher eine Vielfalt an Innen- und Außenverkleidung ermöglicht. Vorverlegte Leerrohre um eine flexible Wahl der Küchenpositionierung und anderer kleiner sanitären Einrichtungen. Dadurch wäre auch eine eventuelle Nasszellenverlegung realisierbar, jedoch nicht ohne größere bauliche Eingriffe und finanzielle Mittel. Des Weiteren soll das Konzept eine mögliche Barrierefreiheit für Rollstühle berücksichtigen.

Grundsätze für die Ökologische Nachhaltigkeit

Heizdecke:

Für diese Bilanz wurde eine Deckenheizung als Heiztechnik gewählt. Diese Wahl wird in (3.4.3 Wärme) erklärt. Ein Vorteil ist jedoch auch, dass bei dieser Technik 1 kWh Heizenergie 1 kWh Strom entspricht. Damit sind die folgenden Bilanzen nicht nur für eine Heizdecke geltend, sondern auch einfach für eine Vergleichbarkeit, da sich mit dem einer Jahreszahl von 1 ein Faktor für Strom ergibt. Dieser kann mit der entsprechenden Jahreszahl die Bilanz nach Belieben für Wärmepumpen umrechnen. Dabei muss jedoch auch die CO₂ Bilanz berücksichtigt und angepasst werden.

Pulldach:

Der Nachhaltigkeitsanspruch an ein Dach wird häufig durch PV-Anlagen und Gründächer beantwortet. Dabei kann das Gründach eine Biodiversität gewährleisten, die Konstruktion des Daches vor

Witterung schützen, das Haus indirekt kühlen und Regenwasser zurückhalten (Brune 2017). Für die folgenden Berechnungen wird mit einem Pultdach bilanziert. Diese Wahl erklärt sich durch die geringeren Auflagen gegenüber einem Flachdach. Dächer mit starker Neigung bringen Probleme bei der Befestigung eines Gründaches und ergeben einen Kostenmehraufwand.

Um ohne fossile Energie auszukommen bietet sich eine PV-Anlage auf dem Dach an. Diese stellt eine dezentrale Methode dar, um möglichst viel bis zu viel Energie für das eigene Gebäude zu produzieren. Genaueres zur Effizienz und Ausrichtung der PV-Module in 3.4.1 Strom.

Folglich wird für die folgende Forschung und Konzeptentwicklung mit einem Pultdach gerechnet und geplant. Jedoch ist auch ein Flachdach möglich.

Hausgröße:

Um eine möglichst allgemeine Forschung zu ermöglichen gilt es eine Wohnungs-, bzw. Hausgröße festzulegen. Für eine durchschnittliche Wohnfläche von EFHs kann mit ca. 155m^2 gerechnet werden (Statistisches Bundesamt 2021). Rechnet man diesen Wert auf die Bruttogrundfläche (BGF) zurück ($155 \times 1,55$) (Grootens 2009) erhält man eine BGF von ca. 240m^2 . Um eine einfache Umrechnung zu ermöglichen, sollte auf 250m^2 aufgerundet oder auf 200m^2 abgerundet werden. Aufgrund der einfachen Umrechnung, der Nachhaltigkeit und Suffizienz wird im Folgenden mit 200m^2 und zweigeschossigem Bau gerechnet.

In vielen der Berechnungen wird mit dieser Größe gerechnet und sie wird auf verschiedene Geschossigkeiten bezogen. Dabei wird davon ausgegangen, dass eine BGF von 200m^2 auf ein, zwei oder drei Geschosse aufgeteilt wird. Die Geschosse sind dabei immer gleichgroß, sodass ein Quader entsteht. Dadurch hätte ein dreigeschossiges Gebäude mit 200m^2 BGF nach dieser Festlegung eine Dachfläche von $200\text{m}^2/3 = 66,67\text{m}^2$.

Tragwerk:

Die Wahl des Materials für ein Tragwerk muss die Nachhaltigkeitsparameter einhalten. Es wird ein emissionsarmer Baustoff benötigt, welcher möglichst kreislaufgerecht ist. Emissionsarm und kreislaufgerecht ist kaum ein mineralischer oder metallischer Baustoff. Biologische Optionen wie Holz, Stroh, Bambus uvm. sind Möglichkeiten, die ökologische Nachhaltigkeit einzuhalten. Dabei ist Holz ein Rohstoff mit sehr hoher Verfügbarkeit in Deutschland und mit notwendigen Eigenschaften für den Gebäudesektor.

Wie viel Holz kann man aus unserem Wald nutzen und wie sehr hängt unsere Forstwirtschaft mit dem Klimawandel zusammen? Die Bundeswaldinventur zeigt Probleme und Herausforderungen auf, schreibt aber auch von einer positiven Entwicklung, die anhalten wird. (BMEL 2024)

Holz ist ein vielseitig verwendeter Baustoff, so wurden im Jahr 2020 27,0 Mio. m^3 s.w.e. (Holz Festmeteräquivalent) energetisch verwendet. Dieser Wert soll sinken, jedoch wird in den nächsten Jahren nicht verschwinden. (Pfeiffer o.J.)

Energetische Verwendung meint das Verbrennen oder in Biogas Verwandeln von Holz für Energie, meist Heizenergie. Im Verlauf dieser Arbeit wird das Volumen des für ein EFH benötigten Holzes bilanziert. Das entspricht nicht dem Festmeteräquivalent, jedoch lässt es ein Verhältnis erkennen. Das Tragwerk sollte und kann aus Holz geplant werden.

Baukonstruktion:

Durch die Skelett- oder Rahmbauweise aus Holz entsteht potenziell eine nicht ausreichende Schwere des Gebäudes. Dadurch würde es sich im Sommer zu stark aufheizen. Dagegen müssten Fensterscheiben installiert werden, welche die Solarstrahlung, damit aber auch Licht und solare Gewinne im Winter reflektieren, oder eine Klimaanlage einbauen. Die Möglichkeiten kollidieren durch das Vernachlässigen solarer Gewinne und den zusätzlichen

Emissionen durch eine Klimaanlage mit ökologischer Nachhaltigkeit. Auch soziale Nachhaltigkeit wird eingeschränkt, da weniger Licht und eine Klimaanlage für weniger Wohnkomfort sorgen können.

Folglich gilt es die Schwere des Gebäudes zu erhöhen. Dabei ist Lehm eine ökologisch und sozial nachhaltige Lösung. Lehm ist kein nachwachsender Rohstoff, jedoch ist er nahezu 100% kreislaufgerecht, des Weiteren entstehen in der Herstellung kaum THGs, was ihm eine ökologische Nachhaltigkeit verpasst und auch auf ökonomischer Ebene durch die Kreislaufgerechtigkeit dem aktuell erhöhten Preis entgegenwirken kann. Lehm reguliert indirekt die Luftfeuchtigkeit in Räumen, somit wird keine Lüftungsanlage für diesen Zweck benötigt. (Redaktion Ernst & Sohn GmbH 2023)

Kontakt zum Boden:

Um wenig Kontakt mit dem Boden und dadurch geringe Aushubarbeiten und potentielle Wasserschäden zu vermeiden, gibt es das System der Schraubfundamente. Diese ersetzen aufwändige, meist nicht ökologisch nachhaltige Baustoffe, welche zum Bau eines Fundaments oder Kellers benutzt werden. Schraubfundamente können eine Last von bis zu 15t und damit, mit einer geringen Anzahl, die eines EFHs aufnehmen und ihre Haltbarkeit liegt bei mindestens dem betrachteten Zeitraum von 100 Jahren. (Deutsche Schraubfundament GmbH o.J.)

2.1.3 Nicht berücksichtigte Faktoren

Wie bereits erwähnt liegt der Fokus in der ökologischen Nachhaltigkeit, unter anderem da diese der aktuell größte und umstrittenste gesellschaftliche Aspekt ist (siehe I.2. Diskurs - gesellschaftlich & politisch). Des Weiteren ist dieser Aspekt im Rahmen eines Einfamilienhauses und dessen Architektur berechenbar. Die soziale Nachhaltigkeit würde eine Grundlagenforschung über das Wohnen und die damit verbundenen sozialen Unterthemen erfordern. Die ökonomische Bilanzierung ist sehr abhängig von Trends, Krisen und dem generellen Entwicklungsstand. Die ökonomische Ebene der Kosten ist berechenbar und soll am Ende dieser Forschung verglichen werden. Jedoch ist die Bezahlbarkeit dieser Kosten, das Haushaltsvermögen und Einkommen eine politische und wirtschaftliche Ebene, welche fern von einem Einfluss der Architektur liegt. Folglich werden diese Aspekte in meiner Forschung nur geringfügig berücksichtigt, um beschriebene Faktoren einhalten zu können. Das Ergebnis der Forschung kann dann vielseitig auch ökonomisch und sozial eingeordnet werden.

2.2 Bilanzierungen

Um die Forschungsfragen zu beantworten und dem Erkenntnisinteresse entgegenzukommen, werden im Folgenden Aspekte, welche einen großen Einfluss vor allem auf die ökologische Nachhaltigkeit haben, untersucht. Ziel ist es, eine Visualisierung von Nachhaltigkeit und Erkenntnisse aus dieser zu erlangen. Dabei gilt immer die Frage, ob es noch nachhaltiger geht und wo oder wie eine maximale Nachhaltigkeit zu erreichen ist.

2.2.1 A-V Verhältnis

Der größte Energieverlust eines Gebäudes entsteht durch die Transmissionsverluste. Dabei ist die Beschaffenheit des Bauteiles, durch welches transmittiert wird, ausschlaggebend (siehe 2.2.4 Dämmstoffeffizienz), doch auch das A/V Verhältnis spielt eine große Rolle.

Dieses beschreibt das Verhältnis der Außenfläche (Außenhaut) zu dessen Volumen. Das Heizen bezweckt, ein warmes Volumen zu erhalten, die Außenfläche entzieht dem Volumen dabei bei niedrigeren Außen- als Innentemperaturen Energie. Um möglichst wenig Heizenergie zu benötigen ist es daher von Vorteil, ein niedriges A/V Verhältnis zu erreichen. Ein niedriger Quotient bedeutet, dass auf einen m² transmittierender Außenfläche viel Volumen fällt. (Nagler 2022)

Um den Quotienten aus Außenfläche und Volumen zu berechnen, wurden Diagramme entlang der Breite und Länge des Gebäudes in Abhängigkeit zu seiner Geschossigkeit berechnet. Dabei wurde die Berechnung für ein-, zwei- und dreigeschossige Gebäude durchgeführt.

$$\begin{aligned} h &= 3,5m(\text{erstes Geschoss}) + 3m \cdot \text{Anzahl Obergeschosse} \\ A &= \text{Außenfläche} = 2 \cdot l \cdot b + 2 \cdot l \cdot h + 2 \cdot h \cdot b [m^2] \\ V &= \text{Volumen} = l \cdot b \cdot h [m^3] \\ A/V &= \text{A/V Verhältnis} = \frac{A}{V} = \frac{2 \cdot l \cdot b + 2 \cdot l \cdot h + 2 \cdot h \cdot b}{l \cdot b \cdot h} \end{aligned}$$

Um die Verhältnismäßigkeit des U-Wertes der gesamten Hülle zu dem A/V Verhältnis zu visualisieren, wird folgender Term aufgestellt. Dabei wird das in (2.1 Forschung und Vorhaben) beschriebene Haus mit 200m² BGF und zwei Geschossen (6,5m Höhe) als Grundlage genommen.

Die Wärmeverluste werden nach Lüftungsverlusten und Transmissionsverlusten berechnet (Krutke 2022).

$$\begin{aligned} \rho_L &= \text{Luft Dichte} \left[\frac{kg}{m^3} \right] \\ c_L &= \text{spezifische Luft Wärmekapazität} \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_L \cdot c_L &= 0,34 \frac{Wh}{m^3 K} = 0,00034 \frac{kWh}{m^3 K} \\ n &= \text{Luftwechsellrate} = 0,7 \text{ (gewählter hoher Komfort)} \\ V_L &= \text{Lüftungsvolumen} = BRF \cdot 0,8 \text{ Abzug der Konstruktion} \\ H_v &= \text{Lüftungswärmeverlust} = (\rho_L \cdot c_L) \cdot n \cdot V_L \left[\frac{W}{K} \right] \end{aligned}$$

Es wird der durchschnittliche Temperaturunterschied während der Heizperiode (HP) berechnet. (Loga 2004)

$$\begin{aligned} F_x &= \text{Normaußentemperatur} - \text{Norminnentemperatur} = 16 \\ A &= \text{Außenfläche} = A/V \cdot V [m^2] \\ H_{wb} &= \text{Wärmebrückenzusatz} = \text{hier vernachlässigt} \\ U &= \text{U-Wert eines Bauteiles} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_t &= \text{Transmissionswärmeverlust} \\ &= \sum (F_{xi} \cdot U_i \cdot A_i + H_{wb}) \left[\frac{W}{K} \right] \end{aligned}$$

Vereinfachung vieler Bauteile zu einer Hülle mit gleichbleibendem U-Wert:

$$H_t = F_x \cdot U \cdot A$$

Zusammengesetzt ergibt sich ein Term in Abhängigkeit von dem A/V Verhältnis und dem U-Wert:

$$\begin{aligned} H_{ges} &= \text{Gesamtwärmeverlust} = H_v + H_t \\ &= (\rho_L \cdot c_L) \cdot n \cdot V_l + F_x \cdot U \cdot A \\ &= 0,34 \frac{kWh}{m^3 K} \cdot 0,7 \cdot 650m^3 \cdot 0,8 + 16 \cdot U \cdot A/V \cdot 650m^3 \\ &= 123,76 \frac{Wh}{K} + 10.400m^3 \cdot U \cdot A/V \end{aligned}$$

Es ist zu erkennen, dass der Lüftungsverlust ein Einheitswert ist, welcher jedoch ausschlaggebend ist, um die untersuchte Verhältnismäßigkeit nicht zu verzerren. In den folgenden Diagrammen ist das A/V-Verhältniss eines Gebäudes in Abhängigkeit zu seiner Größe zu erkennen. Des Weiteren werden die entstehenden Gesamtwärmeverluste in Abhängigkeit zu dem U-Wert der Hülle und dem A/V-Verhältnis des Gebäudes visualisiert.

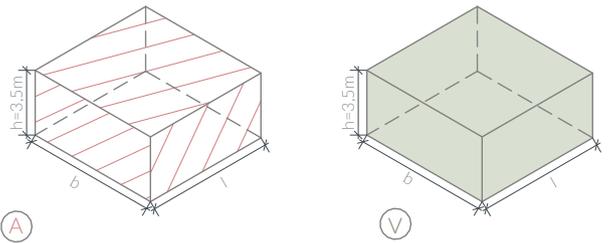
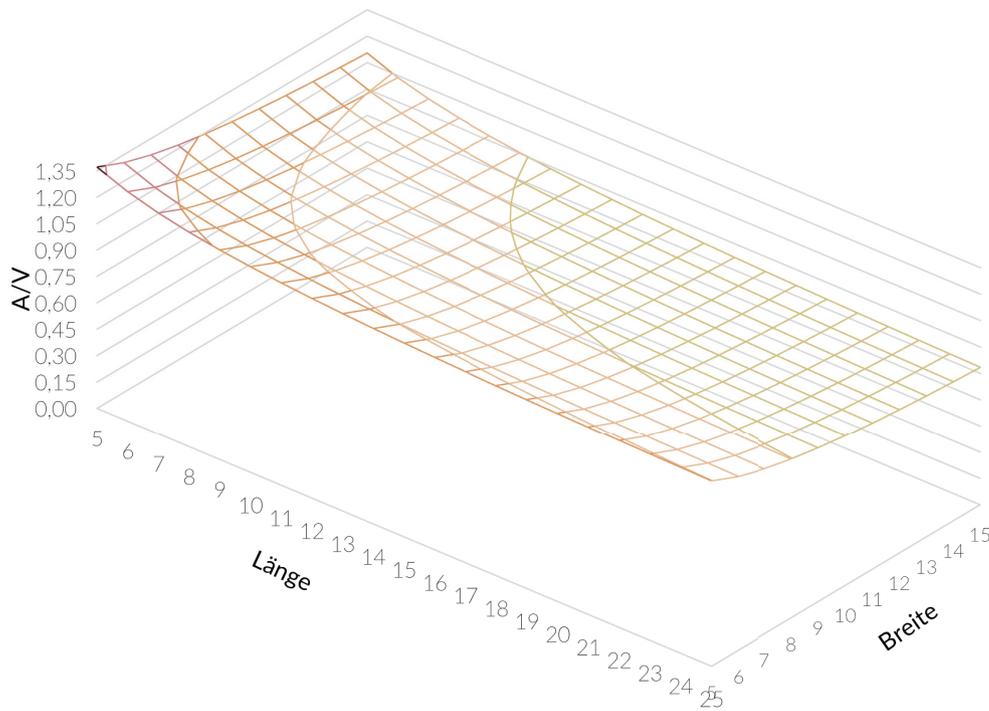


Abb. 6: A/V Verhältnis eingeschossiges Gebäude. Eigene Darstellung

A/V Verhältniss bei eingeschossigen Häusern



□ 0,00-0,15 □ 0,15-0,30 □ 0,30-0,45 □ 0,45-0,60 □ 0,60-0,75 □ 0,75-0,90 □ 0,90-1,05 □ 1,05-1,20 □ 1,20-1,35 □ 1,35-1,45

Abb. 7: A/V Verhältniss bei eingeschossigen Häusern. Eigene Darstellung

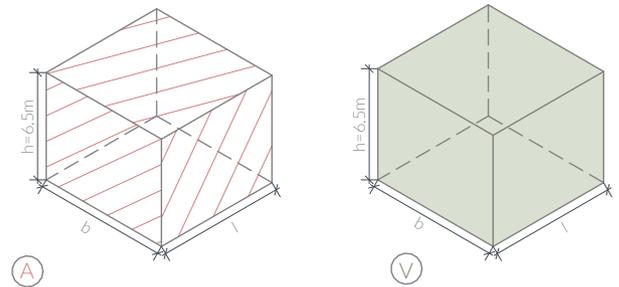
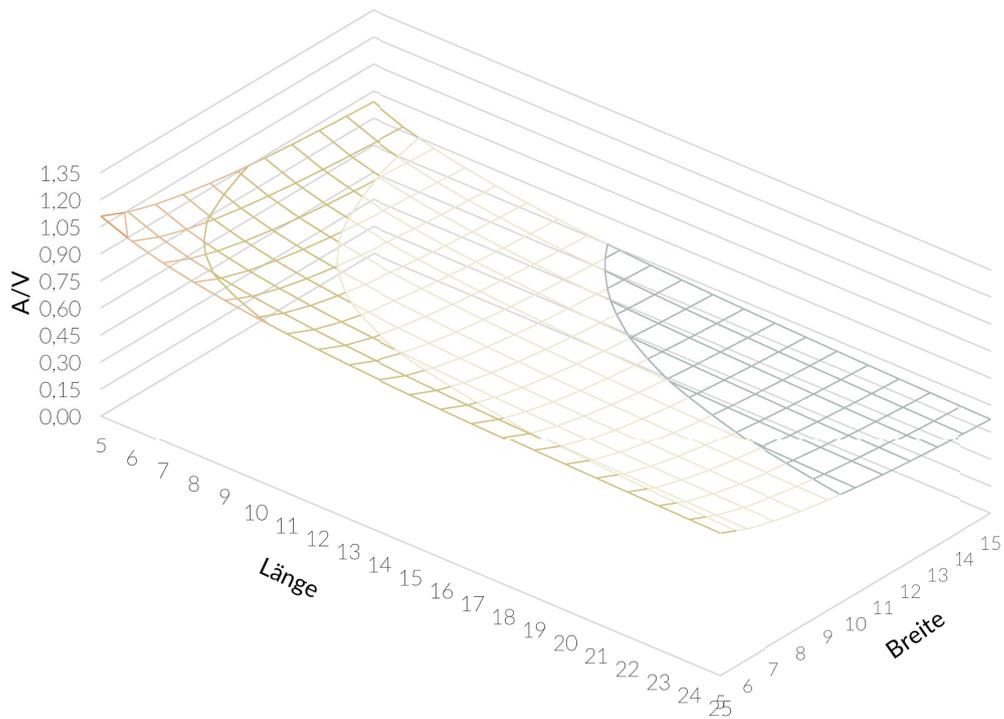


Abb. 8: A/V Verhältnis zweigeschossiges Gebäude. Eigene Darstellung

A/V Verhältniss bei zweigeschossigen Häusern



0,00-0,15
 0,15-0,30
 0,30-0,45
 0,45-0,60
 0,60-0,75
 0,75-0,90
 0,90-1,05
 1,05-1,20
 1,20-1,35
 1,35-1,45

Abb. 9: A/V Verhältniss bei zweigeschossigen Häusern. Eigene Darstellung

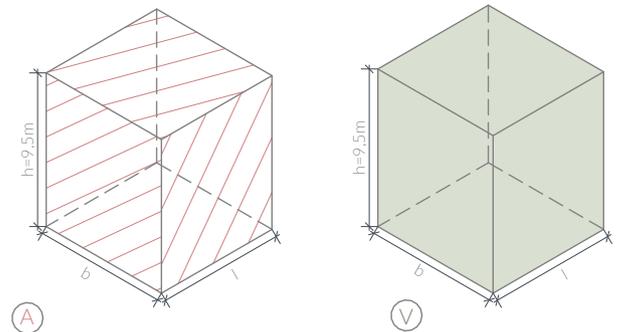
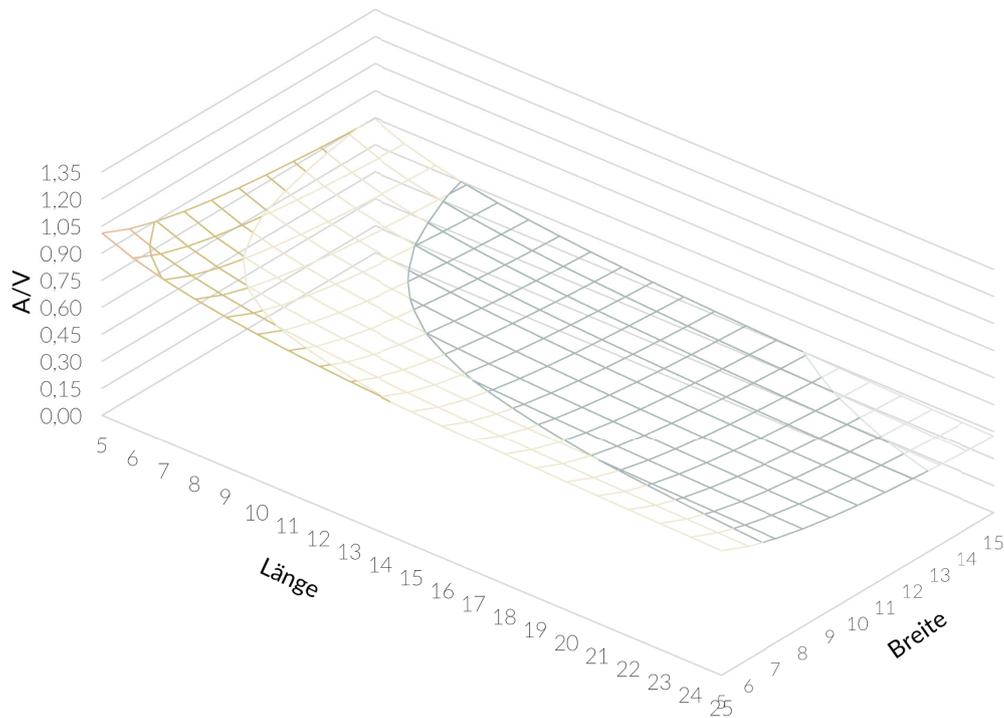


Abb. 10: A/V Verhältnis dreigeschossiges Gebäude. Eigene Darstellung

A/V Verhältniss bei dreigeschossigen Häusern



□ 0,00-0,15 □ 0,15-0,30 □ 0,30-0,45 □ 0,45-0,60 □ 0,60-0,75 □ 0,75-0,90 □ 0,90-1,05 □ 1,05-1,20 □ 1,20-1,35 □ 1,35-1,45

Abb. 11: A/V Verhältniss bei dreigeschossigen Häusern. Eigene Darstellung

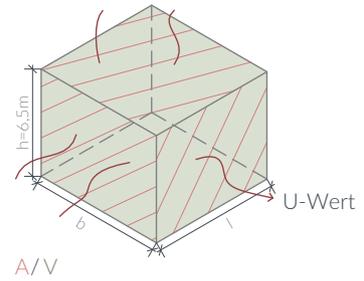


Abb. 12: Skizze Transmissionsverluste. Eigene Darstellung

A/V Verhältnis x U-Wert -> Einfluss auf Transmissionsverlust (W/K)

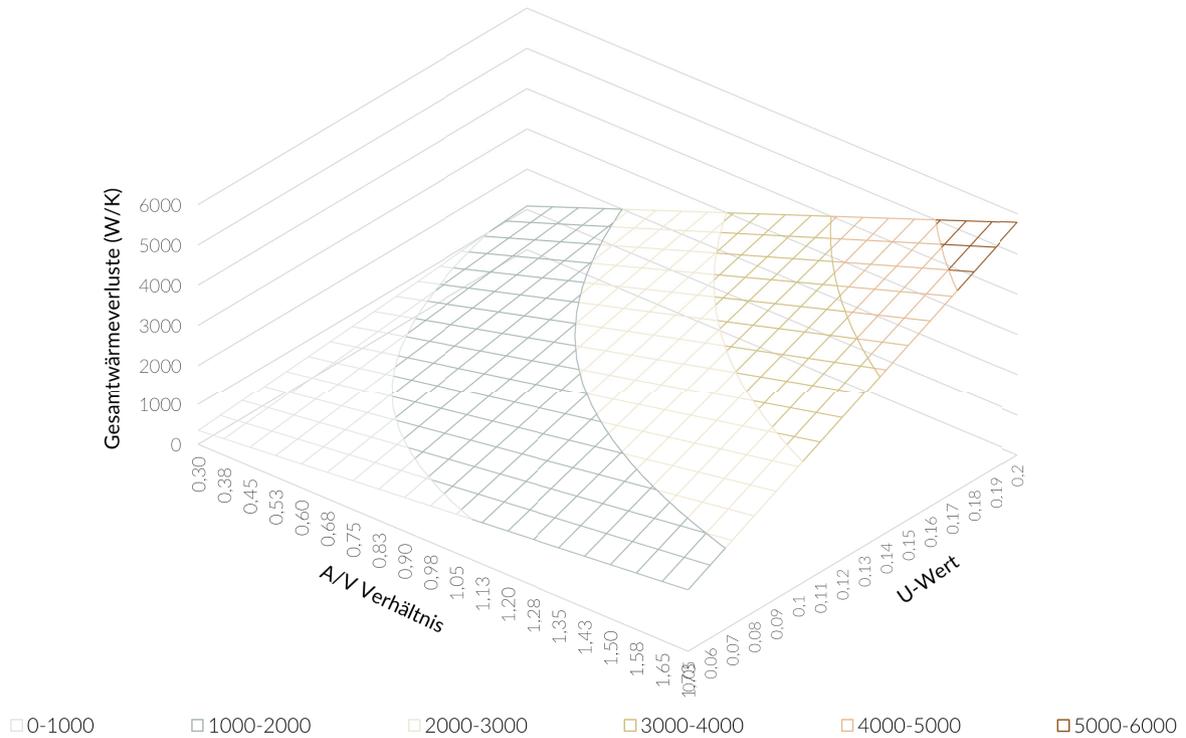


Abb. 13: Transmissionsverluste durch A/V Verhältnis & U-Wert. Eigene Darstellung

2.2.2 PV-Gewinne x Heizlast

Durch die Erkenntnisse aus 1.4.1 Gesetze & Förderungen und 1.4.2 Bund & Länder erkennt man, dass der Energiehaushalt einen großen Einfluss auf die Nachhaltigkeitsbewertung eines Gebäudes hat. In 1.1 Definition Nachhaltigkeit und 1.3 Benchmarks & Referenzwerte Nachhaltigkeit wird dieser Einfluss erklärt und definiert. Eine Energieautarkie und ein Plusenergiehaus sind erstrebenswert. Wie in 2.1 Forschung und Vorhaben beschrieben wird mit einer PV-Anlage und einer elektronischen-Deckenheizung gerechnet.

Ein weiterer maßgeblicher Faktor ist die globale Solarstrahlung, die Summe der Energie, welche die Sonne auf unsere Erdoberfläche abstrahlt. Damit und mit der Effizienz der PV-Anlage und ihrer Ausrichtung lassen sich die elektrischen Energiegewinne berechnen. Dagegen wird die notwendige Heizenergie und der durchschnittliche Stromverbrauch einer Familie gesetzt.

Um Autarkie zu erreichen ist v.a. die Betrachtung der Wintermonate, Oktober bis inklusive März, nach dem Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz) entscheidend (EnWG 2005). In dieser Periode ist der Energieverbrauch am höchsten und der Energiegewinn am niedrigsten.

Auf einer Einstrahlscheibe lässt sich die aus der Ausrichtung der PV-Module resultierende Effizienz erkennen. Diese Effizienz beschreibt nicht den prozentuellen Anteil der Umwandlung von Solarstrahlung zu Strom.

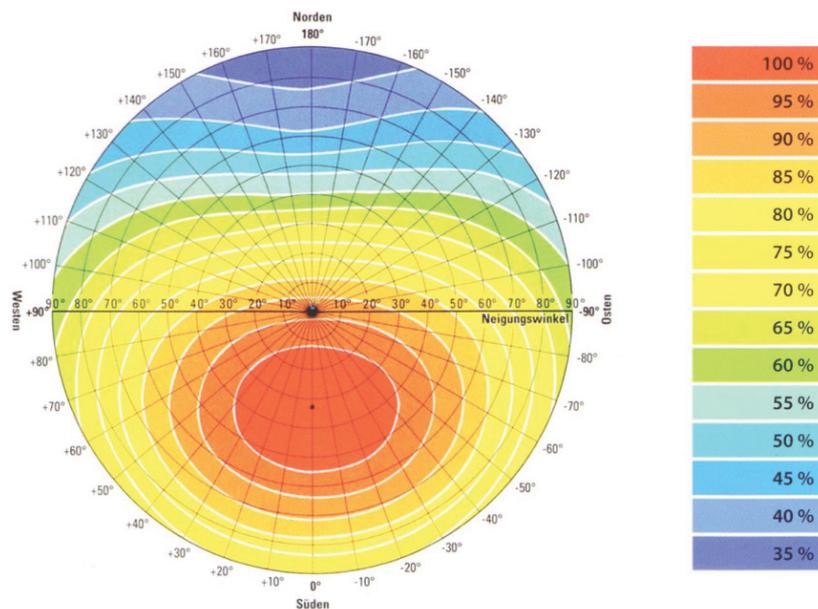


Abb. 14: Einstrahlscheibe jährliche Solarstrahlung. Rutschmann 2025

Die Summe der durchschnittlichen globalen Solarstrahlung in den Wintermonaten in Deutschland beträgt 236 kWh/m² (DWD o.J.a). Mit selbigem Vorgehen kann man auch die Jahresbilanz eines Gebäudes berechnen, um den Gewinn und die daran hängende Amortisierung der PV-Anlage zu berechnen.

Dafür ist wieder die Ausrichtung zu berücksichtigen. Ein steiler Winkel in den Süden bringt in den Wintermonaten eine deutlich höhere Effizienz mit sich als eine flache Ost-Westausrichtung. (Schmid o.J.)

Diese ist jedoch optimal für einen maximalen finanziellen Ertrag, da die Vergütung der eingespeisten Energie stark von der Tageszeit beeinflusst wird. Ost-West ausgerichtete PV-Module erzielen durch ihren höheren Gewinn morgens und abends eine höhere Gesamtvergütung. (VDE VERLAG GmbH 2025)

Durch eine Batterie als Pufferspeicher ist dieses Argument hin-fällig. Eine Batterie ist auch praktikabel, um Schwankungen in den Wintermonaten zu überbrücken.

Für die Bilanzierung wird die gewonnene Energie in Abhängigkeit zu verschiedener Geschossigkeit des Gebäudes betrachtet. Um eine nicht optimale Ausrichtung der PV-Module und eine nicht vollständige Ausnutzung des Daches zu berücksichtigen, werden 70% der Globalstrahlung auf die Dachfläche berechnet. Die Effizienz der Module, die Energie in Elektrizität umzuwandeln ist ausschlaggebend. Im Folgenden werden kristalline Kollektoren mit organischen verglichen. Organische haben einen bedeutend geringeren CO₂ Fußabdruck und sind auch kreislaufgerechter (Heliatek GmbH 2020). Jedoch ist der Wirkungsgrad eines organischen Kollektors mit 8% (Heliatek GmbH o.J.) und höheren Kosten (IGEPA Austria GmbH. o.J.) kaum nachhaltiger als die Kosten der kristallinen Variante mit ihrem höheren Wirkungsgrad von 22% (AceFlex GmbH. o.J.). Eine Gegenüberstellung ist notwendig. Damit die Gewinne während der HP auch über die ganze HP verteilt genutzt werden können, wird eine Batterie benötigt. Um die

Verluste dieser und weitere Verluste im Prozess der Stromverteilung und des Heizens zu berücksichtigen, werden die Gewinne mit dem Faktor 0,9 multipliziert.

Die Summe des Energieverbrauches einer 4 köpfigen Familie über die Wintermonate ergibt c.a. 2500kWh (Brüning o.J.). Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass die elektrische Wasseraufbereitung in dieser Berechnung einen großen Einfluss hat und bereits mit einberechnet ist (Weißbach 2025).

Der Energieverlust durch Heizenergie wird in Abhängigkeit zu dem jährlichen Bedarf pro m² Nutzfläche (NF) berechnet. Um die NF aus den beispielhaft angenommenen 200m² BGF zu berechnen, werden 80% der BGF berechnet. Teilweise werden die Vorhaben an jährlichem Heizenergiebedarf pro m² auf die Wohnfläche bezogen, jedoch sollen hier auch nicht Wohnräume berücksichtigt werden. Die benötigte Heizenergie wird im Bereich von 10 - 20 kWh/(m²a) betrachtet. Diese Werte befinden sich im Rahmen der aktuellen Anforderungen an ein Passivhaus und übertreffen diese.

Der entstehende Term, welcher den Bilanzierungen zugrunde liegt, ergibt sich wie folgt. Es wird wie in 2.2.1 A/V-Verhältnis mit der Berechnung nach HP gerechnet.

$$\frac{\text{Gewinne während der HP}}{\text{Verluste während der HP}}$$

$$= \frac{\text{Globalstrahlung(HP)} \cdot 0,7 \cdot \text{Effizienz Kollektor} \cdot \text{Dachfläche} \cdot 0,9}{\frac{\text{benötigte Heizenergie}}{\text{m}^2\text{a}} \cdot \text{BGF} \cdot 0,8 + \text{Stromverbrauch 4 köpfige Familie in der HP}}$$

$$= \frac{236 \cdot \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \cdot 0,7 \cdot \text{Effizienz Kollektor} \cdot \text{Dachfläche} \cdot 0,9}{\frac{\text{benötigte Heizenergie}}{\text{m}^2\text{a}} \cdot \text{BGF} \cdot 0,8 + 2500 \text{kWh}}$$

Ein Quotient über 1 bedeutet, dass mehr Energie vorhanden ist, als benötigt wird. Ein Quotient von 2 bedeutet, dass doppelt so viel Energie erzeugt wird, wie benötigt wird. Und 0,5 beschreibt eine nur 50% Abdeckung der benötigten Energie.

Verwendete Faktoren:

2.500 kWh Strom für den Haushalt und Warmwasseraufbereitung in der Winterzeit

6,5 m hohes zweigeschossiges Gebäude

15 kWh/(m²a) Heizlast

22% Wirkungsgrad kristallines Modul

8% Wirkungsgrad organisches Modul

70% Faktor zur Abminderung durch Ausrichtung und Dachfläche

Ergebnisse:

5.500 kWh Gesamtenergie benötigt im der Winterzeit

4.147 € einmalige Kosten für kristalline Module

18.349 € einmalige Kosten für organische Module

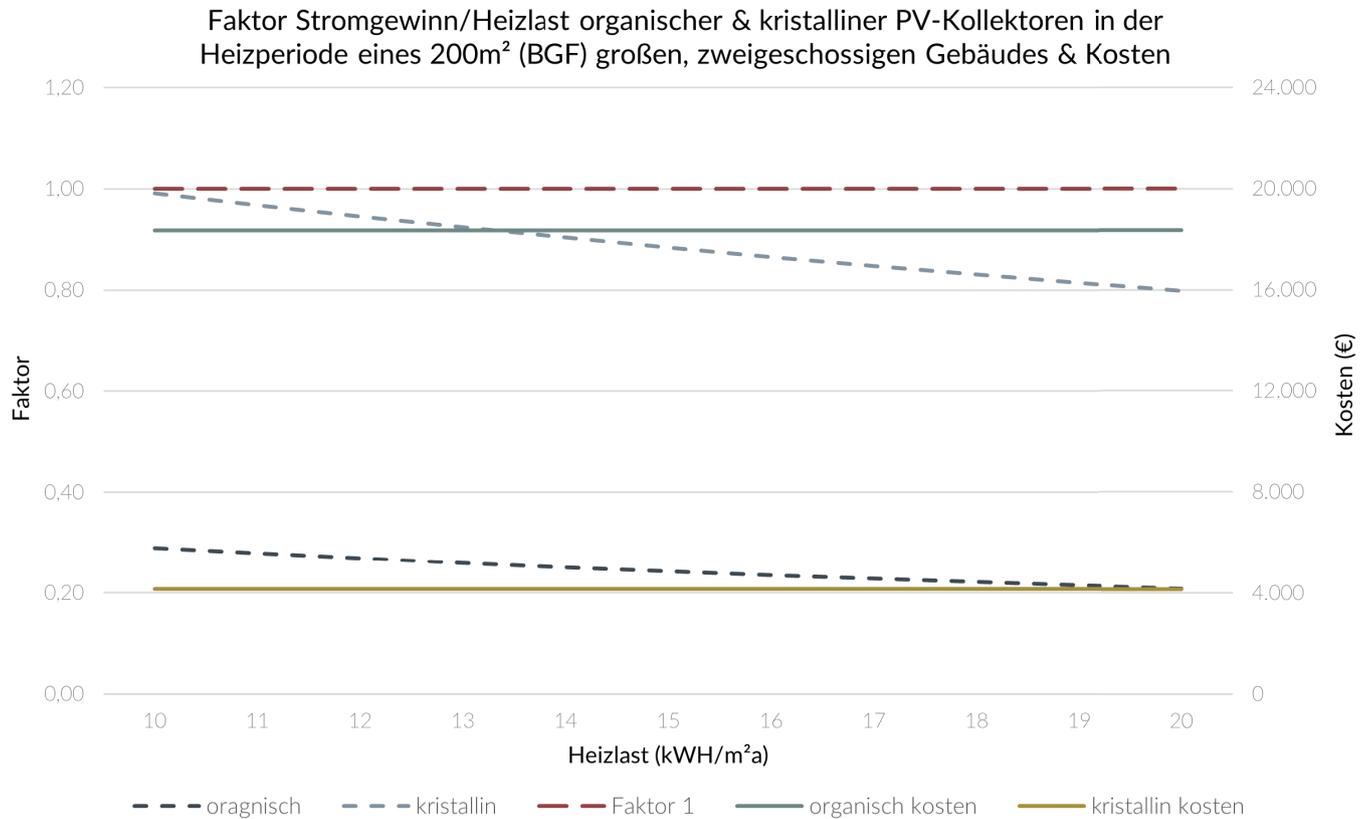


Abb. 15: Vergleich kristalliner PV-Kollektoren zu organischen, 200m² BGF. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

2.000 kWh Strom für den Haushalt und Wamrwasseraufbereitung
in der Winterzeit

6,5 m hohes zweigeschossiges Gebäude

15 kWh/(m²a) Heizlast

22% Wirkungsgrad kristallines Modul

8% Wirkungsgrad organisches Modul

70% Faktor zur Abminderung durch Ausrichtung und Dachfläche

Ergebnisse:

4.250 kWh Gesamtenergie benötigt im der Winterzeit

3.111 € einmalige Kosten für kristalline Module

13.761 € einmalige Kosten für organische Module

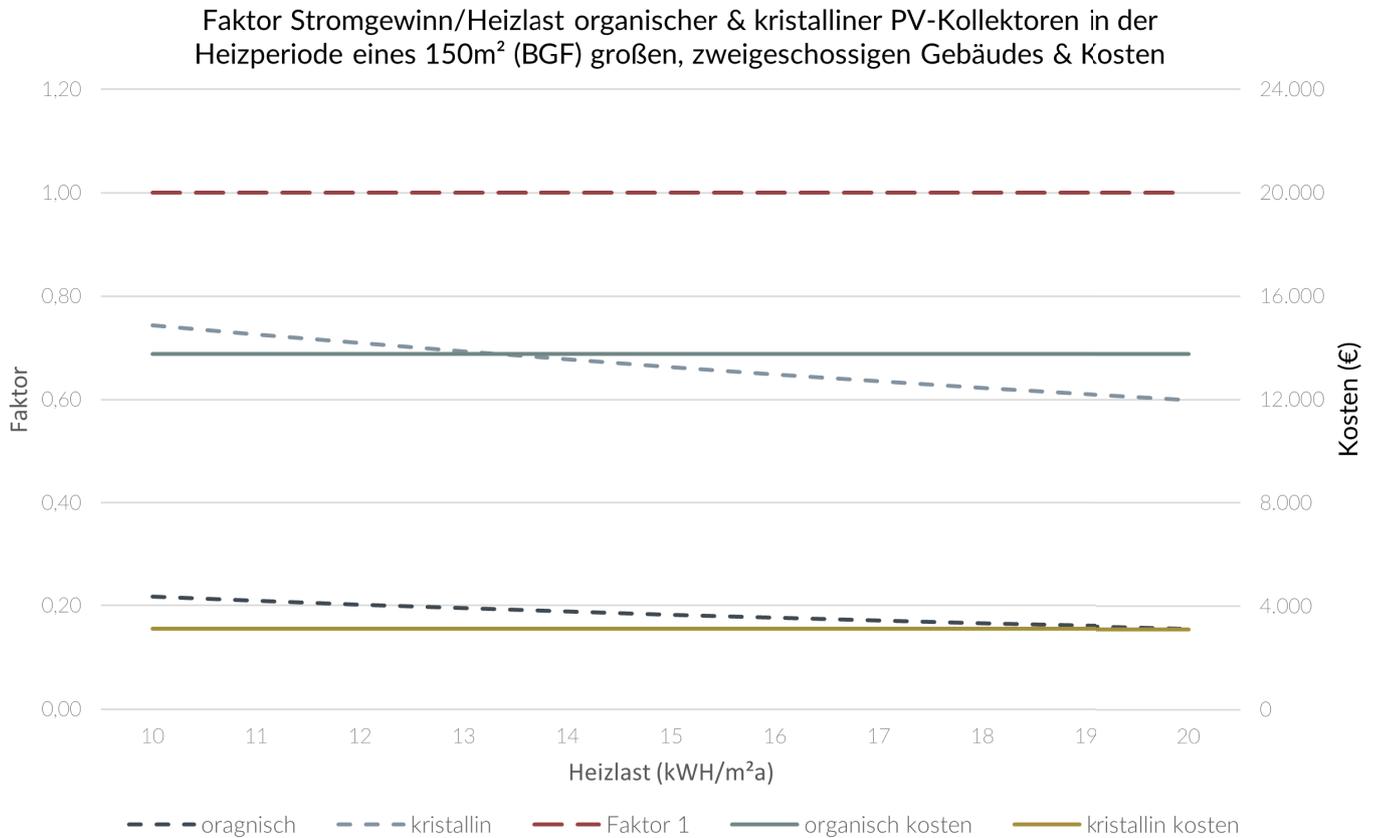


Abb. 16: Vergleich kristalliner PV-Kollektoren zu organischen, 150m² BGF. Eigene Darstellung

Fazit Vergleich organisch/ kristallin:

Organische Kollektoren sind deutlich unökonomisch, jedoch ist das nur eine Momentaufnahme und die kristallinen Photovoltaikmodule haben einen starken preislichen Rückgang erlebt (Vöpel 2025). Eventuell ist dieser noch bei organischen zu erwarten. Eine Steigerung in der Effizienz in Bezug auf die Nutzung der Globalstrahlung ist notwendig, um Häuser jeder Geschossigkeit autark über den Winter zu versorgen. Der hier angebrachte Kostenvergleich basiert auf Angaben europäischer Hersteller, es ist jedoch

anzumerken, dass die Unternehmen verschiedene Größen und damit auch Preise ihrer Produkte haben. Dadurch ist dieser Vergleich nicht fair und das Ergebnis in seiner Klarheit wenig überraschend.

Verwendete Faktoren:

2.500 kWh Strom für den Haushalt und Wamwasseraufbereitung in der Winterzeit

Ergebnisse:

5.500 kWh Gesamtenergie benötigt im der Winterzeit

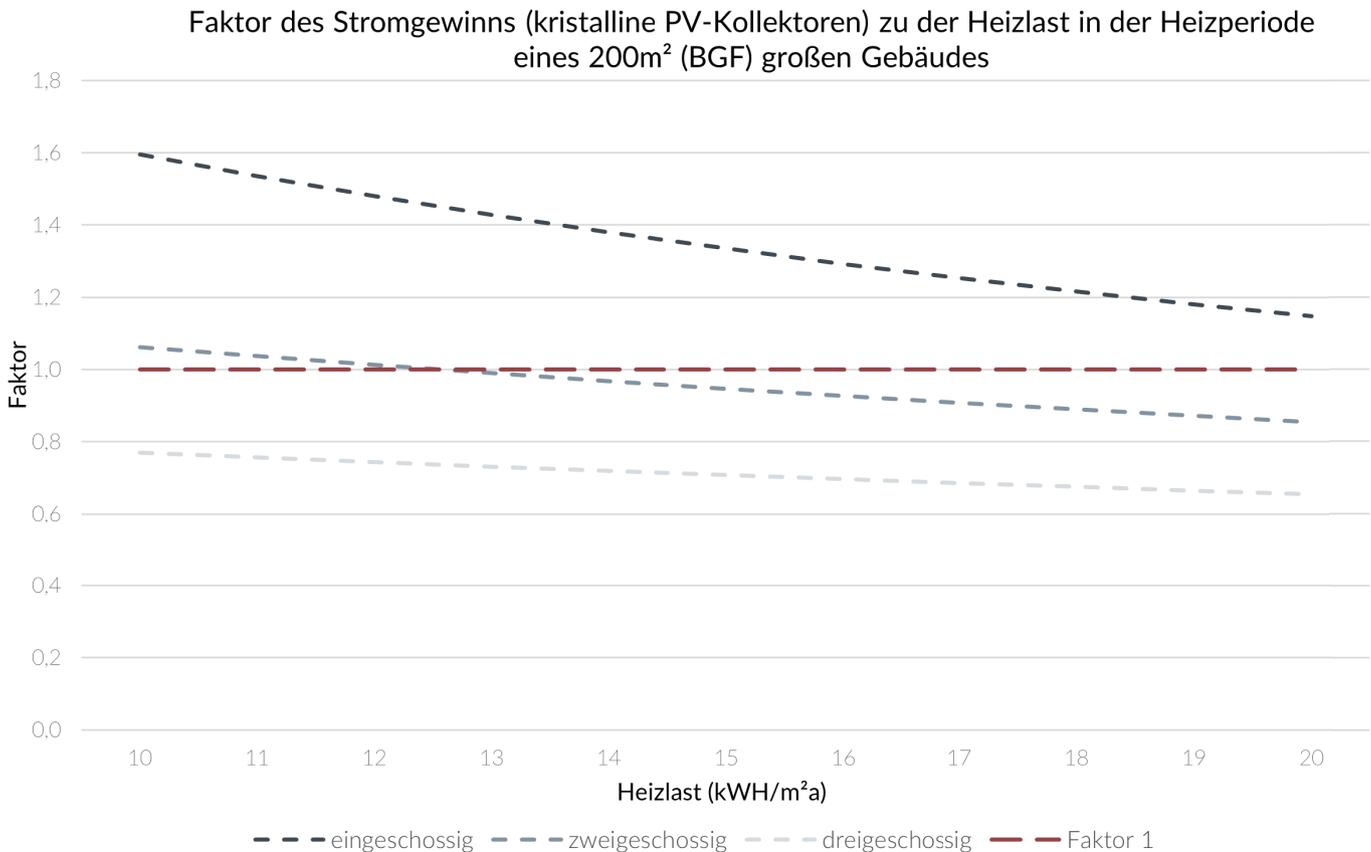


Abb. 17: kristalliner PV-Kollektoren verschiedene Geschossigkeit bei 200m² BGF. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

2.000 kWh Strom für den Haushalt und Wamwasseraufbereitung in der Winterzeit

Ergebnisse:

4.250 kWh Gesamtenergie benötigt im der Winterzeit

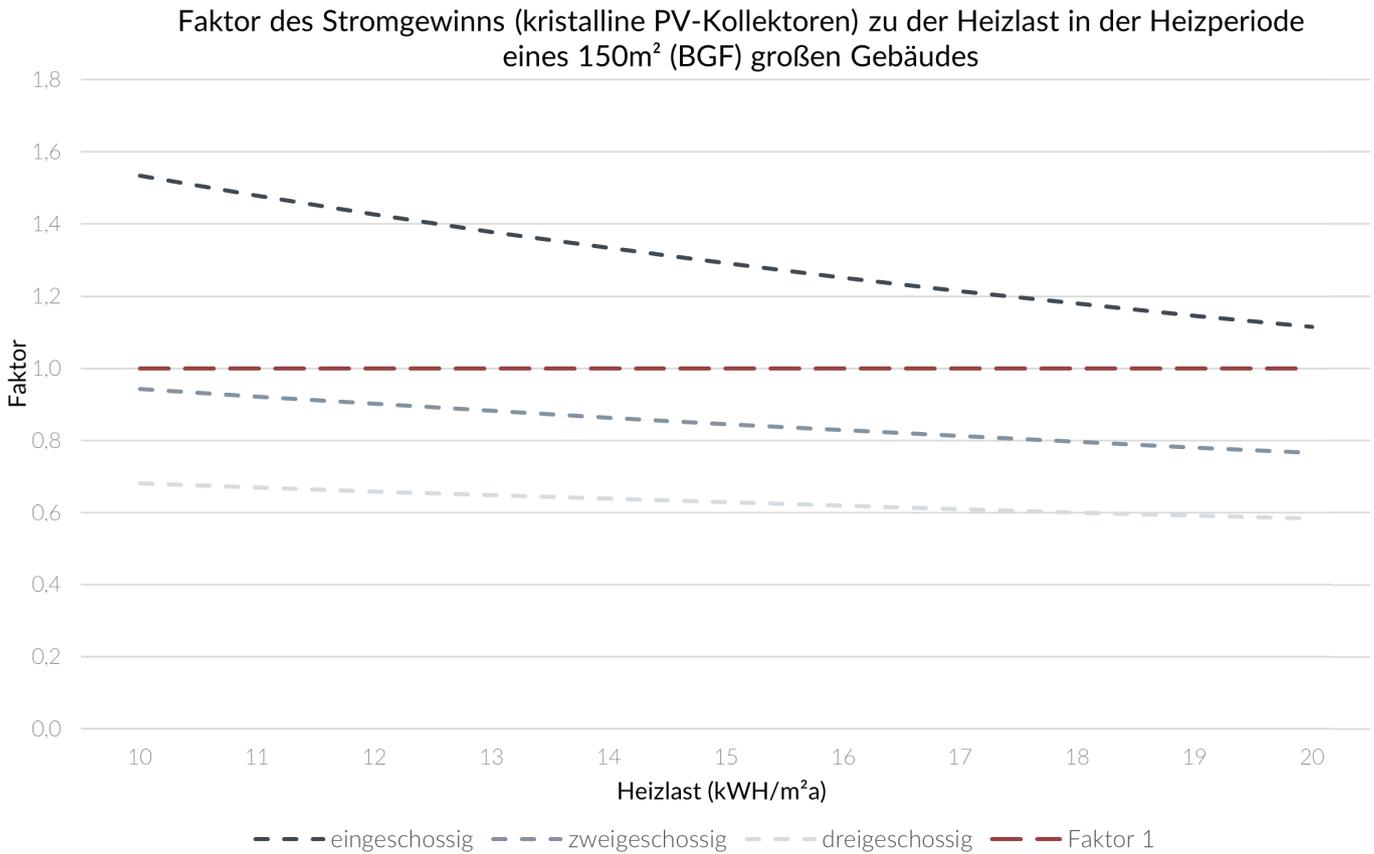


Abb. 18: kristalliner PV-Kollektoren verschiedene Geschossigkeit bei 150m² BGF. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

2.500 kWh Strom für den Haushalt und Warmwasseraufbereitung in der Winterzeit

Ergebnisse:

5.500 kWh Gesamtenergie benötigt im der Winterzeit

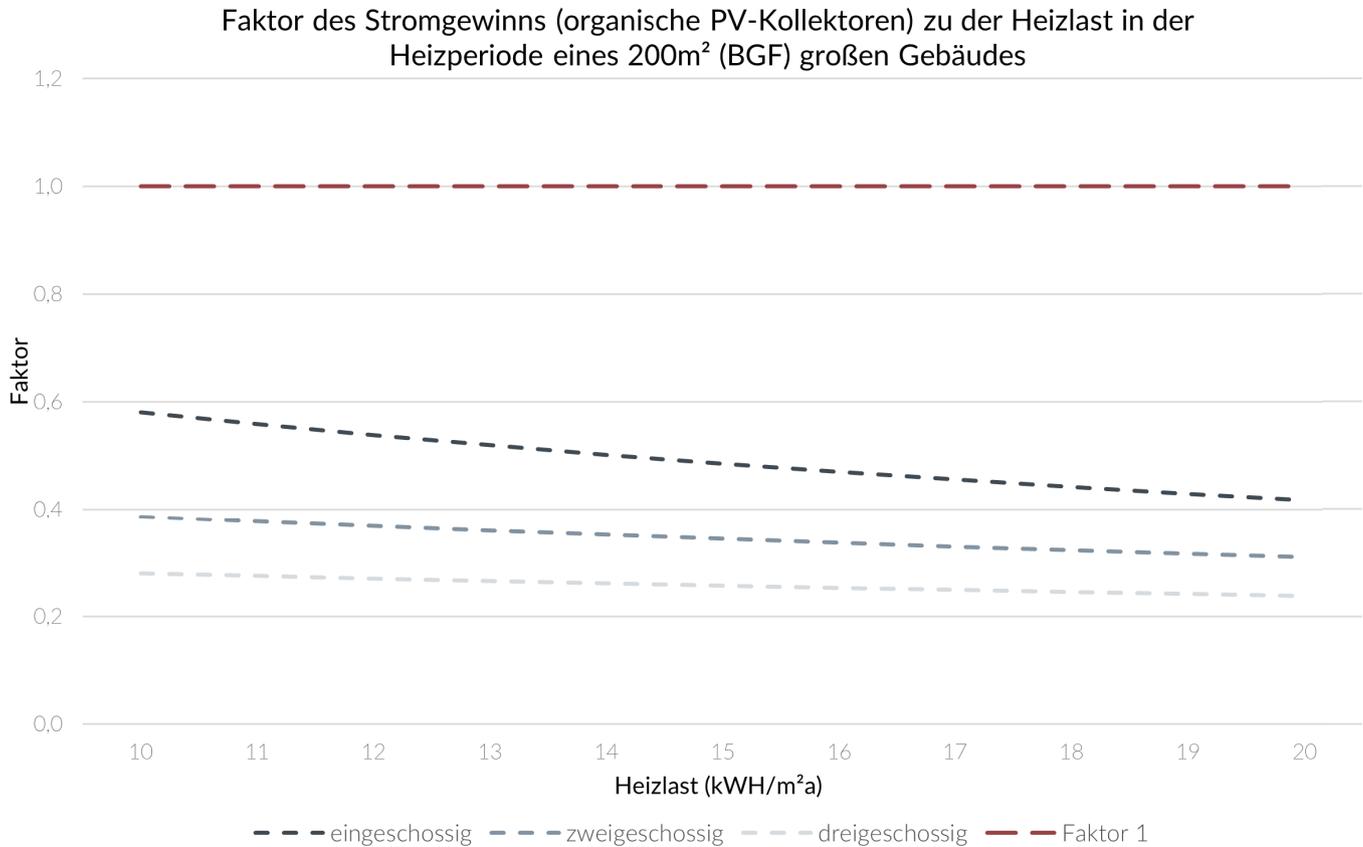


Abb. 19: organische PV-Kollektoren verschiedene Geschossigkeit bei 200m² BGF. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

2.000 kWh Strom für den Haushalt und Wamwasseraufbereitung in der Winterzeit

Ergebnisse:

4.250 kWh Gesamtenergie benötigt im der Winterzeit

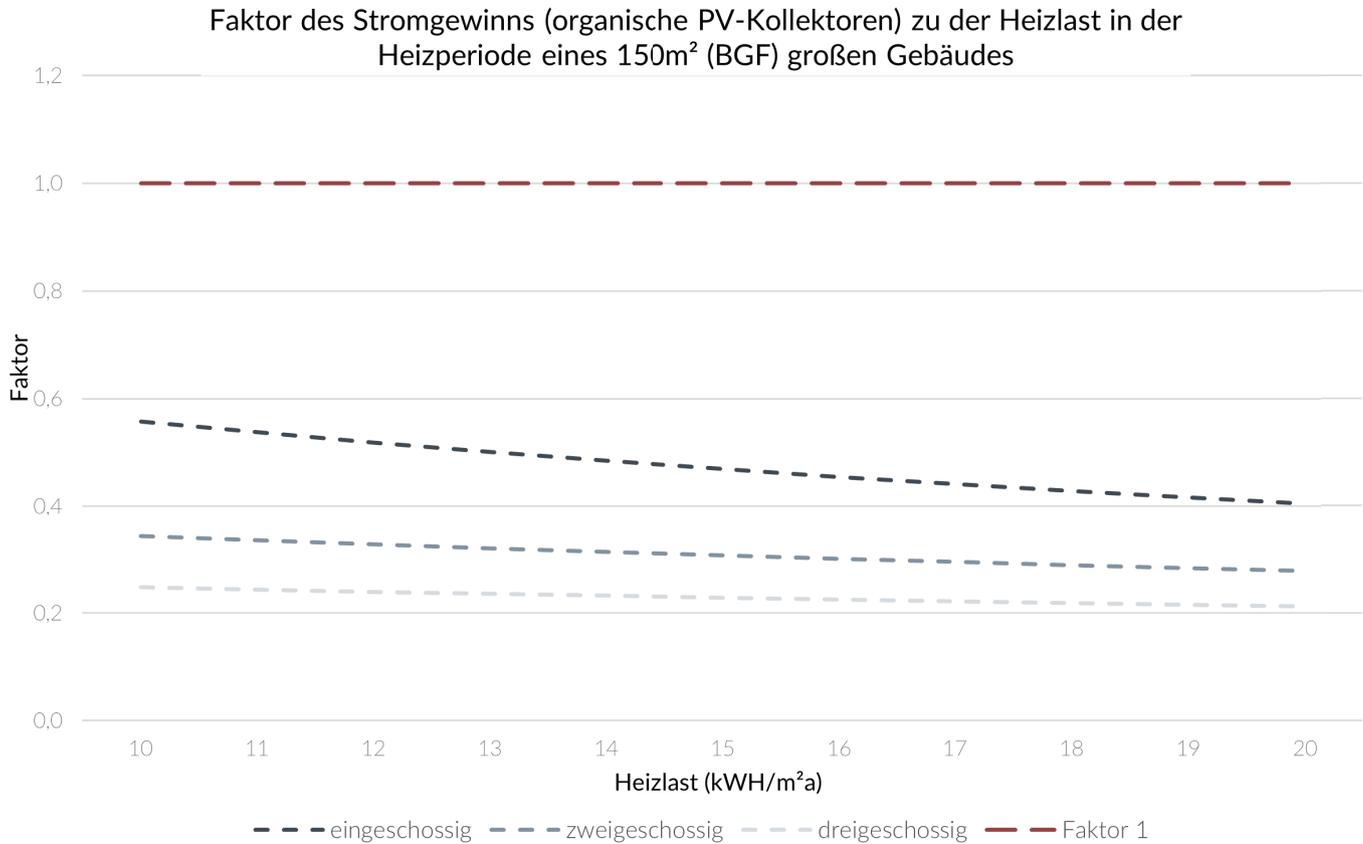


Abb. 20: organische PV-Kollektoren verschiedene Geschossigkeit bei 150m² BGF. Eigene Darstellung

Fazit gesamt:

Eine Addition der inneren und solaren Gewinne würde diese Bilanz verbessern, ebenso das Verwenden stromsparender Haushaltsgeräte oder Wärmerückgewinnung bei den Lüftungsverlusten.

Es ist deutlich zu erkennen, dass eine organische PV-Anlage in keinem Szenario die notwendige Energie über die Zeit der Heizperiode liefern kann. Die kristalline jedoch kann bei einem eingeschossigen Gebäude in fast jedem Szenario genug Energie gewährleisten. Bei zweigeschossigen Gebäuden hängt es stark von dem Szenario und dem jährlichem Heizenergiebedarf pro m^2 und damit der technischen und baukonstruktiven Beschaffenheit des Gebäudes ab. Dreigeschossige Gebäude sind mit den angenommenen Voraussetzungen in der Heizperiode nicht autark zu betreiben.

2.2.3 Effizienz Vordimensionierung Tragwerk

Das statische System eines Gebäudes bringt, durch die notwendige Tragfähigkeit und Sicherheit, hohe Anforderungen mit sich. Diese Anforderungen gilt es mit Nachhaltigkeit zu vereinen. Dabei erschweren diese Suffizienz und ressourcenschonendes Bauen, denn ein Tragwerk ist materialintensiv. Jedoch kann es auch innerhalb der geschützten Schicht in einem Gebäude sein und damit nicht anfällig für Verschleiß oder Verwitterung. Es gilt bei einem Tragwerk möglichst Material einsparend, ressourceneffizient und kreislaufgerecht zu entwerfen.

Vordimensionierung:

Für eine Vordimensionierung von Decken nach Staffa benötigt man lediglich die Länge der zu überspannenden Distanz. Jede Konstruktionsweise hat einen Faktor (L_i), mit welchem man die benötigte Höhe des Trägers berechnen kann. Dafür ergibt sich die erforderliche Höhe des Trägers, indem man die erwünschte Länge durch den L_i teilt. (Staffa 2014)

Fazit:

Der direkt proportionale Zusammenhang von zu überspannender Länge zur benötigten Höhe ist in Abb. 21 deutlich erkennbar und wirft Fragen auf. Diese Methode ist lediglich eine Orientierung für Planende, keine genaue Dimensionierung des Tragwerkes. Diese wird jedoch benötigt, um möglichst ressourceneffizient zu planen.

Verwendete Faktoren:

Li (Holzbalkendecke) = 17

Li (Brettstapeldecke) = 35

Li (Brettstapelholzplatten) = 27,5

Li (Pressroste) = 35

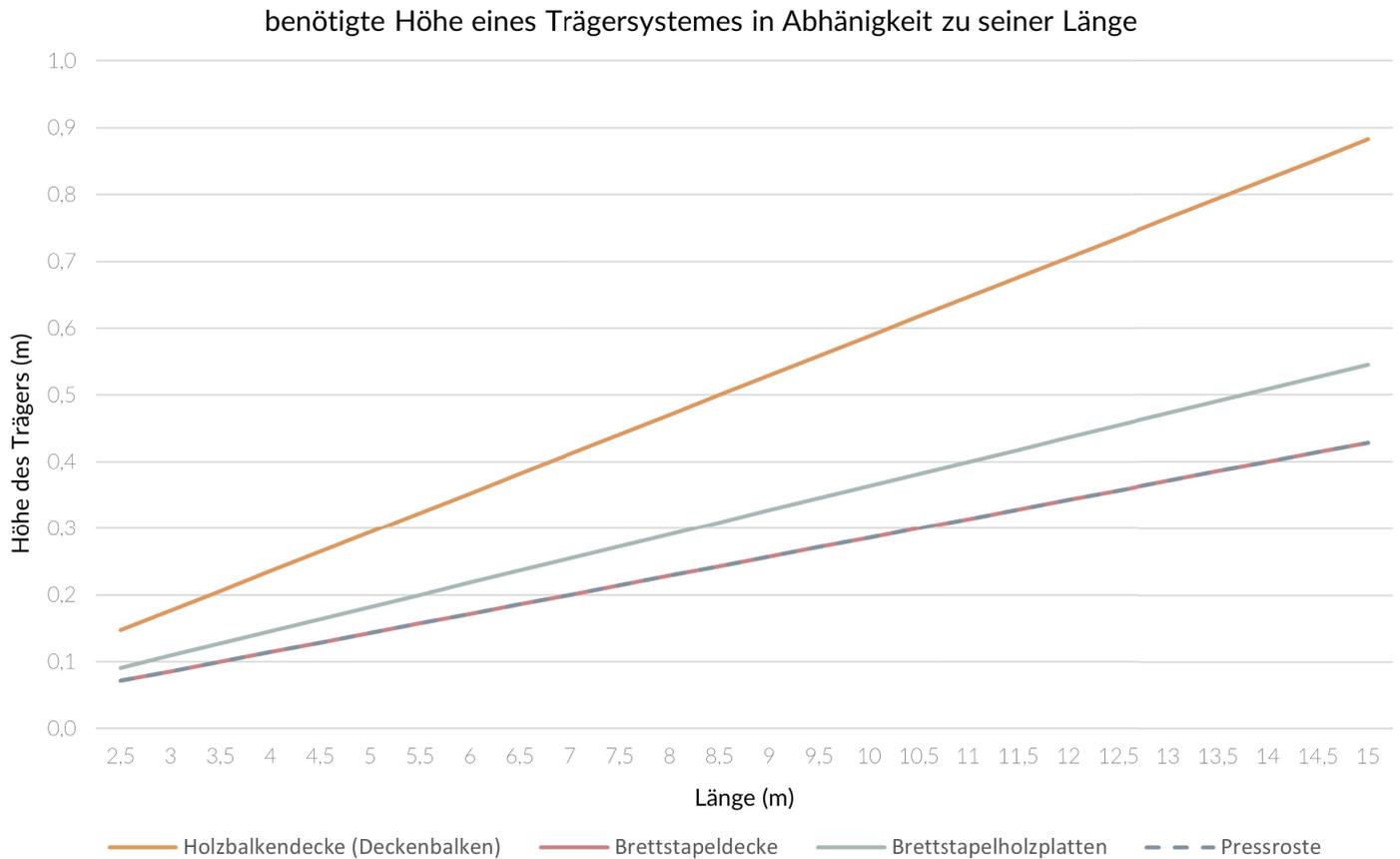


Abb. 21: Vordimensionierung nach Staffa. Eigene Darstellung

Bilanzierung mit Geschosslasten und Widerstandsmoment:

Um eine effiziente Spannweite der Decken zu ermitteln, kann berechnet werden, wie Holz dimensioniert werden muss, um entsprechende Lasten aufnehmen zu können. Diese Dimensionierung steht in Abhängigkeit zur Geschosslast und Länge der Decke. Dabei ist die auf dem Träger fallende Streckenlast von der Geschosslast und diese von den Nutzlasten des Geschosses, der Eigenlast des Tragwerkes und der Decken Konstruktion, sowie der Einzugsfläche des Trägers, abhängig. Dazu muss auch die Einzugsfläche des Trägers, welche sich aus dem Abstand der Stützen und Balken voneinander ergibt, berücksichtigt werden. (Staffa 2014)

Geht man von einer Balkendecke oder Hohlkastendecke aus, verteilt sich die entstehende Geschosslast auf die einzelnen „Unterszüge“ und ist damit abhängig von deren Abstand. Das folgende Diagramm gibt somit noch keine Aussage über den Abstand der Balken. Dafür gibt es das zweite Diagramm, welches die je nach Geschosslast und Abstand entstehende Last pro Träger errechnet. Die Werte des ersten Diagrammes sind ein Widerstandsmoment W in cm^3 , eine eher abstrakte Einheit, welche durch die Breite multipliziert mit der quadrierten Höhe eines Trägers berechnet wird. Welche Maße dabei welchen Widerstandsmoment erreichen, erkennt man in dem dritten Diagramm.

Die Berechnung der Diagramme ergibt sich aus den Rechnungen der nächsten Schritte. Für die Diagramme wird mit C24 Vollholz gerechnet.

Verwendete Faktoren:

$$f_m(C24) = 2,40 \frac{kN}{cm^2}$$

W in Abhängigkeit von q und L

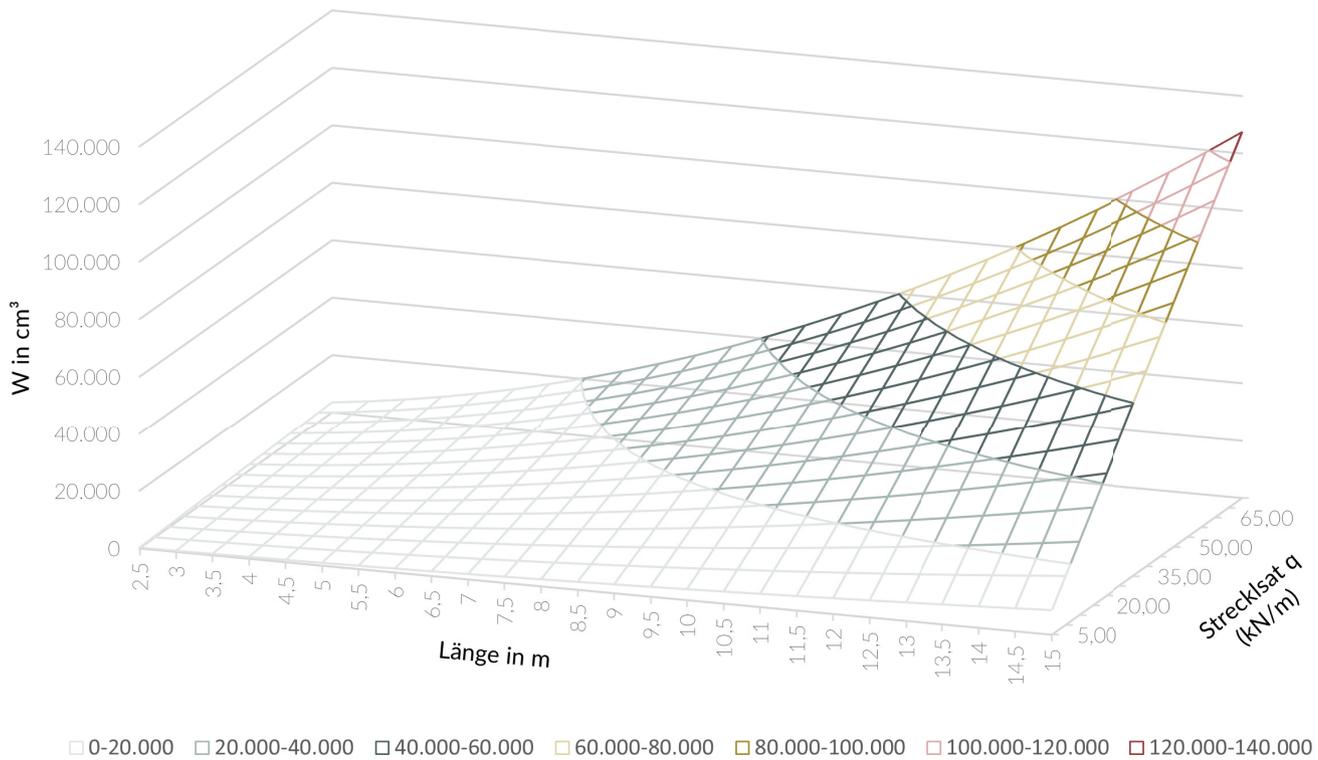


Abb. 22: W in Abhängigkeit von q und L. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$$f_m(C24) = 2,40 \frac{kN}{cm^2}$$

q in Abhängigkeit von Geschosslast und Balkenabstand

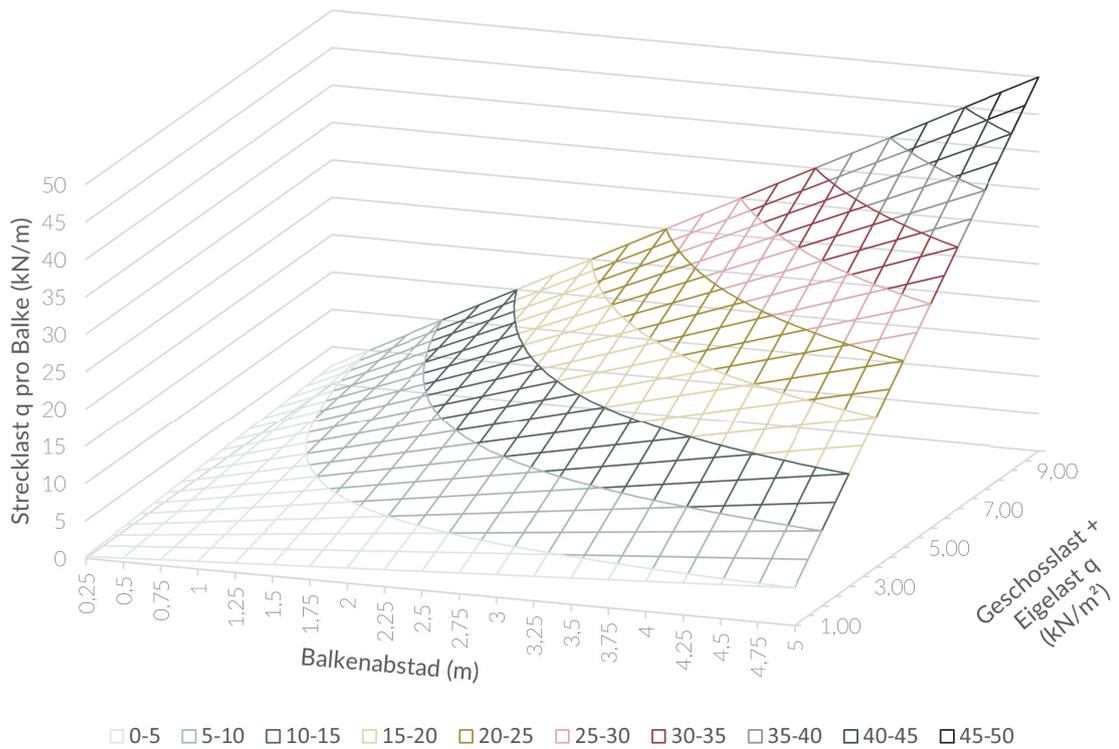


Abb. 23:: q in Abhängigkeit von Geschosslast und Balkenabstand. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$$f_m(C24) = 2,40 \frac{kN}{cm^2}$$

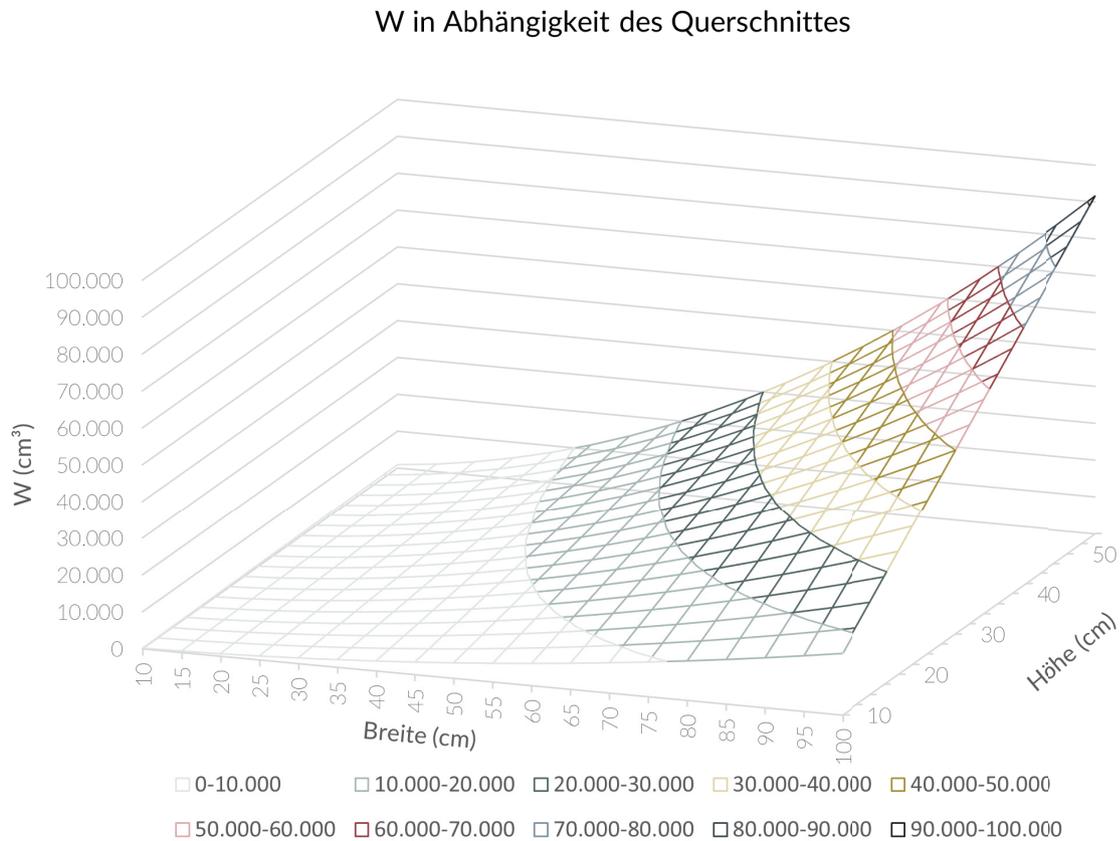


Abb. 24: W in Abhängigkeit des Querschnittes. Eigene Darstellung

Effizienz eines Trägers:

Um eine maximale Effizienz des Verhältnisses des benutzten Holzvolumens eines Balkens und dessen W zu erreichen, könnte man anhand der Höhe h , Breite b und Länge l das Volumen V und W berechnen und anschließend den Quotient W/V berechnen. Dabei wäre das Ziel einen möglichst hohen Wert zu erlangen, um bei minimalem V eine maximale W zu erreichen. Es entsteht ein Wirkungsgrad.

Ausgeschrieben erkennt man, dass bei einem Vergleich bei gleichbleibender Länge die Höhe des Balkens der entscheidende Faktor ist. Dieser Zusammenhang ist auch an dem Unterschied des linearen Anstiegs von W entlang der steigenden Breite verglichen mit dem exponentiellen Anstieg entlang der Höhe im Diagramm zu erkennen.

$$W = \text{Widerstandsmoment} = \frac{b \cdot h^2}{6} [cm^3]$$
$$V = \text{Volumen des Trägers} = l \cdot b \cdot h [m^3]$$
$$\text{Quotient} \left(\frac{W}{V} \right) = \frac{h^2 \cdot b}{h \cdot l \cdot b}$$
$$\text{Quotient} \left(\frac{W}{V} \right) = \frac{h}{l}$$

Der Quotient ist direktproportional abhängig zu der Höhe des Trägers und indirekt zu der Länge. Folglich ist der Effizienz keine mathematische Grenze gesetzt. Eine Grenze für die Dicke eines Baumes oder eines Balkens ist durch Verklebung mehrerer Hölzer ebenso wenig gegeben.

Bezieht man jedoch eine Trennung entlang des Balkens in Betracht, lässt sich für jede Länge eine effizienteste Anzahl an Balken, in welche die Spannweite aufgeteilt werden sollte, berechnen. Dabei ist nicht zu vernachlässigen, dass mehrere Balken auch weitere Stützen und Unterzüge benötigen, welche jedoch dünner dimensioniert werden können, da sie weniger Last aufnehmen müssen. Außerdem können extreme Höhen und Breiten die Baukonstruktion erschweren und eine Entwurfsfreiheit mindern. Um diese Rechnung durchzuführen, müssen wir ein Höhen-Breiten-Verhältnis für die Balken berechnen, um nicht zu viele Unbekannte

zu haben.

Die maximale Biegespannung $\sigma(\max)$ vor dem Versagen eines Trägers lässt sich mit dem maximal entstehenden Biegemoment $M(\max)$ und der maximalen Biegespannung des Materials f_t , unter Beachtung des Sicherheitswertes $\gamma = 1,45$, berechnen. (Staffa 2014)

$$x = \text{Verhältnis von } h \text{ zu } b = \frac{h}{b}$$
$$h = x \cdot b [m]$$
$$\text{Anz} = \text{Anzahl Balken}$$
$$L = \text{zu überspannende Länge} [m]$$
$$q_G = \text{Geschosslast} \left[\frac{kN}{m^2} \right]$$
$$b_E = \text{Breite Einzugsfeld der Flächenlast}$$
$$= \text{auf den Träger fallende Breite} [m]$$
$$\gamma = \text{Sicherheitswert} = 1,45$$

$$q_T = \text{Streckenlast auf den Träger} = q_G \cdot b_E \left[\frac{kN}{m^2} \cdot m = \frac{kN}{m} \right]$$
$$M_{max} = \text{max. Biegemoment} = \frac{q \cdot l^2}{8} [kNm]$$
$$\sigma_{max} = \text{max. Biegespannung des Trägers} \left[\frac{kN}{cm^2} = 10.000 \frac{kN}{m^2} \right]$$
$$f_t = \text{max. Biegespannung des Materials}$$
$$\geq \gamma * \sigma_{max} \left[\frac{kN}{cm^2} = \frac{kN}{10.000 m^2} \right]$$
$$W = \text{Widerstandsmoment} = \frac{b \cdot h^2}{6} [cm^3 = 0,000001 m^3]$$
$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W} \left[\frac{kNm}{m^3} = \frac{kN}{m^2} \right]$$
$$W = \frac{M_{max}}{\sigma_{max}} \left[\frac{kNm}{\frac{kN}{m^2}} = m^3 \right]$$

Berechnung des Volumens:

Es wird nach dem Volumen der benötigten Träger gesucht, in Abhängigkeit von dem Höhen-Breiten Verhältnis x des Trägers, seiner maximalen Biegespannung f_t , der zu überspannenden Länge L , der Anzahl der Träger für diese Länge Anz , der Geschosslast $q(G)$ und der auf den Träger fallenden Breite dieser Geschosslast $b(E)$. Folglich muss die Formel so umgestellt werden, dass anhand dieser Parameter ein Volumen, also die benötigte Materialmenge, berechnet werden kann. Um keine weitere Unbekannte hinzuzufügen und eine möglichst kreislaufgerechte Konstruktion zu ermöglichen, werden alle Träger als Einfeldträger berechnet.

$V = \text{Volumen des Trägers} = l \cdot b \cdot h \text{ [m}^3\text{]}$

$$V = \frac{L}{Anz} \cdot b \cdot xb \cdot Anz = L \cdot xb^2$$

L und x können verschieden vorgegeben werden, so muss noch b gefunden werden.

b lässt sich über W berechnen, da W aus b und x berechenbar ist und $M(\max)/\sigma(\max)$ entspricht.

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{b \cdot (xb)^2}{6} = \frac{x^2 \cdot b^3}{6}$$

$$W = \frac{M_{max}}{\sigma_{max}}$$

$M(\max)$ lässt sich mit $q(T)$ und der Länge der (des) entsprechenden Träger(s) für ein Feld berechnen L/Anz .

$$M_{max} = \frac{q_T \cdot \left(\frac{L}{Anz}\right)^2}{8} = \frac{q_G \cdot b_E \cdot \left(\frac{L}{Anz}\right)^2}{8}$$

$\delta(\max)$ ergibt sich aus der Beschaffenheit des Materials $f(t)$ und dem Sicherheitswert γ . Da wir das Material zwecks Suffizienz effizient und möglichst ausreizen wollen (nach Berücksichtigung des Sicherheitswertes), wird das Betrachten der Grenzwerte im Verlauf weggelassen. (Staffa 2014)

$$f_t \geq \gamma \cdot \sigma_{max}$$

$$\sigma_{max} = \frac{f_t}{\gamma}$$

$$W = \frac{M_{max}}{\sigma_{max}} = \frac{\frac{q_G \cdot b_E \cdot \left(\frac{L}{Anz}\right)^2}{8}}{\frac{f_t}{\gamma}} = \frac{q_G \cdot b_E \cdot \left(\frac{L}{Anz}\right)^2 \cdot \gamma}{f_t \cdot 8}$$

$$W = \frac{x^2 \cdot b^3}{6} = \frac{q_G \cdot b_E \cdot \left(\frac{L}{Anz}\right)^2 \cdot \gamma}{f_t \cdot 8}$$

$$x^2 \cdot b^3 = \frac{q_G \cdot b_E \cdot \left(\frac{L}{Anz}\right)^2 \cdot \gamma \cdot 6}{f_t \cdot 8}$$

$$b^3 = \frac{q_G \cdot b_E \cdot \left(\frac{L}{Anz}\right)^2 \cdot \gamma \cdot 6}{f_t \cdot 8 \cdot x^2}$$

$$b = \sqrt[3]{\frac{q_G \cdot b_E \cdot \left(\frac{L}{Anz}\right)^2 \cdot \gamma \cdot 6}{f_t \cdot 8 \cdot x^2}}$$

Setzt man das b in Abhängigkeit von x, y, z, l, Anz und f(t) in die Formel für das Volumen ein, so kann man Graphen entwickeln, welche diese Abhängigkeitsverhältnisse darstellt.

$V_{Tr} = \text{Volumen der Träger/ des Trägers [m}^3\text{]}$

$$V_{Tr} = L \cdot xb^2 = L \cdot x \cdot \left(\sqrt[3]{\frac{q_G \cdot b_E \cdot \left(\frac{L}{Anz}\right)^2 \cdot \gamma \cdot 6}{f_t \cdot 8 \cdot x^2}}\right)^2$$

$$= L \cdot x \cdot \left(\frac{\gamma \cdot 6}{8} \cdot \frac{q_G \cdot b_E \cdot \left(\frac{L}{Anz}\right)^2}{f_t \cdot x^2}\right)^{\frac{2}{3}} = L \cdot x \cdot \left(\frac{\gamma \cdot 3}{4} \cdot \frac{q_G \cdot b_E \cdot \left(\frac{L}{Anz}\right)^2}{f_t \cdot x^2}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$V_{Tr} = Lx \left(\frac{3\gamma}{4} \cdot \frac{q_G \cdot b_E \cdot \left(\frac{L}{Anz}\right)^2}{f_t \cdot x^2}\right)^{\frac{2}{3}}$$

Nun kann Einheitencheck durchgeführt werden, dabei wird hier $\gamma=1,45$, $x=2$ und $Anz=2$ gesetzt, jedoch haben diese Werte keine Bedeutung.

$$V_{Tr} = Lx \left(\frac{3\gamma}{4} \cdot \frac{q_G \cdot b_E \cdot \left(\frac{L}{Anz}\right)^2}{f_t \cdot x^2}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$m^3 = m \cdot \cancel{2} \cdot \left(\frac{\cancel{3} \cdot 1,45}{4} \cdot \frac{\frac{kN}{m^2} \cdot m \cdot \left(\frac{m}{\cancel{2}}\right)^2}{\frac{kN}{m^2}}\right)^{\frac{2}{3}} = m \cdot \left(\frac{\frac{kN}{m^2} \cdot m \cdot m^2}{\frac{kN}{m^2}}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$= m \cdot \left(\frac{\frac{kN \cdot m \cdot m^2}{m^2}}{\frac{kN}{m^2}}\right)^{\frac{2}{3}} = m \cdot \left(\frac{kN \cdot m}{\frac{kN}{m^2}}\right)^{\frac{2}{3}} = m \cdot \left(\frac{kN \cdot m \cdot m^2}{kN}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$= m \cdot (m^3)^{\frac{2}{3}} = m \cdot (\sqrt[3]{m^3})^2 = m \cdot m^2$$

$$= m^3$$

Die Formel funktioniert.

Um die Höhe des Querschnittes $h(Tr)$ zu bekommen muss man x mit b multiplizieren.

$h_{Tr} = \text{Höhe des Trägers} = x \cdot b \text{ [m]}$

Im Folgenden werden Graphen entlang der zu überspannenden Länge L und der Anzahl der dafür verwendeten Balken Anz berechnet. Die unterschiedlichen Diagramme haben dabei verschiedene Werte für das Höhen-Breiten Verhältnis x des Trägers, der maximalen Biegespannung seines Materials $f(t)$, der Geschosslast $q(G)$ und der auf den Träger fallenden Einzugsfläche dieser Geschosslast $b(E)$. Theoretisch besteht auch die Abhängigkeit zu γ , jedoch wird im Folgenden immer mit $\gamma=1,45$ gerechnet.

Verwendete Faktoren:

$$f_m(C24) = 2,40 \frac{kN}{cm^2}$$

$$x = 3$$

$$q_G = 5 \frac{kN}{m^2}$$

$$b_E = 10m$$

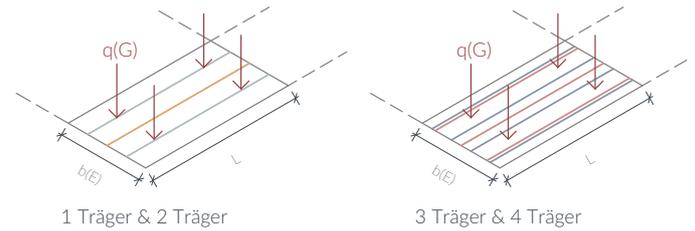


Abb. 25: Skizze Vordimensionierung 1. Eigene Darstellung

Holzvolumen und Trägerhöhe in Abhängigkeit der zu überspannenden Länge und der dafür verwendete Anzahl an Träger (Aufteilung Länge)

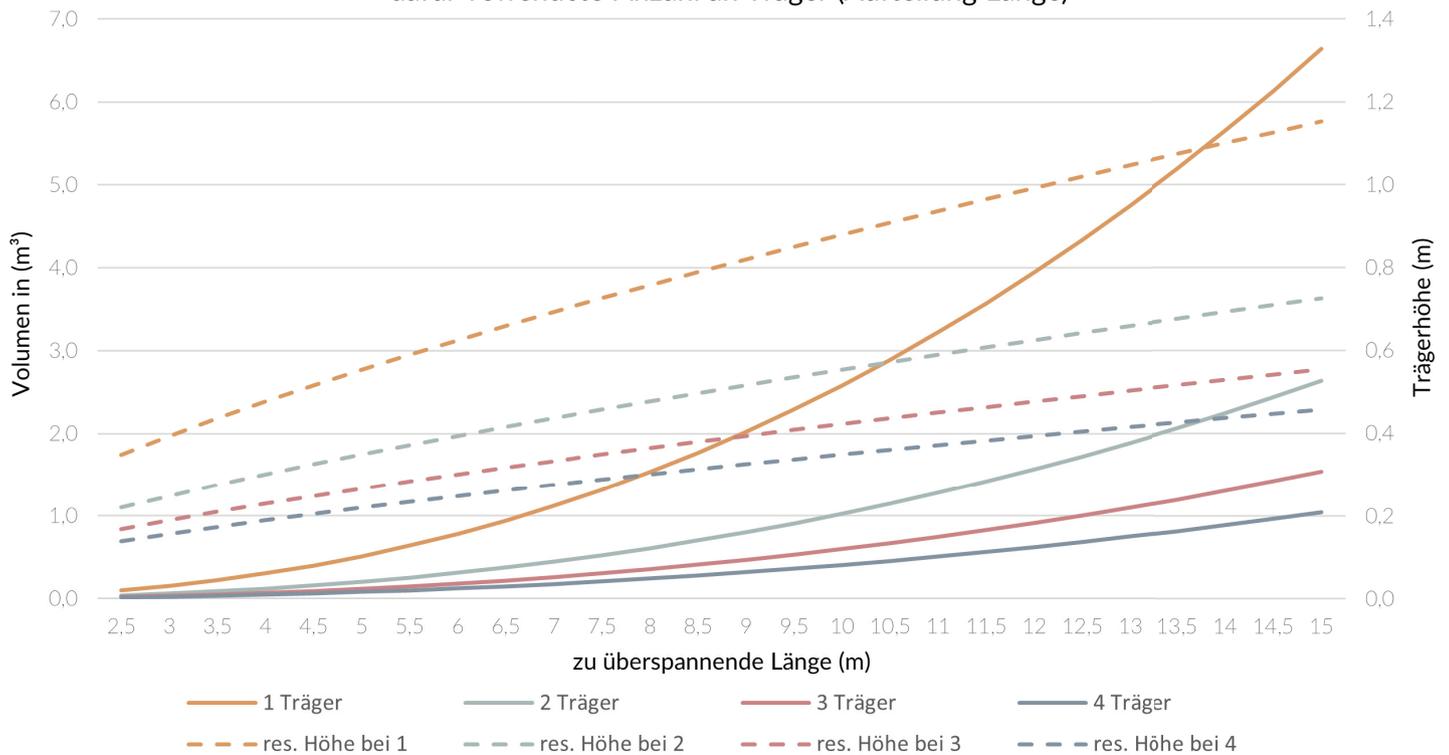


Abb. 26: Vordimensionierung Träger Länge. Eigene Darstellung

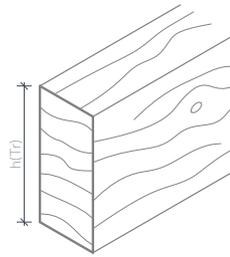
Verwendete Faktoren:

$$f_m(C24) = 2,40 \frac{kN}{cm^2}$$

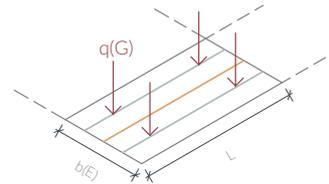
$$x = 3$$

$$q_G = 5 \frac{kN}{m^2}$$

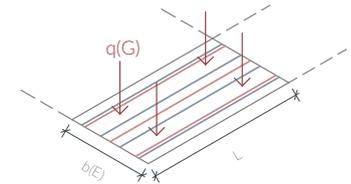
$$b_E = 10m$$



resultierende Höhe



1 Träger & 2 Träger



3 Träger & 4 Träger

Abb. 27: Skizze Vordimensionierung 2. Eigene Darstellung

Holzvolumen und Trägerhöhe in Abhängigkeit der zu überspannenden Länge und der dafür verwendete Anzahl an Träger (Aufteilung Breite)

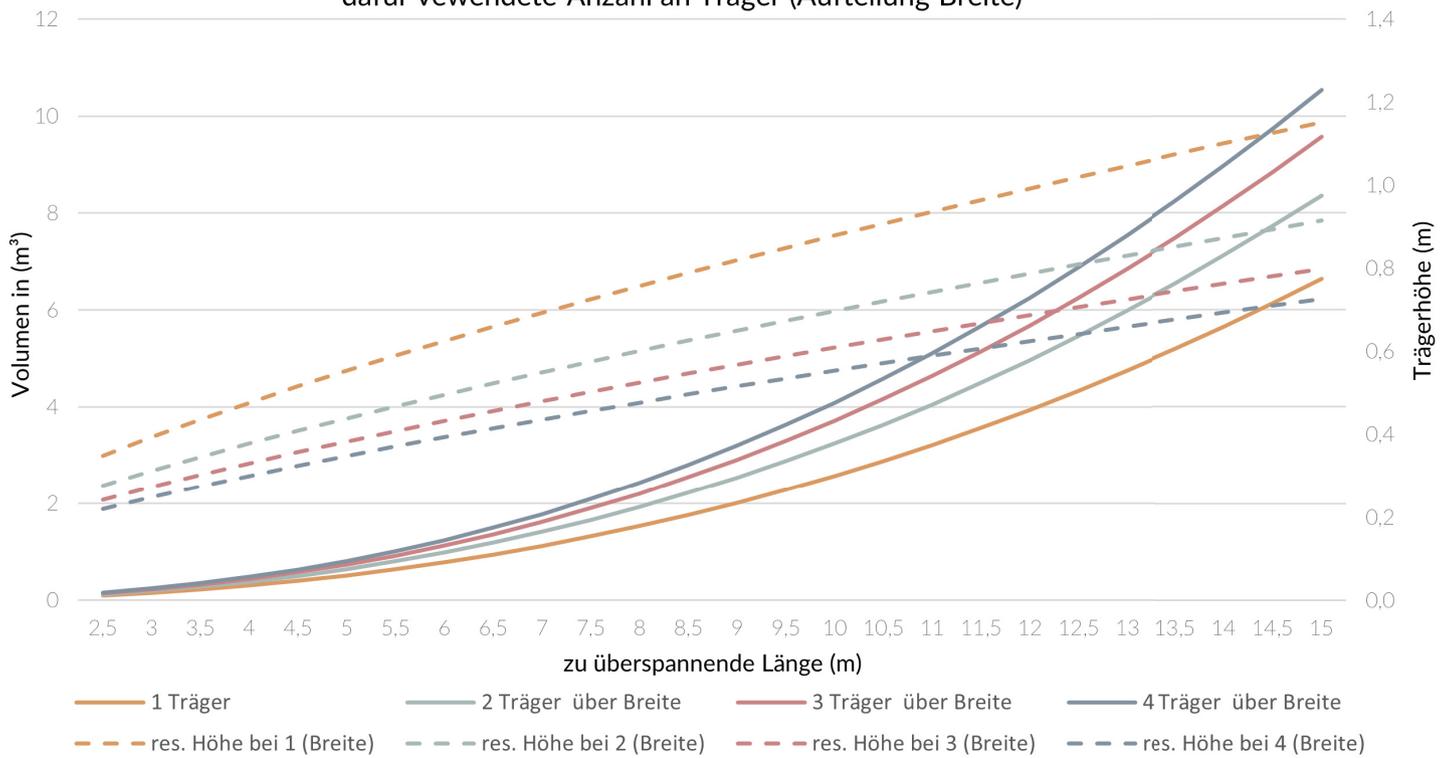


Abb. 28: Vordimensionierung Träger Breite. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$$f_m(C24) = 2,40 \frac{kN}{cm^2}$$

$$x = 3$$

$$q_G = 5 \frac{kN}{m^2}$$

$$b_E = 10m$$

Holzvolumen und Trägerhöhe in Abhängigkeit der zu überspannenden Länge

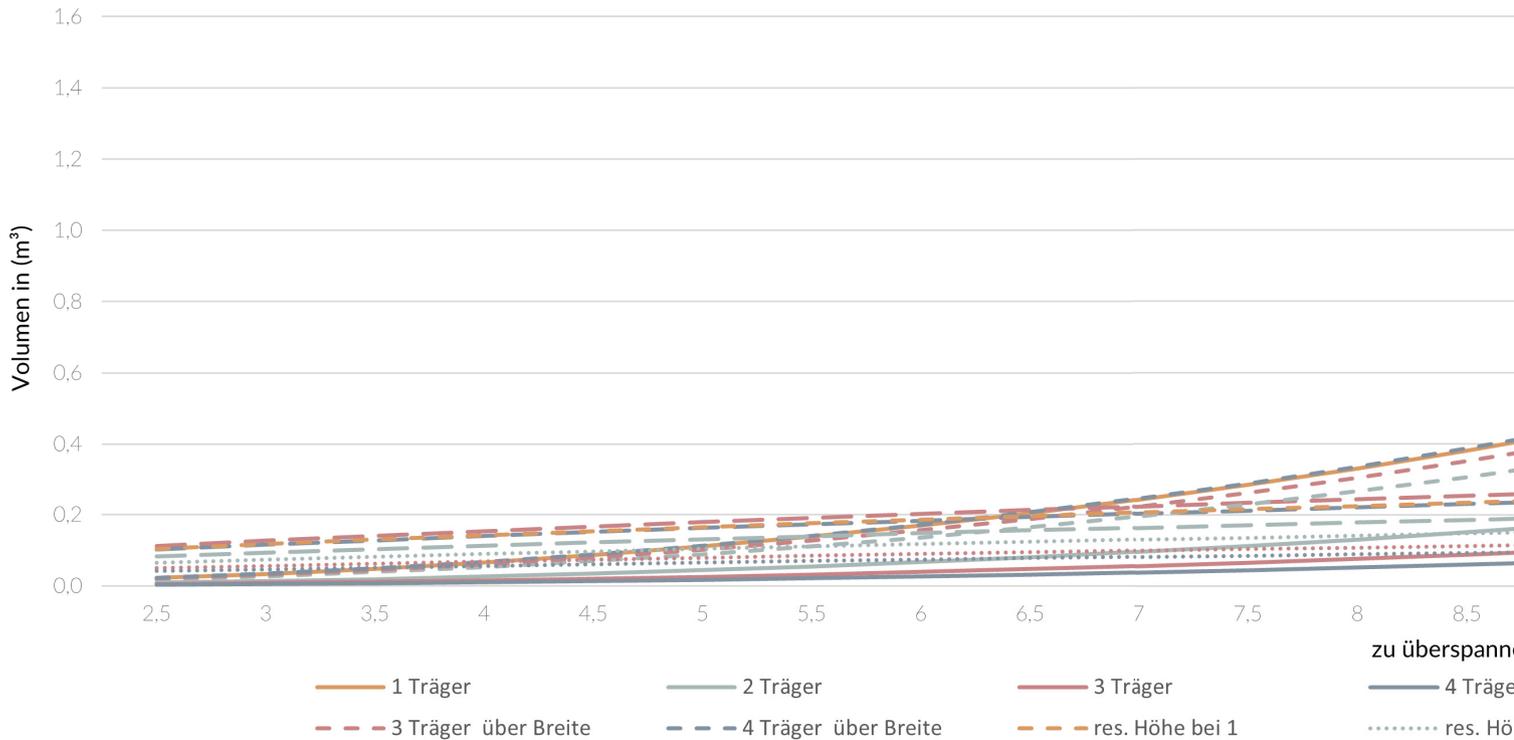


Abb. 30: Vordimensionierung Träger Länge oder Breite. Eigene Darstellung

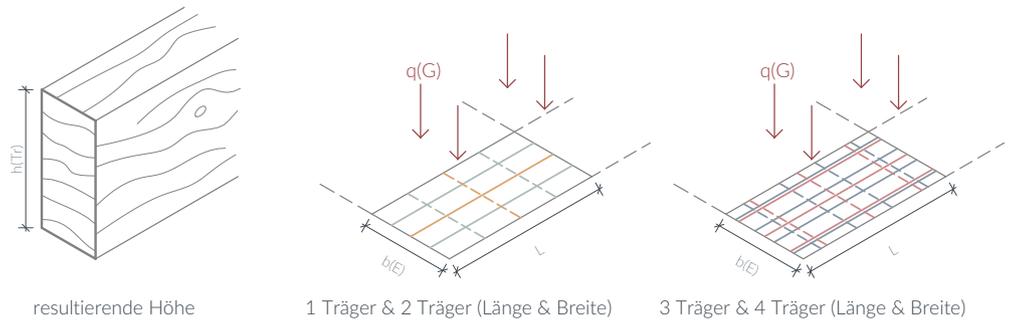
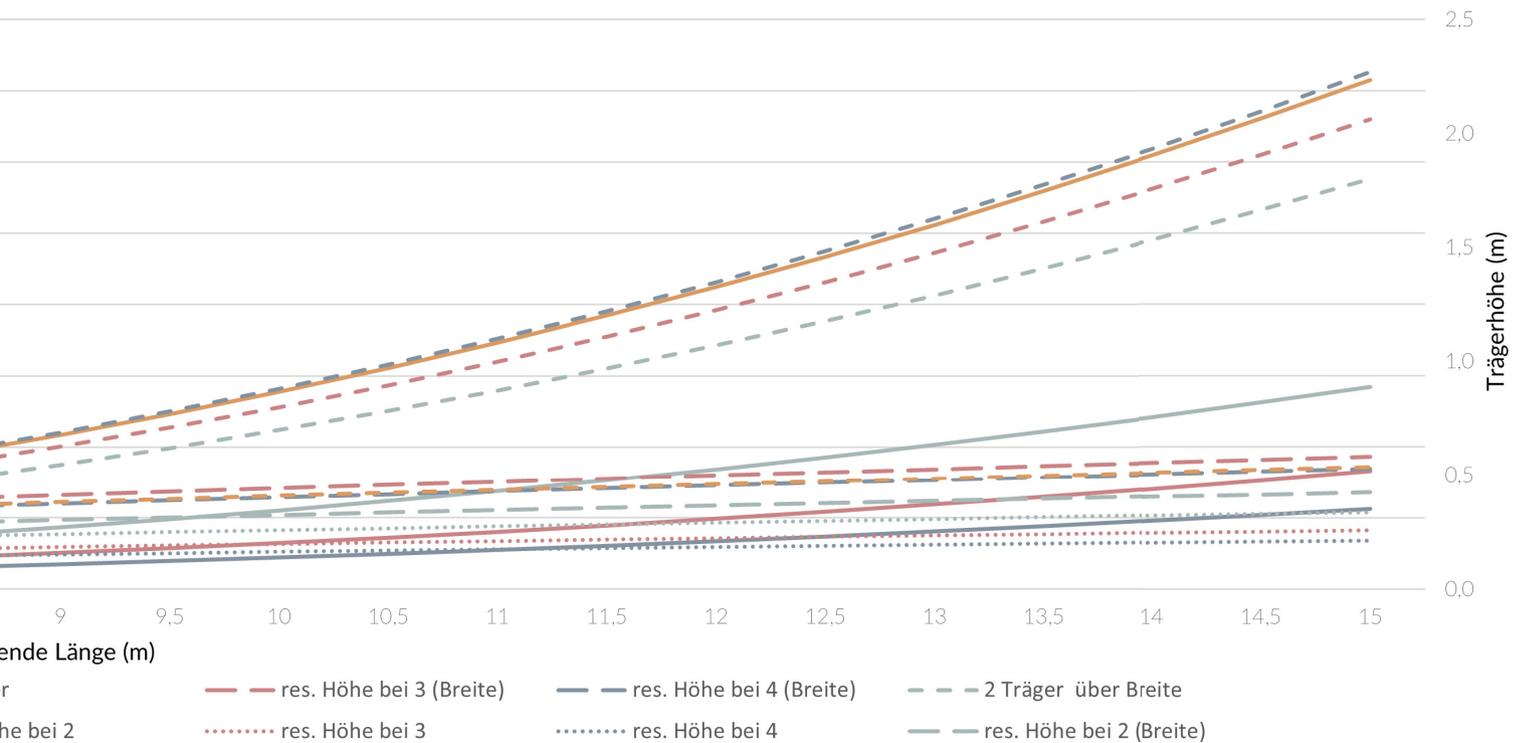


Abb. 29: Skizze Vordimensionierung 3. Eigene Darstellung

länge und der dafür verwendete Anzahl an Träger (Aufteilung Länge oder Breite)



Verwendete Faktoren:

$$f_m(C24) = 2,40 \frac{kN}{cm^2}$$

$$x = 3$$

$$q_G = 5 \frac{kN}{m^2}$$

$$b_E = 10m$$

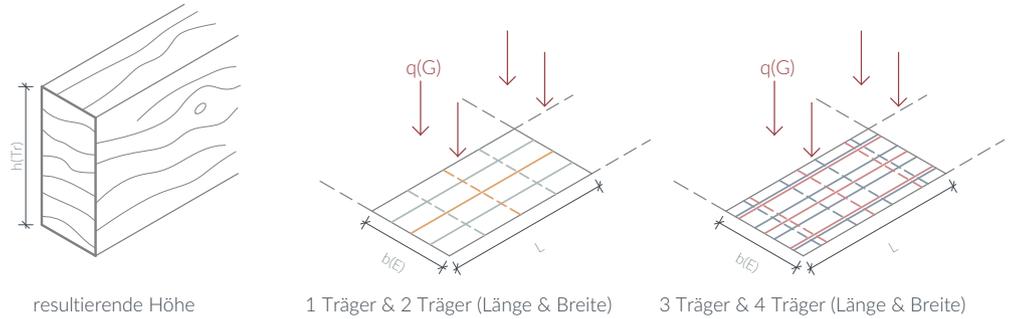


Abb. 29: Skizze Vordimensionierung 3. Eigene Darstellung

Holzvolumen und Trägerhöhe in Abhängigkeit der zu überspannenden Länge und der dafür verwendete Anzahl an Träger (Aufteilung Länge & Breite) 2

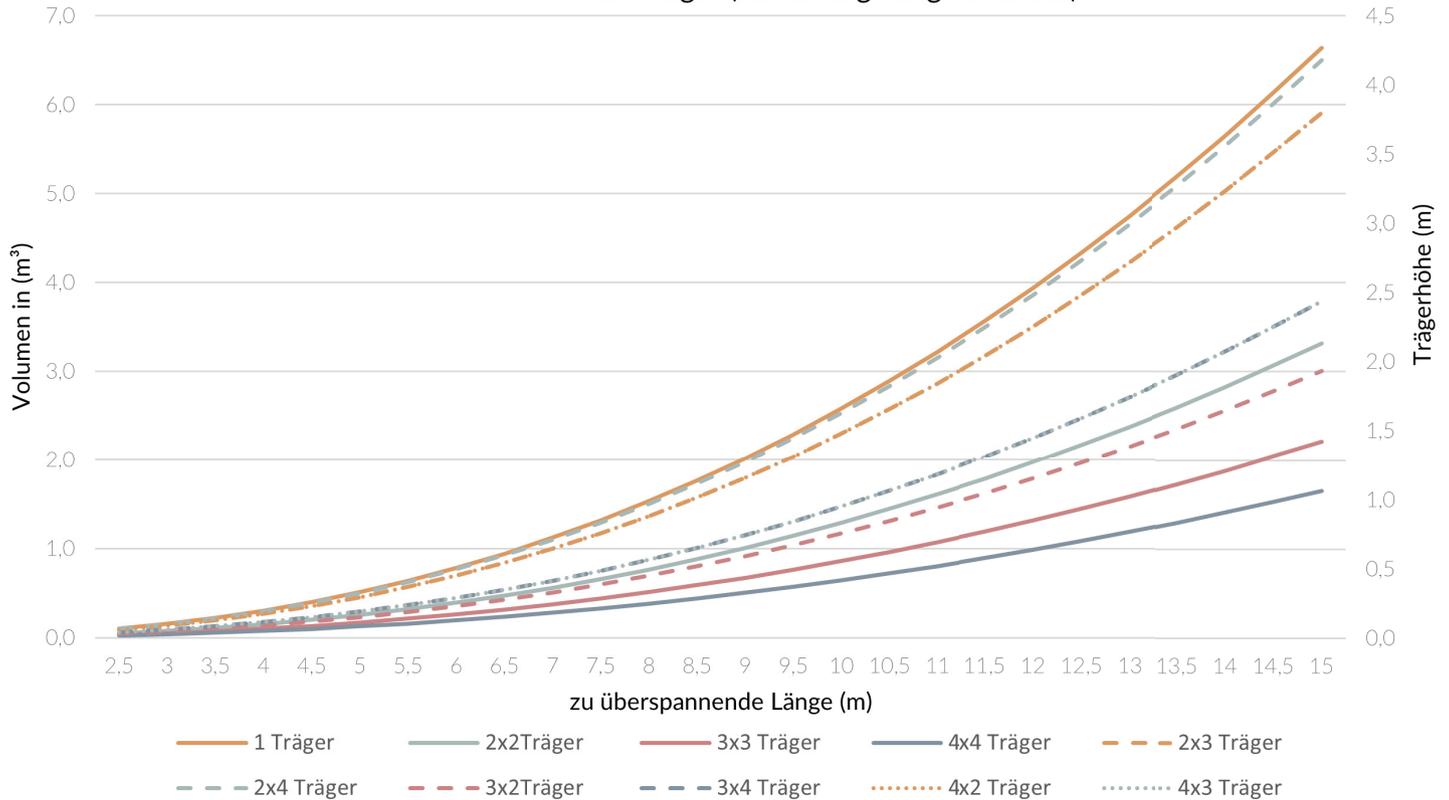


Abb. 31: Vordimensionierung Träger Länge und Breite. Eigene Darstellung

Die Aufteilung entlang der Spannrichtung erhöht die Effizienz des eingesetzten Materials immer. Das entsteht durch die quadratische Abhängigkeit der zu überspannenden Länge, welche durch die Aufteilung in mehrere Felder durch die quadratische Abhängigkeit weitaus weniger stark wirkt. Bei der Aufteilung der Einzugsfläche entlang der Breite ist dem nicht so. Das resultiert aus der Effizienz von W und dessen Abhängigkeit zu der quadrierten Höhe des Balkens. Jedoch ist der Breiten-Abstand zwischen den Balken nicht zu groß zu wählen, sonst werden zusätzliche Querelemente zur Abtragung benötigt. In diesem Fall sollen Plattenwerkstoffe als Lastabtrag des Elements ausreichen.

Dimensionierung Stützen über Knicklänge:

Durch das Aufteilen in mehrere Träger werden mehr Stützen benötigt, welche jedoch weniger belastet sind und dadurch kleiner dimensioniert werden können. Das Volumen der Stützen gilt es auch zu berechnen und auf das jeweilige Volumen der Decke zu addieren, um die effizienteste Kombination zu finden. Dafür wird mit der Euler'schen Knickformel für die kritische Knicklast $F(k)$ bei einer quadratischen Stütze mit Seitenlänge $b(s)$ gerechnet. Für das Elastizitätsmodul E von Konstruktionsvollholz (KVH) wird mit $1,1\text{kN/cm}^2$ gerechnet (Ernst 2023).

Von den vier Eulerfällen trifft hier Fall 2 und damit der Faktor $(k=1)$ zu, da die Stütze nicht als ein eingespannter oder komplett freibeweglicher Träger geplant wird (Johannes 2019).

Im nächsten Schritt wird dann die aus den Trägern abgeleitete Kraft $F(St)$ mit $F(k)$ gleichgesetzt. Auch hier wird mit dem Sicherheitswert gerechnet und zwecks einer Grenzwertermittlung wird das Betrachten der Grenzwerte im Verlauf weggelassen.

$$b_s = \text{Breite der Stütze [m]}$$

$$l_h = \text{Höhe der Stütze bzw. des Geschosses [m]}$$

$$I = \text{Flächenträgheitsmoment} = \frac{b_s^4}{12} [\text{cm}^4]$$

$$W = \text{Widerstandsmoment} = \frac{b_s^3}{6} [\text{cm}^3]$$

$$E = \text{Elastizitätsmodul KVH} = 1,1\text{kN/cm}^2 = \frac{1,1\text{kN/cm}^2}{10.000}$$

$$k = \text{bestimmt durch Euler, hier} = 1$$

$$F_k = \text{Kraft unter welcher die Stütze knickt} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(k \cdot l_h)^2}$$

$$= \frac{\pi^2 \cdot E \cdot \frac{b_s^4}{12}}{(k \cdot l_h)^2} [\text{N}]$$

$$F_t = \text{aus den Trägern abgeleitete Kraft auf die Stütze}$$

$$= q_T \cdot L = q_G \cdot b_E \cdot L [\text{kN}]$$

$$1.000 \cdot F_t \cdot \gamma \leq F_k$$

$$1.000 \cdot F_t \cdot \gamma = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot \frac{b_s^4}{12}}{(k \cdot l_h)^2}$$

$$1.000 \cdot F_t \cdot \gamma \cdot (k \cdot l_h)^2 = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot b_s^4}{12}$$

$$b_s^4 = \frac{\gamma \cdot 12 \cdot 1.000 \cdot F_t \cdot (k \cdot l_h)^2}{\pi^2 \cdot E}$$

$$b_s = \sqrt[4]{\frac{\gamma \cdot 12.000 \cdot q_G \cdot b_E \cdot L \cdot (k \cdot l_h)^2}{\pi^2 \cdot E}}$$

Einheitencheck:

$$b_s = \sqrt[4]{\frac{\gamma \cdot 12.000 \cdot q_G \cdot b_E \cdot L \cdot (k \cdot l_h)^2}{\pi^2 \cdot E}}$$

$$m = \sqrt[4]{\frac{1,45 \cdot 12.000 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \text{m} \cdot \text{m} \cdot (\text{m})^2}{\frac{1087 \text{ kN}}{\text{m}^2}}} = \sqrt[4]{\frac{\text{kN} \cdot (\text{m})^2}{\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}} = \sqrt[4]{\text{m}^4}$$

Die Formel funktioniert.

Das Volumen einer quadratischen Stütze lässt sich berechnen aus:

$$V_{St} = \text{Volumen einer quadratischen Stütze [m}^3]$$

$$V_{St} = b_s^2 \cdot l_h = l_h \cdot \left(\sqrt[4]{\frac{\gamma \cdot 12.000 \cdot q_G \cdot b_E \cdot L \cdot (k \cdot l_h)^2}{\pi^2 \cdot E}} \right)^2$$

$$= L \cdot \sqrt[2]{\frac{\gamma \cdot 12.000 \cdot q_G \cdot b_E \cdot L \cdot (k \cdot l_h)^2}{\pi^2 \cdot E}}$$

Bei einem Geschossbau fallen auf die außenliegenden Stützen die Hälfte der Last verglichen zu mittig platzierten Stützen (bei einer symmetrischen Lastableitung). Des Weiteren müssen außenstehende Stützen dicker dimensioniert werden, da Sie nicht gleichmäßig belastet werden. (Staffa 2014)

Für diese dickere Dimensionierung wird hier der Faktor 1,1 für die Breite des Querschnitts gewählt. Die folgenden Berechnungen

basieren deshalb auf der Anzahl der Träger (Anz). Damit ergibt sich folgende Formel für das Volumen aller Stützen.

Wie oben beschrieben fangen die am Rand stehenden Stützen nur die Hälfte der Lasten im Vergleich zu den innenliegenden Stützen auf. Deshalb muss die gesamte Last durch die Anzahl an Stützen - 1 geteilt und dann mit 1/2 multipliziert werden, um die Last auf eine

äußere Stütze zu erhalten. So werden die außenstehenden Stützen zusammenbetrachtet, als wären sie eine vollwertig lastabtragende. Anzahl an Stützen - 1 entspricht der Anzahl an Trägern (Anz). Es gibt immer zwei äußere Stützen, sobald innere dazukommen, werden diese mit in das Volumen aufgenommen. Das passiert im zweiten Teil des Terms.

$$V_{St,Rand} = \text{Volumen einer Stütze am Rand} = L \cdot 1,1 \cdot \sqrt[2]{\frac{\gamma \cdot 12.000 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{q_G \cdot b_E \cdot L}{Anz} \cdot (k \cdot l_h)^2}{\pi^2 \cdot E}} [m^3]$$

$$V_{St,innen} = \text{Volumen einer Stütze im Inneren} = L \cdot \sqrt[2]{\frac{\gamma \cdot 12.000 \cdot \frac{q_G \cdot b_E \cdot L}{Anz} \cdot (k \cdot l_h)^2}{\pi^2 \cdot E}} [m^3]$$

$$V_{St,gessamt} = \text{Gesamtvolumen der Stützen} = 2 \cdot V_{St,Rand} + (Anz - 1) \cdot V_{St,innen} [m^3]$$

$$V_{St,gessamt} = 2 \cdot L \cdot 1,1 \cdot \sqrt[2]{\frac{\gamma \cdot 12.000 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{q_G \cdot b_E \cdot L}{Anz} \cdot (k \cdot l_h)^2}{\pi^2 \cdot E}} + (Anz - 1) \cdot L \cdot \sqrt[2]{\frac{\gamma \cdot 12.000 \cdot \frac{q_G \cdot b_E \cdot L}{Anz} \cdot (k \cdot l_h)^2}{\pi^2 \cdot E}}$$

Zusammengesetzt mit dem Volumen der Träger ergibt sich:

$$V_{ges} = \text{Gesamtvolumen der Träger und Stützen} [m^3]$$

$$V_{ges} = V_{Tr} + 2 \cdot V_{St,Rand} + (Anz - 1) \cdot V_{St,innen}$$

$$V_{ges} = L \cdot x \cdot \left(\frac{\gamma \cdot 3}{4} \cdot \frac{q_G \cdot b_E \cdot L}{f_t \cdot x^2} \left(\frac{L}{Anz} \right)^2 \right)^{\frac{2}{3}} + 2 \cdot L \cdot 1,1 \cdot \sqrt[2]{\frac{\gamma \cdot 12.000 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{q_G \cdot b_E \cdot L}{Anz} \cdot (k \cdot l_h)^2}{\pi^2 \cdot E}} + (Anz - 1) \cdot L \cdot \sqrt[2]{\frac{\gamma \cdot 12.000 \cdot \frac{q_G \cdot b_E \cdot L}{Anz} \cdot (k \cdot l_h)^2}{\pi^2 \cdot E}}$$

Dimensionierung Stützen über Last:

Mit der Eulerschen Formel lässt sich nur die maximale Tragfähigkeit schlanker Stützen berechnen, da die Berechnung auf dem Knickmoment beruht. Ab einem gewissen Querschnitt bei einer bestimmten Höhe versagt eine Stütze durch die Belastungsgrenze des Materials, nicht durch das Wegknicken. (Ernst 2023)

Die folgende Formel basiert auf der Bemessung der Drucktragfähigkeit einer Stütze nach DIN EN 1995-1-1:2023-10 (DIN 2023).

χ = Reduktionsfaktor für Knicken = 1

k_{mod} = Modifikationsfaktor für die Festigkeit von Holz und Holzwerkstoffen = 0,8 (Wohnraumstütze innen)

A_q = Querschnittsfläche = $b_s^2 [m^2]$

$f_{c,k}$ = Druckfestigkeit $[N/mm^2 = 18N/mm^2]$

γ_m = Material-Teilsicherheitsbeiwert

$f_{c,d}$ = Bemessungswert der Druckfestigkeit KVH

$$= \frac{k_{mod} \cdot f_{c,k}}{\gamma_m} \left[\frac{N}{mm^2} = 1.000 \frac{kN}{m^2} \right]$$

$N_{b,Rd}$ = Druckfähigkeit der Stütze = $\chi \cdot A \cdot f_{c,d} [N]$

$$1.000 \cdot F_t \cdot \gamma = N_{b,Rd}$$

$$1.000 \cdot F_t \cdot \gamma = \chi \cdot A_q \cdot 1.000 \cdot f_{c,d}$$

$$F_t \cdot \gamma = \chi \cdot b_s^2 \cdot f_{c,d}$$

$$b_s^2 = \frac{F_t \cdot \gamma}{\chi \cdot \frac{k_{mod} \cdot f_{c,k}}{\gamma_m}}$$

$$b_s = \sqrt[2]{\frac{q_G \cdot b_E \cdot L \cdot \gamma \cdot \gamma_m}{\chi \cdot k_{mod} \cdot f_{c,k}}}$$

Einheitencheck:

$$b_s = \sqrt[2]{\frac{q_G \cdot b_E \cdot L \cdot \gamma \cdot \gamma_m}{\chi \cdot k_{mod} \cdot f_{c,k}}}$$

$$m = \sqrt[2]{\frac{\frac{kN}{m^2} \cdot m \cdot m \cdot 1,45 \cdot 1,3}{1,0 \cdot 0,8 \cdot \frac{N}{mm^2}}} = \sqrt[2]{\frac{kN}{\frac{kN}{m^2}}} = \sqrt[2]{m^2} = m$$

Um einen Term für das Volumen der Stützen zu bekommen, müsste mit der Formel aus der Dimensionierung Stützen über Knicklänge wie folgt gerechnet werden.

$$V_{St,gesamt} = \text{Gesamt V Stützen} = 2 \cdot V_{St,Rand} + (Anz - 1) \cdot V_{St,innen}$$

$$V_{St,Rand} = 1,1 \sqrt[2]{\frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{q_{G+b_E} \cdot L}{Anz} \cdot \gamma \cdot \gamma_m}{\chi \cdot k_{mod} \cdot f_{c,k}}}$$

$$V_{St,innen} = L \cdot \sqrt[2]{\frac{\frac{q_{G+b_E} \cdot L}{Anz} \cdot \gamma \cdot \gamma_m}{\chi \cdot k_{mod} \cdot f_{c,k}}}$$

$$V_{St,gesamt} = 2L \cdot 1,1 \sqrt[2]{\frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{q_{G+b_E} \cdot L}{Anz} \cdot \gamma \cdot \gamma_m}{\chi \cdot k_{mod} \cdot f_{c,k}}} + (Anz - 1)L \cdot \sqrt[2]{\frac{\frac{q_{G+b_E} \cdot L}{Anz} \cdot \gamma \cdot \gamma_m}{\chi \cdot k_{mod} \cdot f_{c,k}}}$$

Um die Breite des Querschnittes zu bekommen, kann mit folgender Formel die Breite für die Randstützen berechnet werden.

$$b_{St,Rand} = 1,1 \cdot \sqrt[2]{\frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{q_{G+b_E} \cdot L}{Anz} \cdot \gamma \cdot \gamma_m}{\chi \cdot k_{mod} \cdot f_{c,k}}} [m]$$

Und mit dieser Formel die der inneren Stützen:

$$b_{St,innen} = \sqrt[2]{\frac{\frac{q_{G+b_E} \cdot L}{Anz} \cdot \gamma \cdot \gamma_m}{\chi \cdot k_{mod} \cdot f_{c,k}}} [m]$$

Wie zuvor beschrieben hängt der Knickpunkt der unterschiedlichen Berechnungen von dem Querschnitt ab. Dieser wird jedoch gesucht und kann somit nicht vor der Berechnung des Volumens berücksichtigt werden. Um das zu umgehen, können beide Ansätze berechnet werden, und der größere Querschnitt wird für das Berechnen des Volumens benutzt. Damit ist das Ergebnis statisch korrekt. Dadurch entsteht folgender Term.

$$V_{ges} = V_{Tr} + 2 \cdot \max(V_{St,Rand}) + (Anz - 1) \cdot \max(V_{St,innen})$$

$$V_{ges} = L \cdot x \cdot \left(\frac{\gamma \cdot 3}{4} \cdot \frac{q_{G+b_E} \cdot \left(\frac{L}{Anz}\right)^2}{f_t \cdot x^2} \right)^{\frac{2}{3}} + 2 \cdot L \cdot 1,1 \cdot \max\left(\sqrt[2]{\frac{\gamma \cdot 12.000 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{q_{G+b_E} \cdot L}{Anz} \cdot (k \cdot l_h)^2}{\pi^2 \cdot E}}; \sqrt[2]{\frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{q_{G+b_E} \cdot L}{Anz} \cdot \gamma \cdot \gamma_m}{\chi \cdot k_{mod} \cdot f_{c,k}}}\right)$$

$$+ (Anz - 1) \cdot L \cdot \max\left(\sqrt[2]{\frac{\gamma \cdot 12.000 \cdot \frac{q_{G+b_E} \cdot L}{Anz} \cdot (k \cdot l_h)^2}{\pi^2 \cdot E}}; \sqrt[2]{\frac{\frac{q_{G+b_E} \cdot L}{Anz} \cdot \gamma \cdot \gamma_m}{\chi \cdot k_{mod} \cdot f_{c,k}}}\right)$$

Verwendete Faktoren:

$$f_m(C24) = 2,40 \frac{kN}{cm^2}$$

$$x = 3$$

$$q_G = 5 \frac{kN}{m^2}$$

$$b_E = 10m$$

Holzvolumen, Trägerhöhe und Stützbreite in Abhängigkeit der zu über

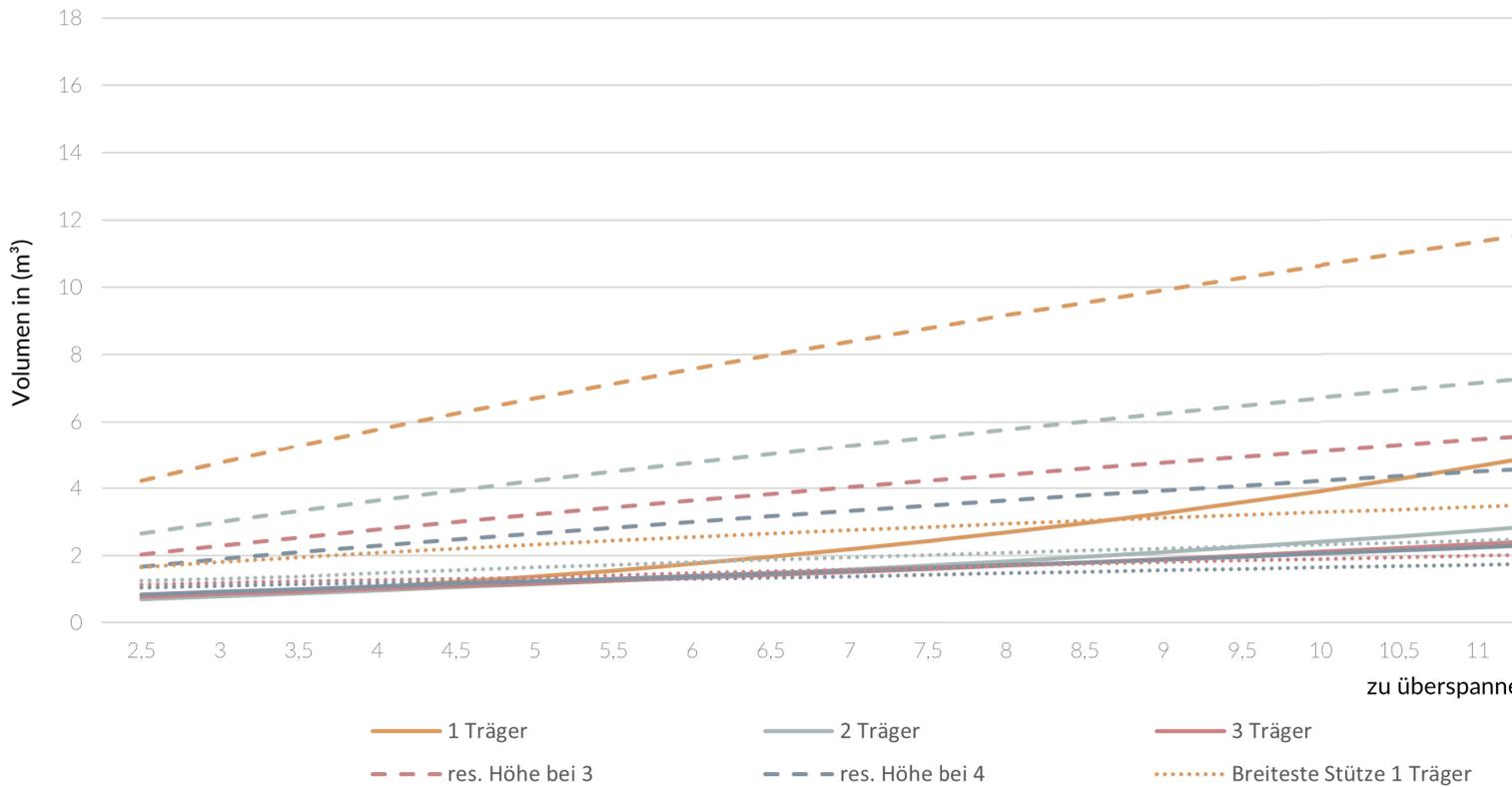
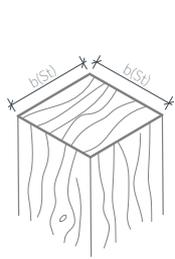
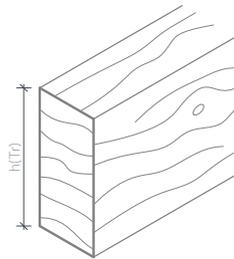


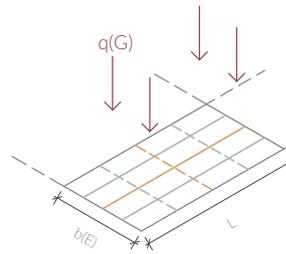
Abb. 33: Vordimensionierung Träger & Stützen. Eigene Darstellung



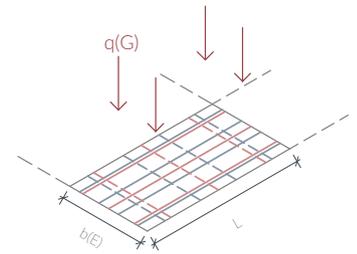
resultierende Breite (Stütze)



resultierende Höhe (Träger)



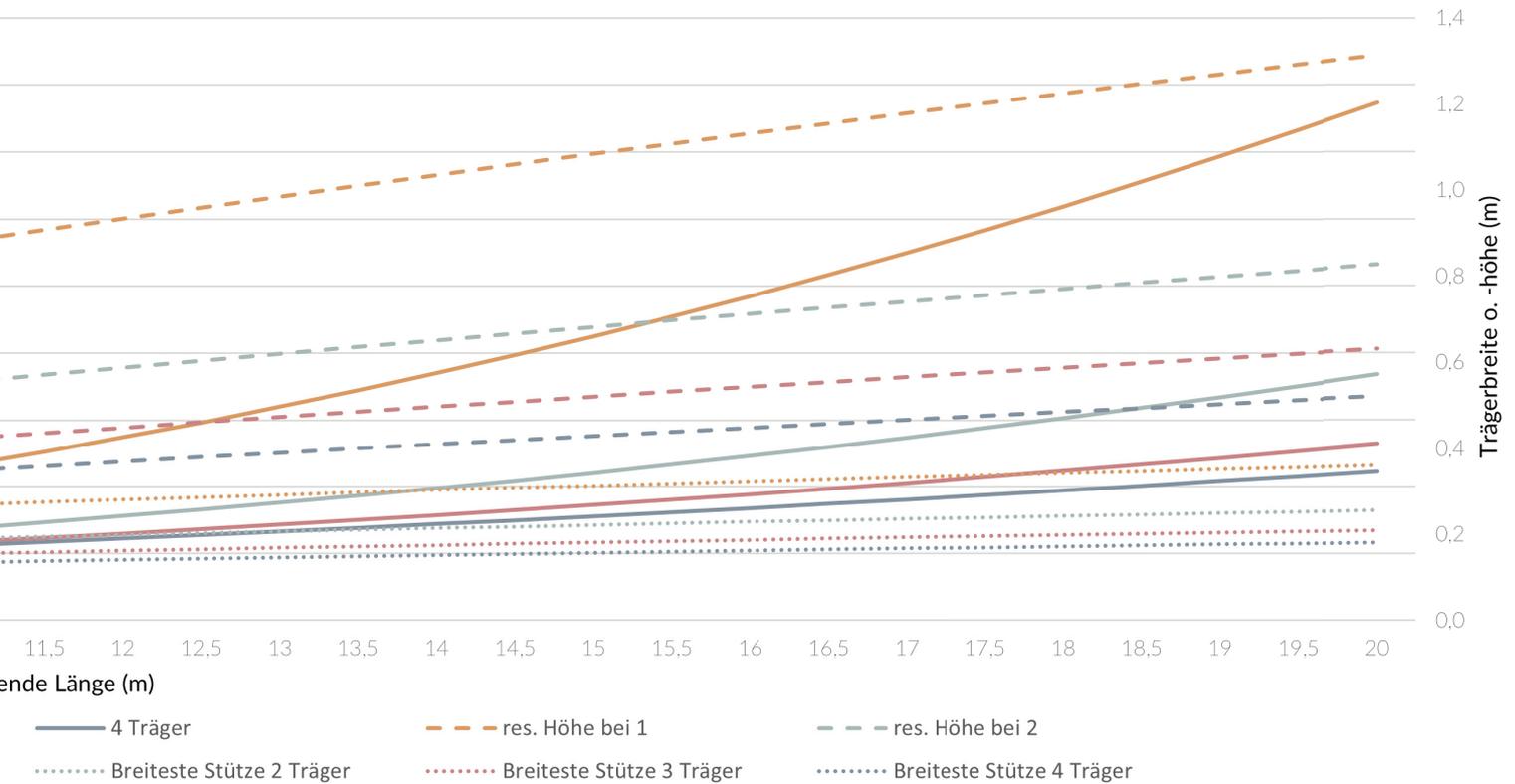
1 Träger & 2 Träger (Länge & Breite)



3 Träger & 4 Träger (Länge & Breite)

Abb. 32: Skizze Vordimensionierung 4. Eigene Darstellung

Spannenden Länge und der dafür verwendete Anzahl an Träger (Aufteilung Länge)



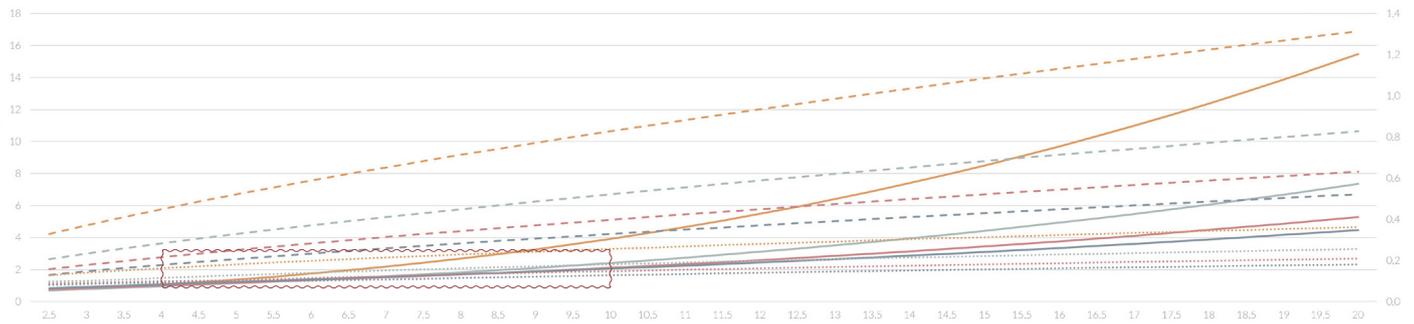


Abb. 34: Vordimensionierung Träger & Stützen Ausschnitt. Eigene Darstellung

Holzvolumen, Trägerhöhe und Stützbreite in Abhängigkeit der zu überspannenden Länge und der dafür verwendete Anzahl an Träger (Aufteilung Länge) Zoomin

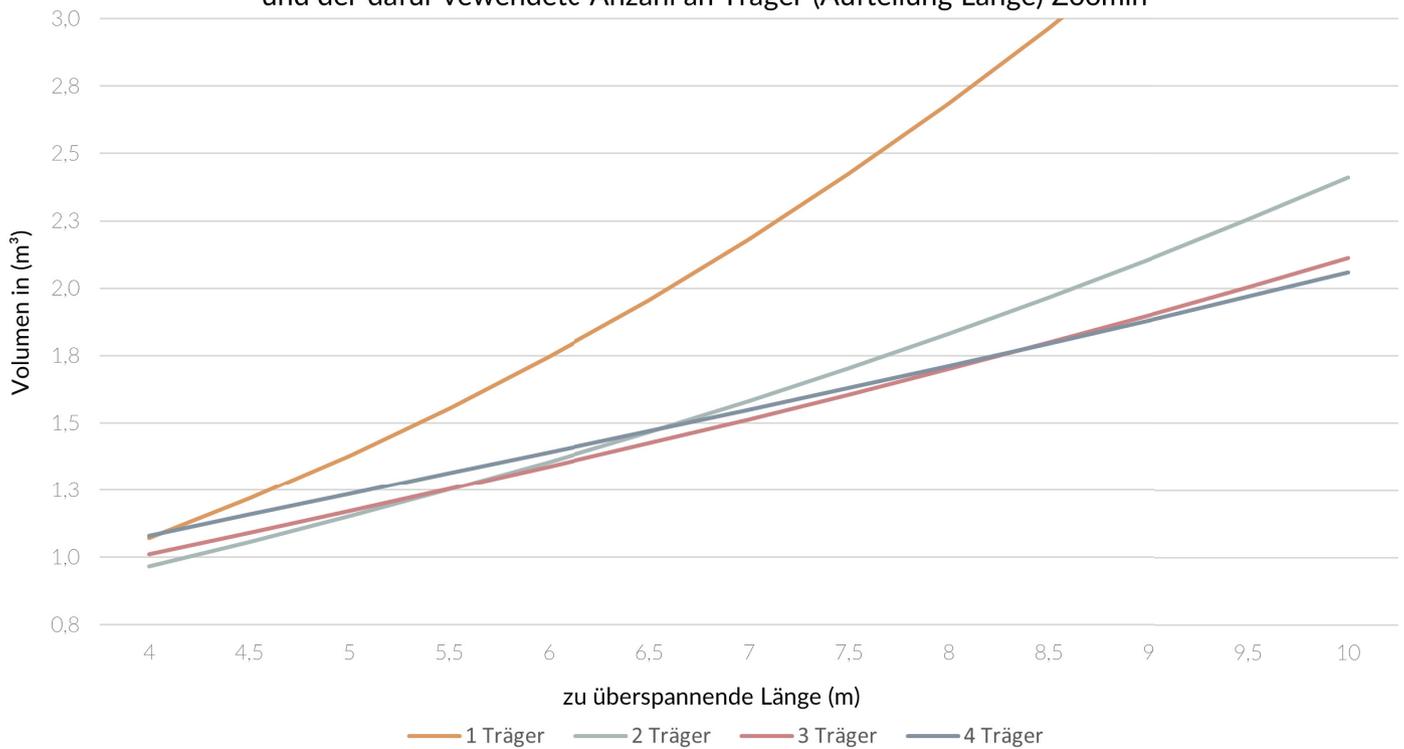


Abb. 35: Vordimensionierung Träger & Stützen Zoomin. Eigene Darstellung

Fazit:

Viele der Diagramme haben ähnliche Verläufe der Graphen. Bei einer bestimmten Länge kreuzen sich die Graphen der jeweiligen Anzahl an Trägern. Die Punkte sind interessant, denn sie geben an, ab wann es nachhaltiger wäre mehr oder weniger Unterteilung zu wählen. Diese Punkte hängen jedoch stark von den gewählten Parametern ab. Eine Erkenntnis ist jedoch ganzheitlich zu treffen. Eine Unterteilung in mehr als einen Träger lohnt sich bereits bei einer geringen zu überspannenden Länge und wird bei steigender Länge nur lohnender.

2.2.4 Dämmstoffeffizienz

In der Bilanzierung des A/V Verhältnisses wurde ein Faktor errechnet, welcher dabei helfen kann, Transmissionsverluste zu senken. Doch der Baustoff, durch welchen transmittiert wird, ist noch ausschlaggebender. Deshalb gilt es zu bilanzieren, welche Dämmstoffe diese Transmission am nachhaltigsten minimieren können.

Die Wärmedämmung eines Gebäudes bestimmt dessen Heiz- und damit Energie- und CO₂-Effizienz grundlegend. Das Angebot dieser Dämmungen ist groß und dadurch auch die Anzahl verwendeter Zertifizierungen, Nachhaltigkeitsprojekte und Umweltschutzversprechen. Eine niederschwellige Vergleichbarkeit entsteht selten. Diese Vergleichbarkeit gilt es zu erschaffen, um die Frage „geht's noch nachhaltiger?“ auf der grundlegenden Ebene der Energieeffizienz und der CO₂e Ausstoßes eines Gebäudes zu beantworten. Gesucht ist eine Dämmstoffeffizienz. Welcher Dämmstoff hat bei welcher Dicke welche Auswirkungen auf den gesamten Energieaufwand und CO₂-Ausstoß? Ökologische und energetische Basiswerte für Dämmstoffe lassen sich auch der Datenbank des ÖKOBAUDATs entnehmen. „Die Datensätze entsprechen DIN EN 15804 , Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte‘ und unterliegen strengen Qualitätsmerkmalen. Sie können in den unterschiedlichsten Gebäudebewertungssystemen eingesetzt werden.“ (BBSR 2023b, 5)

Für die folgenden Bilanzierungen will ich auf meines Erachtens äußerst relevante Teile der Datensätze hinweisen. Eine Auflistung aller Teile ist in Abb.37 zu sehen.

Das Globale Erwärmungspotenzial - total (GWP-total) wird in kg CO₂e zusammengefasst und beschreibt alle Ausstöße von Treibhausgasen, die bei dem Abbau, dem Transport, der Verarbeitung und anderen Punkten entstehen. Ein potenzialbasierter Wert entsteht bei dem Wasser-Entzugspotenzial (WDP), dabei wird nicht einfach das Wasser, welches für den gesamten Entstehungsprozess bis zum verbauten Produkt des Baustoffes aufgebracht

wird, gemessen. Es wird ein Äquivalent berechnet, welches mit einbezieht, aus welcher Region, mit welcher Wasserknappheit und welchen wasserpolitischen Problemen das Wasser entzogen wird. Somit wird ein Produkt aus einer wasserreichen Region trotz gleichem Herstellungsprozess einen niedrigeren Wert haben als das identische aus einer Region mit Wasserknappheit. Um den Frischwasserverbrauch über den gesamten Lebenszyklus zu erfassen und damit dem WDP gegenüberzustellen, wird der Nettoeinsatz von Süßwasserressourcen (FW) verwendet. (BBSR 2023b)

Die Total erneuerbare Primärenergie (PERT) und die Total nicht-erneuerbare Primärenergie (PENRT) werden in MJ gemessen und geben einen direkten Energiewert an, welcher wieder den kompletten Entstehungsprozess des Baustoffes summiert. Dabei werden diese Primärenergien in Energie und Materialeinsatz unterschieden. Energie ist zur Herstellung, zum Transport o.ä. verwendeter Strom, Wärme oder andere energetische Verwendung, auch hier wird nach erneuerbar und nicht erneuerbar unterschieden. Der Materialeinsatz beschreibt die in dem Material gespeicherte Energie, welche innerhalb des Lebenszyklus beispielsweise durch Verbrennung erzeugt werden kann. Auch hier wird in Abhängigkeit des Materials in erneuerbar und nicht erneuerbar unterteilt. PERT unterteilt sich in Erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PERE) und Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PERM). PENRT unterteilt sich in Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PENRE) und Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PENRM). Um den Lebenszyklus zu beenden, werden Komponenten für die Wiederverwendung (CRU) und Stoffe zum Recycling (MFR) in kg bemessen. Diese lassen das Recyclingpotential der Baustoffe und Materialien erkennen. Des Weiteren ist im Folgenden die Aufteilung des Lebenszyklus (siehe Abb.38) in verschiedene Lebenswegmodule DIN 15804 dargestellt. (BBSR 2023b)

INDIKATOREN	Einheit
Globales Erwärmungspotenzial – total (GWP-total)	kg CO ₂ eq.
Globales Erwärmungspotenzial – fossil (GWP-fossil)	kg CO ₂ eq.
Globales Erwärmungspotenzial – biogen (GWP-biogenic)	kg CO ₂ eq.
Globales Erwärmungspotenzial – luluc (GWP-luluc)	kg CO ₂ eq.
Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht (ODP)	kg CFC-11 eq.
Versauerungspotenzial, kumulierte Überschreitung (AP)	mol H ⁺ eq.
Eutrophierungspotenzial – Süßwasser (EP-freshwater)	kg P eq.
Eutrophierungspotenzial – Salzwasser (EP-marine)	kg N eq.
Eutrophierungspotenzial – Land (EP-terrestrial)	mol N eq.
Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon (POCP)	kg NMVOC eq.
Verknappung abiotischer Ressourcen nicht fossile (ADPE)	kg Sb eq.
Verknappung abiotischer Ressourcen fossile Brennstoffe (ADPF)	MJ
Wasser-Entzugspotenzial (Benutzer) (WDP)	m ³ world eq. deprived
Potenzielles Auftreten von Krankheiten durch Feinstaubemissionen (PM)	Disease incidence
Potenzielle Wirkung durch Exposition des Menschen mit U235 (IRP)	kgBq U235 Äquiv.
Potenzielle Toxizität für Ökosysteme (ETP-fw)	CTUe
Potenzielle Toxizität Mensch – kanzerogen (HTP-c)	CTUh
Potenzielle Toxizität Mensch – nicht kanzerogen (HTP-nc)	CTUh
Potentieller Bodenqualitätsindex (SQP)	dimensionslos
Erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PERE)	MJ
Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PERM)	MJ
Total erneuerbare Primärenergie (PERT)	MJ
Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PENRE)	MJ
Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PENRM)	MJ
Total nicht-erneuerbare Primärenergie (PENRT)	MJ
Einsatz von Sekundärstoffen (SM)	kg
Erneuerbare Sekundärbrennstoffe (RSF)	MJ
Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe (NRSF)	MJ
Nettoeinsatz von Süßwasserressourcen (FW)	m ³
Gefährlicher Abfall zur Deponie (HWD)	kg
Entsorger nicht gefährlicher Abfall (NHWD)	kg
Entsorger radioaktiver Abfall (RWD)	kg
Komponenten für die Wiederverwendung (CRU)	kg
Stoffe zum Recycling (MFR)	kg
Stoffe für die Energierückgewinnung (MER)	kg
Exportierte elektrische Energie (EEE)	MJ
Exportierte thermische Energie (EET)	MJ

Abb. 36: ÖKOBAUDAT Tabelle Parameter. BBSR 2023b, 15

A1	Rohstoffbereitstellung	Herstellungsphase
A2	Transport	
A3	Herstellung	
A4	Transport	Errichtungsphase
A5	Bau/ Einbau	
B1	Nutzung	Nutzungsphase
B2	Instandhaltung	
B3	Reparatur	
B4	Ersatz	
B5	Umbau/ Erneuerung	
C1	Abbruch	Entsorgungsphase
C2	Transport	
C3	Abfallbewirtschaftung	
C4	Deponierung	
D	Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und Recyclingpotenzial	Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenze

Abb. 37: Lebenswegmodule. BBSR 2023b, 17

Problematik der Datenbank:

Der Detailgrad des ÖKOBAUDATs ist nur auf der Ebene der lokal unterschiedlichen Herstellungsmethoden und Transportwege zu bemängeln. Der betrachtete Rahmen dieser Arbeit bezieht sich auf ganz Deutschland, wodurch die Durchschnittswerte optimal sind. In der Phase D werden verschiedene Szenarien wie energetische Verwertung oder Recycling berechnet. Die ermittelten Werte können positiv angerechnet, also beispielsweise vom Energieverbrauch abgezogen werden. Dabei entstehen für PERT und PENRT Werte, welche die Summe der Phasen A, B und C senken, und somit kann sich, bei beispielsweise Recycling, ein sehr niedriger Gesamtwert für die aufgewendete Energie ergeben. Eine Summe nahe 0 wäre unter der Voraussetzung, dass das Material in dem ausgebauten Zustand wieder eingebaut werden kann und der Ausbau, Transport und Einbau kaum Energie benötigen, verständlich. Ein negativer Wert entsteht, wenn dieser Gedanke über mehrere Lebenszyklen fortgesetzt wird.

Ebenso kann bei der energetischen Verwendung ein CO₂e der Erzeugung der gleichen Menge an Energie durch Gas oder den Strommix angerechnet werden. Wodurch ein Baustoff, trotz mit einberechnetem in dem Material gespeicherten CO₂, nach dem Verbrennen CO₂ negativ sein kann. Dabei wurde kein CO₂ eingespeichert, sondern die Emission von CO₂ durch andere Energieerzeugung eingespart.

Hierbei ist kritisch zu bewerten, dass eine kreislaufgerechte Verwendung immer gegeben ist. Aufgrund dieser Abhängigkeit ist eine Bilanz mit D (siehe oben) nicht DIN EN 15804 konform (DIN 2022). Der Wert in D zeigt mehr ein Potential eines Szenarios als einen ganzheitlich geltenden ermittelten Wert. In den folgenden Bilanzierungen wird er jedoch mit einberechnet, da sich damit eine Möglichkeit ergibt, diese Potentiale in die allgemeine quantitative Bilanzierung einzubringen.

Parameter:

Dämmstoffe sorgen in Wand-, Dach- und Sohlenaufbauten für einen niedrigeren U-Wert und damit weniger Heizlast, was mit niedrigeren Heizkosten gleichzusetzen ist. Dabei beziehen sich die Heizkosten primär auf die laufenden Kosten, die über viele Heizmonate anfallen. Jedoch ist eine größere Heizungsanlage bereits in der Anschaffung teurer. Folglich könnte behauptet werden, dass eine dickere Dämmschicht immer besser ist. Jedoch gibt es auch Parameter, wie das Einsparen von CO₂ oder CO₂e, was bei den meisten Heizquellen mit einer höheren Heizlast zu höheren Emissionen führt. (Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages 2007)

Jeder Dämmstoff emittiert bei seiner Produktion und dem Transport CO₂ oder CO₂e, welche in der zuvor beschriebenen DIN EN 15804 geregelt und in Datenbanken wie der ÖKOBAUDAT beziffert werden. Jede Heizungsanlage und jeder Heizkörper, Solarthermie, Kollektor oder Ähnliches jedoch auch. Diese Werte sind aber sehr individuell, von Ort und Ausführung abhängig, im Gegensatz zu den einfach pauschalisierbaren Dämmstoffen. Folglich ist eine Gegenüberstellung dieser, um eine möglichst wenig CO₂e ausstoßende Kombination aus Heizanlage und Dämmstoffdicke zu finden, kompliziert. Hinzu kommt, dass manche Dämmstoffe auch CO₂ während ihrer Entstehung aufnehmen und danach speichern. Diese können je nach Verfahren oder Zertifizierung zu unterschiedlichen Teilen gegen die emittierten CO₂e gerechnet werden.

Einfacher gegenüberzustellen sind die entstehenden Primärenergien PERT und PENRT. Durch das Gegenrechnen der entstehenden Transmissionsverluste und dadurch entstehende Heizlast, bekommt man einen Graphen, welcher an seinem Tiefpunkt die Dicke an Dämmstoff mit der geringsten Summe an Primär- und Heizenergie beschreibt. Dafür muss jedoch eine beispielhafte Lebensdauer des Dämmstoffes angenommen werden, denn jedes Jahr, in welchem der Dämmstoff genutzt wird, senkt die aufgewen-

dete Primärenergie pro Jahr, welche bei einer jährlich anfallenden Heizlast der wichtige Faktor ist.

Für diese Bilanzierung werden Energie in kWh und CO₂e in kg entlang der Dicke der untersuchten Dämmung berechnet. Dafür muss ein unterer und oberer Wert für die Dämmdicke bestimmt werden. Hierzu könnte sich auf die Anfänge der Dämmstandards der Wärmeschutz Verordnung (WschV) oder Nachfolgern bezogen werden. Jedoch liegen die benötigten Dämmwerte mit gängigen Wandaufbauten und Dämmmaterialien unter 10cm (WschV 1977). Die in 1.4.5 Forschung erwähnte Forschung mit ähnlichem Ansatz beschreibt die energetische Bilanz bei einer Lebensdauer der Dämmstoffe von 30 Jahren. Dabei wird auch auf die ökonomische Bewertung eingegangen, jedoch nicht auf CO₂ und Wasser. Die ersten Zentimeter des Dämmstoffes erhöhen den entstehenden U-Wert am meisten, danach flachen die Kurven ab. Aus den Werten der energieeffizientesten Dämmstoffdicken der gängigen Materialien ist abzulesen, dass sich der größte Teil zwischen 10cm und 50cm befindet. (Jochum 2014)

Aus diesen zwei Erkenntnissen heraus fiel die Entscheidung, den Bereich der Dicke zwischen 10cm und 50cm zu untersuchen, um zu vernachlässigende Dicken zu vermeiden und eine gute Lesbarkeit durch das Weglassen der ersten sehr einflussreichen 10cm zu erreichen.

Im Folgenden werden verschiedene Dämmstoffe auf ihren Primärenergieaufwand und ihre Verbesserung der Transmissionsverluste berechnet. Dabei wird die Heizlast für 100 Jahre (2.1 Forschung & Vorhaben) berechnet und die Primärenergie für 3 Szenarien:

1. der Dämmstoff hält auch 100 Jahre.
2. 50 Jahre -> wird 1mal erneuert -> doppelter Primärenergieaufwand in 100 Jahren Heizen
3. 33,3 Jahre -> wird 2mal erneuert -> dreifacher Primärenergieaufwand in 100 Jahren Heizen

Dabei ist die Lebensdauer abhängig von dem Material und dem Schutz dessen. In den folgenden Bilanzen werden die 3 Szenarien berechnet, aber die Gesamtenergiebilanz und CO₂e Bilanz nur für das 1. Szenario. Folglich muss die Beständigkeit durch einen guten Schutz durch die Fassade gegeben sein. Dieser wird in 3.3 Baukonstruktion tiefergehend beschrieben.

Um ein Gefühl für die Verhältnismäßigkeiten der verschiedenen Dämmstoffe zu bekommen, wird eine Außenwand aus dem monolithischen Dämmstoff nach DIN EN ISO 6946 berechnet. Folglich wird der U-Wert der Wand aus folgenden Parametern berechnet: Einer variierenden Dicke d , der Wärmeleitfähigkeit des betrachteten Dämmstoffes λ und der Wärmeübergangswiderstände der Luft $R_{(si)}$ und $R_{(se)}$ mit jeweils $0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$. Diese Werte sind gerundet und zwecks Hinterlüftung so gewählt. (DIN 2018) Für eine Vergleichbarkeit werden alle Werte pro m^2 berechnet und es müssen einheitliche Einheiten festgelegt werden. Die während des gesamten Lebenszyklus entstehenden klimaschädlichen Emissionen werden in $\text{kg CO}_2\text{e pro kg}$ oder m^2 angeben und müssen entsprechend der Dicke berechnet werden. Die erneuerbare und nicht erneuerbare Primärenergie werden addiert und von den angegebenen MJ in MWs und dann in kWh umgerechnet. Diese Daten werden aus dem ÖKOBAUDAT gezogen. Die für die Heizlastberechnung notwendige Wärmeleitfähigkeit wird aus der Environmental Product Declaration (EPD) der Hersteller gezogen. Auch hier wird die Heizperiode wieder nicht direkt nach Monaten berechnet (Loga 2004).

Für folgenden Bilanzen wurde eine Deckenheizung als Heiztechnik gewählt. Diese Wahl wird in 3.4 Gebäudetechnik erklärt. Ein Vorteil ist jedoch auch, dass bei dieser Technik eine kWh Heizenergie einer kWh Strom entspricht. Damit sind die folgenden Bilanzen nicht nur für eine Heizdecke geltend, sondern auch einfach für eine Vergleichbarkeit, da sich mit dem Ausbleiben einer Jahreszahl

ein Faktor für Strom ergibt. Mit diesem kann mit der entsprechenden Jahreszahl die Bilanz nach Belieben für Wärmepumpen umgerechnet werden. Dabei muss jedoch auch die CO₂-Bilanz berücksichtigt und angepasst werden.

Nach dem Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle wird für Strom aus erneuerbaren Quellen 0 kg CO₂ pro kWh berechnet. Dieses beschreibt die Berechnung von Strom für Unternehmen wie folgt: „Die Verwendung des CO₂-Faktors ‚Strom (erneuerbare Quelle)‘ ist zulässig, wenn auf dem Firmengelände durch das antragstellende Unternehmen in zeitlichem und inhaltlichem Zusammenhang mit der Umsetzung des Vorhabens eine eigene elektrische Erzeugungsleistung auf Basis erneuerbarer Energieträger installiert wird.“ (BAFA 2022, 5)

Eine breitgestreute Studie des Umwelt Bundesamtes mittelt einen Wert für die emittierte Masse an CO₂ bei einer kWh durch monokristalline PV-Anlagen von 32-39g. Im Folgenden wird mit 0,039kg gerechnet. (Hengstler 2021)

Wie in der Bilanzierung zu PV-Gewinnen und der Heizungsenergie (2.2.2 Pv-Gewinne x Heizlast) sind organische Photovoltaikmodule eine noch nicht ausreichende Option. Aufgrund der Neuheit dieser Technik ist sie für zukünftige Sanierungen nicht auszuschließen. In

ihrer Herstellung benötigt sie weitaus weniger ökologisch schädliche Grundbestandteile und Zusätze verglichen mit kristallinen Modulen. Des Weiteren ist der CO₂-Ausstoß durch eine kalte und energiearme Produktion gering. Je nach Region liegt er bei 3-15g CO₂e/kWh, wobei es für die Region Deutschland ungefähr 8g sein sollten. (Heliatek GmbH 2020)

Aus der Bilanzierung ist auch zu erkennen, dass Energie aus dem Stromnetz bezogen werden müsste, was den niedrigen CO₂-Ausstoß pro kWh durch den höheren des aktuellen Strommixes (auch bei „grünem“ Strom) verschlechtern würde. Im Weiteren könnte man selbigen Vergleich und Gegenrechnen mit der finanziellen Seite der Dämmstoffe und Heizlast ausführen. Oder wie zuvor beschrieben könnte eine Achse für CO₂e durch Heiztechnik hinzugefügt werden. Da jedoch eine PV-Anlage durch das GEG unausweichlich geworden ist und meistens die billigste Stromquelle ist, werden diese tiefgehenden Berechnungen hier nur mit der Berechnung des CO₂e von Solarstrom durchgeführt wird (Dietrich 2023).

Die Bilanzierung beruht auf folgender Berechnung entlang der Dicke der Dämmung bei einer 1m² Außenwandfläche für eine Lebensdauer von 100 Jahren.

Berechnung der Baustoffdaten aus dem ÖKOBAUDAT:

$$GWP_g = \text{CO}_2\text{e gesamt} = \sum GWP(x) \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \text{ oder } \left[\frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right]$$

$$E_g = \text{Primärenergien gesamt} = \sum PETR(x) + PENTR(x) \left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} = \frac{\text{MWs}}{\text{m}^3} \triangleq \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right] \text{ oder } \left[\frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = \frac{\text{MWs}}{\text{kg}} \triangleq \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} \right]$$

$$\rho = \text{Rohdichte} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Stoffe zur Wiederverwendung (CRU) in kg, umgerechnet auf $\frac{\text{kg}(\text{CRU})}{\text{kg}(\text{Material})}$ in %

Stoffe zum Recycling (MFR) in kg, umgerechnet auf $\frac{\text{kg}(\text{MFR})}{\text{kg}(\text{Material})}$ in %

Wasser-Entzugspotential (WDP) in m³ umgerechnet mit Rohdichte auf $\frac{l(\text{MDP})}{\text{m}^3(\text{Material})}$

Nettoeinsatz von Süßwasserressourcen (FW) in m³ umgerechnet mit Rohdichte auf $\frac{l(\text{FW})}{\text{m}^3(\text{Material})}$

Wasser-Entzugspotenzial (Benutzer) (WDP) in m³ umgerechnet in $\frac{l}{10\text{cm} \cdot 1\text{m}^2 \text{ Dämmung}}$
 Nettoeinsatz von Süßwasserressourcen (FW) in m³ umgerechnet in $\frac{l}{10\text{cm} \cdot 1\text{m}^2 \text{ Dämmung}}$
 d = Dicke der Dämmung [m]

Baustoffdaten aus den individuellen EPDs:

Wärmeleitfähigkeit λ in $\frac{W}{mK}$

Berechnung Heizperiode HP (Loga 2004):

Länge HP (Oktober-April) = 212 (Tage)
 Norminnentemperatur = 21(°C)
 Normaußentemperatur (durchschnitt der Monate) = 5(°C)

Aufgewendete Energie durch das Material x:

$$E_g(x) = d(x) \cdot E_g [kWh]$$

Benötigte Heizenergie bei dem Material x:

Die entstehende Heizenergie ist gleichzusetzen mit dem Transmissionsverlust (H_t) der Außenwand.

λ_x = Wärmeleitfähigkeit des Material x [$\frac{W}{m^2 \cdot K}$]
 R = Wärmedurchlasswiderstand = $\frac{d}{\lambda}$ [$\frac{m^2 \cdot K}{W}$]
 R_{si} = Wärmedurchlasswiderstände der inneren Oberflächen = 0,1 $\frac{W}{mK}$
 R_{se} = Wärmedurchlasswiderstände der äußeren Oberflächen = 0,1 $\frac{W}{mK}$
 $R(x)$ = Wärmedurchlasswiderstand des gemischten Bauteils = $\frac{d}{\lambda(x)}$ [$\frac{m^2 \cdot K}{W}$]
 $F(x)$ = Normaußentemperatur – Norminnentemperatur = 16
 $U = \frac{1}{R_{si} + R(x) + R_{se}}$ [$\frac{W}{m^2 \cdot K}$]
 $A = 1m^2$
 Hwb = Wärmebrückenbonus = zu vernachlässigen

Transmissionsverluste durch Wandaufbau mit Material x, vereinfacht (Krutke 2022):

$$H_t = \sum (F(x_i) \cdot U(i) \cdot A(i) + Hwb) [\frac{W}{K}]$$

$$H_t = F(x) \cdot U \cdot A + Hwb [\frac{W}{K}]$$

$$\begin{aligned}
H_{tg} &= \text{Heizenergie pro Tag} = H_t \cdot 0,024 \text{ [kWh]} \\
H_{hp} &= \text{Heizenergie pro HP} = H_{tg} \cdot 212 \text{ (Länge HP in Tagen) [kWh]} \\
H_{le} &= \text{Heizenergie pro Lebensdauer} \\
&= H_{hp} \cdot 100 \text{ (Länge Lebensdauer in Jahren) [kWh]}
\end{aligned}$$

Berechnung Energie gesamt bei Material x:

$$E_{ges}(x) = E_g(x) + H_{le}(x) \text{ [kWh]}$$

Emissionen durch Heizenergie (Hengstler 2021):

$$CO_2e \text{ durch 1kWh PV-Strom} = 0,039kg$$

Berechnung CO2 Äquivalent des Materials:

$$GWP_g(x) = d(x) \cdot GWP_g$$

Berechnung CO2 Äquivalent durch Heizenergie:

$$CO_2e_{HLE}(x) = H_{Le} \cdot 0,039kg$$

Berechnung CO₂e Gesamt bei Material x:

$$CO_2e_{ges}(x) = GWP_g(x) + CO_2e_{HLE}(x)$$

Berechnung der notwendigen Aufbaudicke für einen U-Wert von 0,1: Mit der zuvor erklärten Formel soll die benötigte Dicke für einen U-Wert von 0,1 erreicht werden.

$$\begin{aligned}
U &= \frac{1}{R_{se} + R(x) + R_{se}} = \frac{1}{0,1 + \frac{d}{\lambda(x)} + 0,1} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \\
0,1 &= \frac{1}{0,1 + \frac{d}{\lambda(x)} + 0,1} \\
0,1 \cdot (0,1 + \frac{d}{\lambda(x)} + 0,1) &= 1 \\
0,02 + 0,1 \cdot \frac{d}{\lambda(x)} &= 1 \\
0,1 \cdot \frac{d}{\lambda(x)} &= 0,98 \\
\frac{d}{\lambda(x)} &= 9,8 \\
d &= 9,8 \cdot \lambda(x)
\end{aligned}$$

Die folgenden Diagramme werden für eine einfache Vergleichbarkeit mit einer einheitlichen Achstengewichtung erstellt. Für manche Baustoffe gibt es dazu eine angepasste Variante, um alle Werte erkennen zu können. Es werden auch Baustoffe in dieser Dämmstoffeffizienz untersucht, welche üblicherweise nicht als Dämmstoff verwendet werden. So ist jedoch die Nachhaltigkeit des Verwendes von Dämmstoffen quantitativ eindeutig sichtbar. Teilweise werden ähnliche Produkte bilanziert. Das dient der Vergleichbarkeit und der Verdeutlichung der Unterschiede in der Anwendung verschiedener Szenarien.

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,042 \text{ W/mK}$ (Bau EPD GmbH 2019a)
 $\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$
GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem
ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)
Szenario (D): energetisch (standard Szenario)

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 42,1cm
WDP/10cm: 1.732,5l
FW/10cm: 70,3l
MFR: 0%
CRU: 0%

Energie & CO₂e pro m² bei Strohballen (Energierückgewinnung)

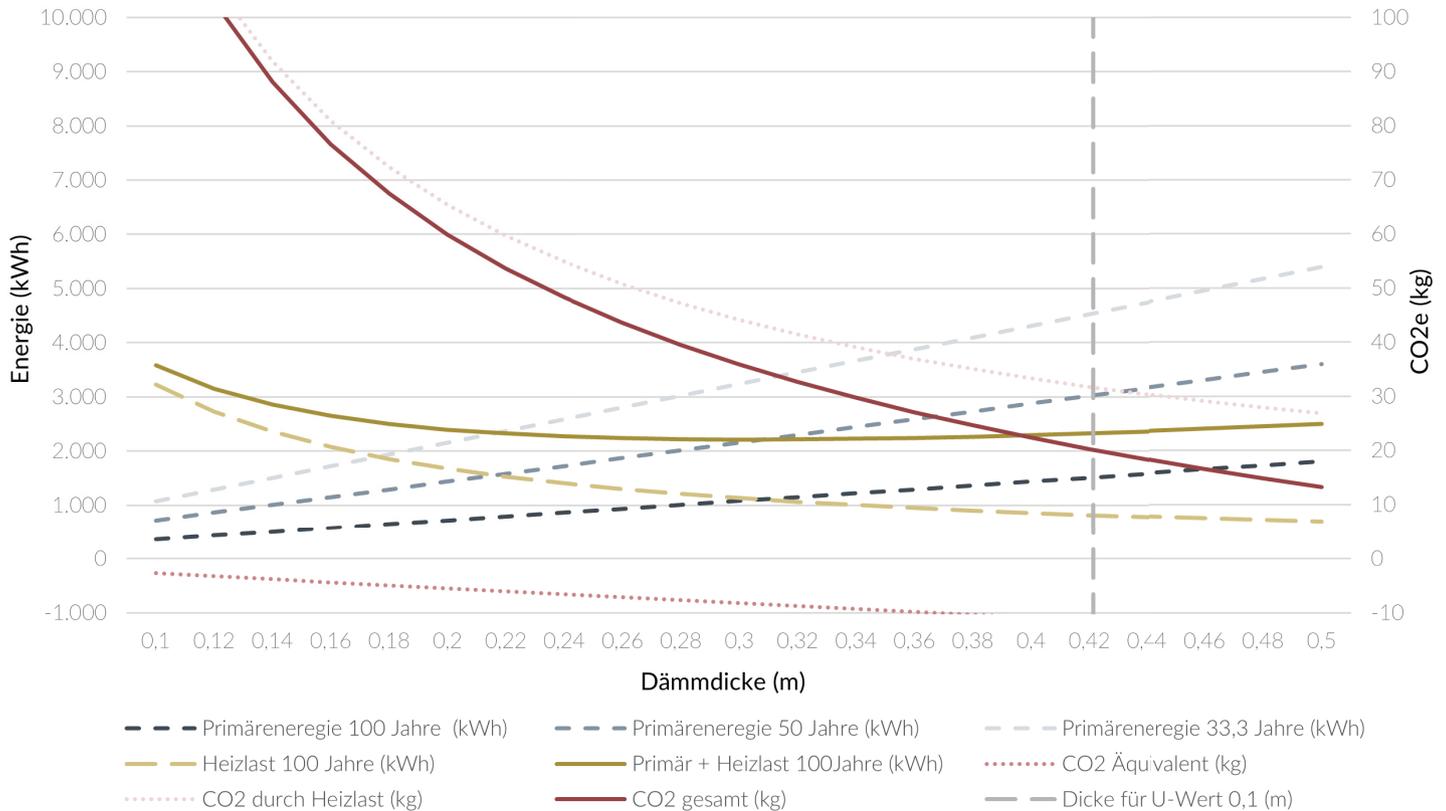


Abb. 38: Dämmstoffeffizienz Strohballen (Energierückgewinnung). Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,042 \text{ W/mK}$ (Bau EPD GmbH 2019a)
 $\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$
GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem
ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)
Szenario (D): Recycling

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 42,1cm
WDP/10cm: 178,2l
FW/10cm: 42,8l
MFR: 0%
CRU: 0%

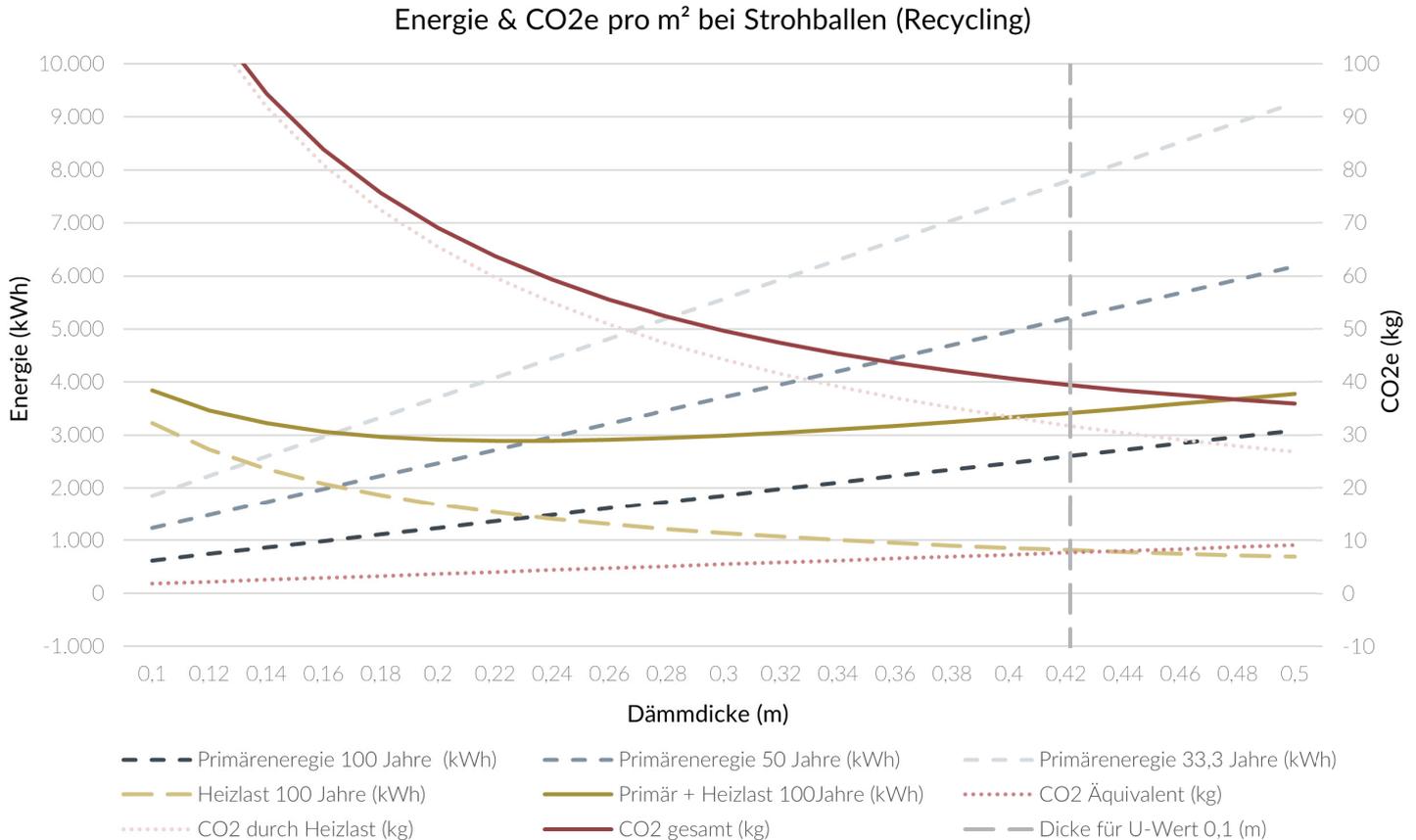


Abb. 39: Dämmstoffeffizienz Strohballen (Recycling). Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,033 \text{ W/mK}$ (IBU 2021c)

$\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$

GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem

ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)

Szenario (D): energetisch (standard Szenario)

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 32,3cm

WDP/10cm: 1.944.674l

FW/10cm: 108,2l

MFR: 0%

CRU: 0%

Energie & CO₂e pro m² bei Glaswolle

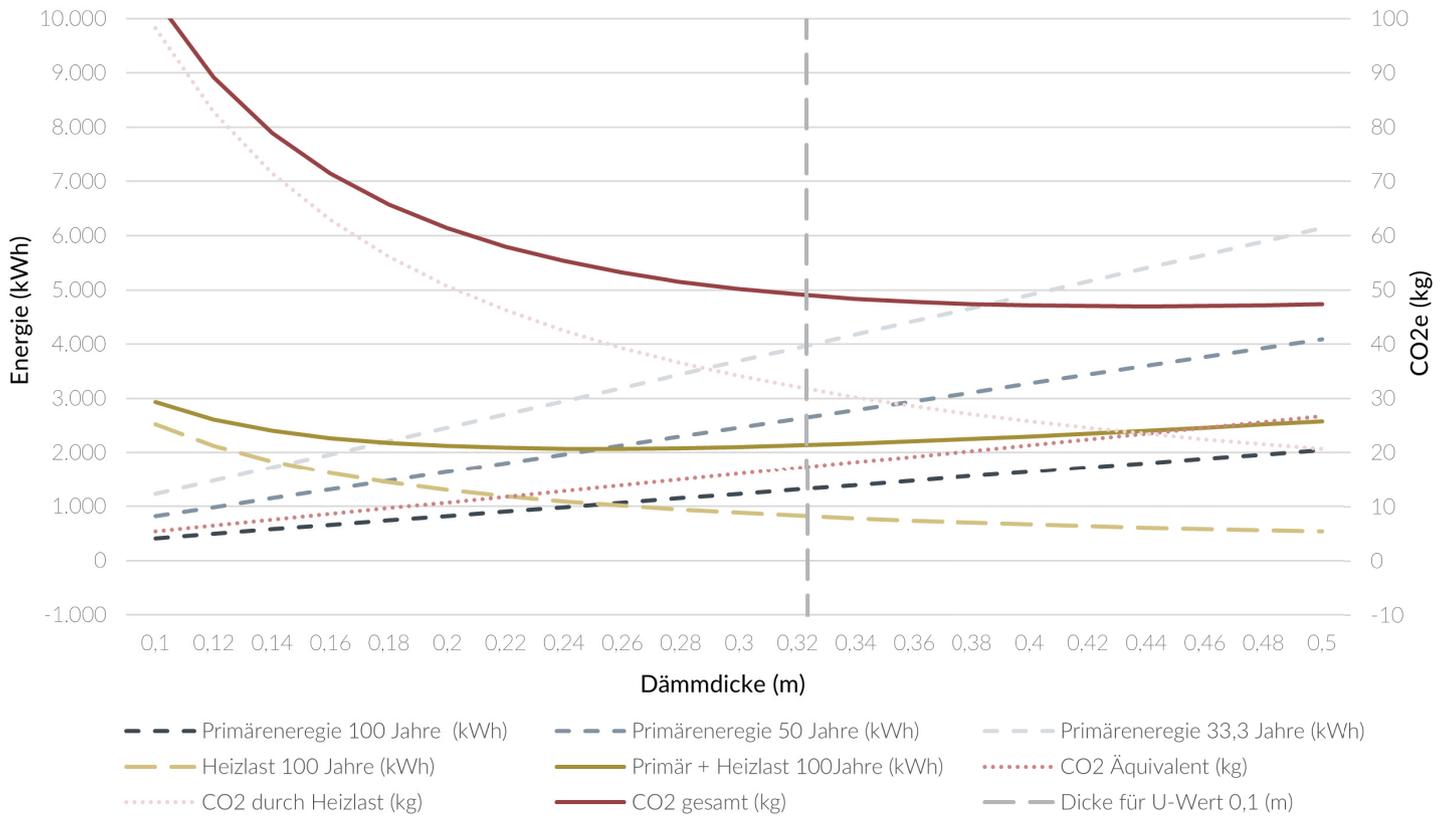


Abb. 40: Dämmstoffeffizienz Glaswolle. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,0405 \text{ W/mK}$ (Bau EPD GmbH 2022)
 $\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$
GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem
ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)
Szenario (D): energetisch (standard Szenario)

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 39,7cm
WDP/10cm: 10.826,6l
FW/10cm: 252,1l
MFR: 0%
CRU: 0%

Energie & CO₂e pro m² bei Hanf Jute Combi Dämmmatten

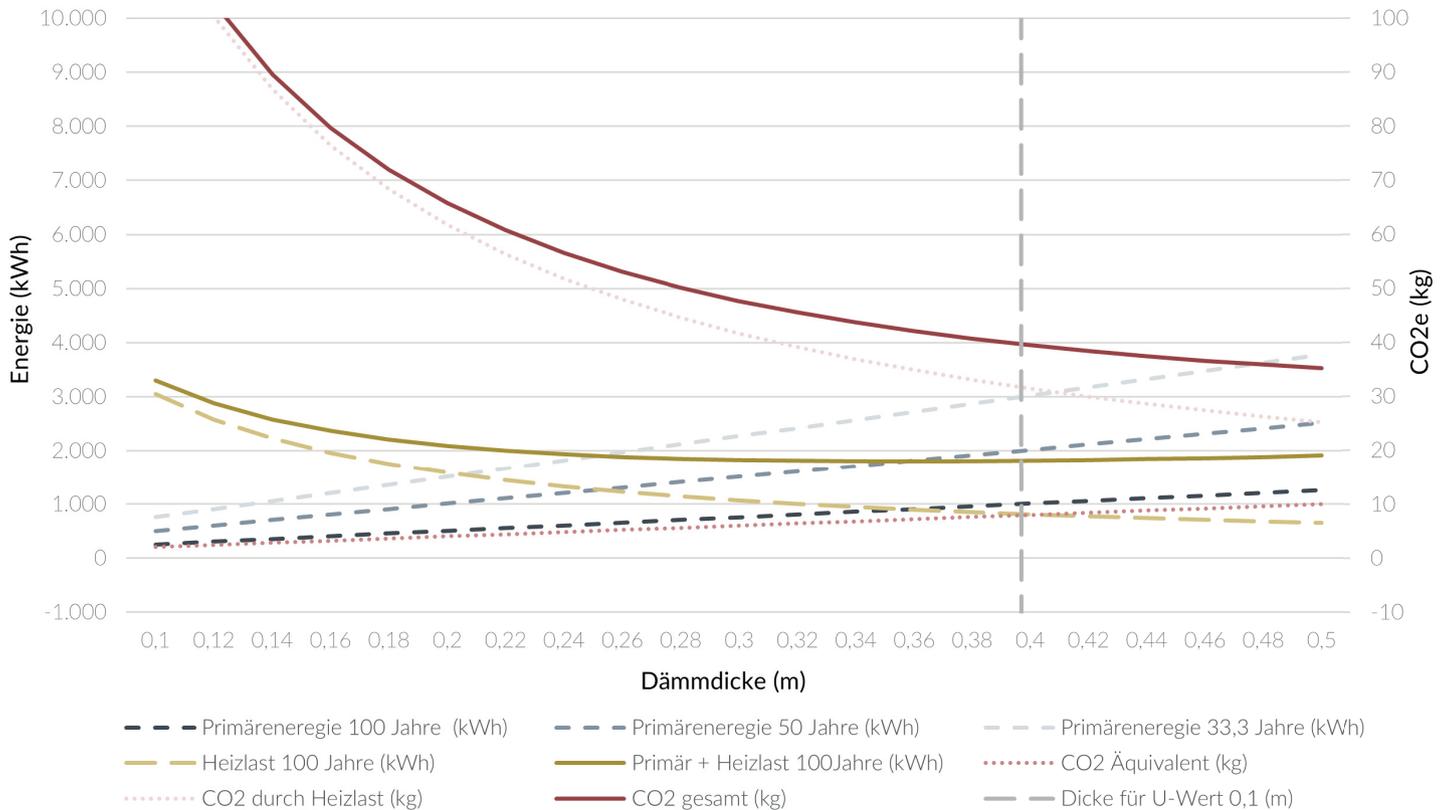


Abb. 41: Dämmstoffeffizienz Hanf Jute Combi Dämmmatten. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$ (EPD HUB 2023)

$\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$

GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem

ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)

Szenario (D): energetisch (standard Szenario)

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 39,2cm

WDP/10cm: 2.738,3l

FW/10cm: 27,0l

MFR: 0%

CRU: 0%

Energie & CO₂e pro m² bei expandiertem Kork

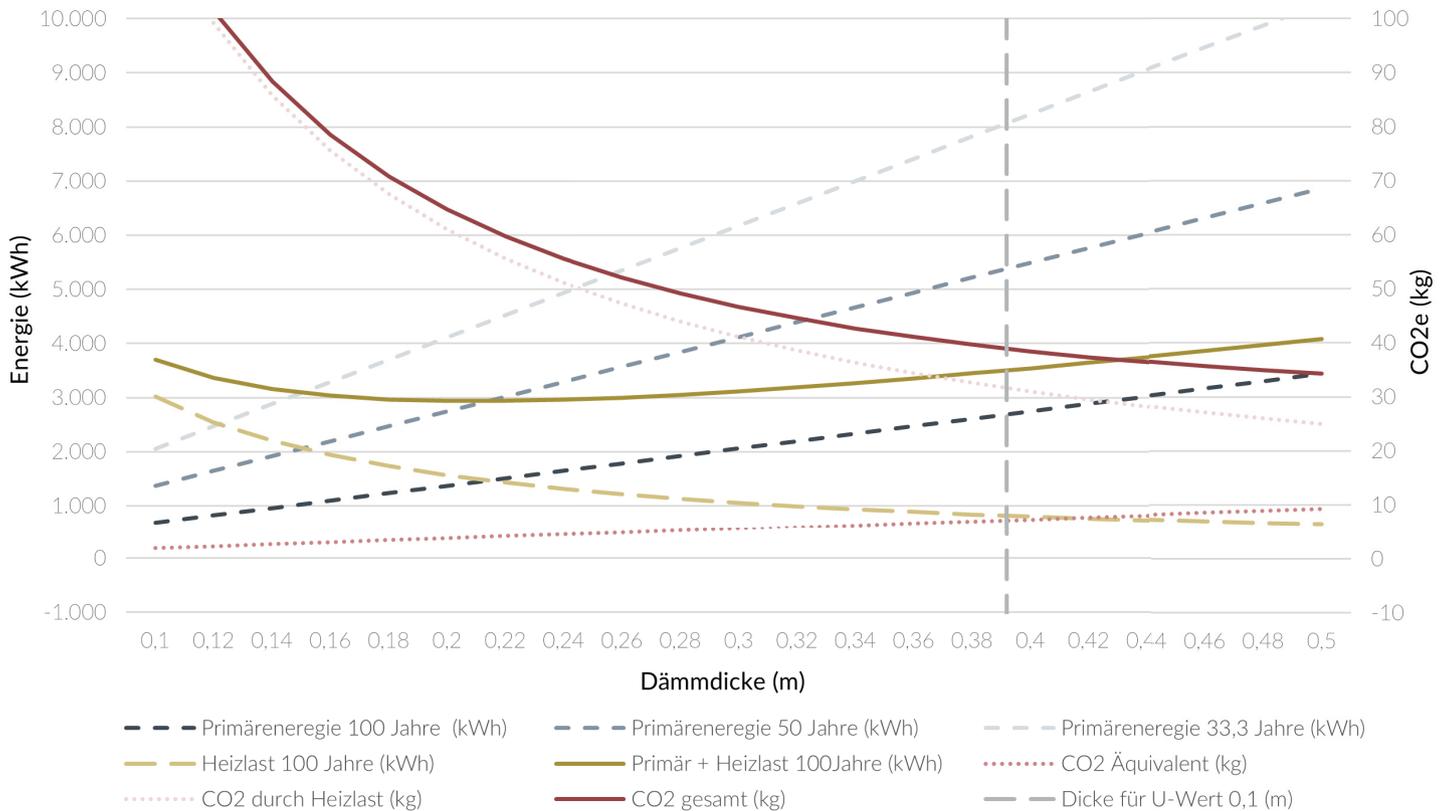


Abb. 42: Dämmstoffeffizienz expandierter Kork. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$ (Woodpecker Group AG o.J.)
 $\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$
GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem
ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)
Szenario (D): energetisch (standard Szenario)

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 35,3cm
WDP/10cm: 802,3l
FW/10cm: 28,7l
MFR: 0%
CRU: 0%

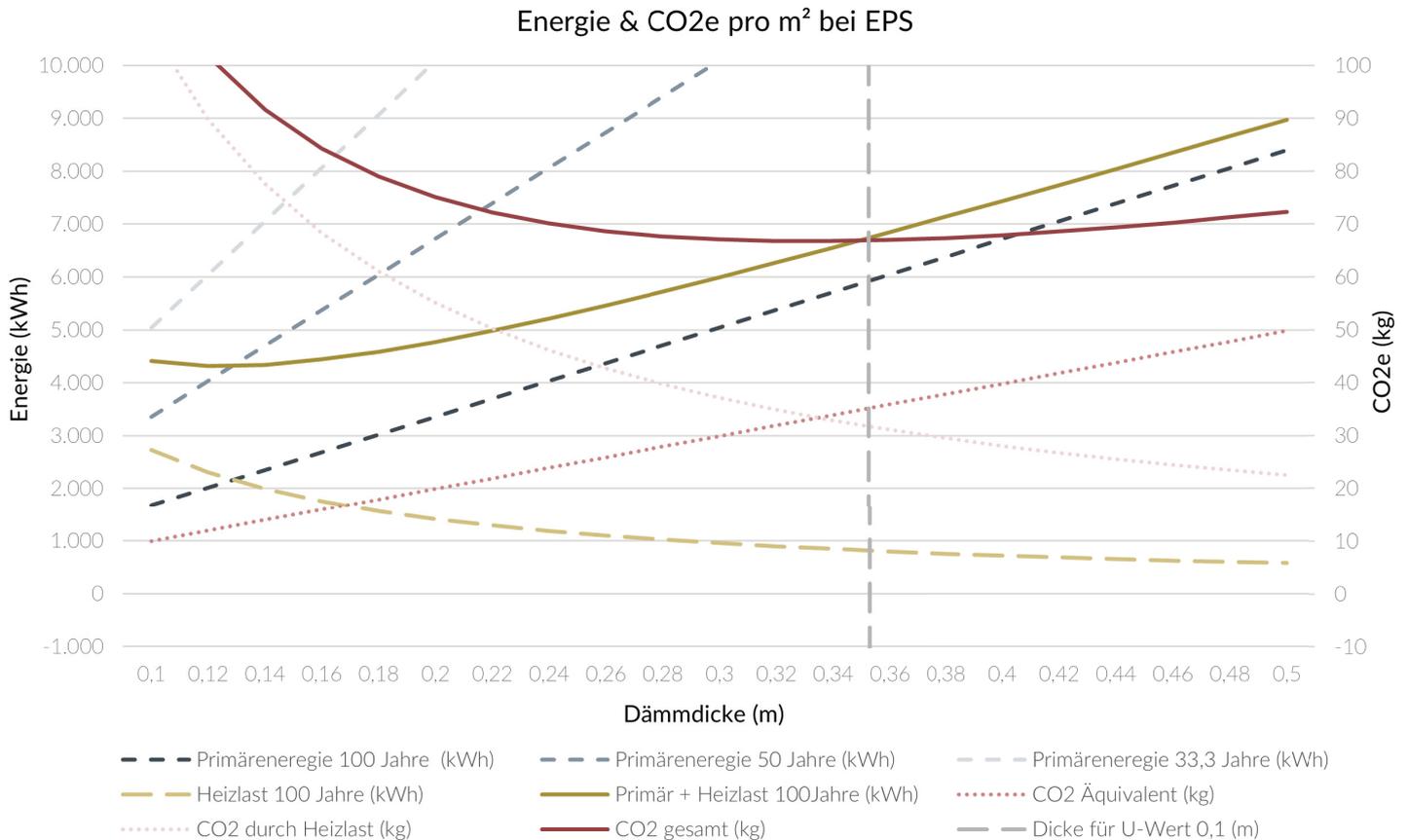


Abb. 43: Dämmstoffeffizienz EPS. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,065 \text{ W/mK}$ (IBU 2021b)

$\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$

GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)

Szenario (D): Recycling für Shotter & energetische Nutzung

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 63,7cm

WDP/10cm: 2.426,5l

FW/10cm: 87,4l

MFR: 90,2%

CRU: 0%

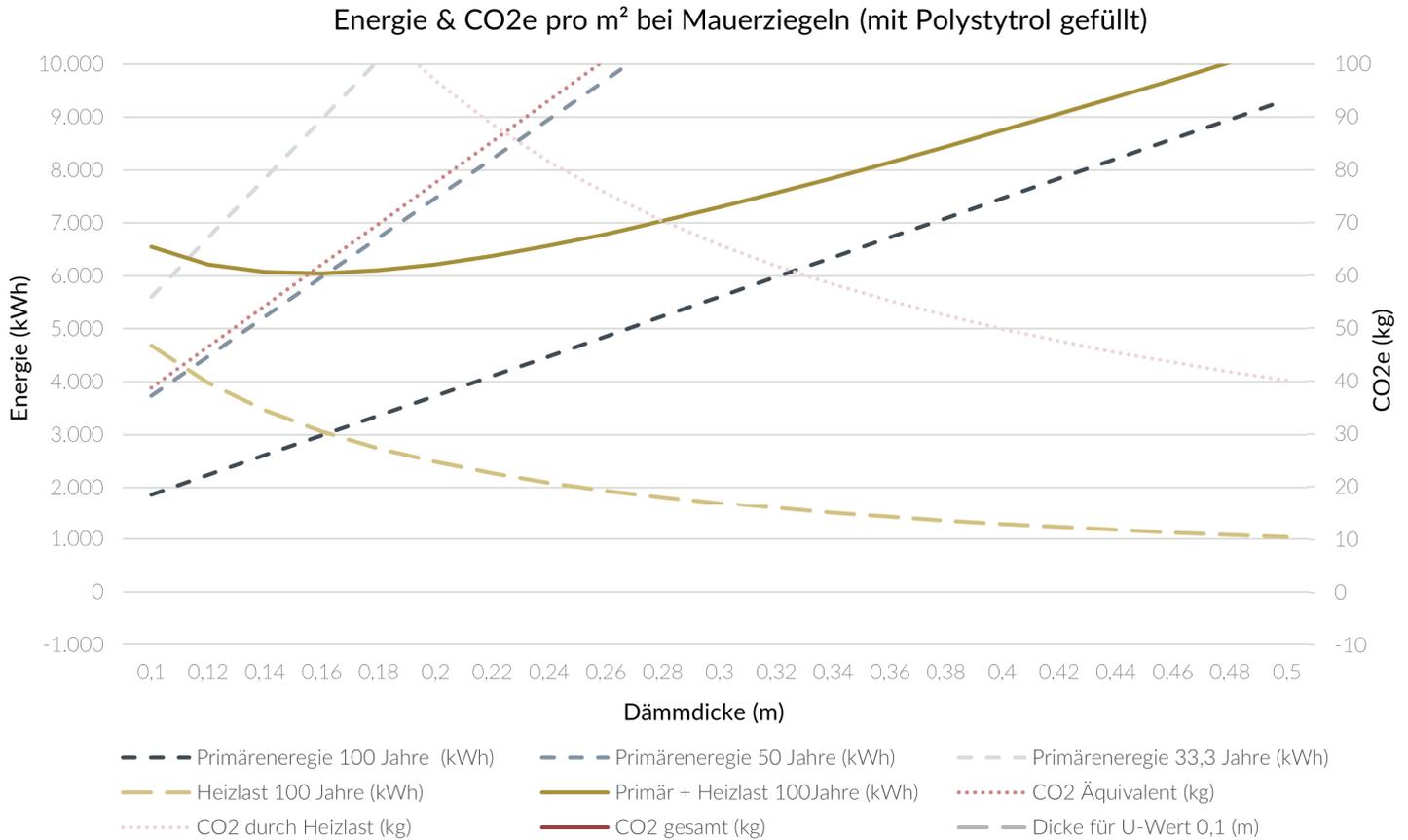


Abb. 44: Dämmstoffeffizienz Mauerziegel (mit Polyesterol gefüllt). Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,065 \text{ W/mK}$ (IBU 2021b)
CO₂e pro kWh Heizenergie = 0,039kg
GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem
ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)
Szenario (D): Recycling für Shotter & energetische Nutzung

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für U=0,1: 63,7cm
WDP/10cm: 2.426,5l
FW/10cm: 87,4l
MFR: 90,2%
CRU: 0%

Energie & CO₂e pro m² bei Mauerziegeln (mit Polystyrol gefüllt)

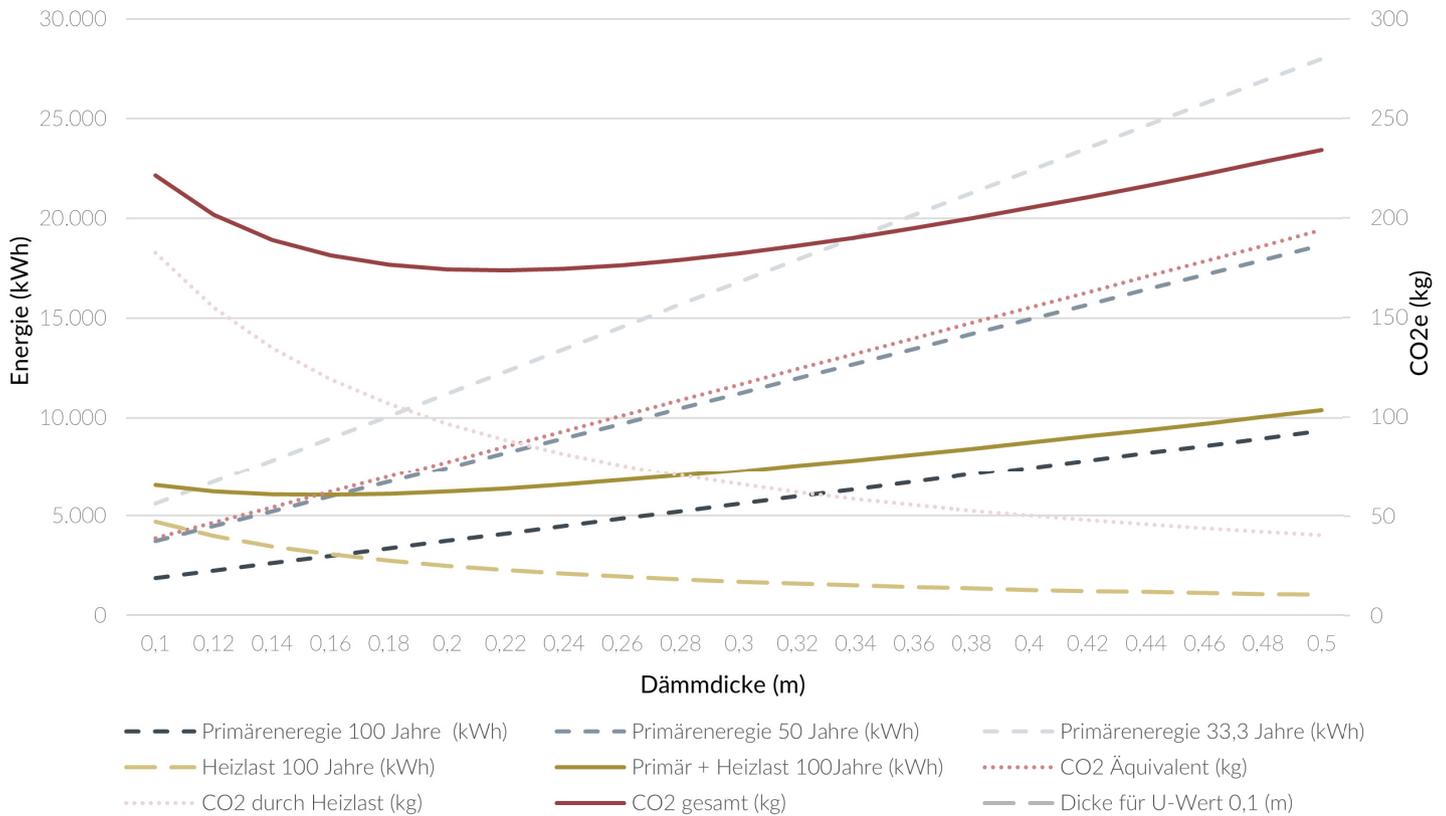


Abb. 45: Dämmstoffeffizienz Mauerziegel (mit Polyesterol gefüllt) angepasst. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$ (ISOCELL GmbH & Co KG o.J.)
 $\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$
GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem
ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)
Szenario (D): energetisch (standard Szenario)

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 38,2cm
WDP/10cm: 1.375,8l
FW/10cm: 24,9l
MFR: 0%
CRU: 0%

Energie & CO₂e pro m² bei Zellulosefaser Einblas-Dämmstoffen

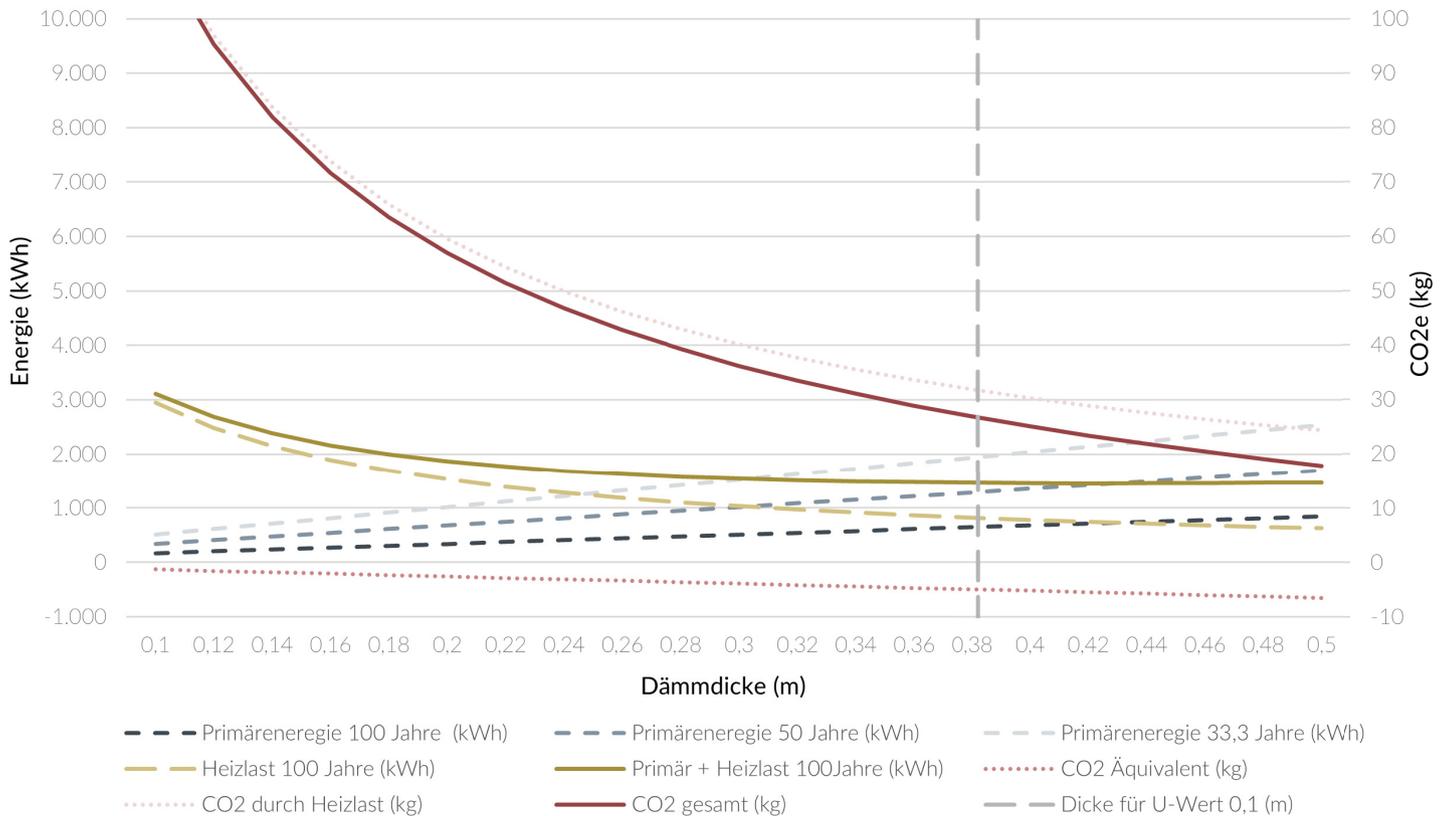


Abb. 46: Dämmstoffeffizienz Zellulosefaser Einblasdämmstoffe. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,045 \text{ W/mK}$ (BauSites GmbH o.J.)
 $\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$
GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem
ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)
Szenario (D): energetisch (standard Szenario)

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 44,1cm
WDP/10cm: 2.580,3l
FW/10cm: 171,6l
MFR: 0%
CRU: 0%

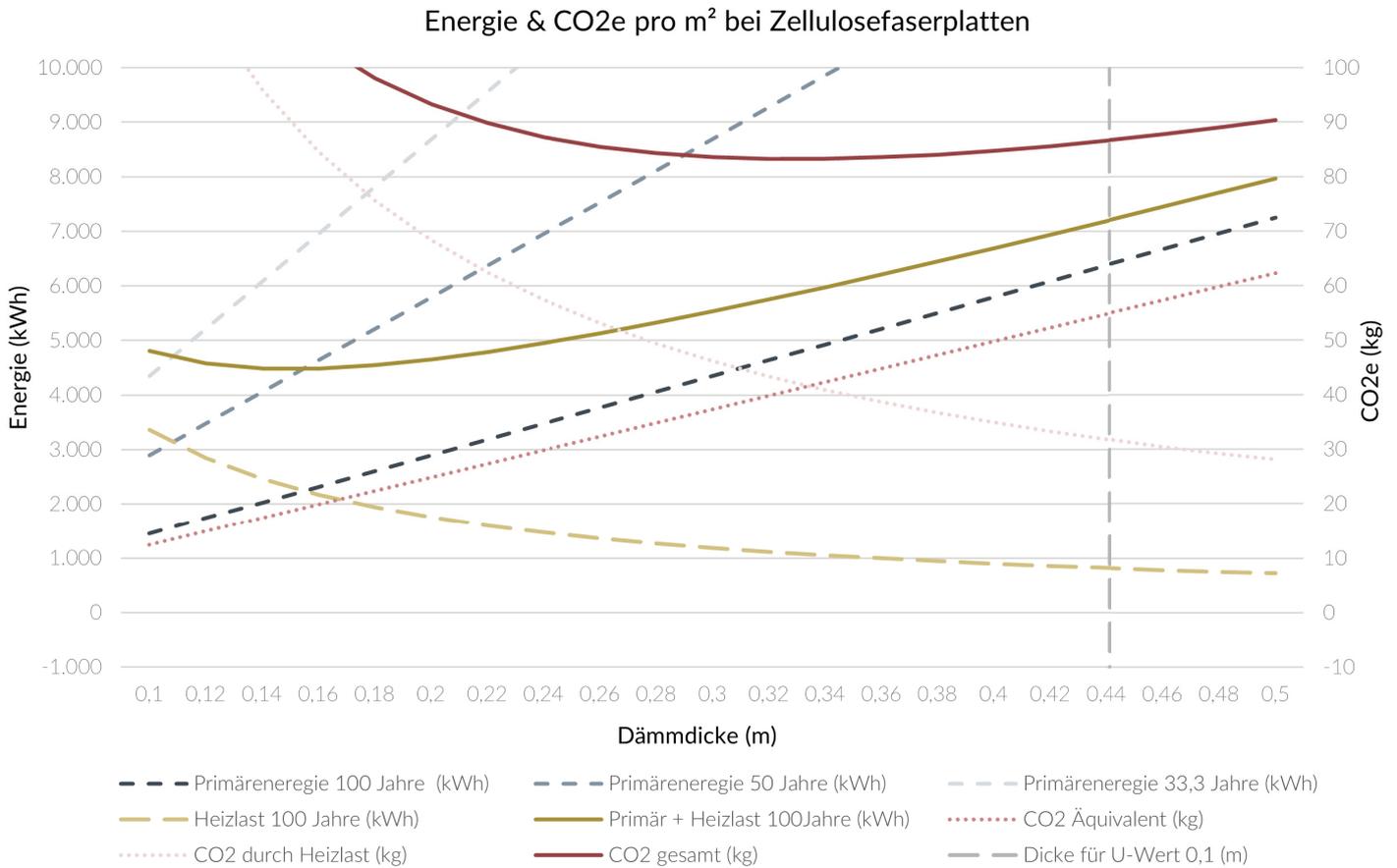


Abb. 47: Dämmstoffeffizienz Zellulosefaserplatten. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,038 \text{ W/mK}$ (STEICO SE o.J.)
 $\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$
GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem
ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)
Szenario (D): energetisch (standard Szenario)

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 37,2cm
WDP/10cm: 19,5l
FW/10cm: 19,5l
MFR: 0%
CRU: 0%

Energie & CO₂e pro m² bei Holzeinblasdämmung

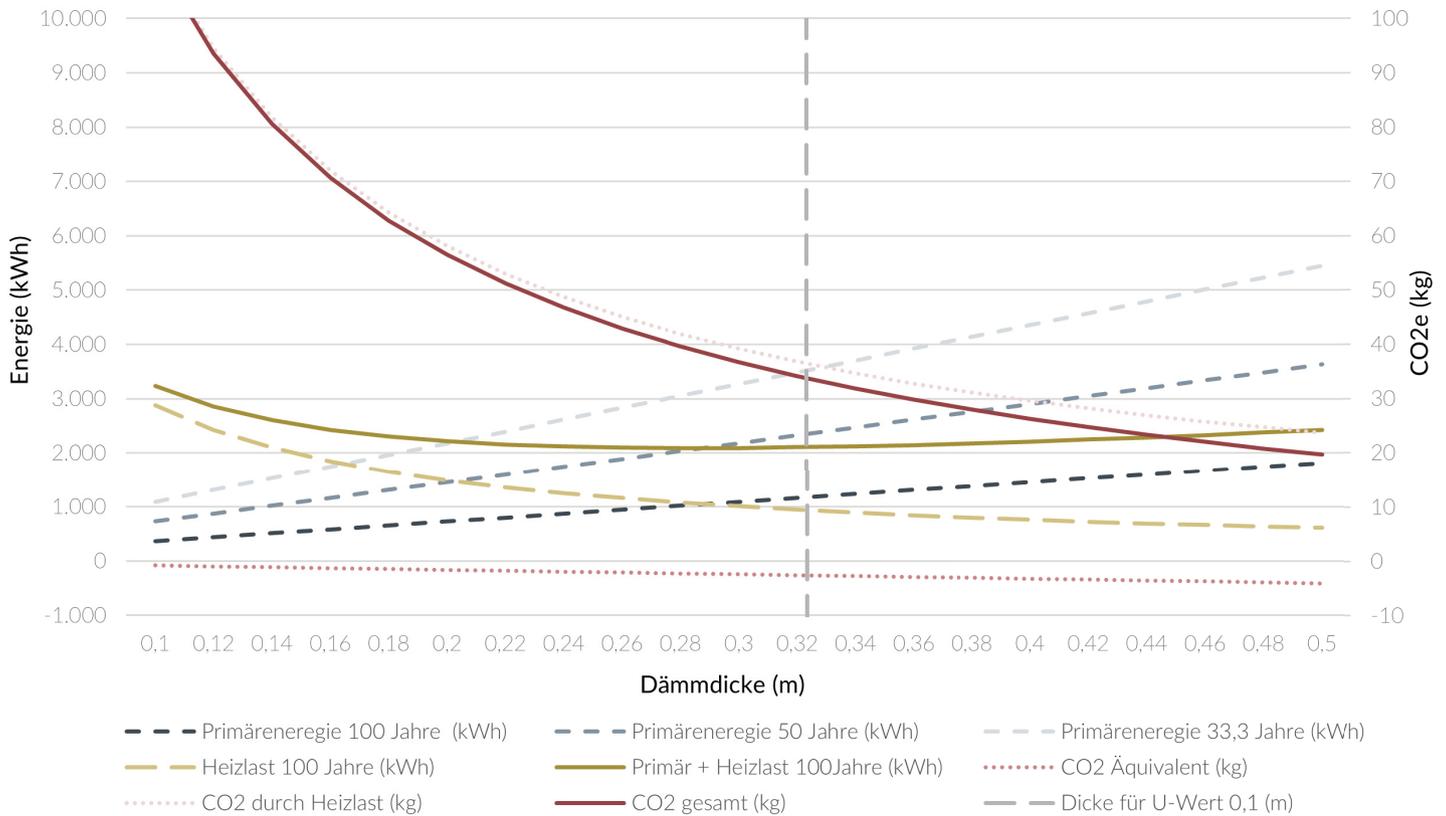


Abb. 48: Dämmstoffeffizienz Holzeinblasdämmung. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,046 \text{ W/mK}$ (IBU 2020)

$\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$

GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem

ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)

Szenario (D): energetisch (standard Szenario)

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 45,1cm

WDP/10cm: 4.591,1l

FW/10cm: 116,9l

MFR: 0%

CRU: 0%

Energie & CO₂e pro m² bei einer Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)

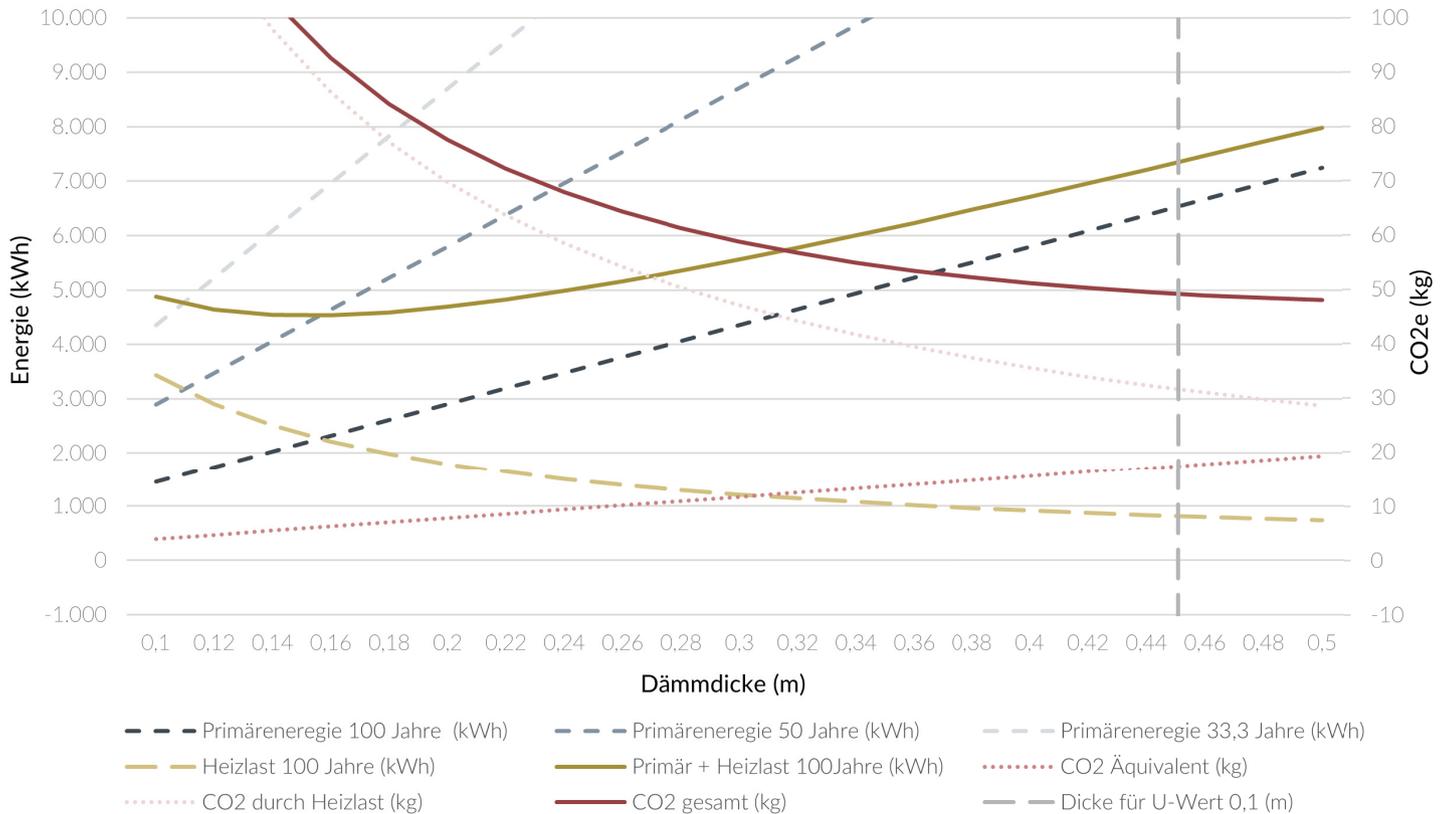


Abb. 49: Dämmstoffeffizienz Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren). Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,042 \text{ W/mK}$ (IBU 2023b)

$\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$

GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem

ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)

Szenario (D): energetisch (standard Szenario)

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 41,1cm

WDP/10cm: 130,2l

FW/10cm: 130,2l

MFR: 0%

CRU: 0%

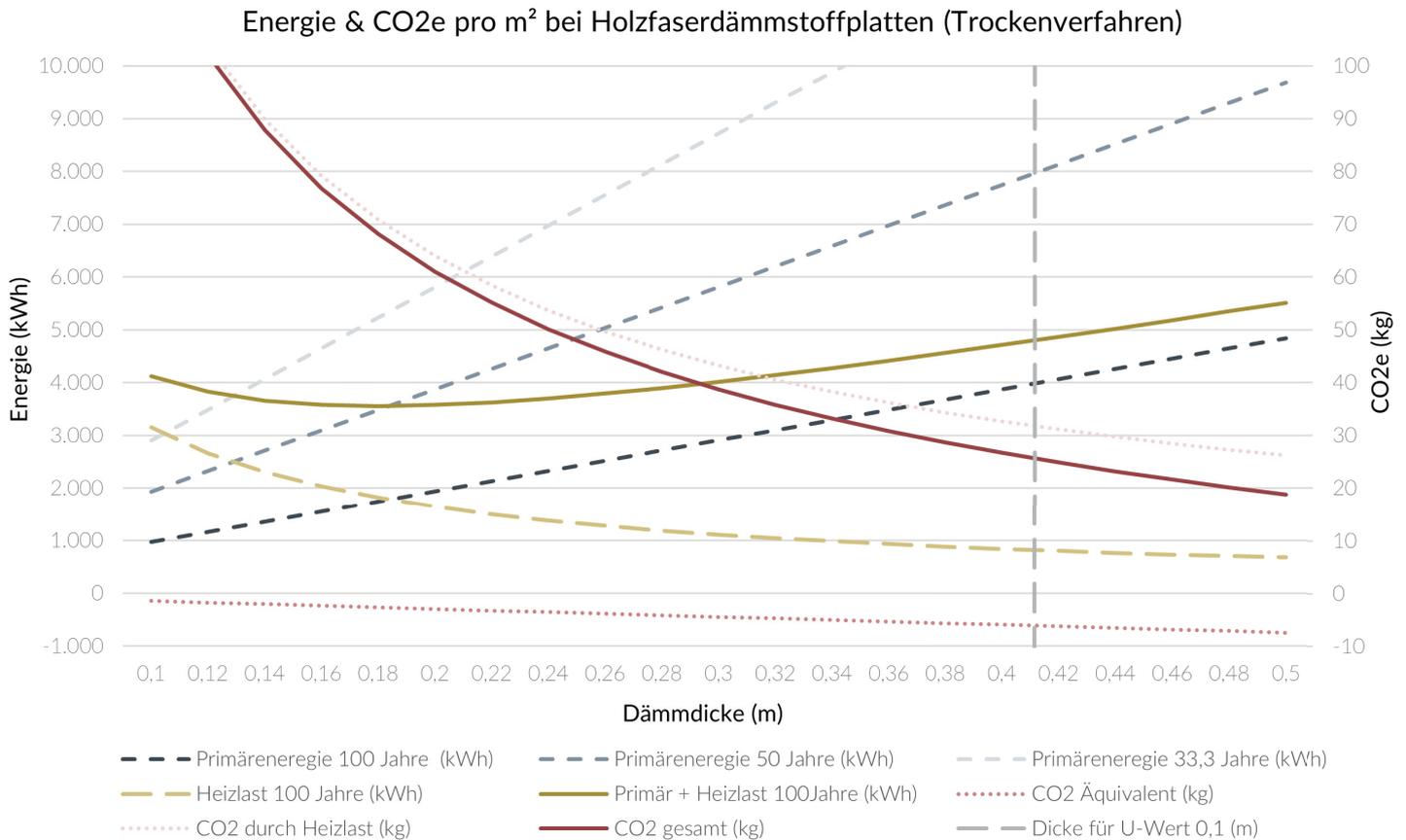


Abb. 50: Dämmstoffeffizienz Holzfaserdämmstoffplatten (Trockenverfahren). Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,06 \text{ W/mK}$ (IBU 2024a)

$\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$

GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem

ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)

Szenario (D): energetisch (standard Szenario)

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 58,8cm

WDP/10cm: 4.204,9l

FW/10cm: 104,7l

MFR: 0%

CRU: 0%

Energie & CO₂e pro m² bei einer Holzwolle-Leichtbauplatte

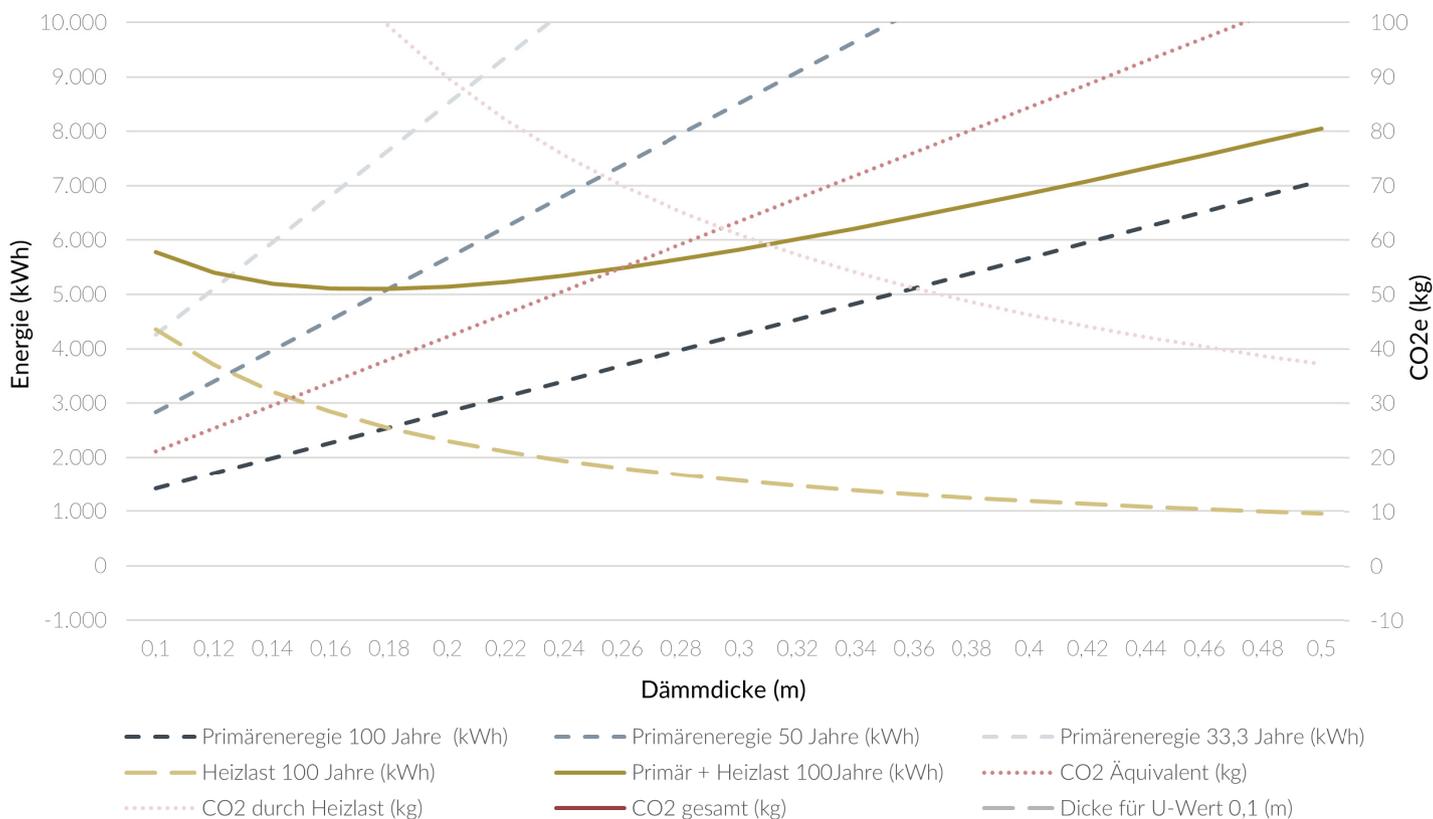


Abb. 51: Dämmstoffeffizienz Holzwolle Leichtbauplatte. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,06 \text{ W/mK}$ (IBU 2024a)

$\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$

GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)

Szenario (D): energetisch (standard Szenario)

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 58,8cm

WDP/10cm: 4.204,9l

FW/10cm: 104,7l

MFR: 0%

CRU: 0%

Energie & CO₂e pro m² bei einer Holzwole-Leichtbauplatte

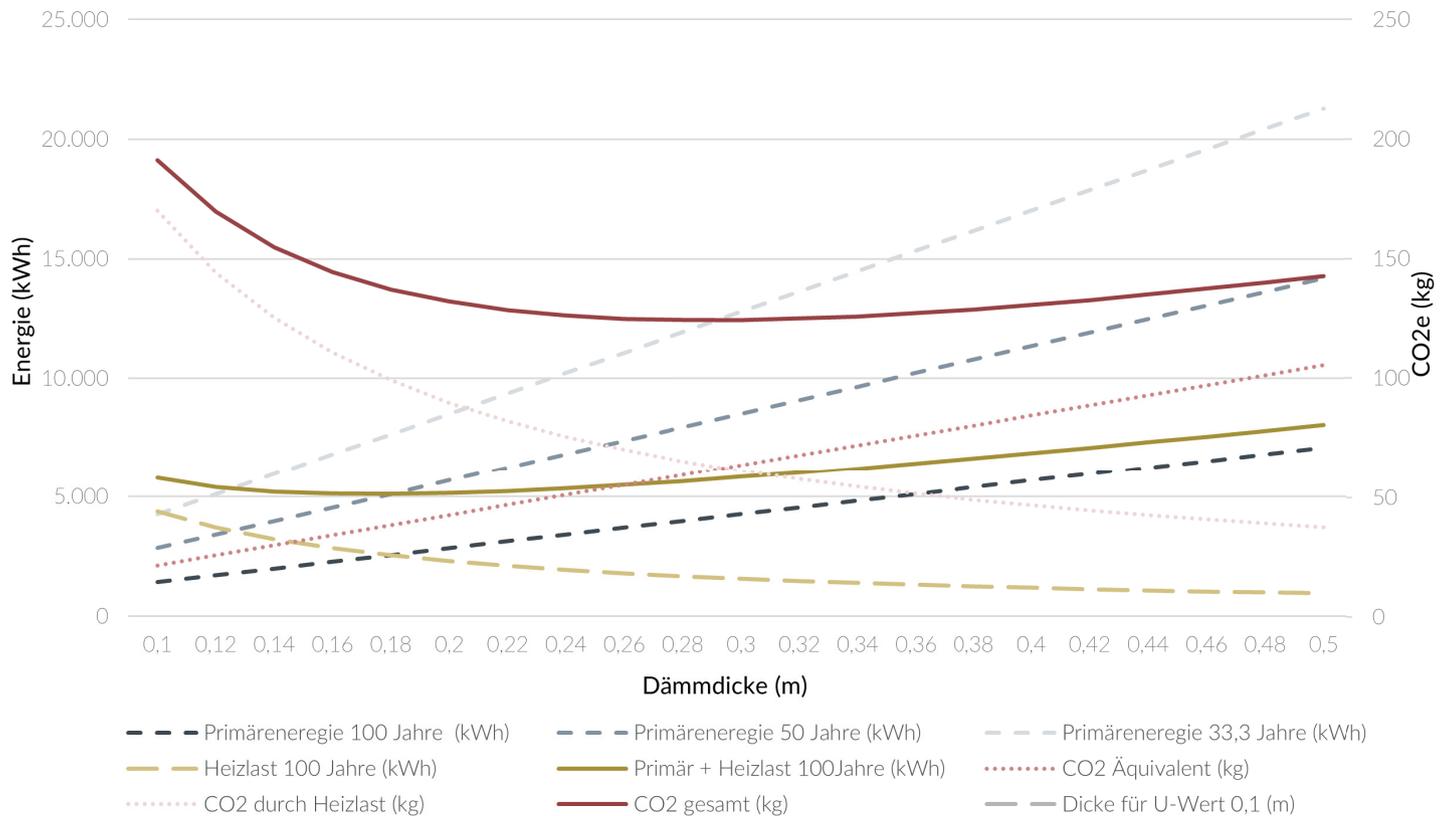


Abb. 52: Dämmstoffeffizienz Holzwole Leichtbauplatte angepasst. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,037 \text{ W/mK}$ (IBU 2023a)

$\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$

GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem

ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)

Szenario (D): energetisch (standard Szenario)

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 36,3cm

WDP/10cm: 41,6l

FW/10cm: 41,6l

MFR: 0%

CRU: 0%

Energie & CO₂e pro m² bei Holzfaserdämmstoff flexible Matten

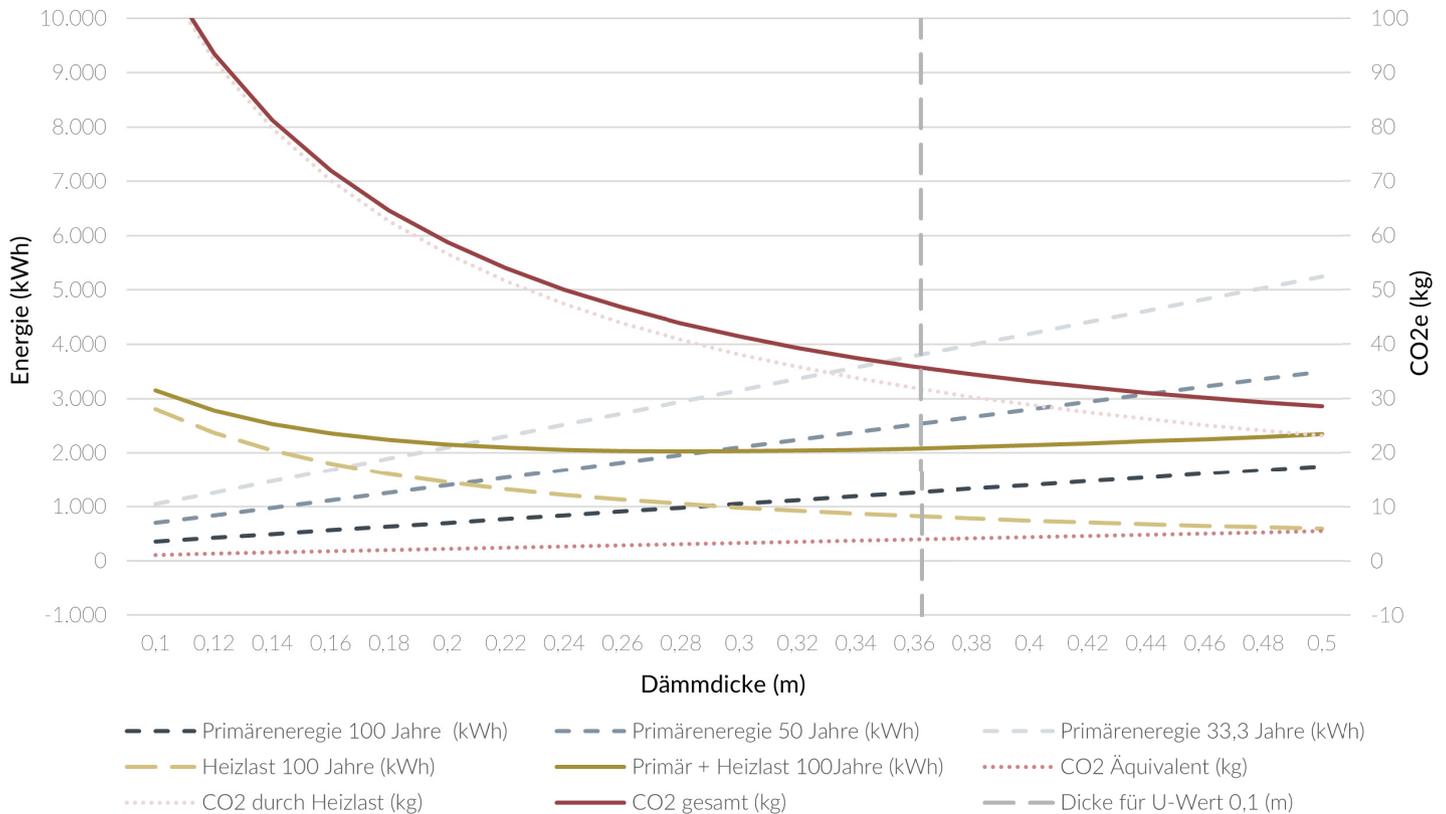


Abb. 53: Dämmstoffeffizienz Holzfaserdämmstoff flexible Matten. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,12 \text{ W/mK}$ (IBU 2019)

$\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$

GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem

ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)

Szenario (D): energetisch (standard Szenario)

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 117,6cm

WDP/10cm: 370,3l

FW/10cm: -65,6l

MFR: 0%

CRU: 0%

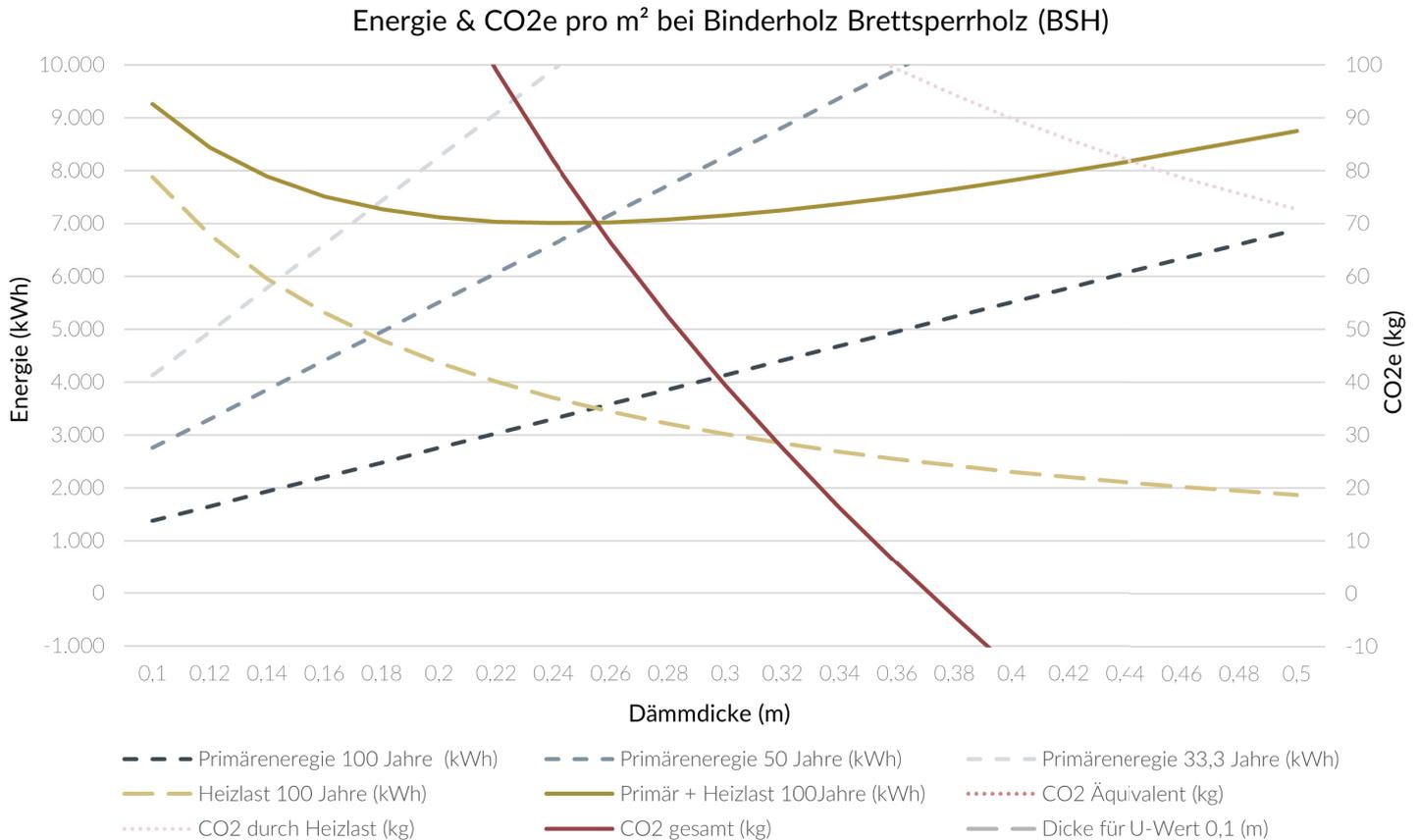


Abb. 54: Dämmstoffeffizienz BSH. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,12 \text{ W/mK}$ (IBU 2019)

$\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$

GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem

ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)

Szenario (D): energetisch (standard Szenario)

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 117,6cm

WDP/10cm: 370,3l

FW/10cm: -65,6l

MFR: 0%

CRU: 0%

Energie & CO₂e pro m² bei Binderholz Brettsperrholz (BSH)

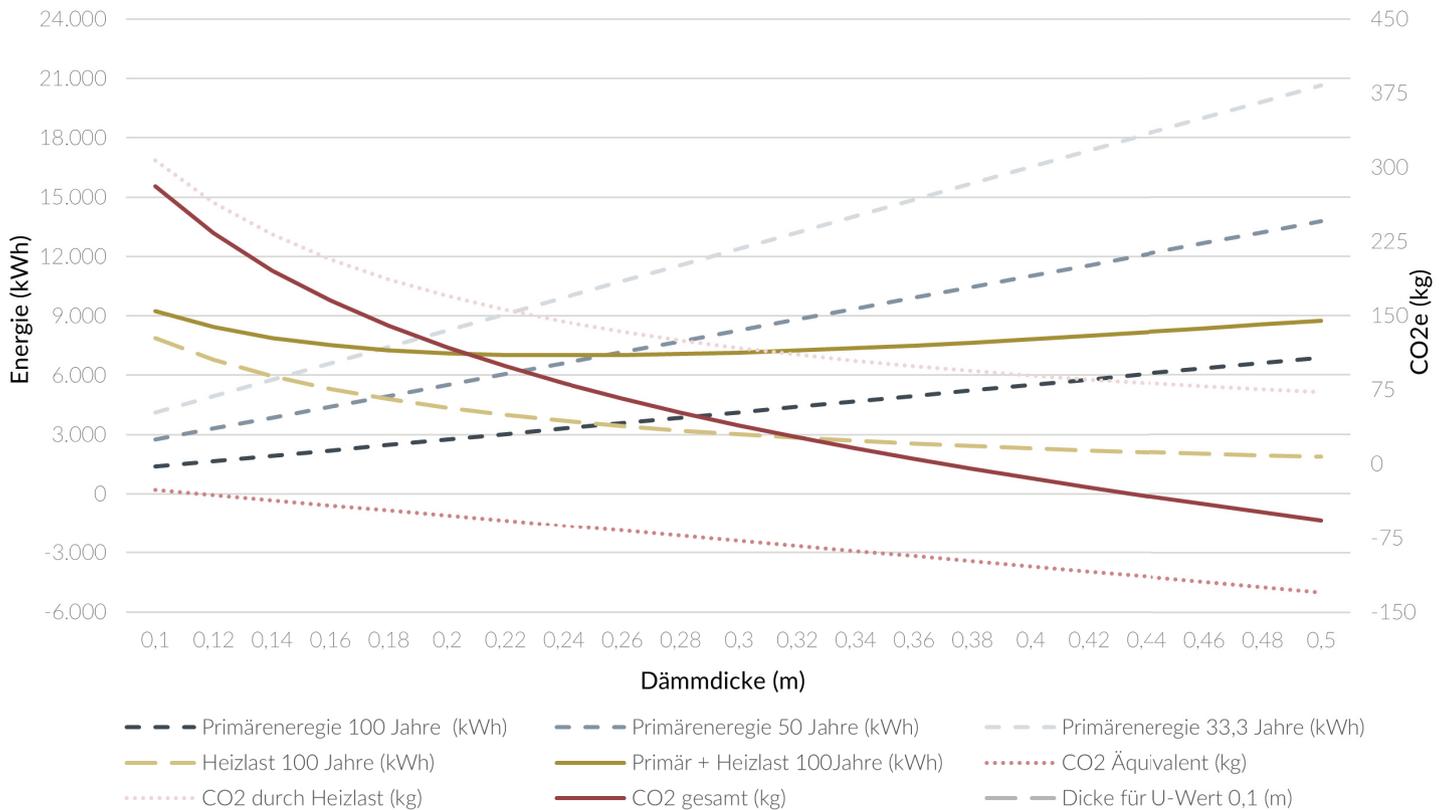


Abb. 55: Dämmstoffeffizienz BSH angepasst. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,041 \text{ W/mK}$ (IBU 2024b)
 $\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$
GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem
ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)
Szenario (D): Deponie & Recycling anfallender Baureste

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 40,2cm
WDP/10cm: 280,0l
FW/10cm: 46,5l
MFR: 0,8%
CRU: 0%

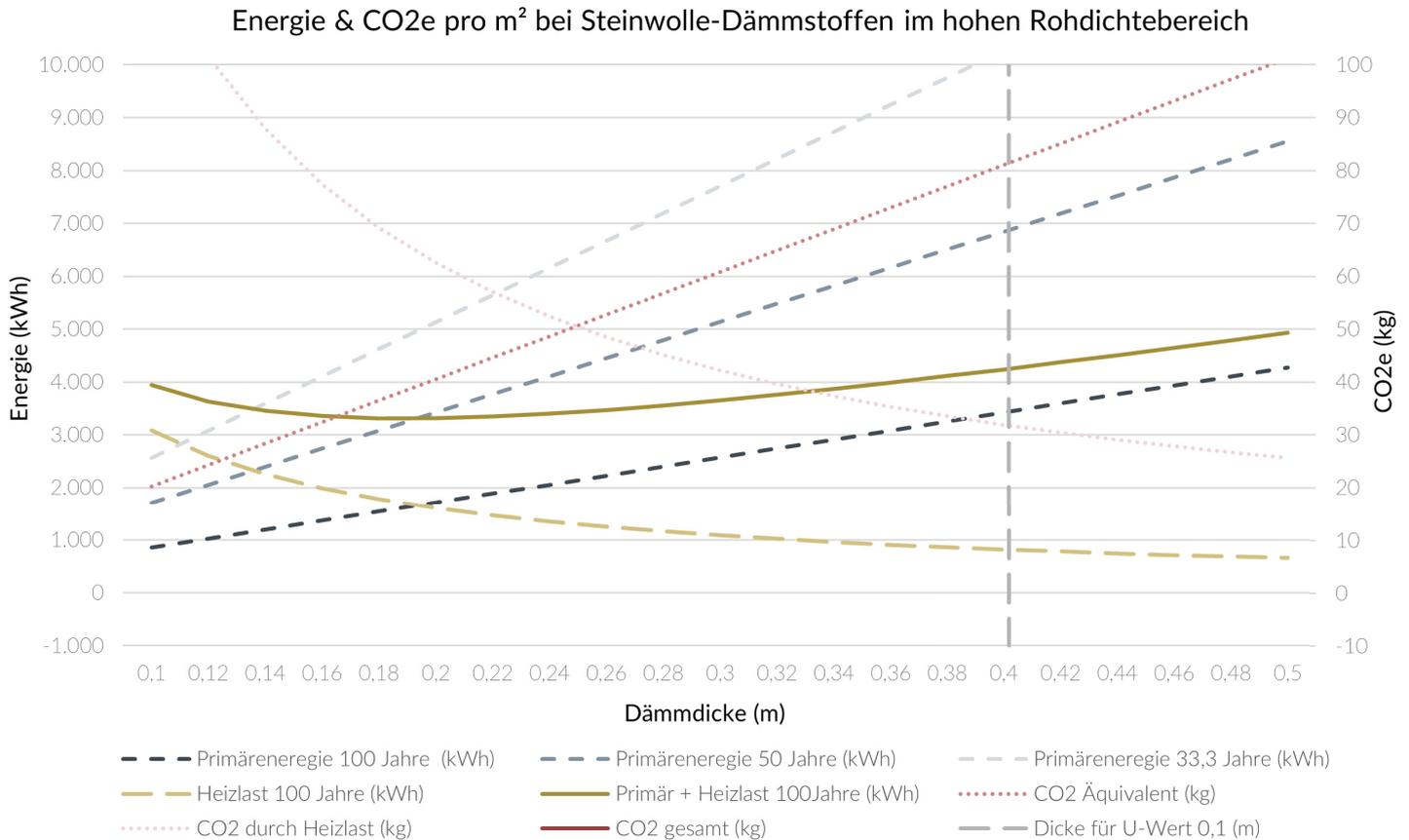


Abb. 56: Dämmstoffeffizienz Steinwolle-Dämmstoffe im hohen Rohdichtebereich. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,041 \text{ W/mK}$ (IBU 2024b)

$\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$

GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem

ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)

Szenario (D): Deponie & Recycling anfallender Baureste

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 40,2cm

WDP/10cm: 280,0l

FW/10cm: 46,5l

MFR: 0,8%

CRU: 0%

Energie & CO₂e pro m² bei Steinwolle-Dämmstoffen im hohen Rohdichtebereich

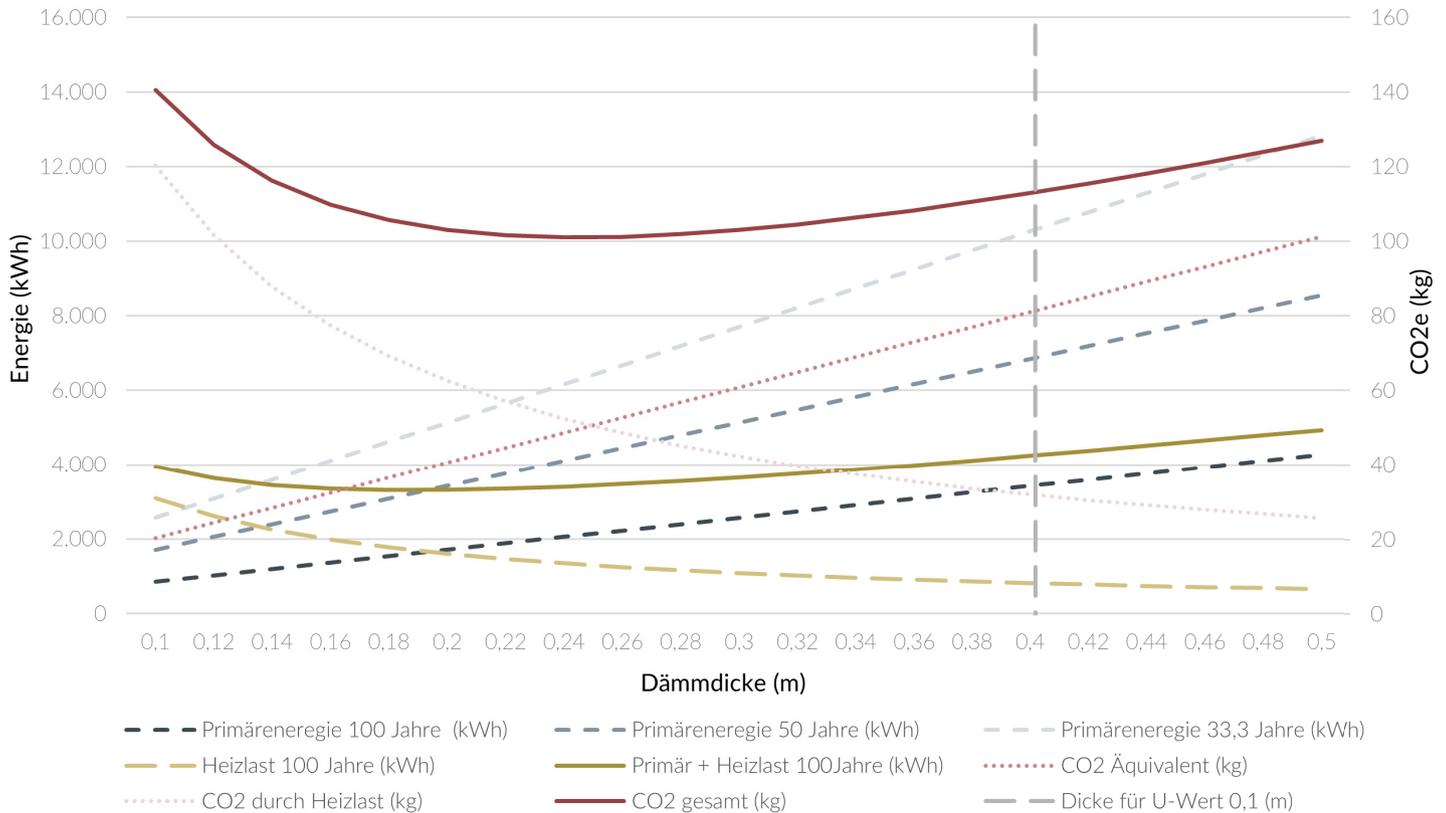


Abb. 57: Dämmstoffeffizienz Steinwolle-Dämmstoffe im hohen Rohdichtebereich angepasst. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$ (IBU 2024c)

$\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$

GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)

Szenario (D): Deponie & Recycling anfallender Baureste

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 34,3cm

WDP/10cm: 94,4l

FW/10cm: 12,2l

MFR: 0,8%

CRU: 0%

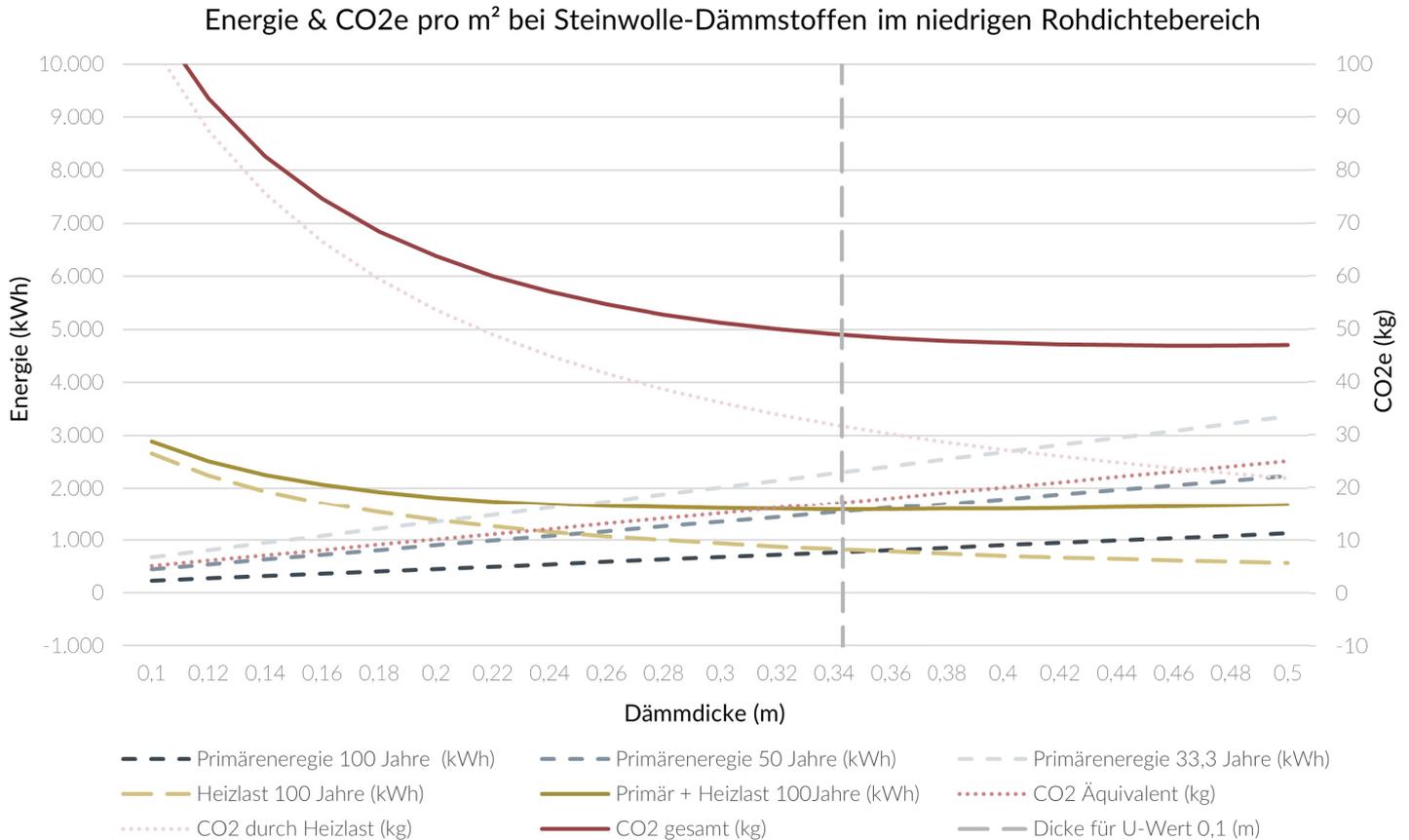


Abb. 58: Dämmstoffeffizienz Steinwolle-Dämmstoffe im niedrigen Rohdichtebereich. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$ (EPD International AB 2021)
 $\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$
GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem
ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)
Szenario (D): -

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 38,2cm
WDP/10cm: 1.145,0l
FW/10cm: 33,2l
MFR: 0%
CRU: 0%

Energie & CO₂e pro m² bei einer Steinwolle Flachdämmplatte

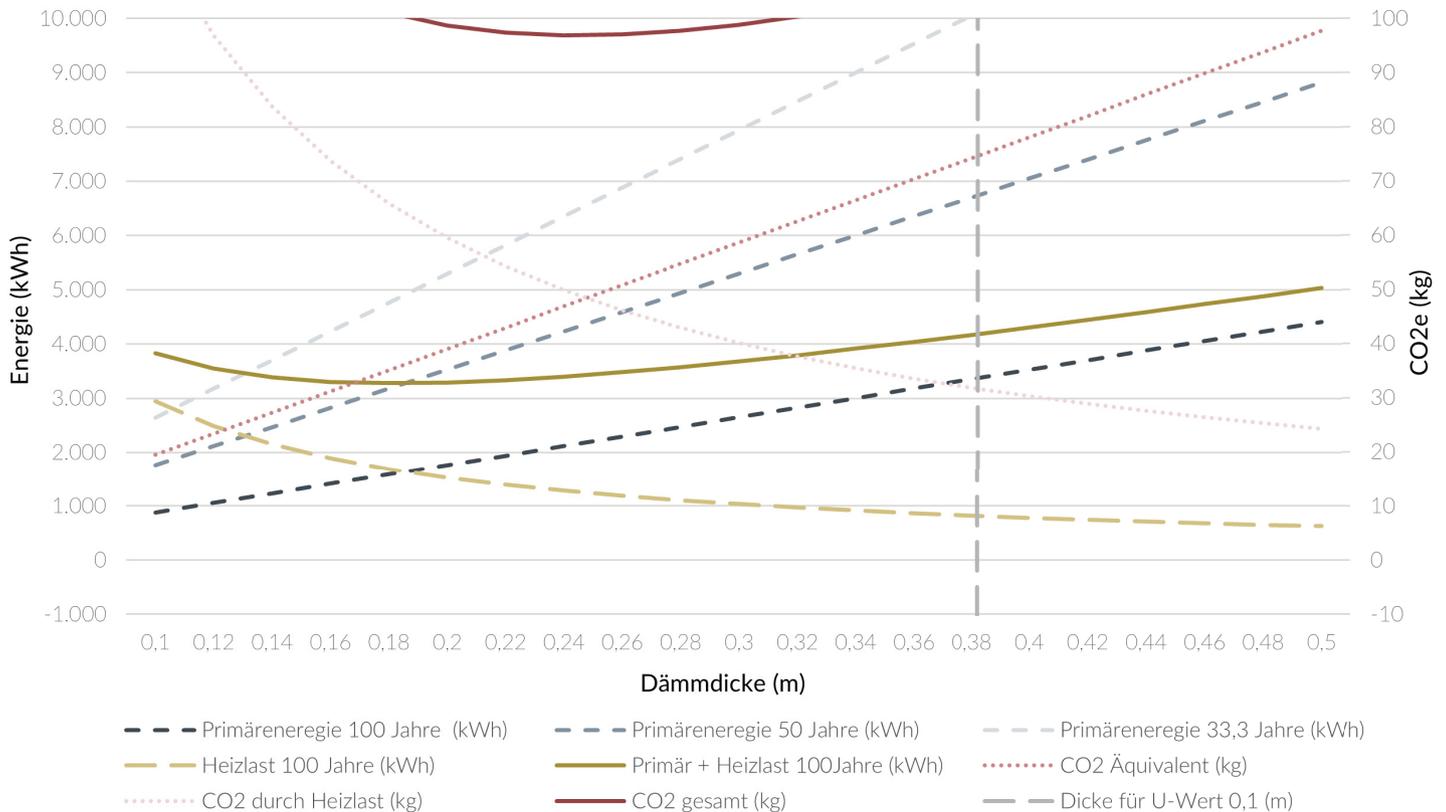


Abb. 59: Dämmstoffeffizienz Steinwolle Flachdämmplatte. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$ (EPD International AB 2021)
CO₂e pro kWh Heizenergie = 0,039kg
GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem
ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)
Szenario (D): -

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für U=0,1: 38,2cm
WDP/10cm: 1.145,0l
FW/10cm: 33,2l
MFR: 0%
CRU: 0%

Energie & CO₂e pro m² bei einer Steinwolle Flachdämmplatte

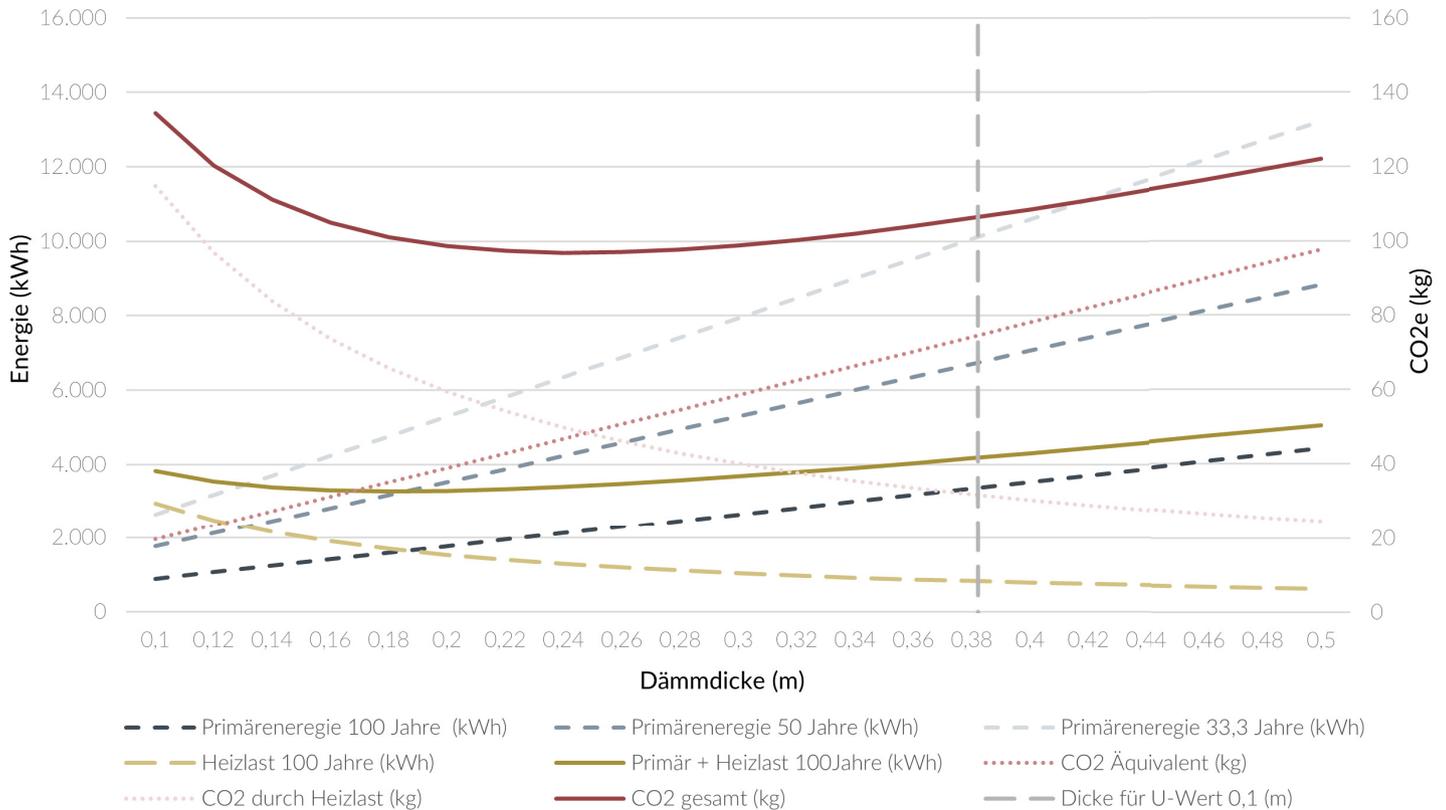


Abb. 60: Dämmstoffeffizienz Steinwolle Flachdämmplatte angepasst. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,35 \text{ W/mK}$ (Dachverband Lehm e.V. 2023)
 $\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$
GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)
Szenario (D): Gutschrift für die Netto-Materialmenge (zurückgebaute Menge abzüglich Aufbereitungsverluste, inkl. eventueller Faserbewehrungen) für die Substitution von Lehmpulver

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 3,43cm
WDP/10cm: 1132,8l
FW/10cm: 160,3l
MFR: 97,0%
CRU: 0%

Energie & CO₂e pro m² bei einer Lehmbauplatte (1,5cm)

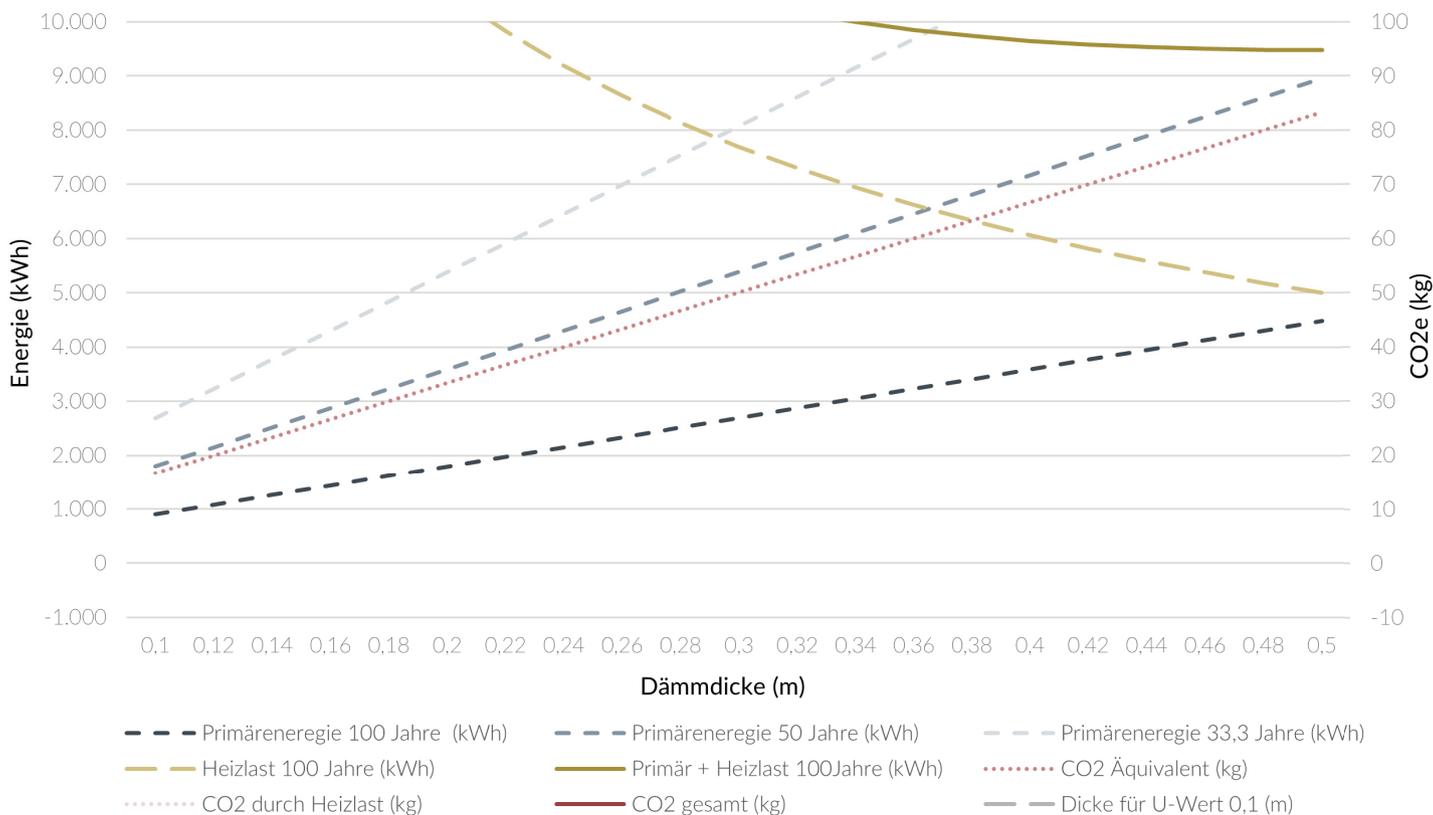


Abb. 61: Dämmstoffeffizienz Lehmbauplatte (1,5cm). Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,35 \text{ W/mK}$ (Dachverband Lehm e.V. 2023)
 $\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$
GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)
Szenario (D): Gutschrift für die Netto-Materialmenge (zurückgebaute Menge abzüglich Aufbereitungsverluste, inkl. eventueller Faserbewehrungen) für die Substitution von Lehmpulver

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 3,43cm
WDP/10cm: 1132,8l
FW/10cm: 160,3l
MFR: 97,0%
CRU: 0%

Energie & CO₂e pro m² bei einer Lehmbauplatte (1,5cm)

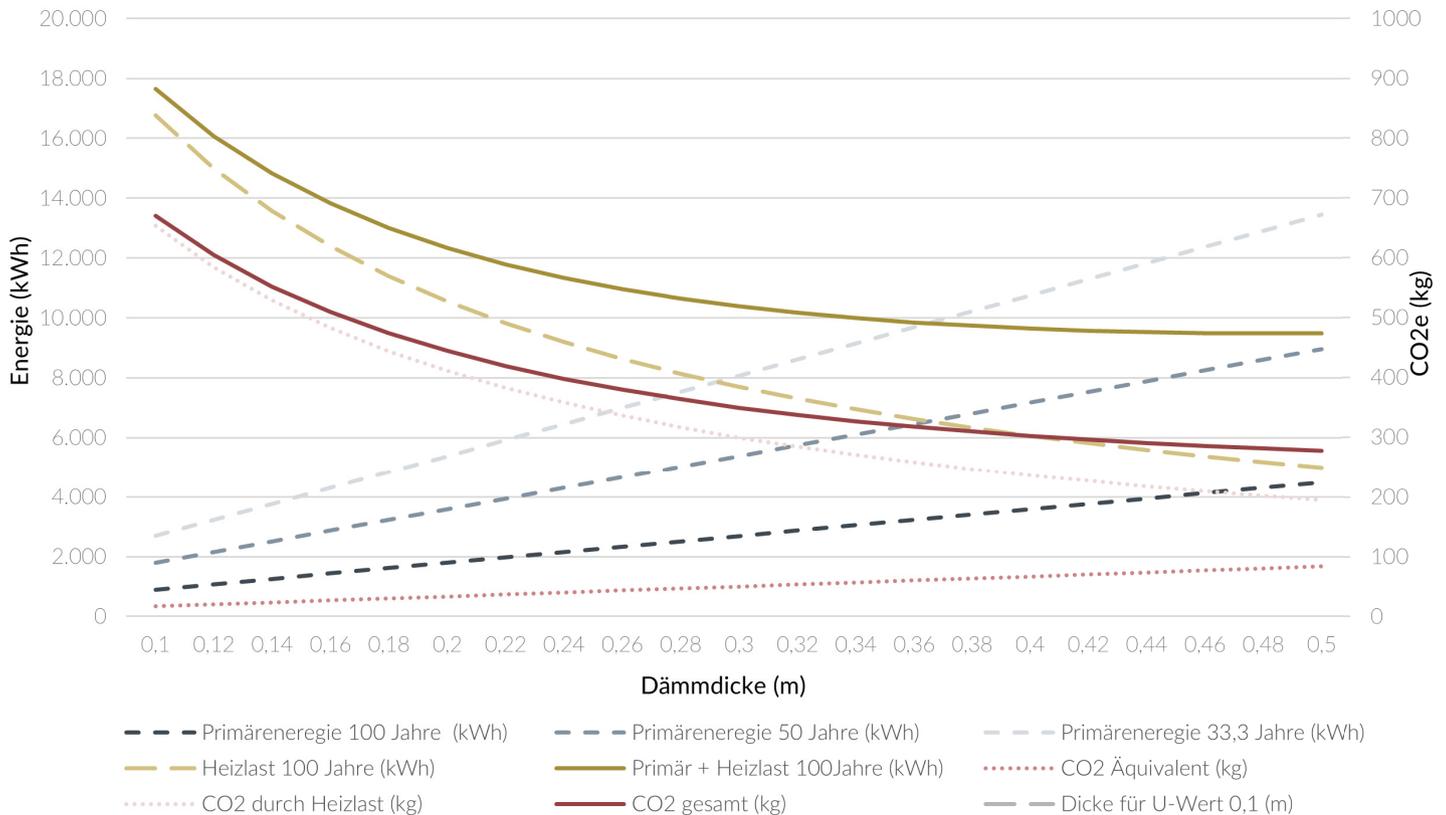


Abb. 62: Dämmstoffeffizienz Lehmbauplatte (1,5cm) angepasst. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,21 \text{ W/mK}$ (Bau EPD GmbH 2019b)
CO₂e pro kWh Heizenergie = 0,039kg
GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem
ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)
Szenario (D): -

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für U=0,1: 205,8cm
WDP/10cm: 3.204,0l
FW/10cm: 70,8l
MFR: 0%
CRU: 0%

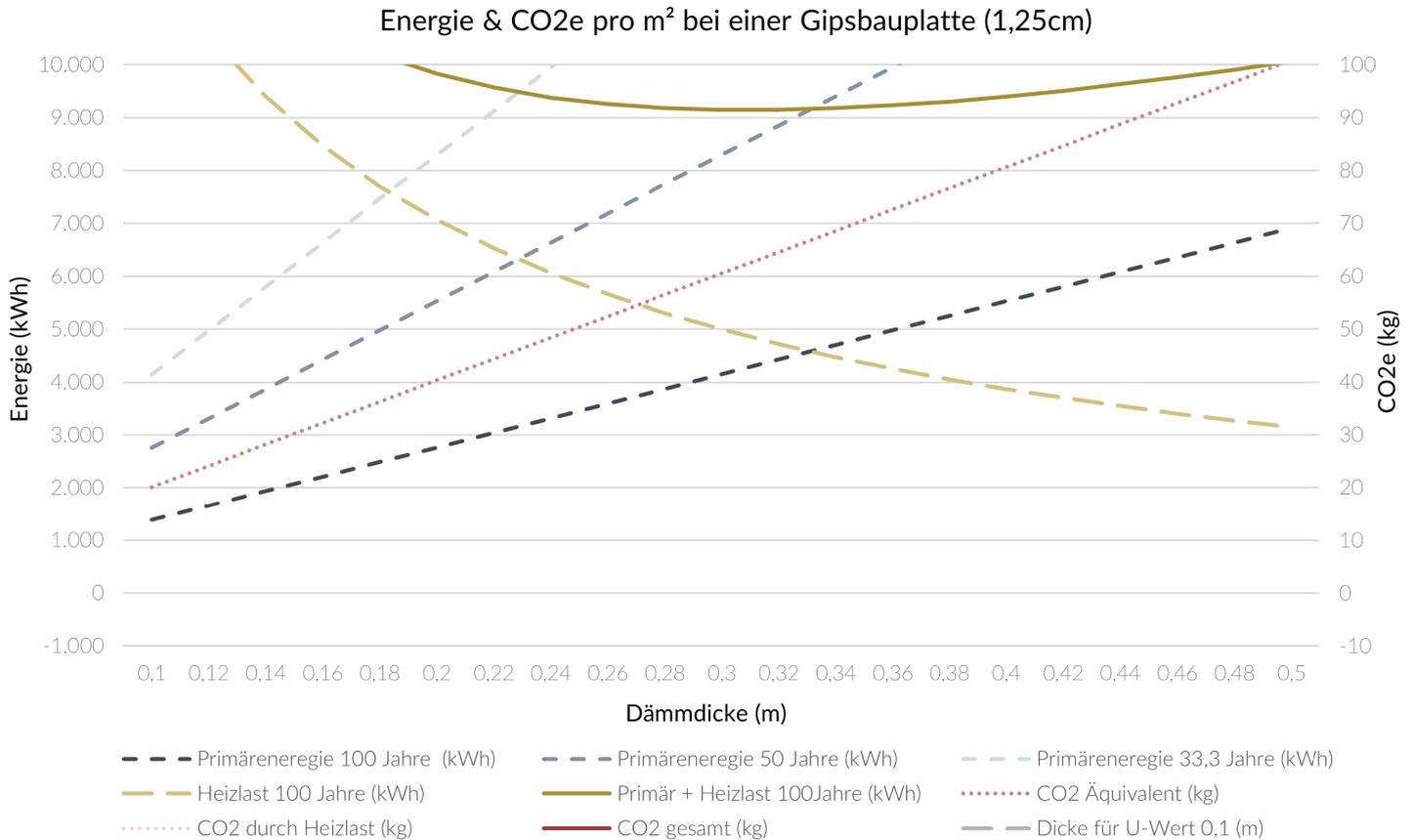


Abb. 63: Dämmstoffeffizienz Gipsbauplatte (1,25cm). Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,21 \text{ W/mK}$ (Bau EPD GmbH 2019b)
 $\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$
GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem
ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)
Szenario (D): -

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 205,8cm
WDP/10cm: 3.204,0l
FW/10cm: 70,8l
MFR: 0%
CRU: 0%

Energie & CO₂e pro m² bei einer Gipsbauplatte (1,25cm)

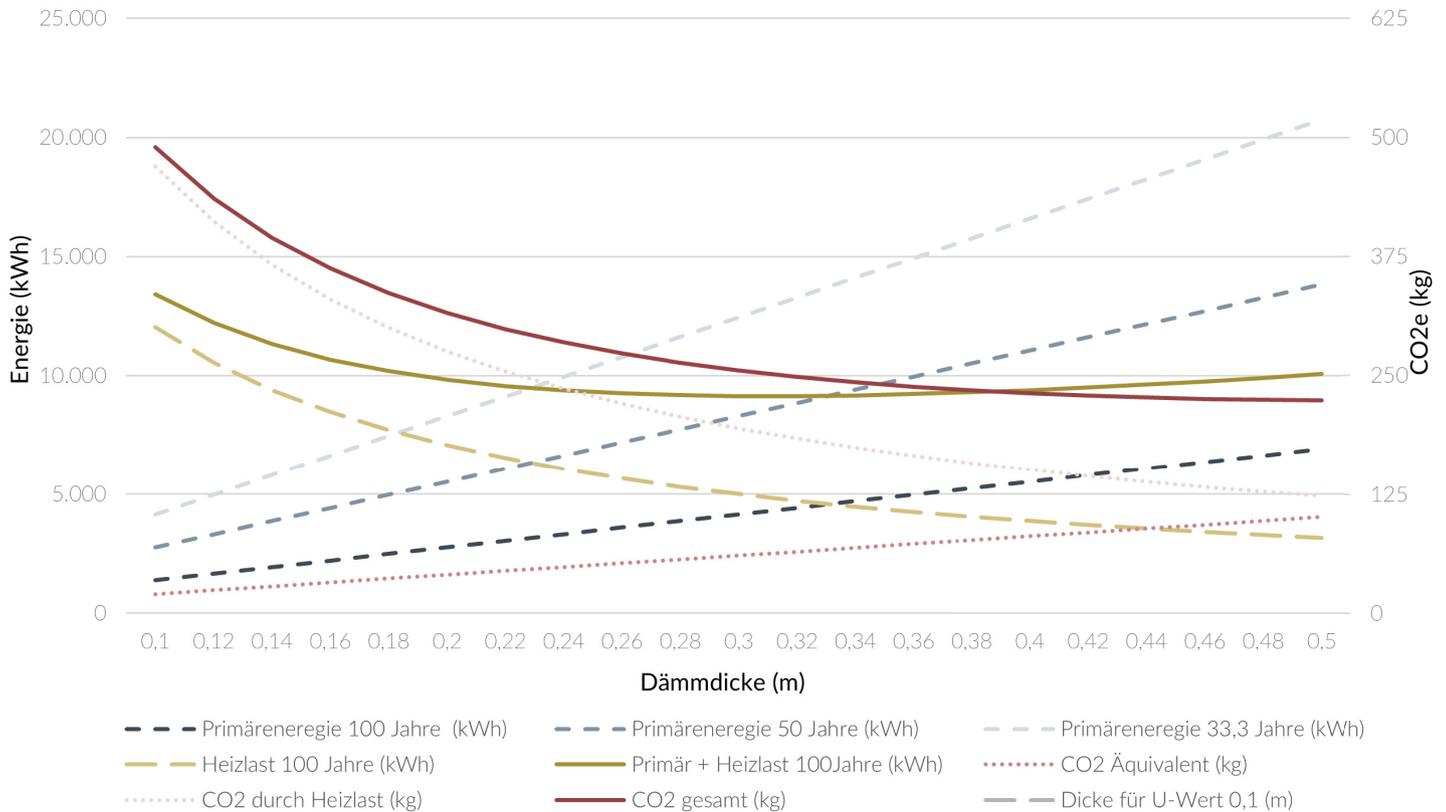


Abb. 64: Dämmstoffeffizienz Gipsbauplatte (1,25cm) angepasst. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,125 \text{ W/mK}$ (IBU 2021d)

$\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$

GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)

Szenario (D): Gutschrift für die Netto-Materialmenge (ohne Bewehrungsanteil und abzüglich Aufbereitungsverluste) für die Substitution von natürlichem Kies als Verfüllmaterial (z.B. im Straßen- oder Deponiebau)

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 122,5cm

WDP/10cm: 1.225,9l

FW/10cm: 42,6l

MFR: 72,6%

CRU: 0%

Energie & CO₂e pro m² bei Porenbetonsteinen

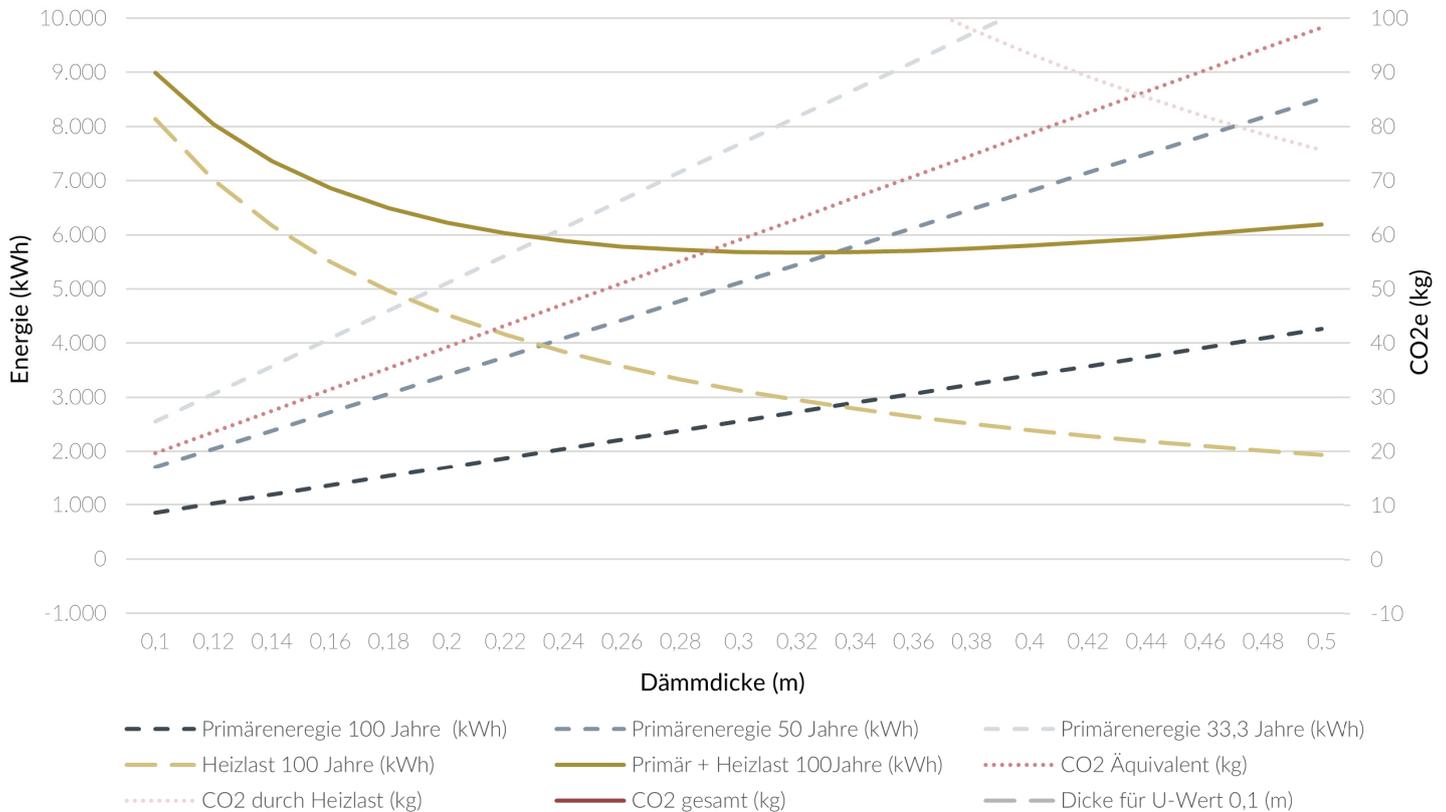


Abb. 65: Dämmstoffeffizienz Porenbetonsteine. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,125 \text{ W/mK}$ (IBU 2021d)

$\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$

GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)

Szenario (D): Gutschrift für die Netto-Materialmenge (ohne Bewehrungsanteil und abzüglich Aufbereitungsverluste) für die Substitution von natürlichem Kies als Verfüllmaterial (z.B. im Straßen- oder Deponiebau)

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 122,5cm

WDP/10cm: 1.225,9l

FW/10cm: 42,6l

MFR: 72,6%

CRU: 0%

Energie & CO₂e pro m² bei Porenbetonsteinen

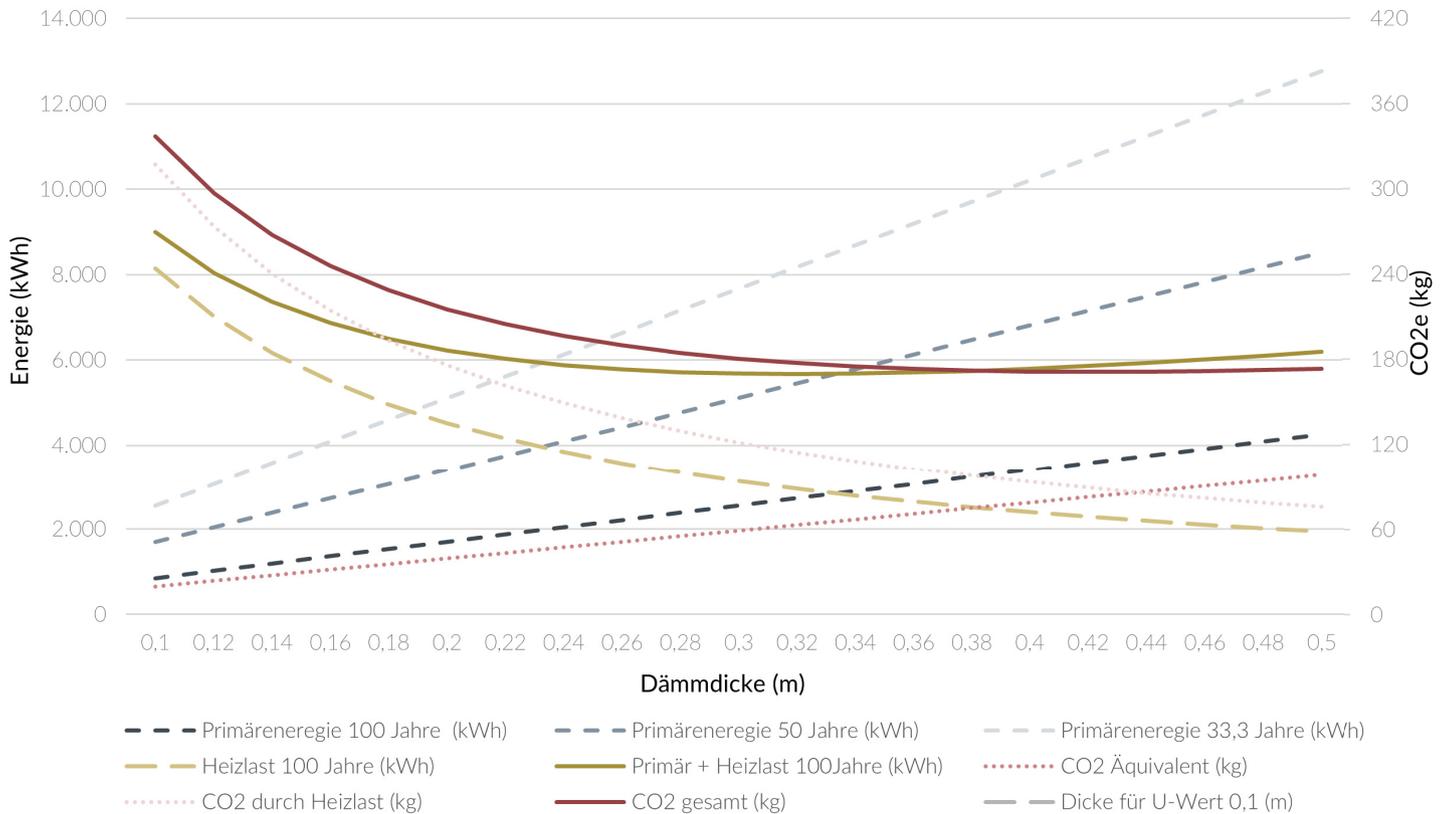


Abb. 66: Dämmstoffeffizienz Porenbetonsteine angepasst. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,05 \text{ W/mK}$ (IBU 2021a)
CO₂e pro kWh Heizenergie = 0,039kg
GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem
ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)
Szenario (D): Mülldeponie

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für U=0,1: 49,0cm
WDP/10cm: 2.175,1l
FW/10cm: 429,9l
MFR: 0%
CRU: 0%

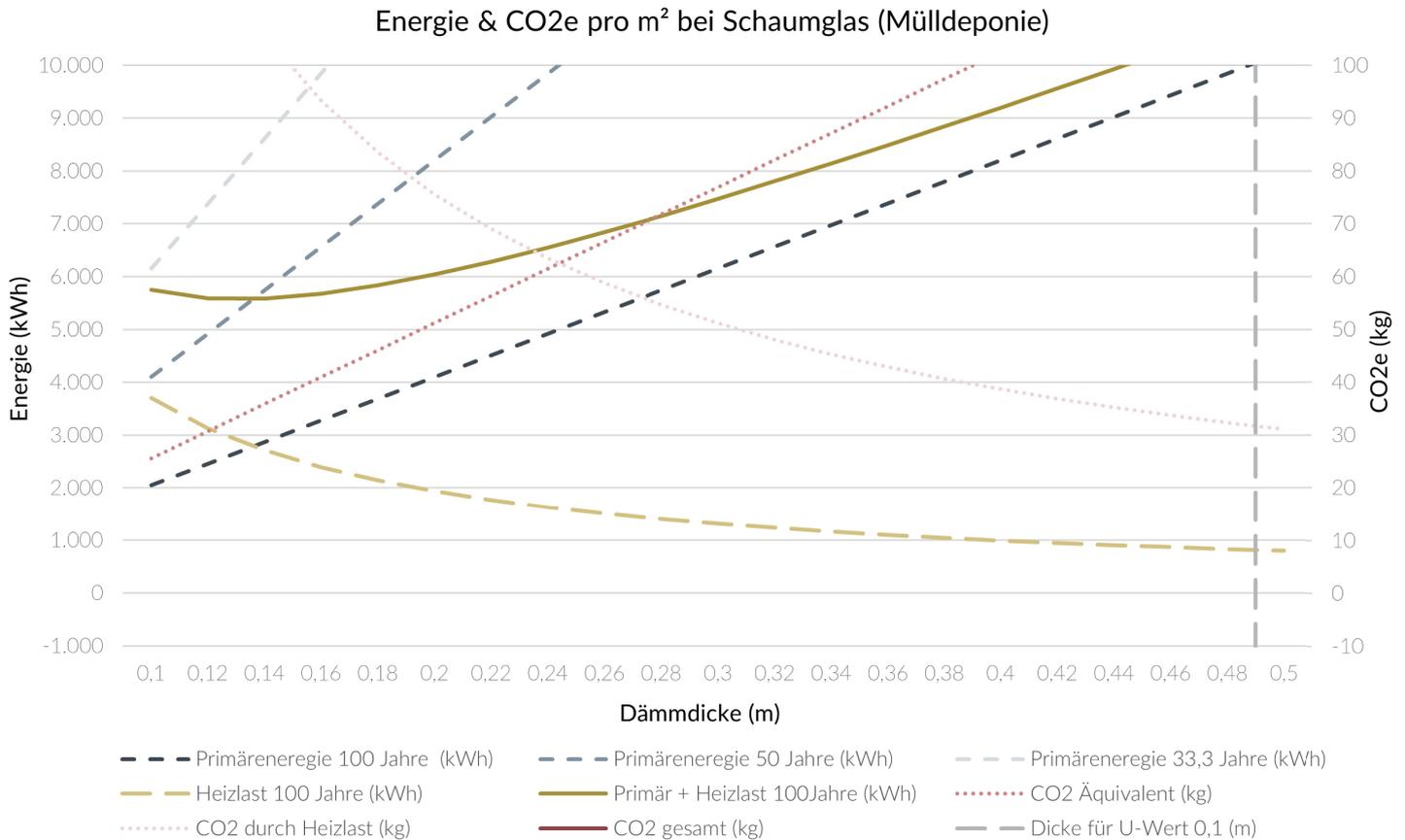


Abb. 67: Dämmstoffeffizienz Schaumglas (Mülldeponie). Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,05 \text{ W/mK}$ (IBU 2021a)
CO₂e pro kWh Heizenergie = 0,039kg
GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem
ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)
Szenario (D): Mülldeponie

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für U=0,1: 49,0cm
WDP/10cm: 2.175,1l
FW/10cm: 429,9l
MFR: 0%
CRU: 0%

Energie & CO₂e pro m² bei Schaumglas (Mülldeponie)

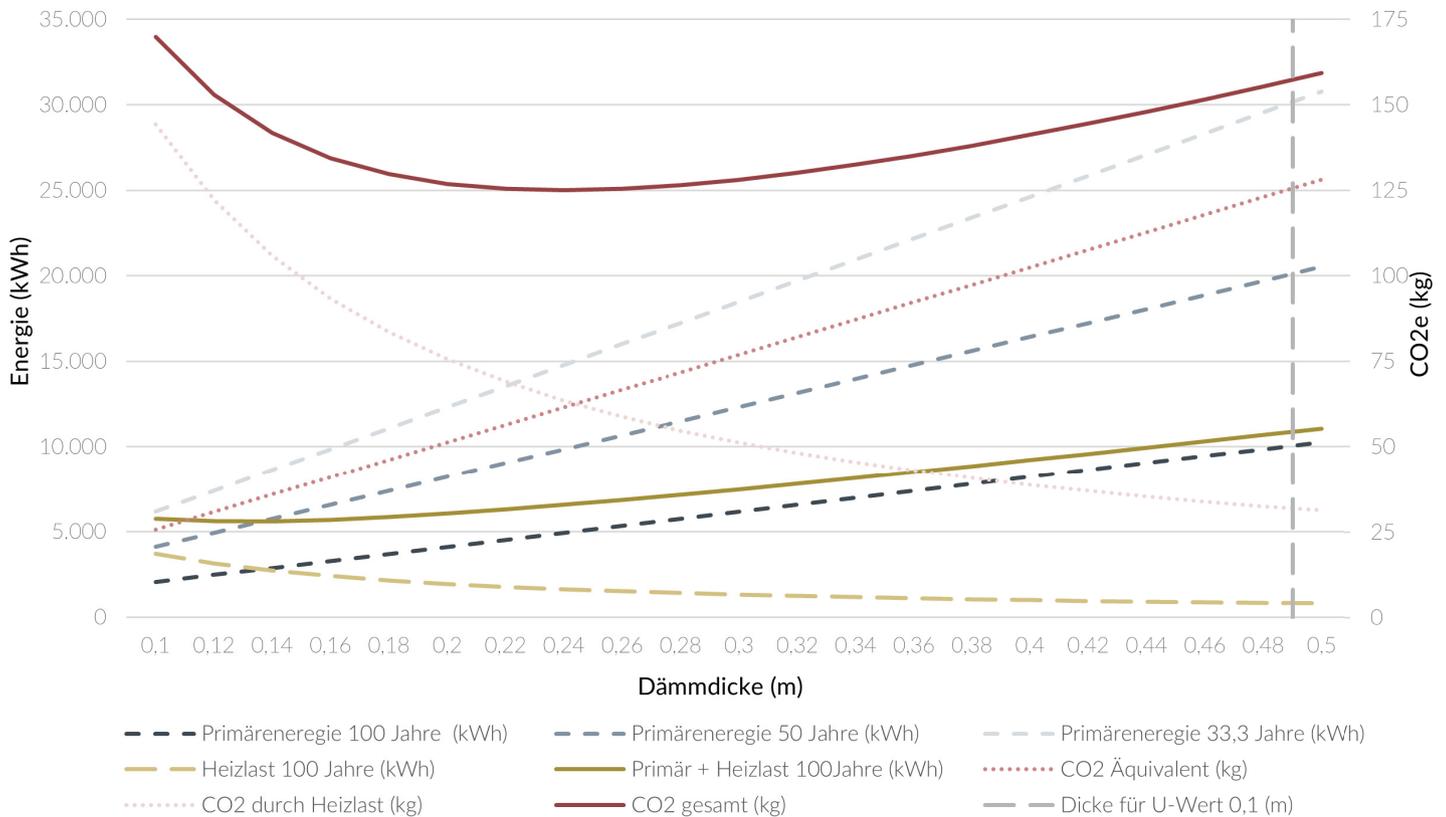


Abb. 68: Dämmstoffeffizienz Schaumglas (Mülldeponie) angepasst. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,05 \text{ W/mK}$ (IBU 2021a)
CO₂e pro kWh Heizenergie = 0,039kg
GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem
ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)
Szenario (D): Wiederverwendung

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für U=0,1: 49,0cm
WDP/10cm: 185,5l
FW/10cm: 4,9l
MFR: 0%
CRU: 100%

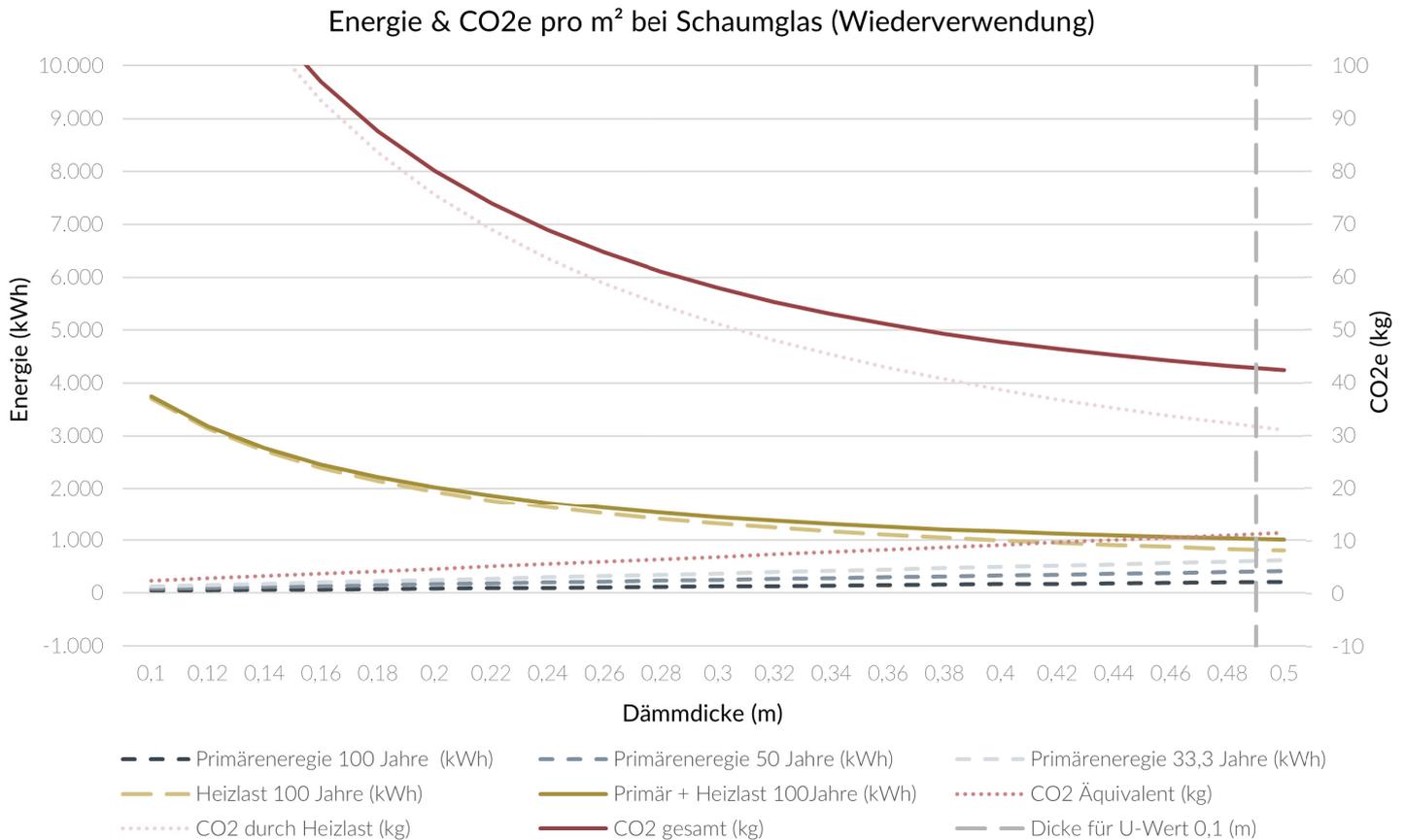


Abb. 69: Dämmstoffeffizienz Schaumglas (Wiederverwendung). Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,05 \text{ W/mK}$ (IBU 2021a)
CO₂e pro kWh Heizenergie = 0,039kg
GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem
ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)
Szenario (D): Wiederverwendung

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für U=0,1: 49,0cm
WDP/10cm: 185,5l
FW/10cm: 4,9l
MFR: 0%
CRU: 100%

Energie & CO₂e pro m² bei Schaumglas (Wiederverwendung)

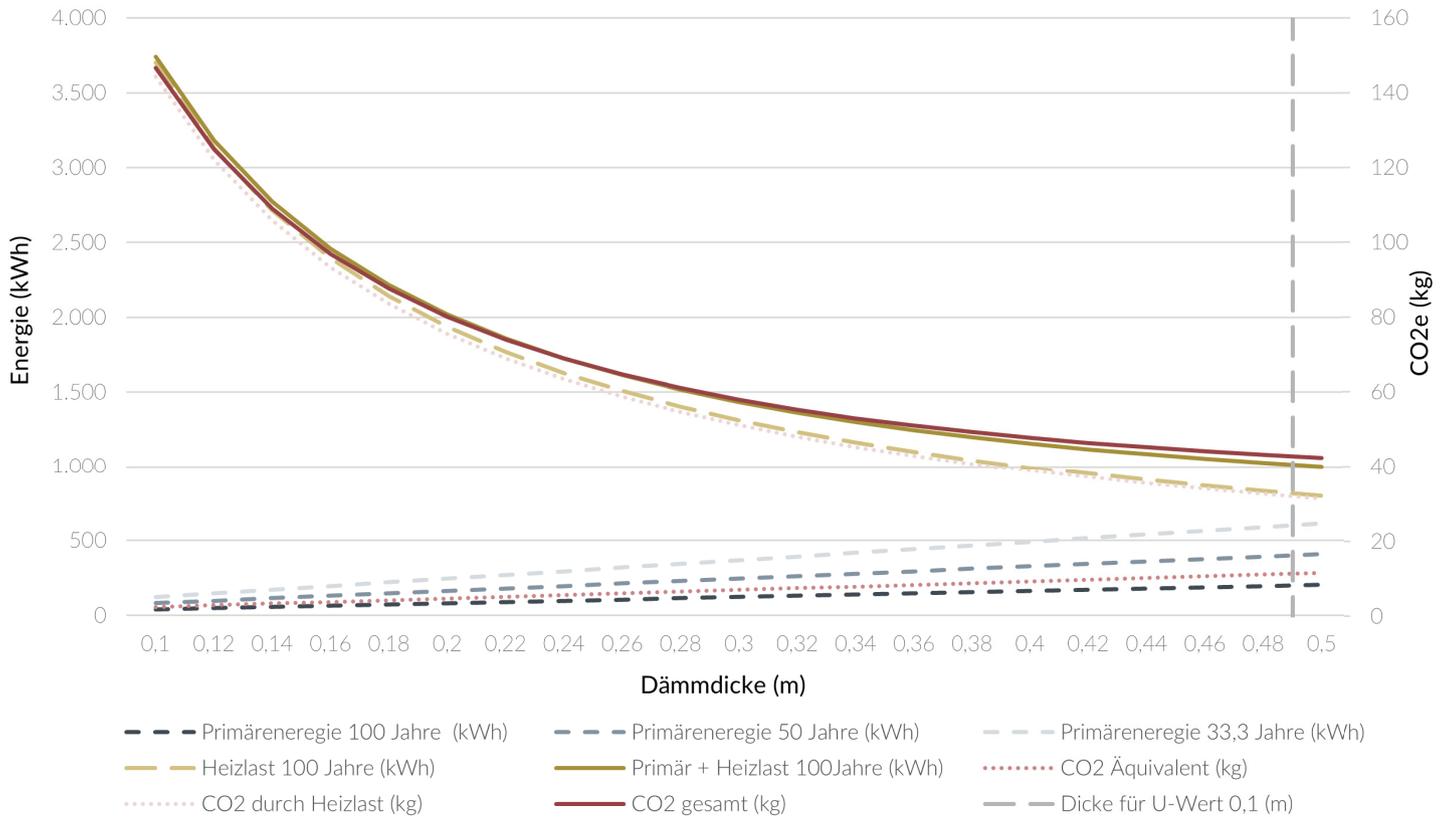


Abb. 70: Dämmstoffeffizienz Schaumglas (Wiederverwendung) angepasst. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,05 \text{ W/mK}$ (IBU 2021a)

$\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$

GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem

ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)

Szenario (D): Recycling

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 49,0cm

WDP/10cm: 2.180,4l

FW/10cm: 430,1l

MFR: 61,7%

CRU: 0%

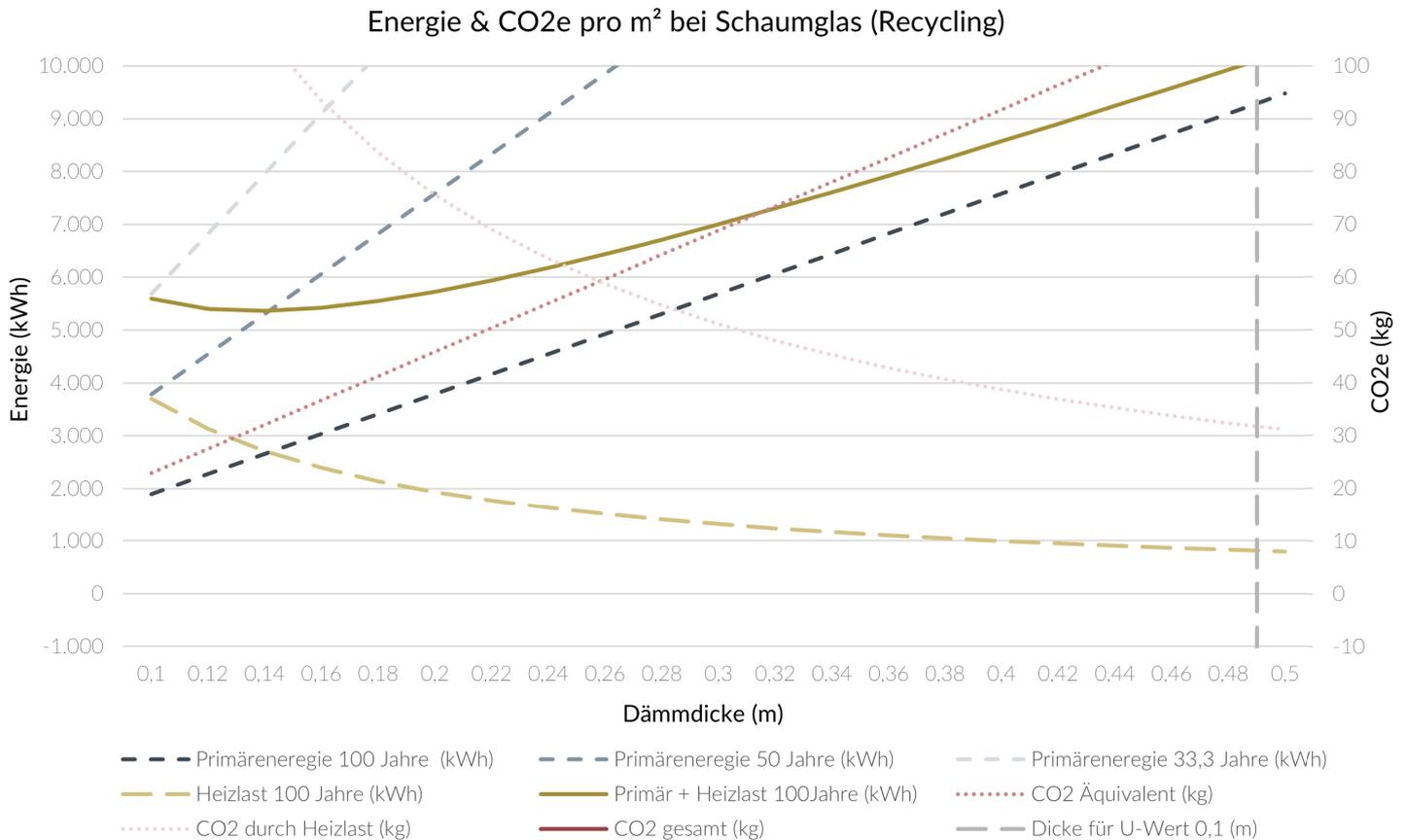


Abb. 71: Dämmstoffeffizienz Schaumglas (Recycling). Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,05 \text{ W/mK}$ (IBU 2021a)
CO₂e pro kWh Heizenergie = 0,039kg
GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem
ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)
Szenario (D): Recycling

Ergebnisse:

benötigte Dämmdicke für U=0,1: 49,0cm
WDP/10cm: 2.180,4l
FW/10cm: 430,1l
MFR: 61,7%
CRU: 0%

Energie & CO₂e pro m² bei Schaumglas (Recycling)

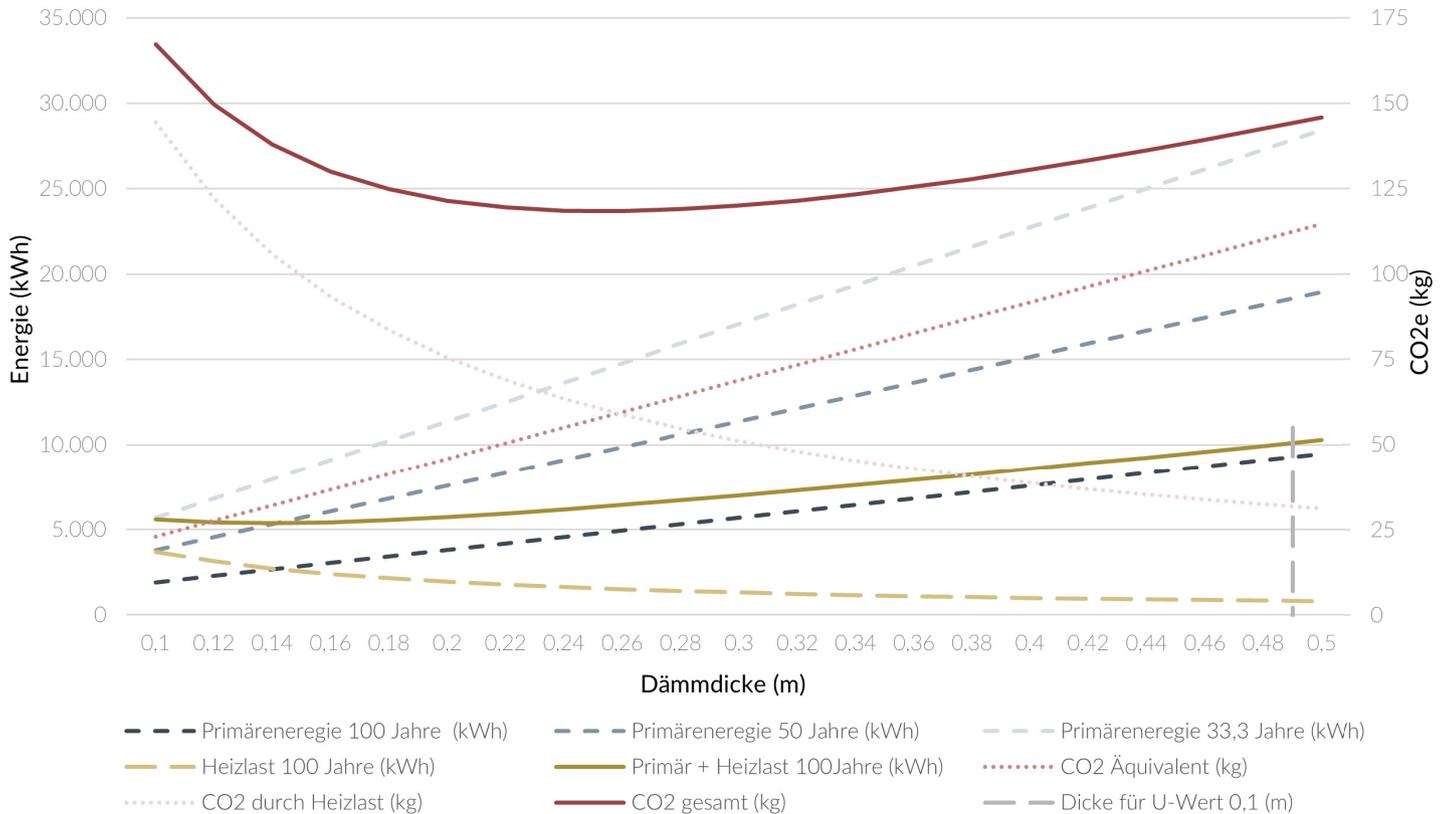


Abb. 72: Dämmstoffeffizienz Schaumglas (Recycling) angepasst. Eigene Darstellung

Fazit:

Es ist anzumerken, dass die Ergebnisse auf Daten und EPDs entstanden sind, welche keine Forschungen, sondern ausgearbeitete Konzepte von Produkten sind. Ein Beispiel: Falls ein Hersteller keine anrechenbare Möglichkeit des Recyclings vorweist, gibt es in diesem Datensatz auch keinen recycelbaren Anteil. Folglich stellen diese Diagramme keine ganzheitliche Wahrheit eines Materials oder Baustoffes dar. Des Weiteren ist dies nur eine kleine Auswahl an Baustoffen und Herstellern und bildet auch hier kein ganzheitliches Bild ab.

Bilanzierung eines Aufbaus:

Eine Bilanzierung des kompletten Außenwandaufbaus wäre notwendig, unter Berücksichtigung einer dritten Achse für Kosten. Dabei ist der Solarstrom recht gut pauschalisierbar, aber die Kosten des Aufbaus mit der verbundenen Arbeit eher schwierig. Die soziale Nachhaltigkeit steigt mit einem dickeren Aufbau, da die Aufbauten nach innen wärmer sind. Sie sinkt jedoch auch, da es ab einem gewissen Punkt ökonomisch nicht nachhaltig ist. Und sie sinkt, da mehr Wohnraum oder Grundstücksfläche verloren geht. Daher gleicht sie sich in etwa aus, nur die ökonomische wird wichtiger.

Um dies beispielsweise für ein Holzständerwerk mit Holzfaserdämmmatten als Außenwandaufbau zu bilanzieren, benötigt man die resultierende Wärmeleitfähigkeit dieses Aufbaus, dessen Kosten und die Heizkosten.

Berechnung der Wärmeleitfähigkeit gemischtes Bauteil, vereinfacht nach DIN EN ISO 6946 (DIN 2018)

Dafür muss der Anteil (f(b)) der Holzbalken (b) prozentual mit dem Anteil (f(a)) der Holzfaserdämmmatten (a) berechnet werden, um einen zusammengesetzten U-Wert zu bekommen.

R_a = Wärmedurchlasswiderstand der Holzfaserdämmmatte $\left[\frac{m^2 \cdot K}{W}\right]$

R_b = Wärmedurchlasswiderstand des Holzbalkens $\left[\frac{m^2 \cdot K}{W}\right]$

R_y = Wärmedurchlasswiderstand des gemischten Bauteils $\left[\frac{m^2 \cdot K}{W}\right]$

$$\frac{1}{R_y} = \frac{f_a}{R_a} + \frac{f_b}{R_b} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$$

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_y + R_{se}} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$$

Geht man von 6cm dicken Holzständern und einem Achsabstand von 62,5cm aus, erhält man für die Dämmung zwischen den Ständern 56,5cm. Daraus ergibt sich folgendes Verhältnis:

$$\text{Dämmung : Ständer} = \frac{56,5}{62,5} : \frac{6}{62,5} = 0,904 : 0,096$$

Um es für die Bilanzierung in der Exceltabelle zu erleichtern, wird mit dem gewichteten λ des entsprechenden Materials gerechnet. Dabei entsteht die Gewichtung aus dem gerade berechneten Verhältnis. Dabei werden die entsprechenden Wärmeleitfähigkeiten $\lambda=0,037$ für die Holzfaserdämmmatte und $\lambda=0,12$ für die Holzständer aus KVH benutzt (IBU 2023a; IBU 2022).

d_y = Dicke des Aufbaus [m]

λ_y = Wärmeleitfähigkeit des gemischten Aufbaus $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$

$$R_y = \frac{d_y}{\lambda_y}$$

$$\frac{1}{R_y} = \frac{\lambda_y}{d_y}$$

$$\lambda_y = d_y \cdot \left(\frac{f_a}{R_a} + \frac{f_b}{R_b}\right)$$

$$\lambda_y = \frac{d_y \cdot f_a}{\lambda_a} + \frac{d_y \cdot f_b}{\lambda_b}$$

$$\lambda_y = f_a \cdot \lambda_a + f_b \cdot \lambda_b$$

$$\lambda_y = 0,904 \cdot 0,037 + 0,096 \cdot 0,12 \approx 0,045 \frac{W}{mK}$$

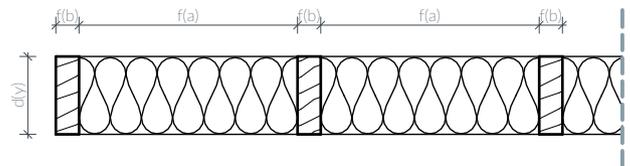


Abb. 73: Dämmstoffeffizienz und Kosten Außenwand Skizze Wandaufbau. Eigene Darstellung

Kosten Außenwand:

Einen Wert für die Kosten einer Außenwand pro m² je cm Dicke vorzugeben, ist unmöglich. Eine Näherung ist jedoch notwendig. Die verwendeten Materialien, besonders Fassade und die Schicht nach innen, können in ihren Kosten sehr schwanken. Des Weiteren kosten die ersten Zentimeter eines Aufbaus mehr, da der Arbeitsaufwand bei 10cm Dämmung zu 20cm Dämmung kaum unterschiedlich ist. Mit einem Kostenbereich von 5-15€ pro m² je cm sollten die meisten Möglichkeiten abgedeckt sein (BKI 2022). Die im späteren Verlauf entstehenden Aufbauten sollen möglichst simpel gehalten werden, erreichen aber durch Ansprüche an die Wärmedämmung dickere Dämmstärken. Folglich und für die ökonomische Nachhaltigkeit sollten Kostenbereiche zwischen 7,5€-10€ erreicht werden. Für die entstehenden Gesamtkosten des Aufbaus wird die Dicke d(y) Des Aufbaus mit den Kosten pro m² je cm multipliziert. Die Berechnung der Kosten beläuft sich auf die komplette Außenwandkonstruktion, während die Dämmstärke nur anhand der ausschlaggebenden Schicht berechnet wird. Eine Putzschicht oder Ähnliches wird vernachlässigt.

$$K_{cm} = \text{Kosten pro m}^2 \text{ ja cm } \left[\frac{\text{€}}{\text{cm}} \right]$$
$$K_{Auf} = \text{Kosten des Aufbaus} = d_y \cdot K_{cm} \text{ [€]}$$

$$K_{ges} = \text{Gesamtkosten des Aufbaus für die gesamte Lebensdauer} = K_{Heiz} + K_{Auf} \text{ [€]}$$

Heizkosten:

Diese entstehen aus der berechneten Heizlast für 100 Jahre, multipliziert mit den Kosten pro kWh. Diese liegen nach einer Studie in Abhängigkeit von Größe und Batterienutzung zwischen 6 und 22,5 Cent/kWh (Kost 2024). Hier wird mit einer optimal dimensionierten PV-Anlage gearbeitet, die mit Kollektoren auf einem Gründach funktioniert. Dadurch sollten die Kosten nicht zu hoch ausfallen. Für eine Vergleichbarkeit wurde im Folgenden mit verschiedenen Kosten Bilanziert. Für die Gesamtheizkosten wird die Heizlast über die ganze Lebensdauer mit dem entsprechenden Cent/kWh multipliziert.

$$K_{kWh} = \text{Heizkosten pro kWh} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$$
$$K_{Heiz} = \text{Heizkosten der Lebensdauer} = H_{le} \cdot K_{kWh} \text{ [€]}$$

Um die Summe dieser Kosten zu errechnen und damit einen Tiefpunkt erkennen zu können, müssen diese Gesamtkosten des Ausbaus mit denen Der Heizlast der gesamten Lebensdauer addiert werden. Diese stehen beide in Abhängigkeit zu der Dicke des Aufbaus.

Der berechnete Faktor (Dämmung/ Ständer) muss gleichgültig auch für die anderen Berechneten Parameter angewendet werden.

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,045 \text{ W/mK}$ (Aufbau)

$\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$

GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem

ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)

Kosten pro kWh PV-Strom: 0,12€

Kosten pro cm^2 pro cm: 10€

Szenario (D): energetisch (standard Szenario)

Ergebnisse (Aufbau):

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 44,1cm

WDP/10cm: 45,0l

FW/10cm: 34,1l

MFR: 0%

CRU: 0%

Energie , CO₂e & Kosten pro m² der Außenwand Szenario 1

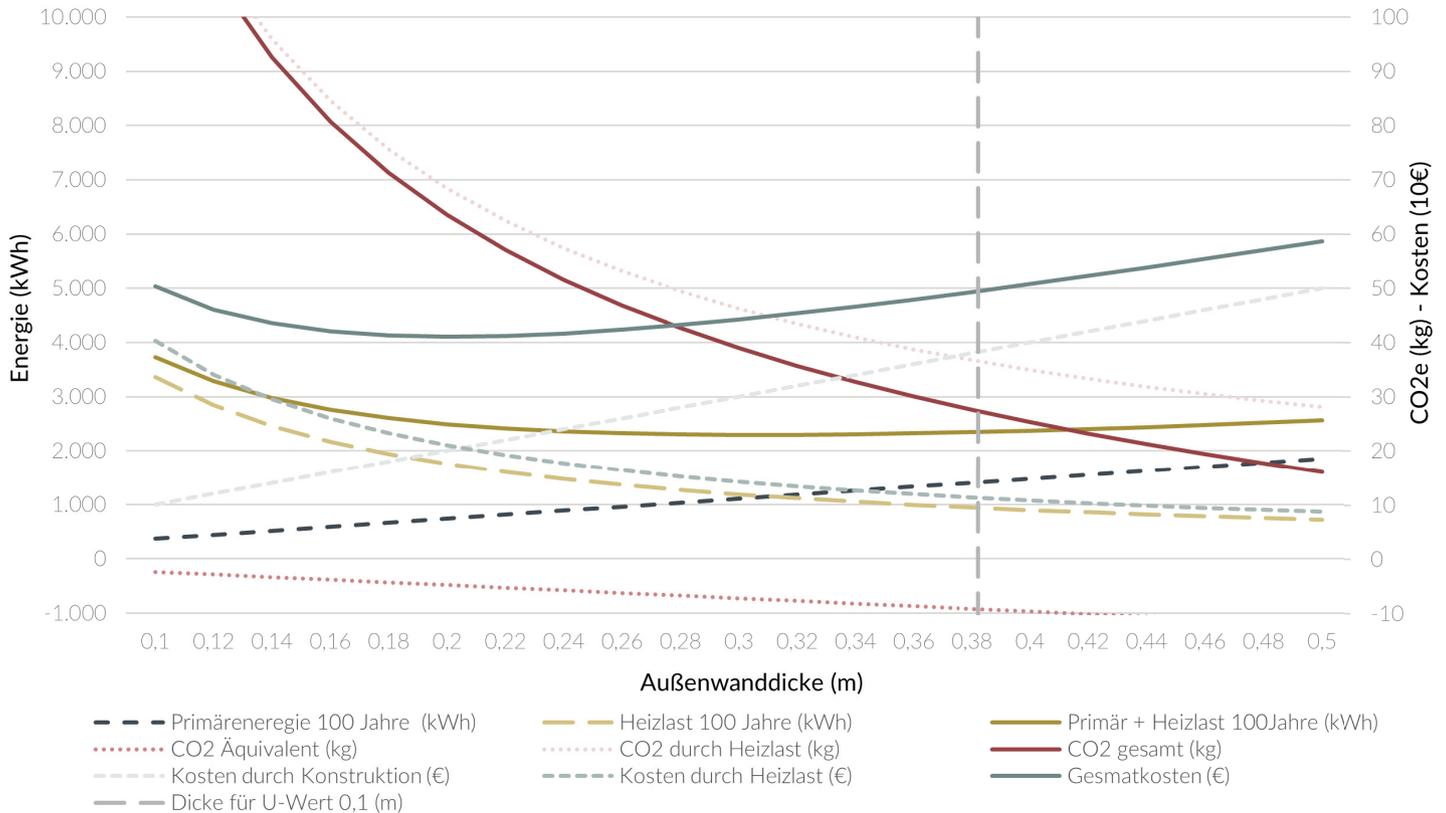


Abb. 74: Dämmstoffeffizienz und Kosten Außenwand Szenario 1. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,045 \text{ W/mK}$ (Aufbau)

$\text{CO}_2\text{e pro kWh Heizenergie} = 0,039\text{kg}$

GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem

ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)

Kosten pro kWh PV-Strom: 0,06€

Kosten pro cm^2 pro cm: 5€

Szenario (D): energetisch (standard Szenario)

Ergebnisse (Aufbau):

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 44,1cm

WDP/10cm: 45,0l

FW/10cm: 34,1l

MFR: 0%

CRU: 0%

Energie , CO₂e & Kosten pro m² der Außenwand Szenario 2

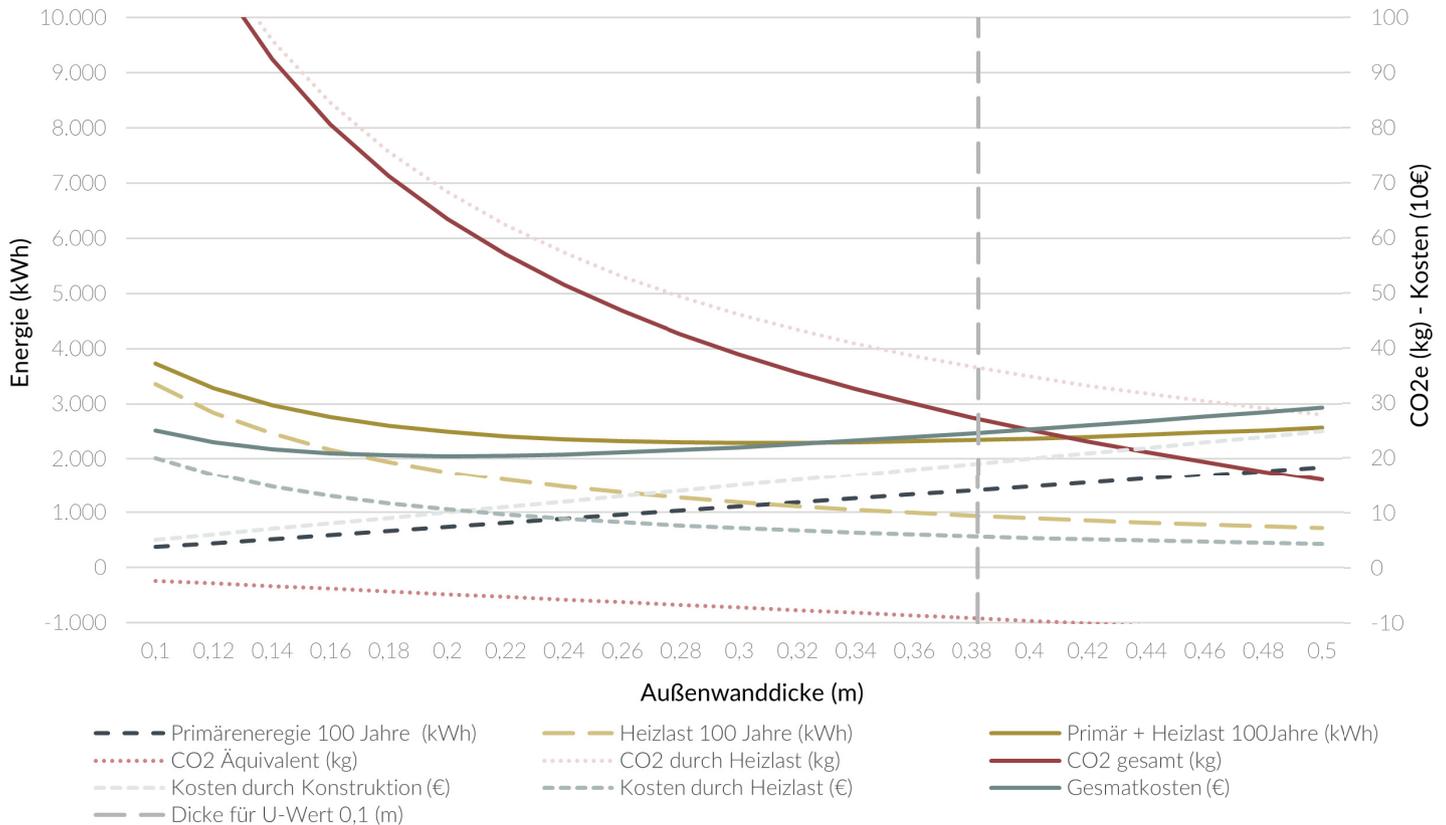


Abb. 75: Dämmstoffeffizienz und Kosten Außenwand Szenario 2. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,045 \text{ W/mK}$ (Aufbau)
CO₂e pro kWh Heizenergie = 0,039kg
GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem
ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)
Kosten pro kWh PV-Strom: 0,225€
Kosten pro cm² pro cm: 15€
Szenario (D): energetisch (standard Szenario)

Ergebnisse (Aufbau):

benötigte Dämmdicke für U=0,1: 44,1cm
WDP/10cm: 45,0l
FW/10cm: 34,1l
MFR: 0%
CRU: 0%

Energie , CO₂e & Kosten pro m² der Außenwand Szenario 3

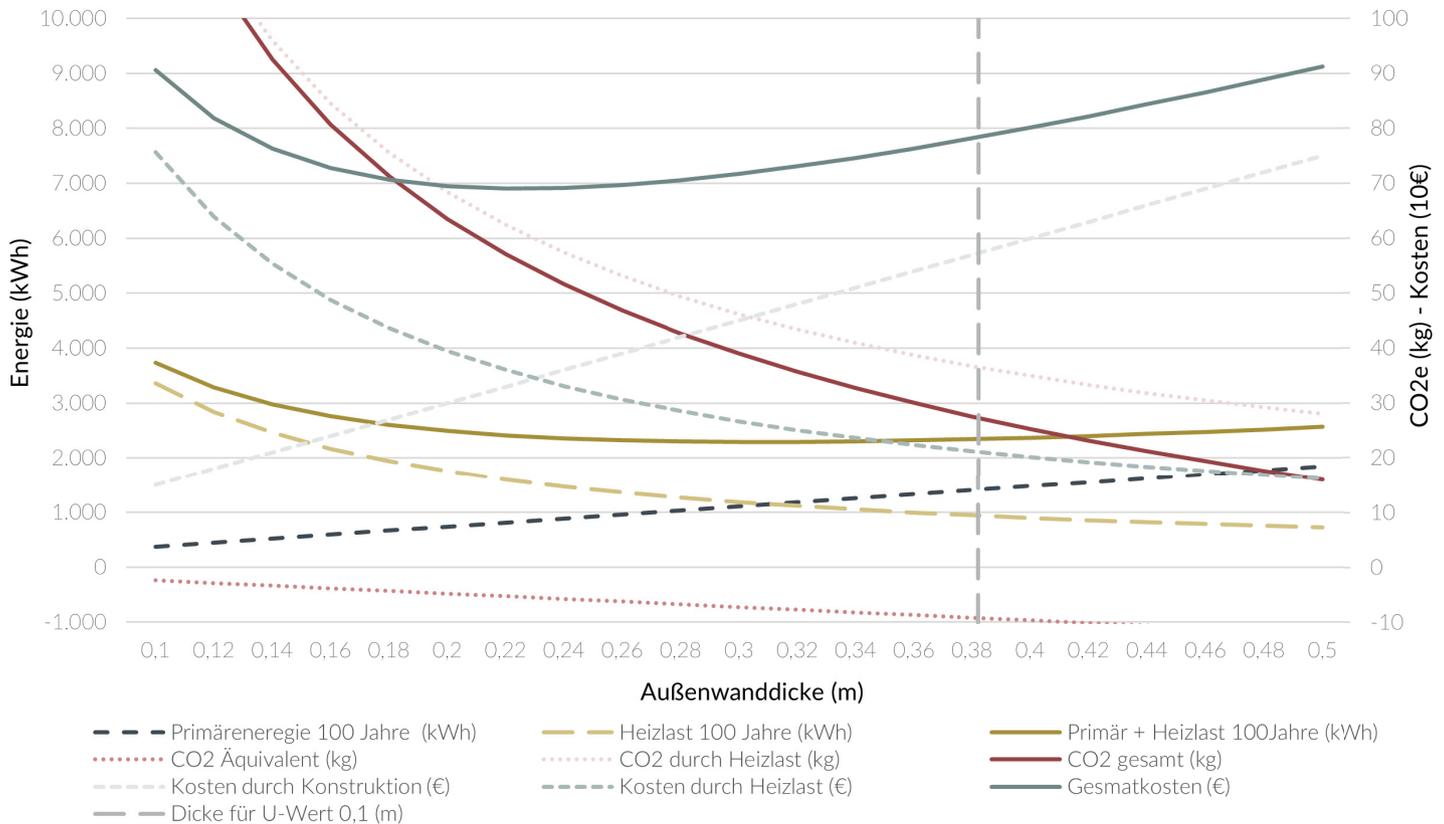


Abb. 76: Dämmstoffeffizienz und Kosten Außenwand Szenario 3. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

$\lambda = 0,045 \text{ W/mK}$ (Aufbau)

CO_2e pro kWh Heizenergie = 0,039kg

GWP, PETR, PENTR, FW, WDP, CRU und MFR stammen aus dem

ÖKOBAUDAT (BBSR 2023a)

Kosten pro kWh PV-Strom: 0,15€

Kosten pro cm^2 pro cm: 7,5€

Szenario (D): energetisch (standard Szenario)

Ergebnisse (Aufbau):

benötigte Dämmdicke für $U=0,1$: 44,1cm

WDP/10cm: 45,0l

FW/10cm: 34,1l

MFR: 0%

CRU: 0%

Energie , CO₂e & Kosten pro m² der Außenwand Szenario 4

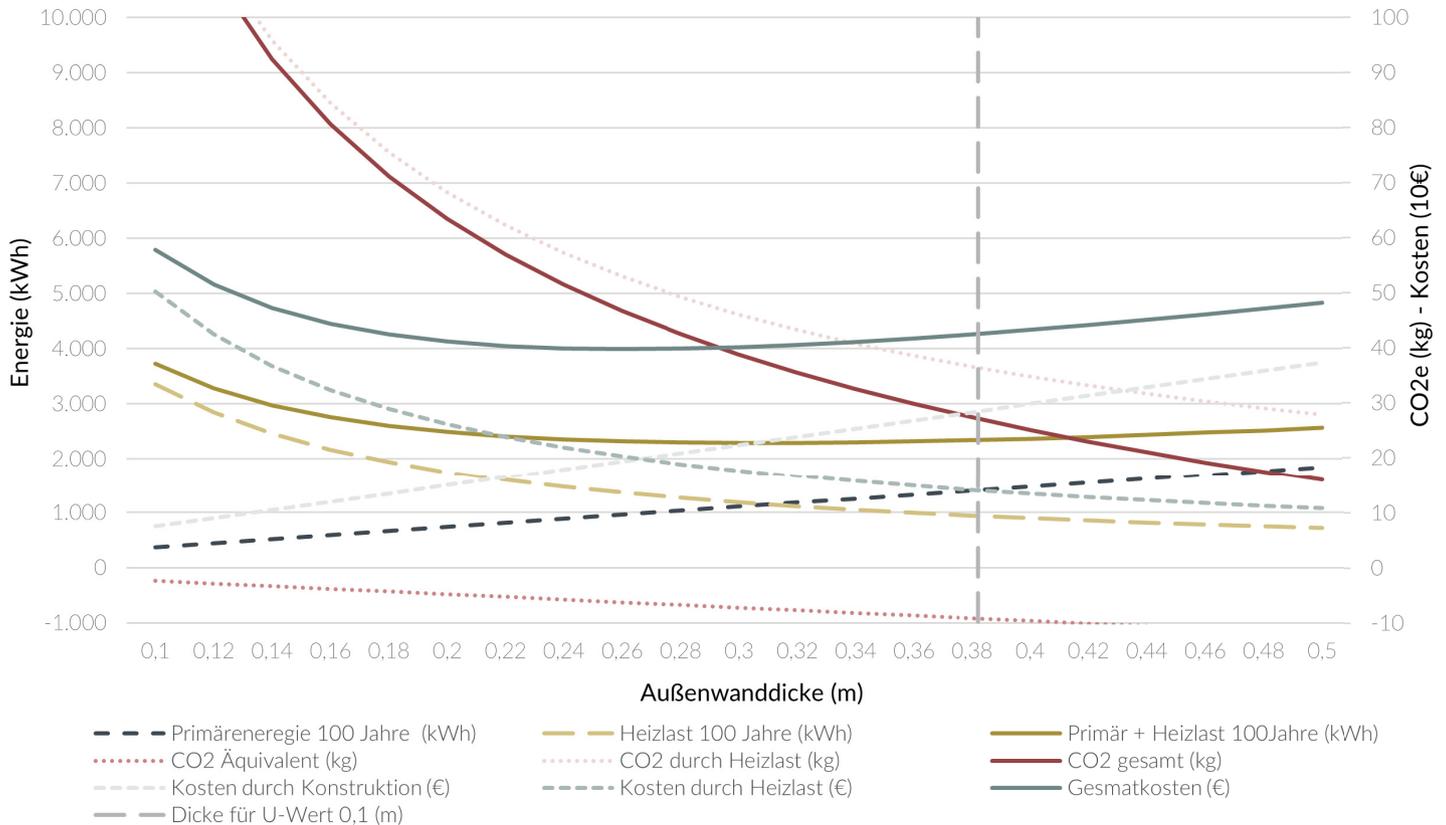


Abb. 77: Dämmstoffeffizienz und Kosten Außenwand Szenario 4. Eigene Darstellung

2.2.5 Fensterfläche x Transmissionsverluste

Eine Methode, um den Energiehaushalt zu optimieren, ist es, solare Gewinne zu maximieren. Diese Gewinne können so hoch sein, dass ein Gebäude kaum bis keine weitere Heizenergie benötigt wird. (Feist 2015)

Durch große Fensterflächen heizt sich selbiges Gebäude jedoch im Sommer mehr auf, und der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes wird komplizierter (DIN 2024b). Um diesen einhalten zu können, werden dann häufig gebäudetechnische Anlagen installiert und ein hoher Aufwand betrieben. Diesen gilt es aufgrund der Sufizienz zu vermeiden.

Eine größere Fensterfläche bringt auch einen höheren Transmissionsverlust mit sich, da Fenster im Vergleich zu Außenwänden schlechte U-Werte erreichen. Die Frage stellt sich, wie viel Einfluss

die Fensterfläche auf die solaren Gewinne, aber auch die Transmissionsverluste hat. Welche Seite überwiegt? Des Weiteren muss ein sommerlicher Wärmeschutz gewährleistet sein, welcher bei größeren Fensterflächen eine zusätzliche Konstruktion oder technische Installation benötigt. Deshalb wird hier entlang des Fensteranteils einer Südfassade der entsprechende Energiegewinn und -verlust berechnet. Verschiedene Fenster und verschiedene Räume werden dafür in Szenarios untersucht. Dabei wird jeweils entlang des Fensteranteils von 0% bis 100% bilanziert.

Berechnung solarer Gewinne, vereinfacht nach DIN 4108-6 in Kombination mit der Berechnung nach der Heizperiode (DIN 2003; Krutke 2022):

$$Q_s = \text{Solare Gewinne in der HP} = \sum I_{s, hp} \cdot \sum (F_f \cdot F_s \cdot F_c) \cdot g_i \cdot A_i \text{ [kWh]}$$

$I_{s, hp}$ = Sonneneinstrahlung einer HP auf betreffende Fläche (abhängig von der Ausrichtung)

$$I_{s, hp}(\text{Süd}) = 270 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{HP}}$$

$$I_{s, hp}(\text{Nord}) = 100 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{HP}}$$

$$I_{s, hp}(\text{West}) = 155 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{HP}}$$

F_f = Abminderungsfaktor für Fensterrahmen = hier gewählt 0,8

F_s = Verschattungsfaktor = hier gewählt 1

F_c = Abminderungsfaktor für Sonnenschutzglas = hier variabel

g = Energiedurchlassungsgrad Glas = Mittelwert dreifach Wärmeschutzverglasung 0,47

A_{δ} = Maueröffnungsfläche = variabel (0 - 1)

Berechnung Transmissionsverluste (Krutke 2022):

Diese Berechnung wurde für die Maueröffnungsfläche und die Wandfläche wie in der Bilanzierung des A/V-Verhältnisses (2.2.1 A/V-Verhältnis) berechnet. Dabei wurde für die Wandflächen ein U-Wert von 0,1 W/m²K und für die Fenster 0,8 W/m²K angenommen.

Berechnung sommerlicher Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-2 (DIN 2024b; Krutke 2022):

$$S_{zul} = \text{Zulässiger Sonneneintragswert} = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6$$

S_1 = Nachlüftung und Bauart = hier variabel

S_2 = Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil = $a - (b \cdot \text{Fensterflächenanteil} = 0,06 - (0,231 \cdot f_{wg})$

$f_{wg} = \frac{A_w}{A_g} = \frac{\text{Wandöffnungsfläche}}{\text{Bodenfläche Raum}} = \text{hier variabel}$

S_3 = Sonnenschutzglas = hier variabel

S_4 = Fensterneigung = hier vernachlässigt

S_5 = Orientierung = hier vernachlässigt

S_6 = Einsatz passiver Kühlung = hier vernachlässigt

$S_{vor} = \text{Vorhandener Sonneneintragswert} = \sum \frac{A_w}{A_g} \cdot g \cdot F_c \cdot F_s \cdot F_f = f_{wg} \cdot g \cdot F_c \cdot F_s \cdot F_f$

Die für Berechnungen verwendeten g- und U-Werte der Fenster wurden teilweise gemittelt oder direkt verwendet und stammen aus Messungen (Konferenz Kantonaler Energiedirektoren EnDK o.J.; Neuffer Fenster + Türen GmbH o.J.).

Verwendete Faktoren:

Raumgröße: $3\text{m} \times 5\text{m} \times 2,5\text{m} = 37,6\text{m}^3$

Klimaregion: B

$g=0,47$

$F(f)=0,8$

Bauart: mittlere Schwere

Nachtlüftung: erhöht

Fensterfläche (entlang 5m Wand richtung Süden): variierend

Transmissionsflächen: 3

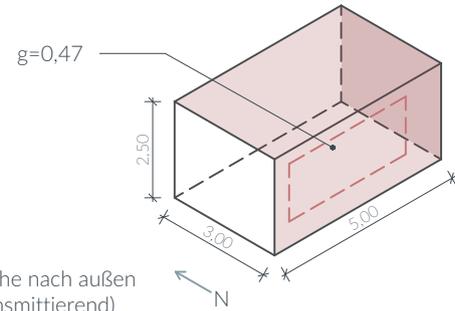


Abb. 78: Skizze Raum solare Einflüsse Szenario 1. Eigene Darstellung

Sommerlicher Wärmeschutz und Energiebilanz in Abhängigkeit des Fensteranteils Szenario 1

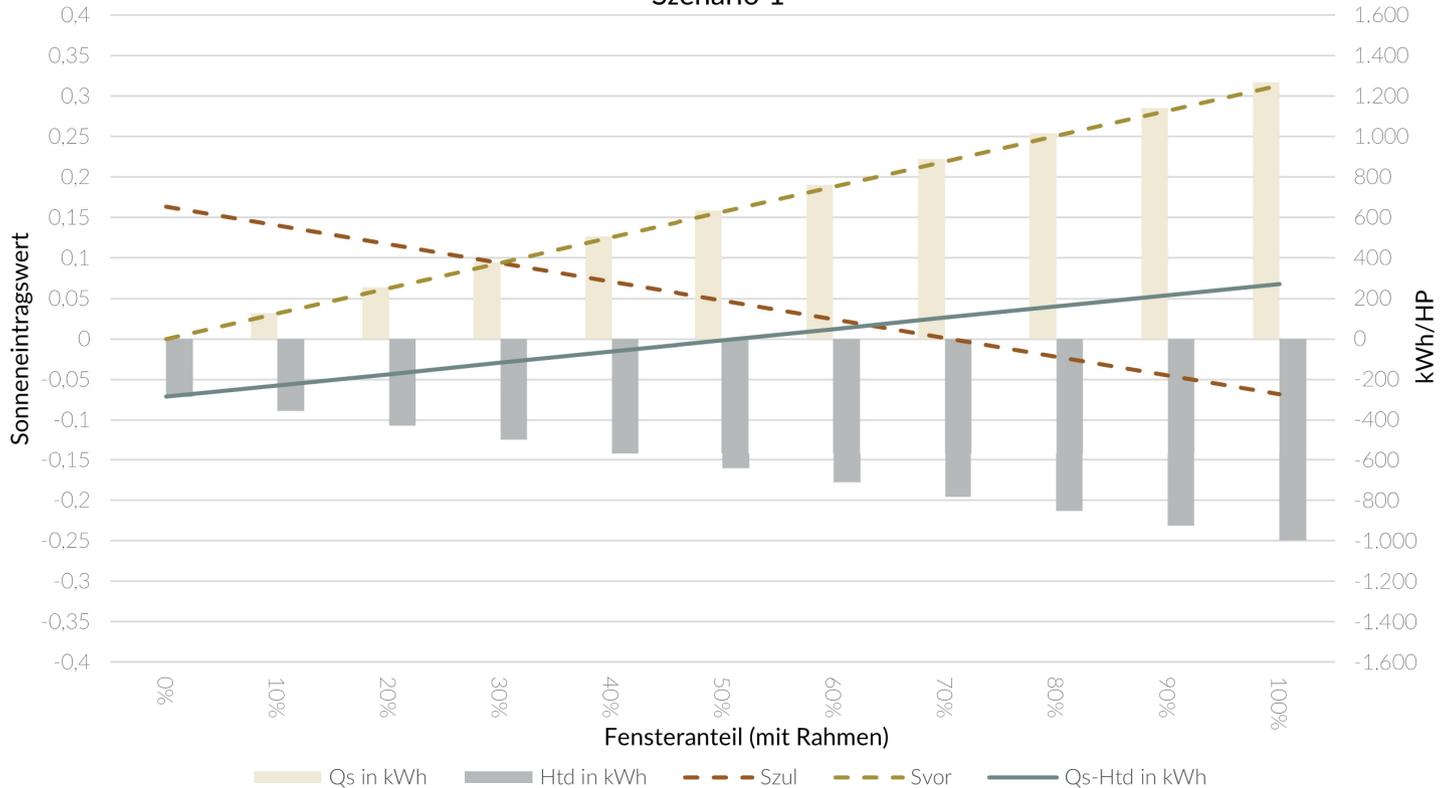


Abb. 79: Sommerlicher Wärmeschutz und Energiebilanz Szenario 1. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

Raumgröße: 3m*5m*2,5m=37,6m³

Klimaregion: B

g=0,47

F(f)=0,8

Bauart: mittlere Schwere

Nachtlüftung: erhöht

Fensterfläche (entlang 5m Wand richtung Süden): variierend

Transmissionsflächen: 2

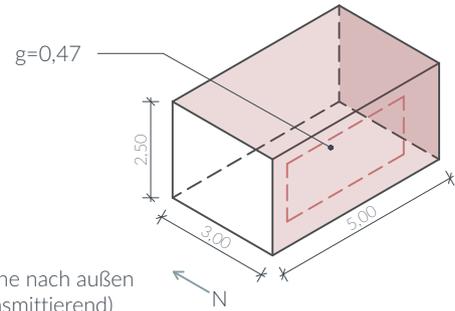


Abb. 80: Skizze Raum solare Einflüsse Szenario 2. Eigene Darstellung

**Sommerlicher Wärmeschutz und Energiebilanz in Abhängigkeit des Fensteranteils
Szenario 2**

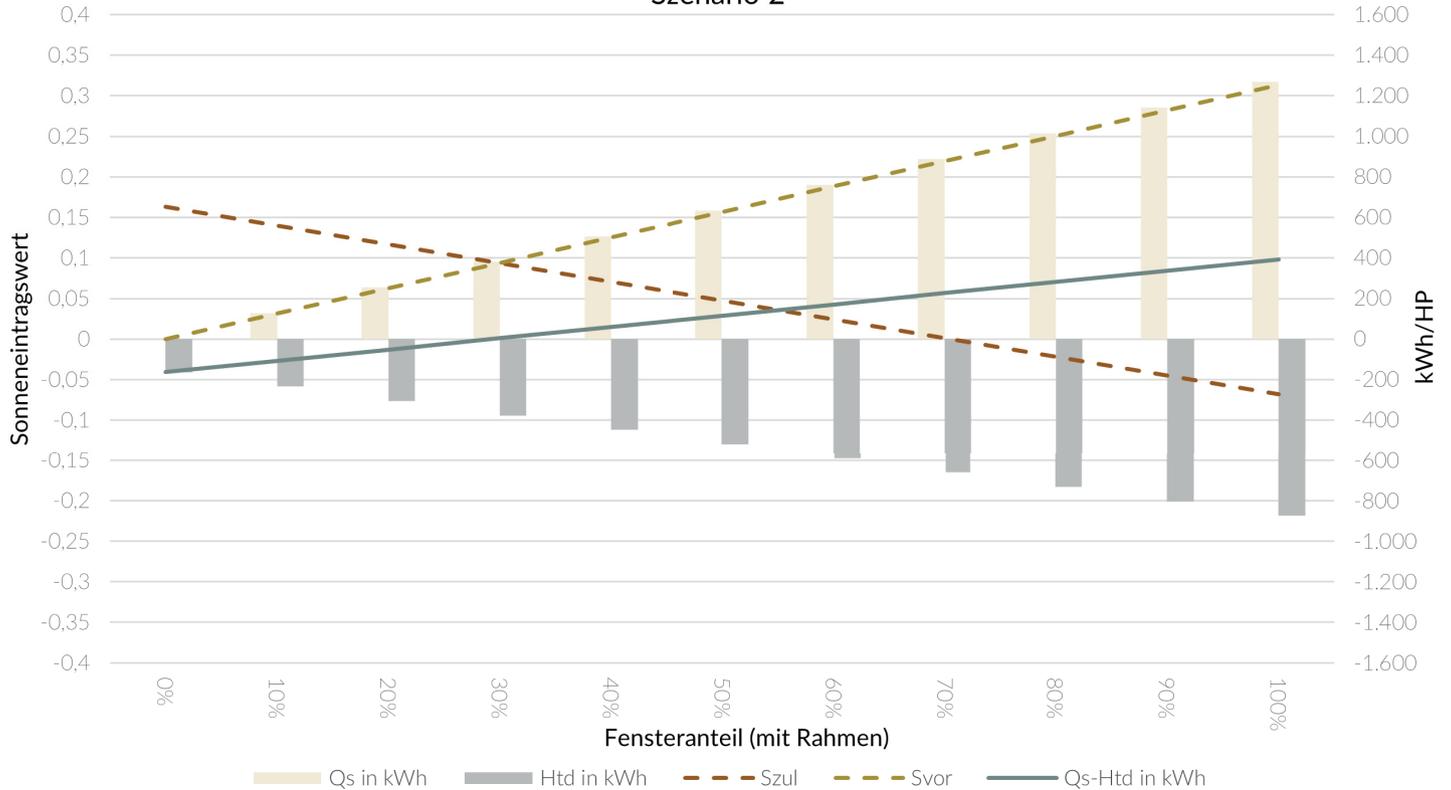


Abb. 81: Sommerlicher Wärmeschutz und Energiebilanz Szenario 2. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

Raumgröße: 3m*5m*2,5m=37,6m³

Klimaregion: B

g(inkl. F(c))=0,35

F(f)=0,8

Bauart: mittlere Schwere

Nachtlüftung: erhöht

Fensterfläche (entlang 5m Wand richtung Süden): variierend

Transmissionsflächen: 3

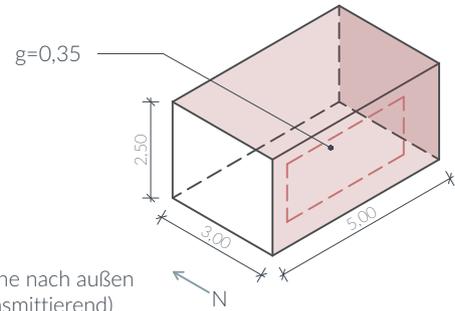


Abb. 82: Skizze Raum solare Einflüsse Szenario 3

**Sommerlicher Wärmeschutz und Energiebilanz in Abhängigkeit des Fensteranteils
Szenario 3**

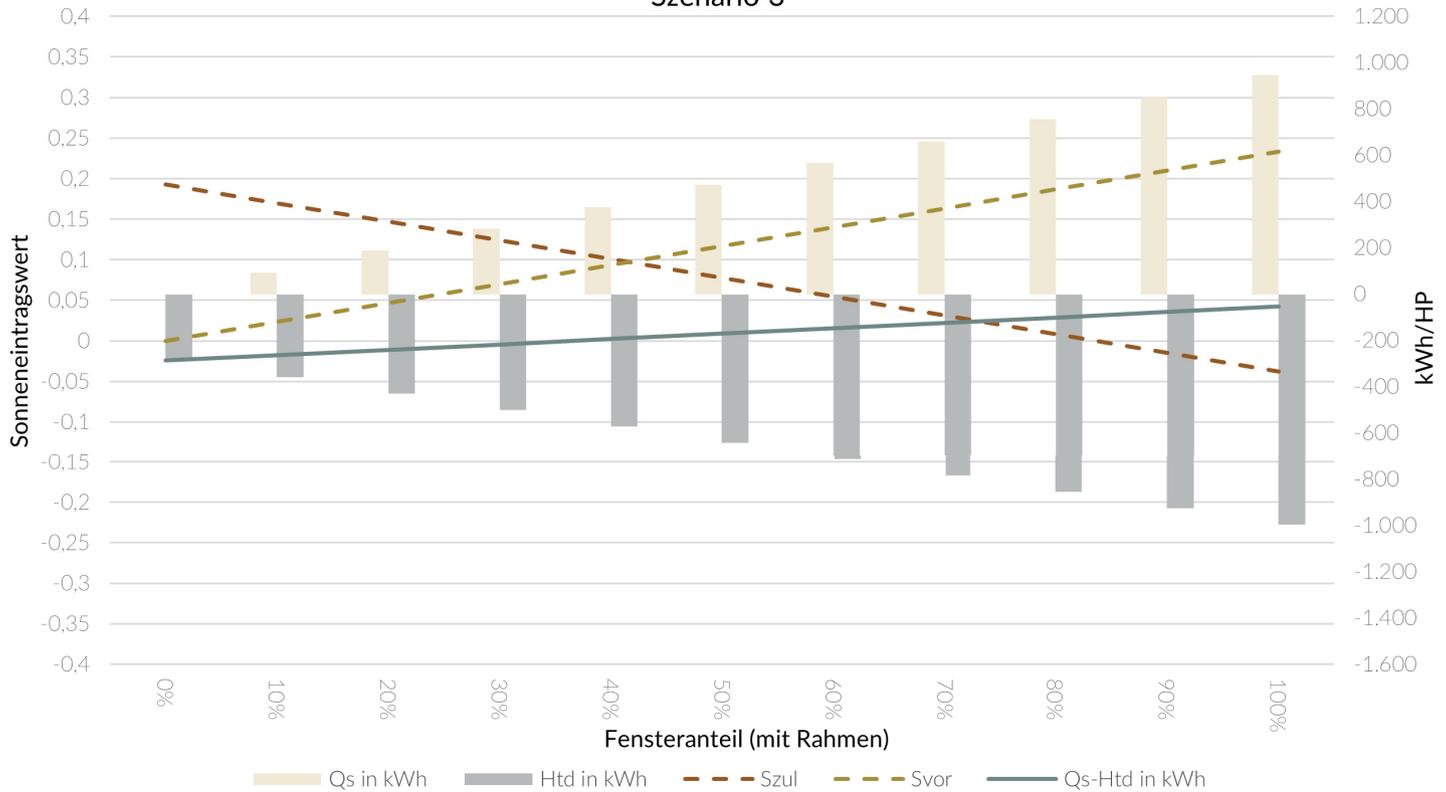


Abb. 83: Sommerlicher Wärmeschutz und Energiebilanz Szenario 3. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

Raumgröße: $3\text{m} \times 5\text{m} \times 2,5\text{m} = 37,6\text{m}^3$

Klimaregion: B

$g(\text{inkl. } F(c)) = 0,5$

$F(f) = 0,8$

Bauart: mittlere Schwere

Nachtlüftung: hoch

Fensterfläche (entlang 5m Wand richtung Süden): variierend

Transmissionsflächen: 3

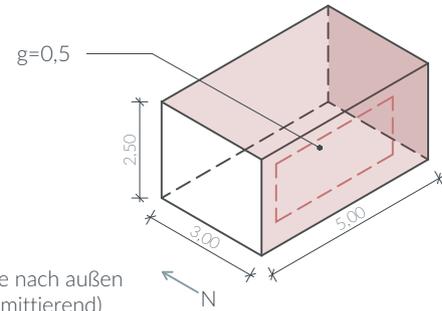


Abb. 84: Skizze Raum solare Einflüsse Szenario 4

Sommerlicher Wärmeschutz und Energiebilanz in Abhängigkeit des Fensteranteils Szenario 4

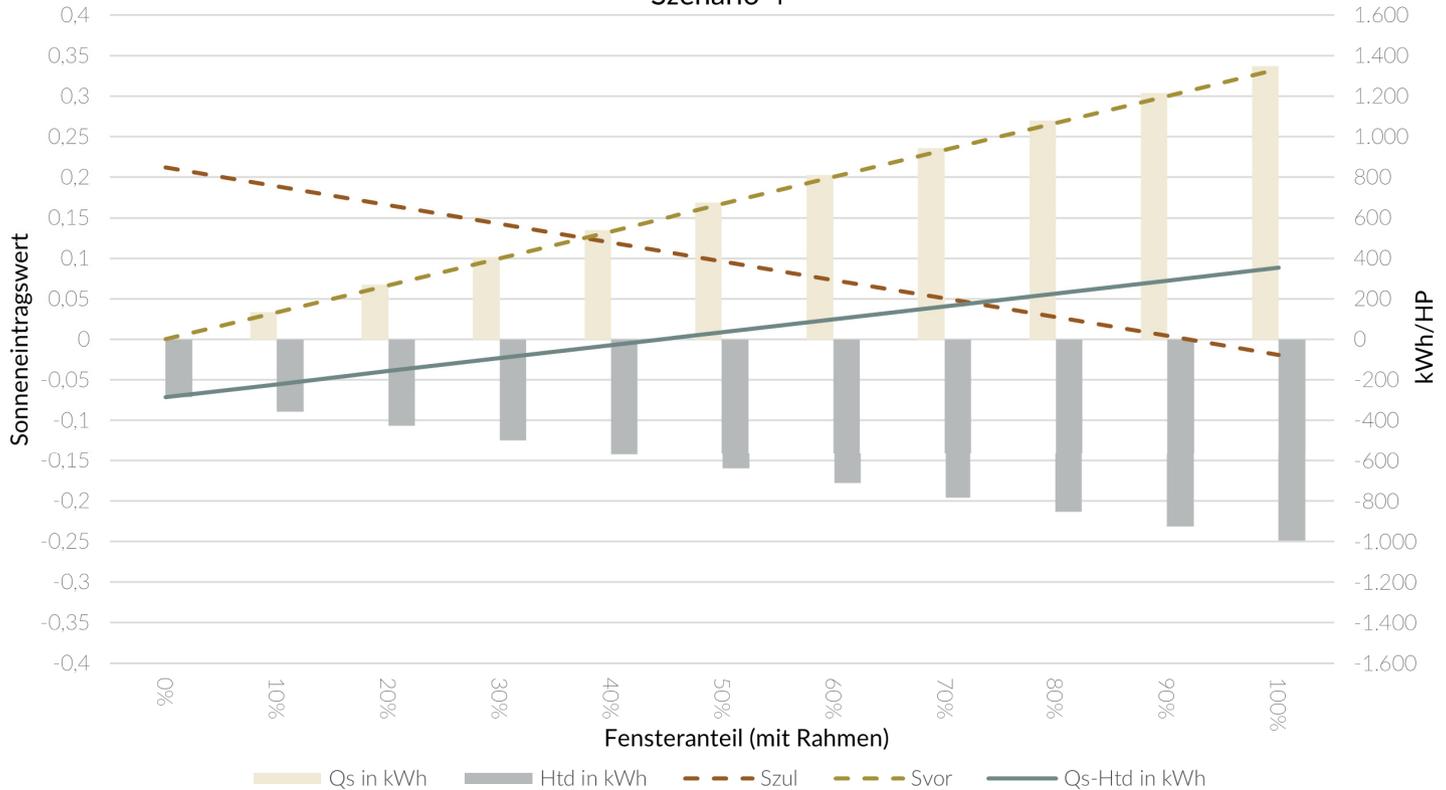


Abb. 85: Sommerlicher Wärmeschutz und Energiebilanz Szenario 4. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

Raumgröße: 3m*5m*2,5m=37,6m³

Klimaregion: B

g(inkl. F(c))=0,5

F(f)=0,8

Bauart: mittlere Schwere

Nachtlüftung: hoch

Fensterfläche (entlang 3m Wand richtung Süden): variierend

Transmissionsflächen: 3

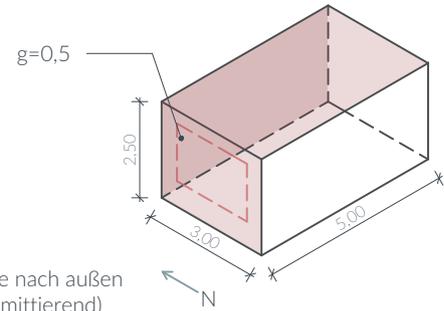


Abb. 86: Skizze Raum solare Einflüsse Szenario 5

**Sommerlicher Wärmeschutz und Energiebilanz in Abhängigkeit des Fensteranteils
Szenario 5**

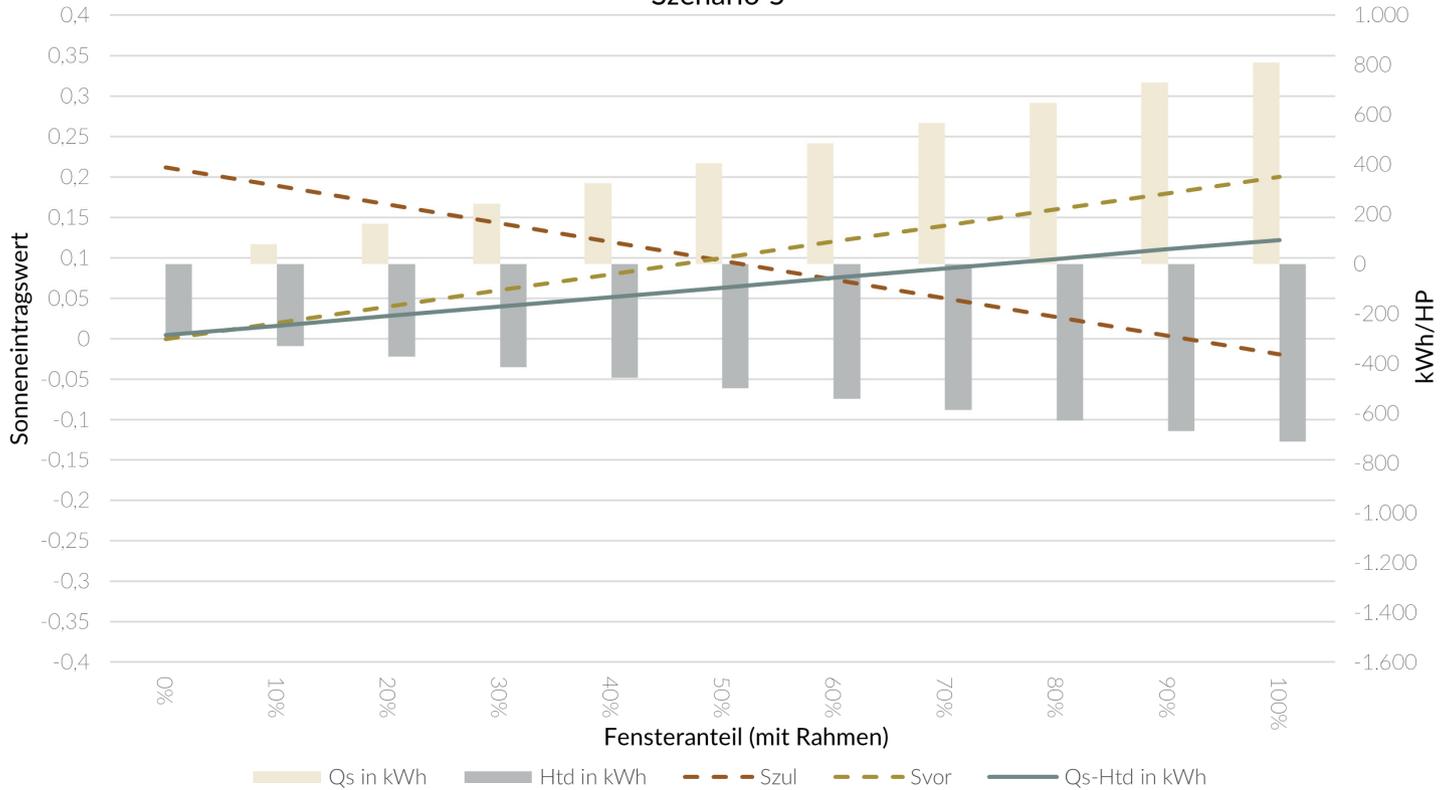


Abb. 87: Sommerlicher Wärmeschutz und Energiebilanz Szenario 5. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

Raumgröße: $3\text{m} \times 5\text{m} \times 2,5\text{m} = 37,6\text{m}^3$

Klimaregion: B

$g(\text{inkl. } F(c)) = 0,5$

$F(f) = 0,8$

Bauart: mittlere Schwere

Nachtlüftung: erhöht

Fensterfläche (entlang 3m Wand richtung Süden): variierend

Transmissionsflächen: 2

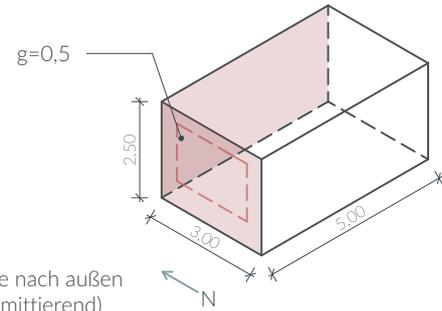


Abb. 88: Skizze Raum solare Einflüsse Szenario 6

Sommerlicher Wärmeschutz und Energiebilanz in Abhängigkeit des Fensteranteils Szenario 6

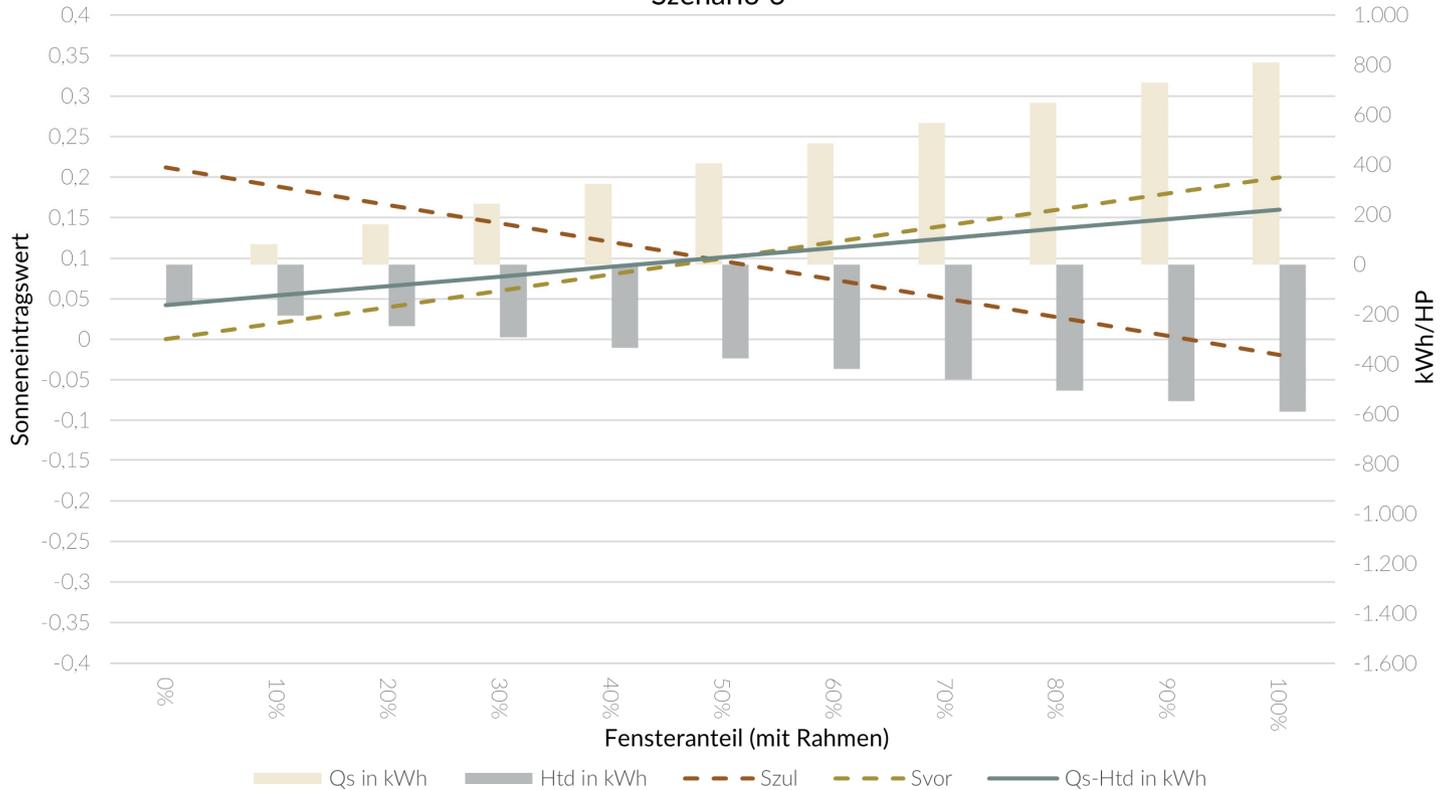


Abb. 89: Sommerlicher Wärmeschutz und Energiebilanz Szenario 6. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

Raumgröße: $3\text{m} \times 5\text{m} \times 2,5\text{m} = 37,6\text{m}^3$

Klimaregion: B

$g(\text{inkl. } F(c)) = 0,5$

$F(f) = 0,8$

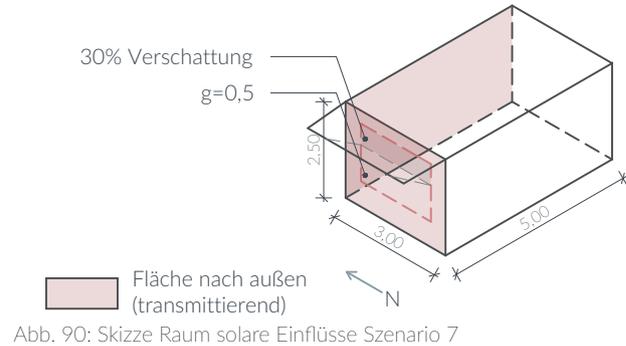
Bauart: mittlere Schwere

Nachtlüftung: erhöht

Fensterfläche (entlang 3m Wand richtung Süden): variierend

Transmissionsflächen: 2

Verschattung im Sommer: 30%



Sommerlicher Wärmeschutz und Energiebilanz in Abhängigkeit des Fensteranteils Szenario 7

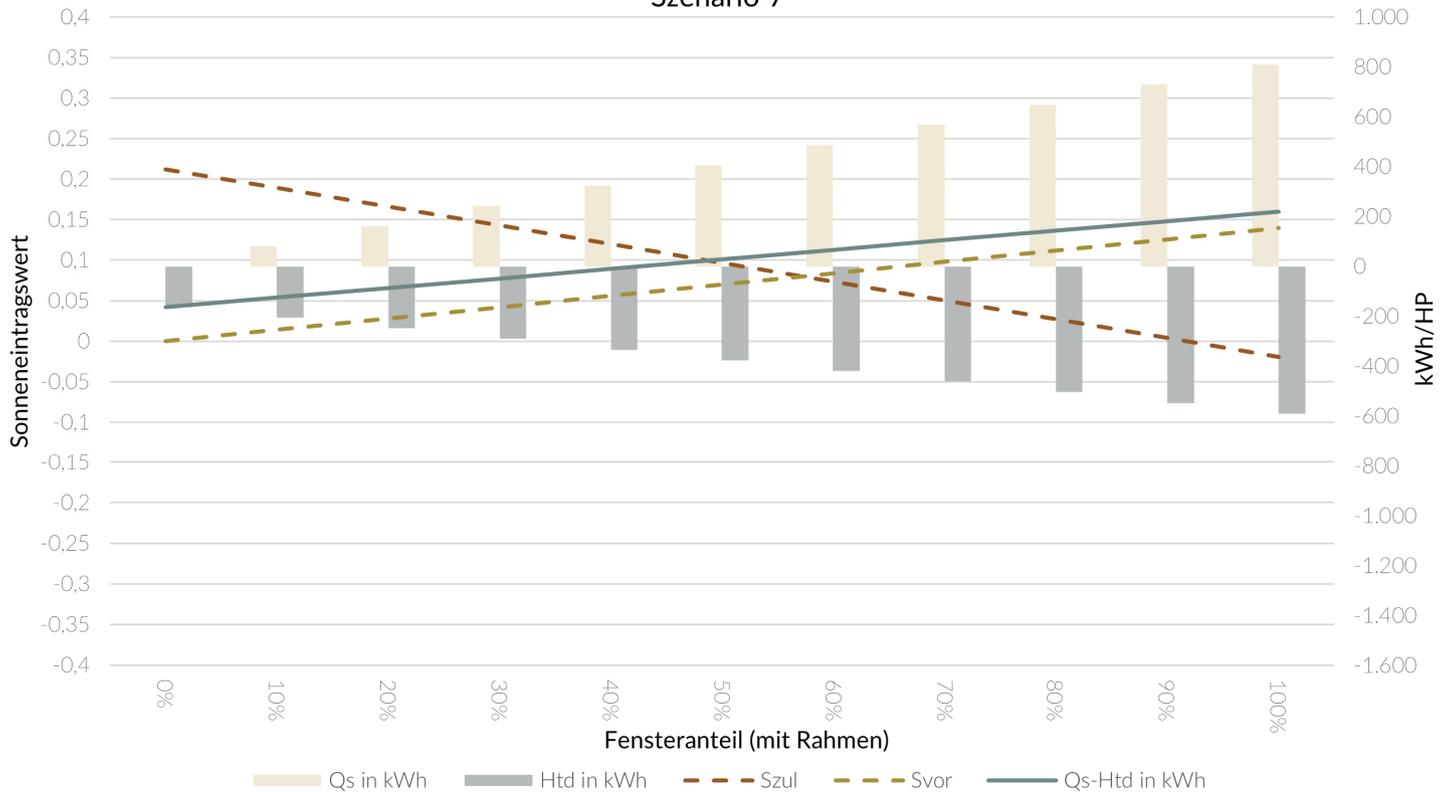


Abb. 91: Sommerlicher Wärmeschutz und Energiebilanz Szenario 7. Eigene Darstellung

Es wird deutlich, wie der sommerliche Wärmeschutz häufig vor einem dem Transmissionsverlust überwiegenden solaren Gewinn eingreift. Das lässt sich mit physischer, jedoch nur im Sommer durch den Winkel der höherstehenden Sonne, Verschattung lösen. Man erkennt auch, dass, wenn versucht wird, den sommerlichen Wärmeschutz durch einen höheren g-Wert des Glases zu erreichen, die solaren Gewinne auch weniger werden. Deshalb sollte man eher über eine physische nur im Sommer aktive Verschattung nachdenken.

Die Diagramme sind in sich aussagekräftig, beschreiben jedoch eine sehr spezifische Situation und werden durch Veränderungen stark beeinflusst. Somit empfiehlt sich die Berechnungen für jeden Raum mit dem vorgefertigten System durchzuführen und Schlüsse daraus zu ziehen.

2.2.6 Wasserhaushalt

In 1.1 Definition - Nachhaltigkeit wurde Wassernutzung als ein Hauptpunkt der ökologischen Nachhaltigkeit definiert. Dabei ist es wie in 1.2.1 Ökologie und 1.4.2 Bund & Länder beschrieben ein noch zu kleines Thema in dem Diskurs über Nachhaltigkeit im Gebäudesektor. Die folgenden Bilanzierungen berechnen benötigtes Wasser, welches nach den zuvor erwähnten 126l täglicher Verbrauch pro Person berechnet wird (BMUKN 2024), und nach verschiedenen Szenarien anfallendes Grau- und Regenwasser. Der Prozentuale Anteil wird in der folgenden Bilanzierung auf verschiedene Verbräuche übertragen. Diese Vereinfachung gibt damit nicht den tatsächlichen Verbrauch eines 4 Personen-Haushaltes wieder. Die 126l teilen sich wie folgt auf:

36% Körperpflege (Duschen, Baden)

27% Toilettenspülung

12% Wäsche

6% Geschirr

6% Raumreinigung, Auto, Garten

4% Essen, Trinken

9% Anteil Kleingewerbe (Wird nicht mitbilanziert, da dieser Verbrauch nicht im Rahmen des Wohnortes geschieht.)

(BMUKN 2024)

Der durchschnittliche Gesamtniederschlag eines Jahres auf das später beispielhaft gewählte Grundstück (siehe 3.1 Grundstück) liegt bei 808,2 l/m² (DWD o.J.b). Dieser Wert liegt minimal über den historischen Durchschnitten Gesamtdeutschlands. Um eine passende Bilanzierung für den beispielhaften Entwurf, aber auch ein deutschlandweites Konzept zu erreichen, wird im Folgenden mit 800l/m² gerechnet (DWD 2024). Anzumerken ist, dass die Bilanzierung auf aktuellen Durchschnittswerten basiert. Wenn die Kriterien der DNGB-Zertifizierung eingehalten werden sollen, wären die Werte des Wasserverbrauches wesentlich niedriger (DGNB 2024).

Für die Dimensionierung der Regenwasserabläufe müsste die

Berechnungsmethode aus der DIN 1986-100 und die Starkniederschlagshöhen und -spenden gemäß KOSTRA-DWD-2020 verwendet werden (DWD 2023; DIN 2025). Dies wird hier nicht berücksichtigt, da die Starkniederschlagshöhen sehr ortsabhängig sind (DWD 2023).

Zu berücksichtigen ist die Trinkwasserverordnung, welche festlegt, dass Wasser, welches vom Menschen getrunken wird, für seine Pflege genutzt wird oder mit welchem er in Hautkontakt kommt, Trinkwasserqualität haben muss. Wann Wasser als Trinkwasser nach dieser Verordnung gilt, ist ebenfalls dort beschrieben. (TrinkwV 2023)

Die Bilanzierungen berechnen die Regenspende bei verschiedener Geschossigkeit (nach 2.1.2 Gesetzte Faktoren) und verschiedenen Dächern. Der Verbrauch wird als variabel angesehen. Die 126l und die prozentuale Verteilung dieser sind dabei der Grundsatz, jedoch sollen auch wassersparsamere Haushalte hier abgebildet und befürwortet werden. Verschiedene Möglichkeiten und Wassermengen werden aufgezeigt. Dabei wird der Wasserbedarf der Toiletten als Grauwasserbedarf und teilweise der Bedarf der Toiletten, Wäsche und Reinigung als Grauwasserbedarf mit höheren Voraussetzungen berechnet. Das theoretisch anfallende Grauwasser aus Körperpflege wird als Grauwasserpotential bilanziert.

Verwendete Faktoren:

Anzahl Personen: 4

EFH Größe (BGF): 200m²

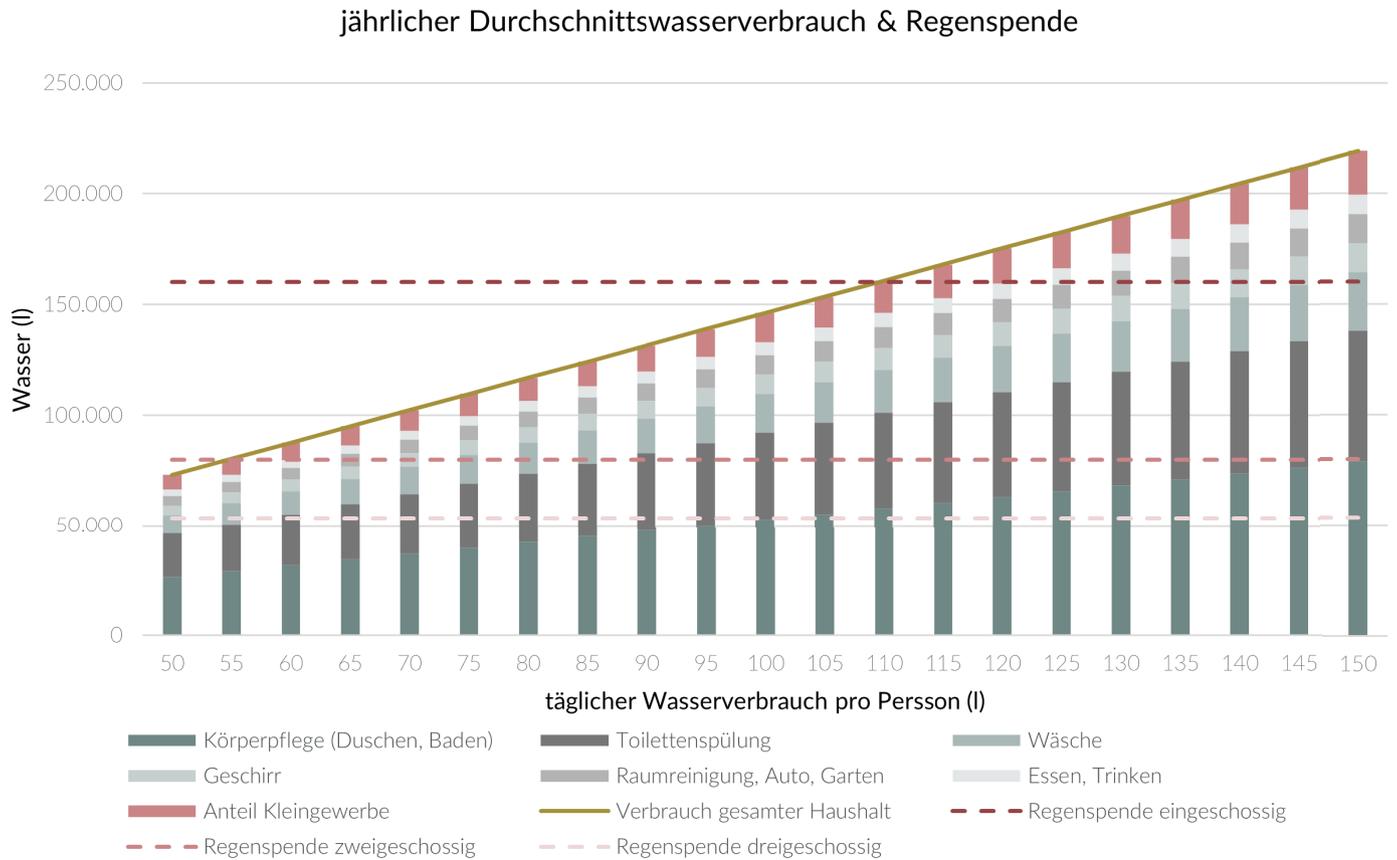


Abb. 92: Wasserhaushalt Szenario 1. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

Anzahl Personen: 4

EFH Größe (BGF): 200m²

**jährlicher Durchschnittswasserverbrauch & Regenspende
- verschiedene Szenarien**

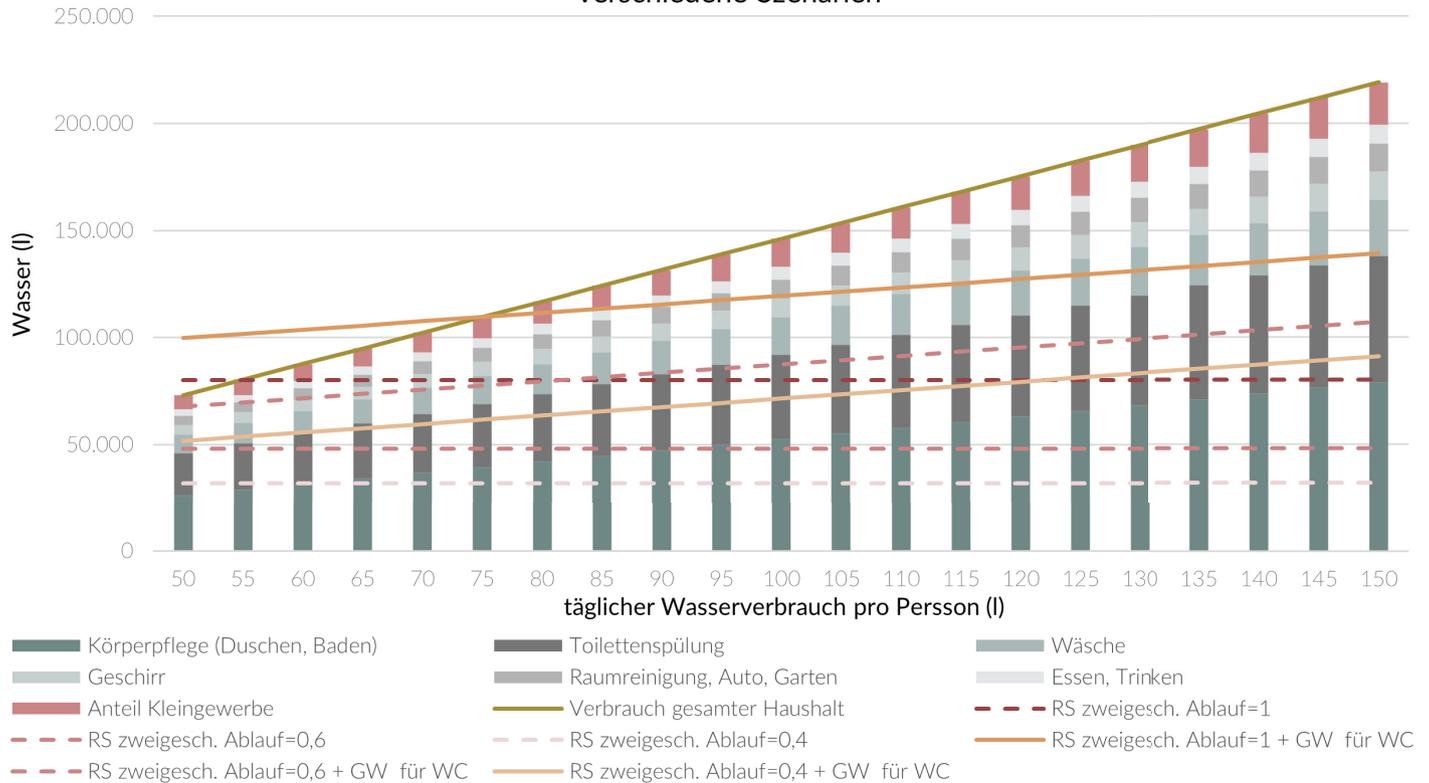


Abb. 93: Wasserhaushalt Szenario 2. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

Anzahl Personen: 4

EFH Größe (BGF): 200m²

**jährlicher Durchschnittswasserverbrauch & Regenspende
nach Trink- und Nutzwasser geteilt (nach TrinkWV)**

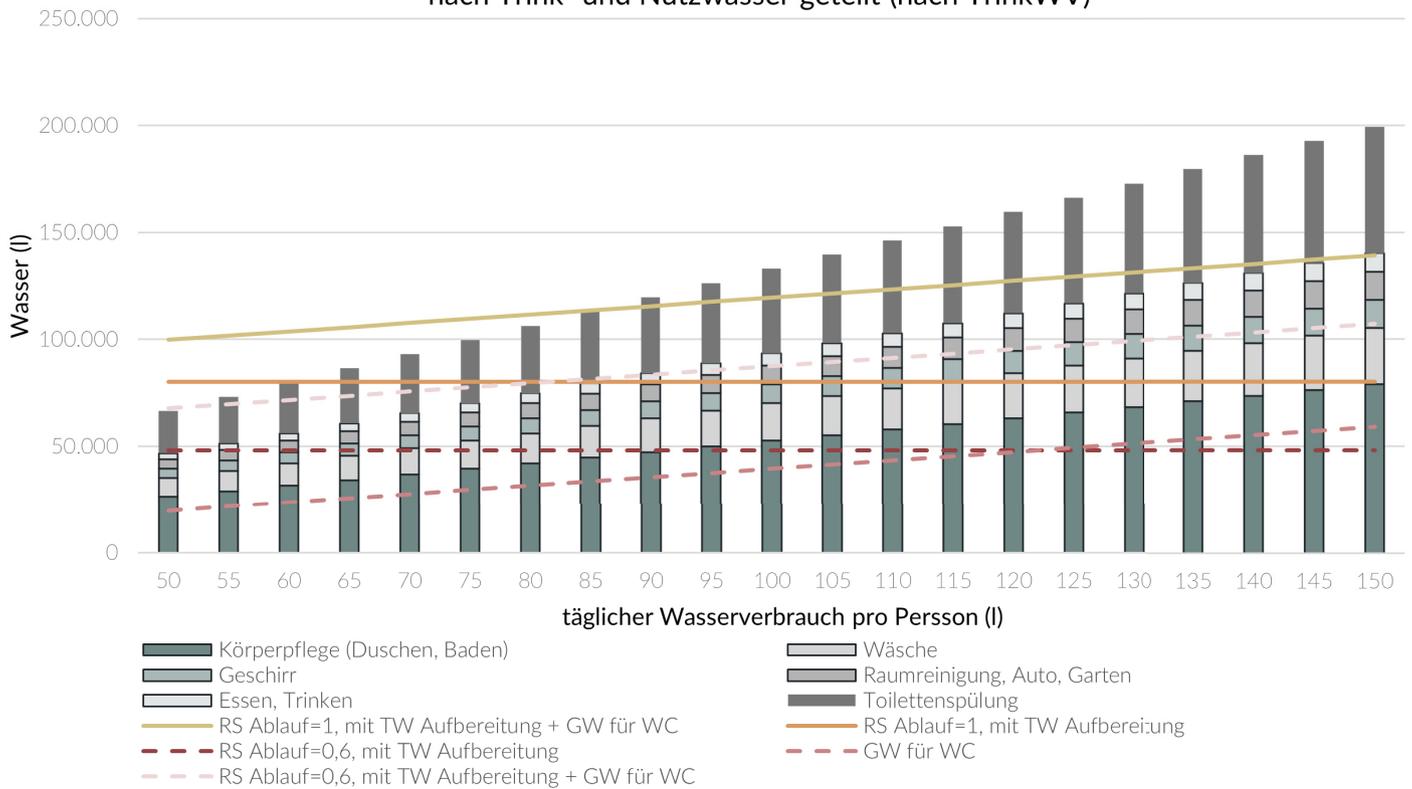


Abb. 94: Wasserhaushalt Szenario 3. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

Anzahl Personen: 4

EFH Größe (BGF): 200m²

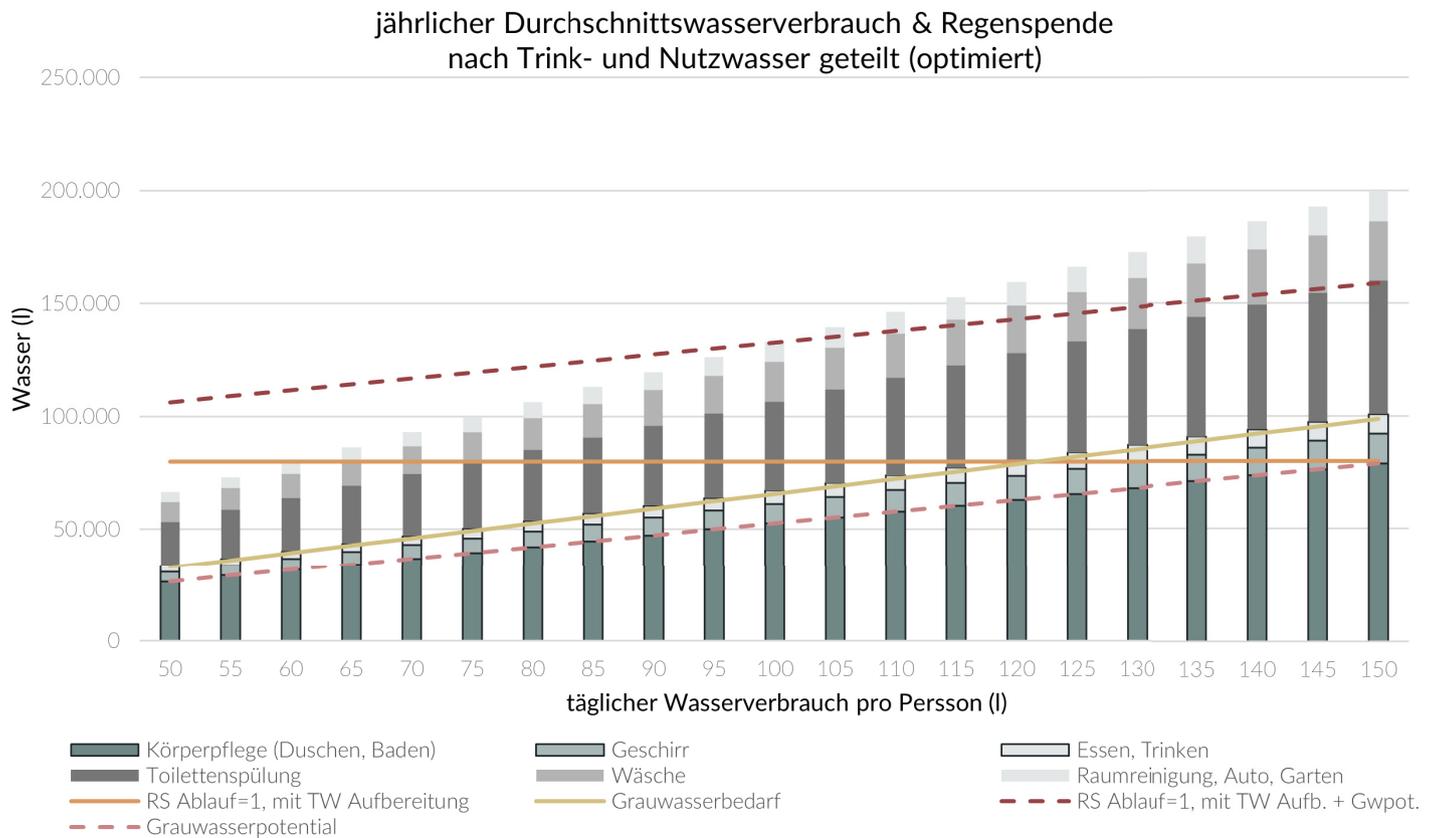


Abb. 95: Wasserhaushalt Szenario 4. Eigene Darstellung

Es ist zu erkennen, dass ein zweigeschossiges EFH durchaus in der Lage ist, den durchschnittlichen Wasserverbrauch eines 4 Personen-Haushaltes zu decken. Für die Benutzung des Regenwassers ist wichtig, wie viel Wasser durch das Gründach kommt (Abflussbeiwert) und ob dieses Wasser auf Trinkwasserqualität aufbereitet wird und für welche Nutzungen es geplant ist. Dabei ist auch entscheidend, ob die Richtlinien nach TrinkwV eingehalten werden oder Prozesse wie Reinigung und Wäsche auch mit gut aufbereitetem Grauwasser passieren können. Bei dem Grauwasser gilt es zu beachten, wie viel Nachfrage es gibt (Grauwasserbedarf) und wie viel aus Prozessen wie beispielsweise Duschen entsteht (Grauwaspotential). Übertrifft das Potential den Bedarf, ist es möglich, den Überfluss im Garten versickern zu lassen. Bei einem größeren Bedarf als Potential müsste die Differenz mit Trinkwasser gedeckt werden.

In dem letzten Diagramm wird mit einem Abflussbeiwert des Daches von 1 gerechnet. Da für eine höhere Biodiversität und die positiven Symbiosen von Gründach und PV-Anlage ein Gründach geplant werden sollte (siehe 1.3.1.5 Bio- und Ökopositivität), wird dieser Abflussbeiwert je nach Intensität der Begrünung sinken. Diesem Defizit kann jedoch durch mehr Dachfläche wie einem Überstand oder einer Überdachung für Nebengebäude oder Stellplätze entgegengearbeitet werden.

2.2.7 Regenwasser & Versickerung

Wie in 1.1.1 Ökologische Nachhaltigkeit und 1.2.1 Ökologie beschrieben ist Versiegelung durch Gebäude ein akutes Problem. Ziel sollte es folglich sein, auf dem Grundstück keine Nettoversiegelung hinzuzufügen. Dafür benötigt es einen Garten und Grünflächen, welche möglichst versickerungsoffen sind, eine minimal versiegelte Zufahrt und eben solche Stellplätze. Das Dach sollte ein Gründach mit zusätzlicher Regenwasserspeicherung, welche den Abfluss des Gründaches aufnimmt, sein.

Durch das Einhalten dieser Parameter würde das Gebäude bzw. das Grundstück auch unter die Förderrichtlinien Hamburgs für die Speicherung und Nutzung von Regenwasser fallen. Dadurch könnte man nicht nur eine Förderung erlangen, sondern auch Einspeisegebühren für das abfließende Wasser einsparen. (hamburg.de GmbH o.J.)

Die folgenden Diagramme zeigen das Verhältnis von verschiedenen Flächen und ihrem Abflussbeiwert ψ nach DIN 1986-100 und die damit resultierende notwendige Speicherung oder Versickerung auf anderen Flächen. Der Abflussbeiwert ψ ist dabei eine Dezimalzahl, welche den abfließenden Anteil der gespendeten Regenmenge beziffert. (DIN 2025)

Die Dimensionierung der Speicherung und Versickerung wird durch die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. festgelegt (DWA 2025). Es wird eine für Deutschland durchschnittliche Regenspende von gerundet 800l/m² jährlich benutzt (DWD 2024). Das Grundstück für diese Berechnungen ist 1000m² groß und das Dach und die Zuwegung/ Stellplätze werden prozentual von 5% bis 20% des Grundstückes berechnet. Der Wasserverbrauch wird wie in 2.2.6 Wasserhaushalt beschrieben berechnet. Es wird eine anfallende Wassermenge berechnet, welche die gesamte Menge des nicht direkt versickernden Wassers beziffert. Die abfließende Wassermenge ergibt sich aus den Abflüssen der Zuwegung, der Stellplätze und des Daches, welche abgeleitet werden müssen.

Verwendete Faktoren:

Grundstücksgröße: 1.000m²

Zuwegung & Stellplätze: Betonsteinpflaster

Dach: Metall

Regenwassernutzung Szenario 1

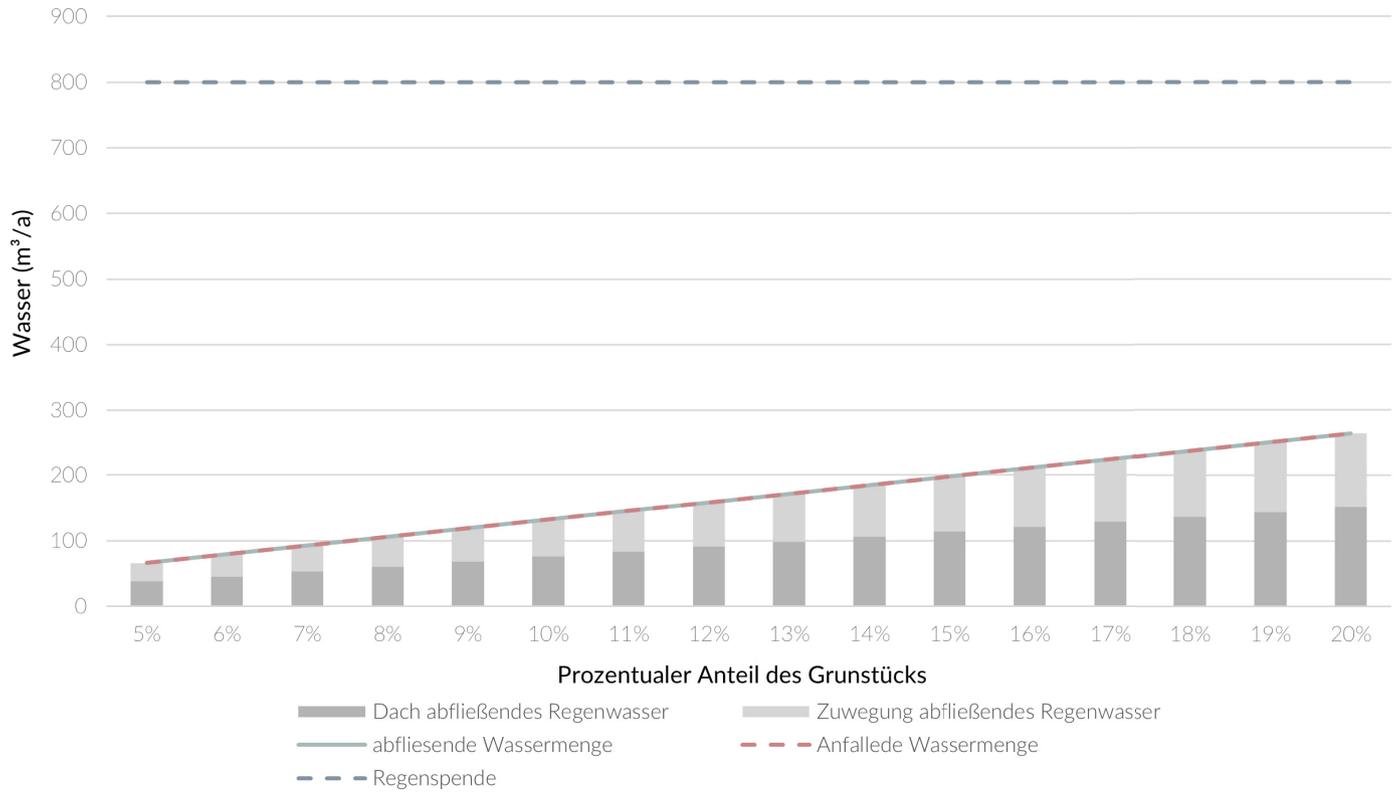


Abb. 96: Regenwassernutzung Szenario 1. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

Grundstücksgröße: 1.000m²

Zuwegung & Stellplätze: Betonsteinpflaster

Dach: Metall

Grauwasserbedarf berechnet aus Toilettenspülung

Regenwassernutzung Szenario 2

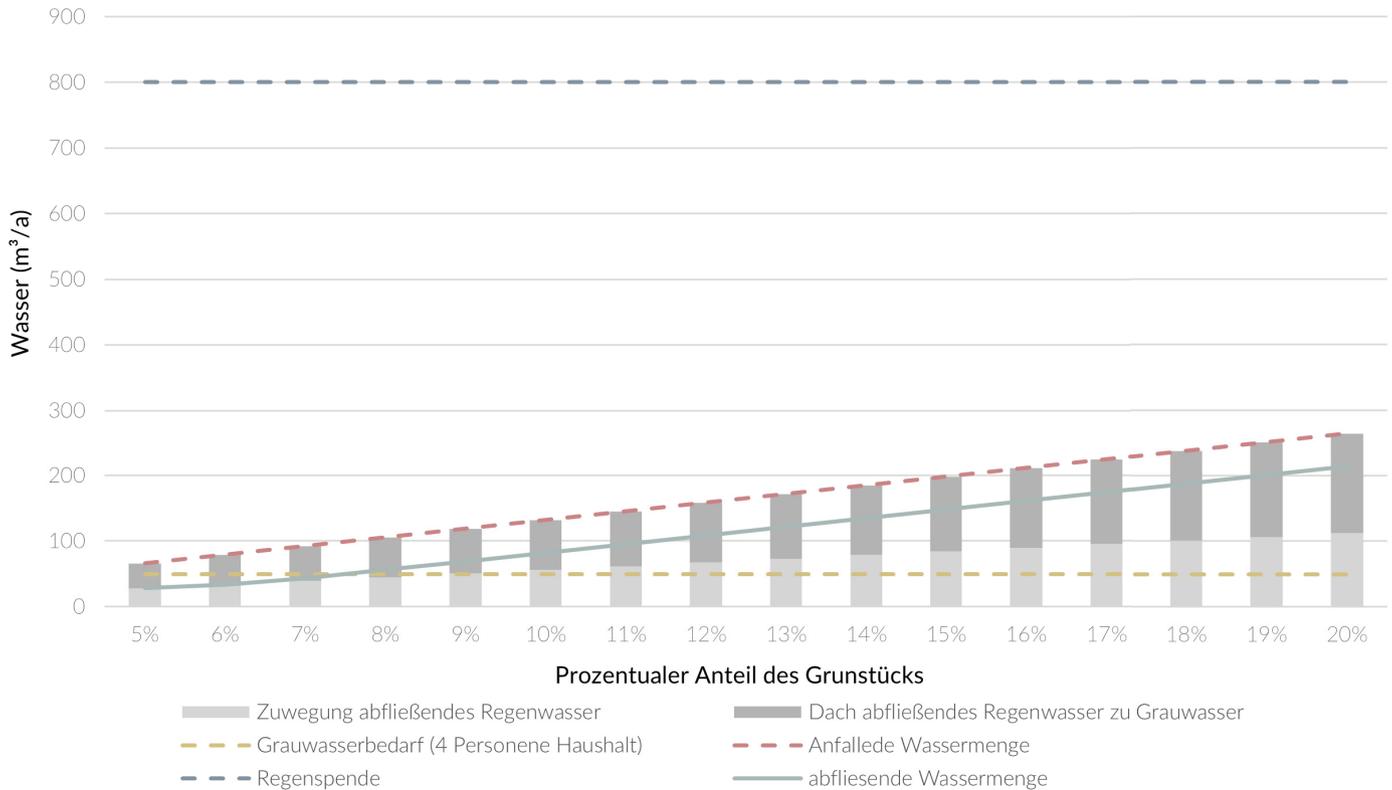


Abb. 97: Regenwassernutzung Szenario 2. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

Grundstücksgröße: 1.000m²

Zuwegung & Stellplätze: Rasengittersteine

Dach: Metall

Trinkwasserbedarf berechnet aus Körperpflege, Toilettenspülung, Wäsche und Reinigung (Wasser für Küchenprozesse nicht berücksichtigt, siehe 2.2.6 Wasserhaushalt)

Wasserauffangung durch Tank, bei überwiegender Spende

Regenwassernutzung Szenario 3

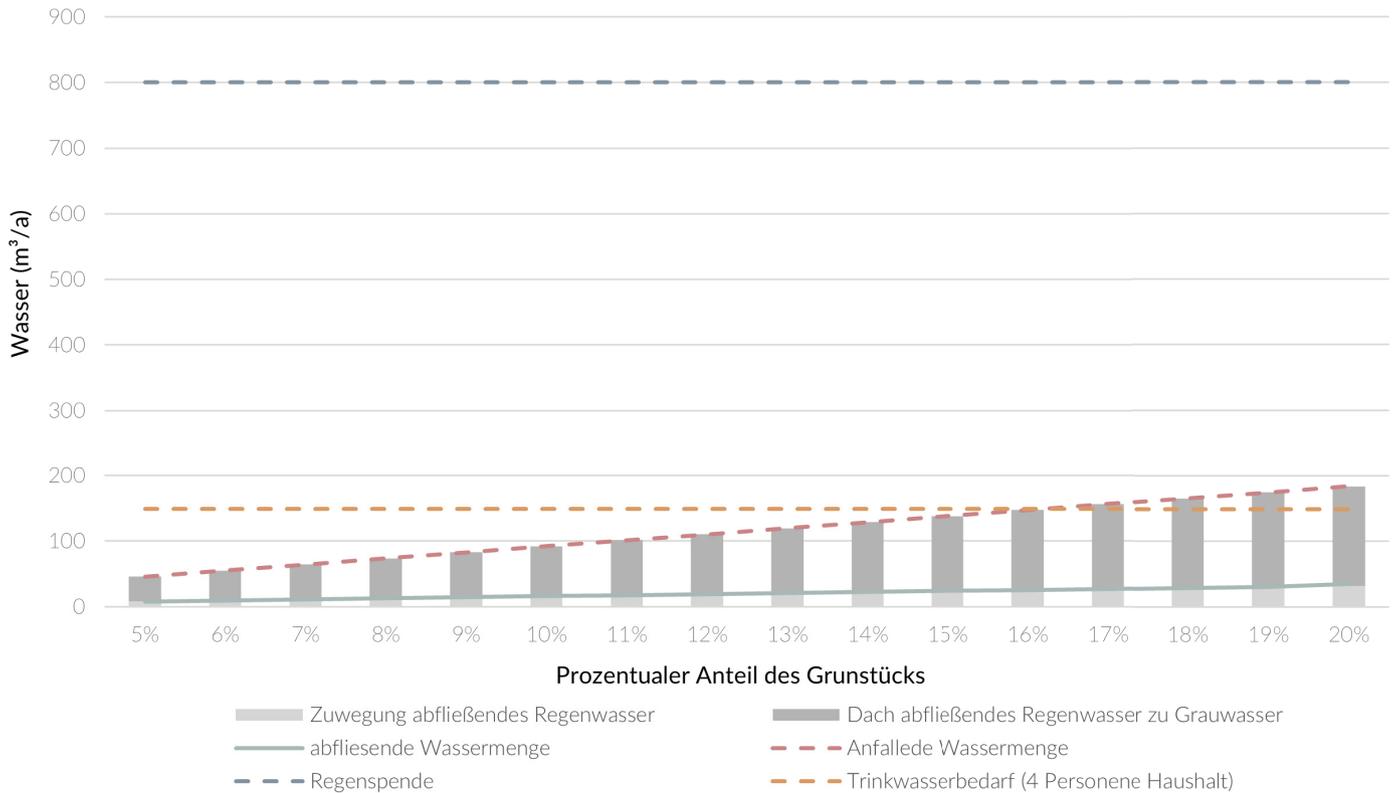


Abb. 98: Regenwassernutzung Szenario 3. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

Grundstücksgröße: 1.000m²

Zuwegung & Stellplätze: Rasengitter (100% Versickerung)

Dach: Gründach (40% Versickerung)

Grauwasserbedarf berechnet aus Toilettenspülung

Trinkwasserbedarf berechnet aus Körperpflege, Toilettenspülung,

Wäsche und Reinigung (Wasser für Küchenprozesse nicht berücksichtigt, siehe 2.2.6 Wasserhaushalt)

Wasserauffangung durch Tank, bei überwiegender Spende

Regenwassernutzung Szenario 4

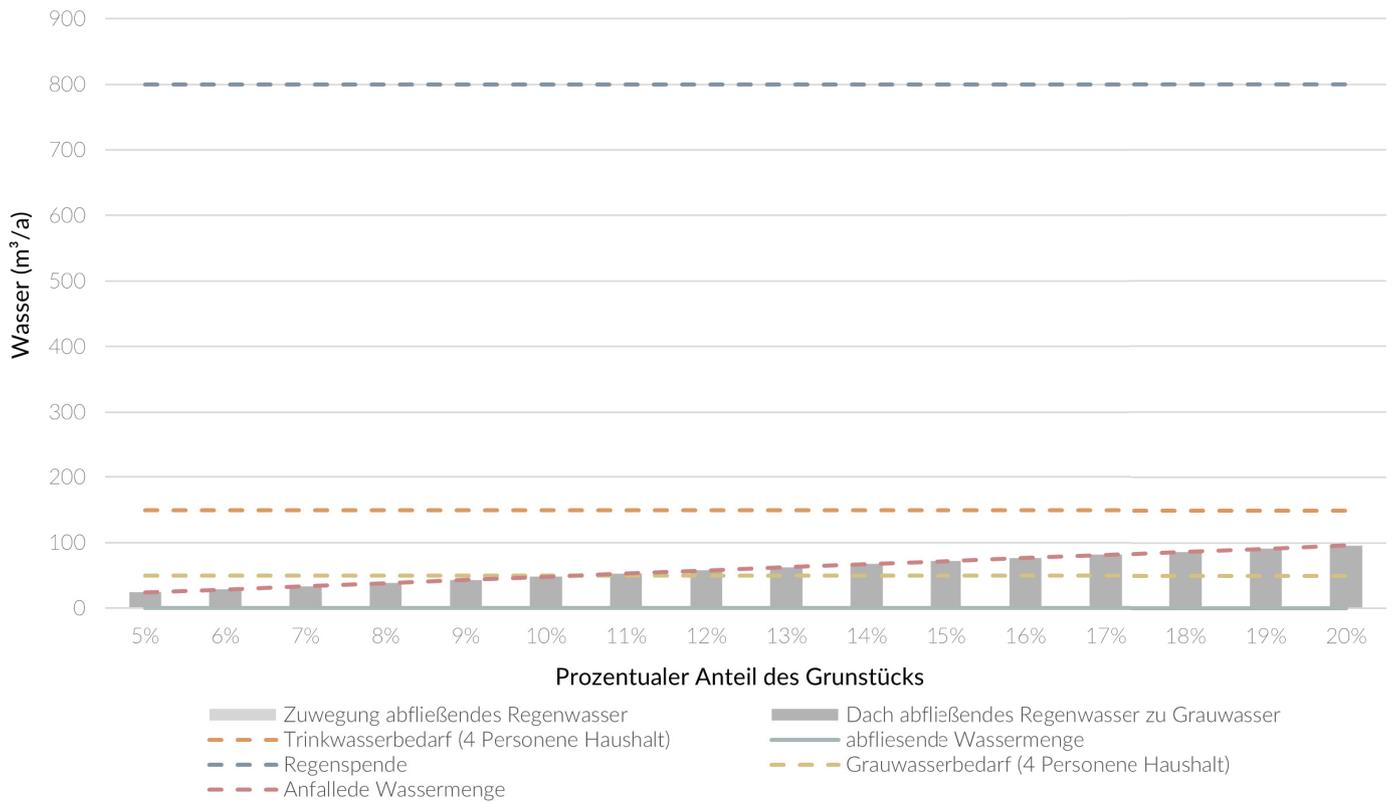


Abb. 99: Regenwassernutzung Szenario 4. Eigene Darstellung

Es ist erkennbar, dass durch das Einsetzen eines Wassertanks und die Verwendung unversiegelter Zuwegung und Stellplätze eine Nettonull berechnet werden kann. Mit einer Versickerungsmulde oder unterirdischen Versickerungsgruben könnte man bei anderer Wahl der Dachdeckung, Tankausstattung oder Zuwegung das abfließende Regenwasser zentralisiert versickern lassen. Dafür benötigt man jedoch in manchen Bundesländern eine Genehmigung.

Der Tank ist, also wie zuvor bei der Wassernutzung bereits erklärt, eine Möglichkeit die Nachhaltigkeit eines EFHs zu steigern. Die Dimensionierung des Tankes sollte dabei von dem Verbrauch und der Regenspende abhängig sein. Dabei gibt es wieder verschiedene Optionen. Der mittlere monatliche Niederschlag aus den Jahren 1991 - 2020 wird im Folgenden für die Dimensionierung des Tankes benutzt (DWD o.J.b).

Verwendete Faktoren:

Dach: Metall 100m²

Grauwasserbedarf berechnet aus Toilettenspülung

Wasserauffangung durch Tank, bei überwiegender Spende

Regenwassernutzung und Tankfüllung Szenario 1

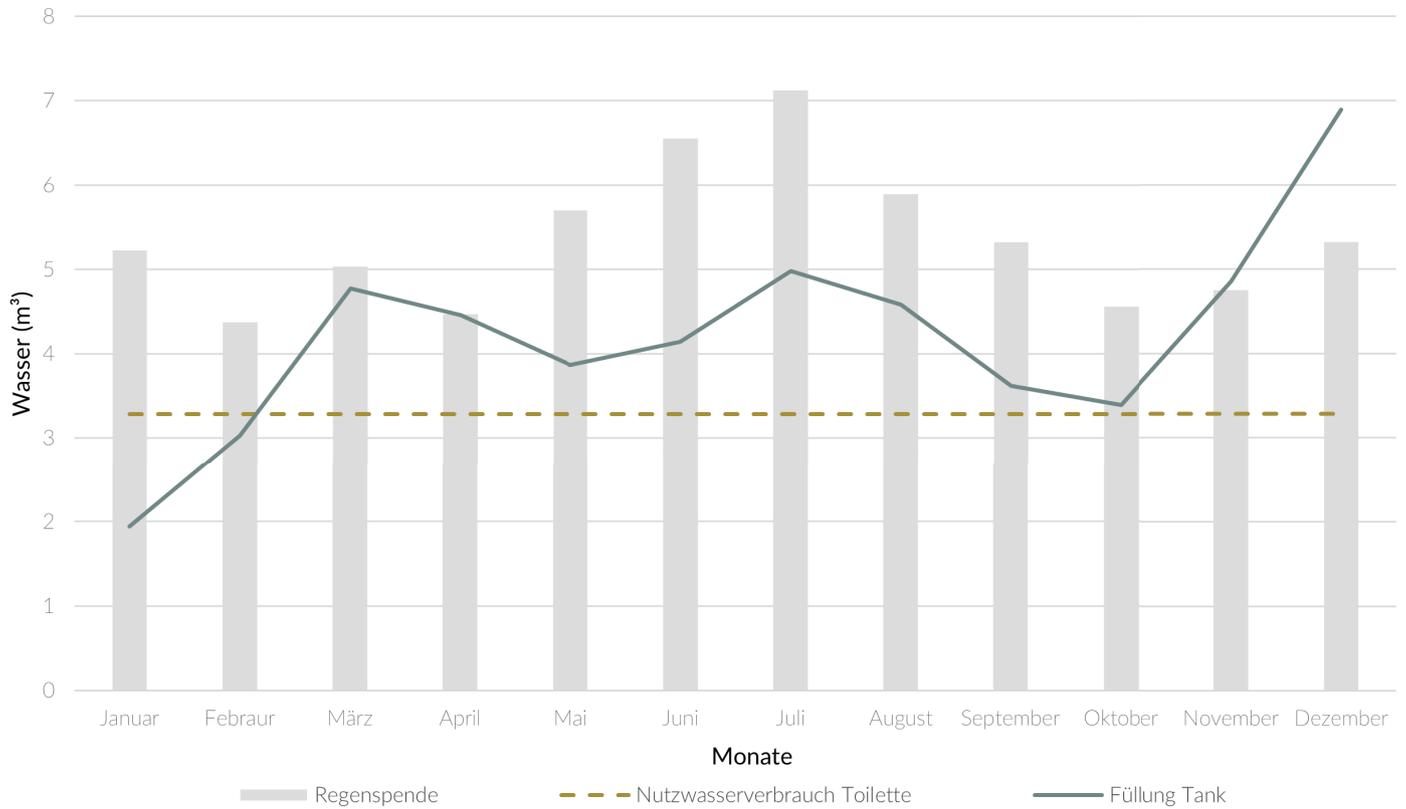


Abb. 100: Regenwassernutzung und Tankfüllung Szenario 1. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

Dach: Metall 100m²

Trinkwasserbedarf (berechnet aus Körperpflege, Toilettenspülung,

Wäsche und Reinigung (nicht TrinkWV)

Wasserauffangung durch Tank, bei überwiegender Spende

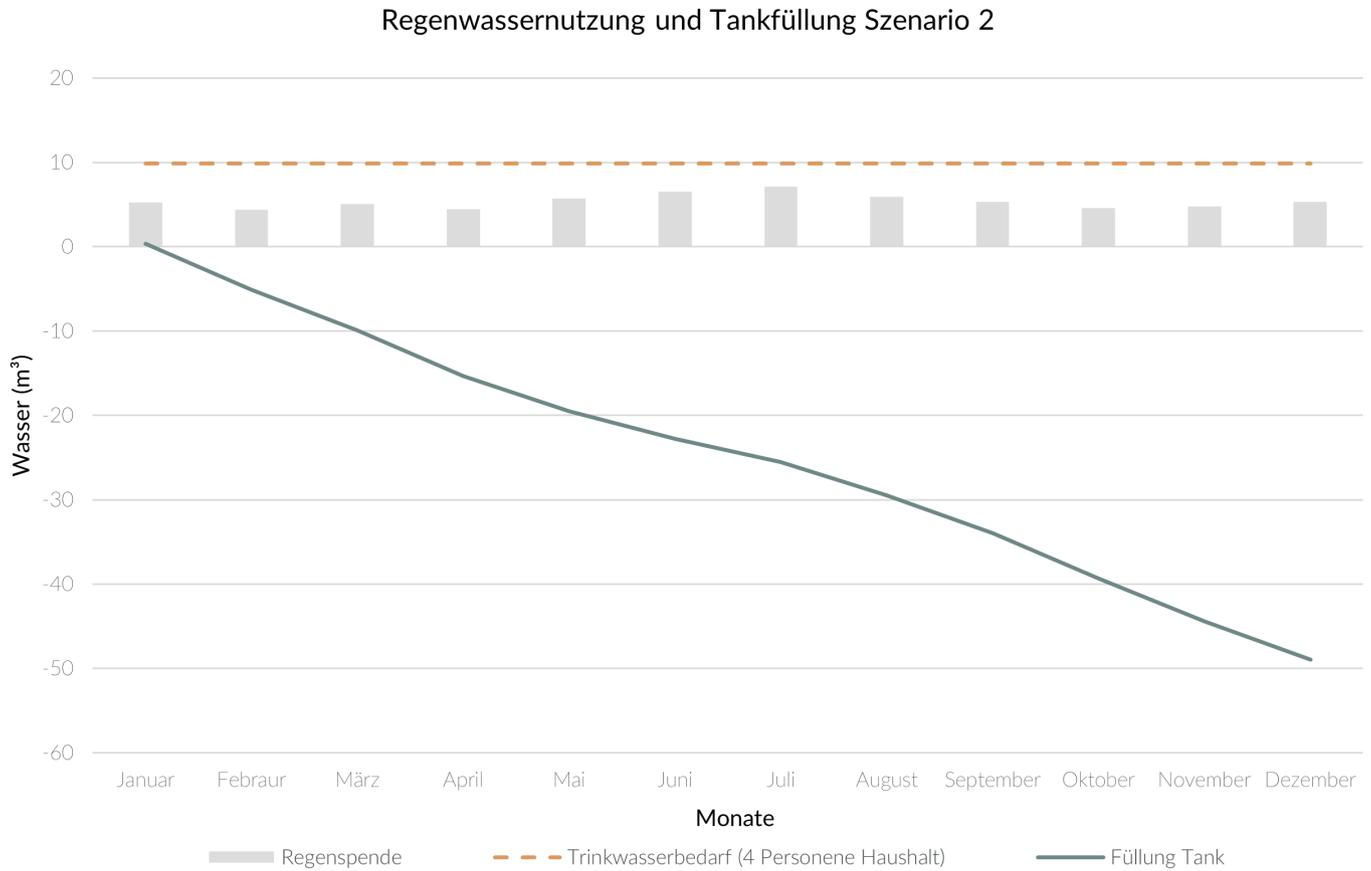


Abb. 101: Regenwassernutzung und Tankfüllung Szenario 2. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

Dach: Gründach (40% Versickerung) 150m²

Trinkwasserbedarf (berechnet aus Körperpflege, Toilettenspülung,

Wäsche und Reinigung (nicht TrinkWV)

Wasserauffangung durch Tank, bei überwiegender Spende

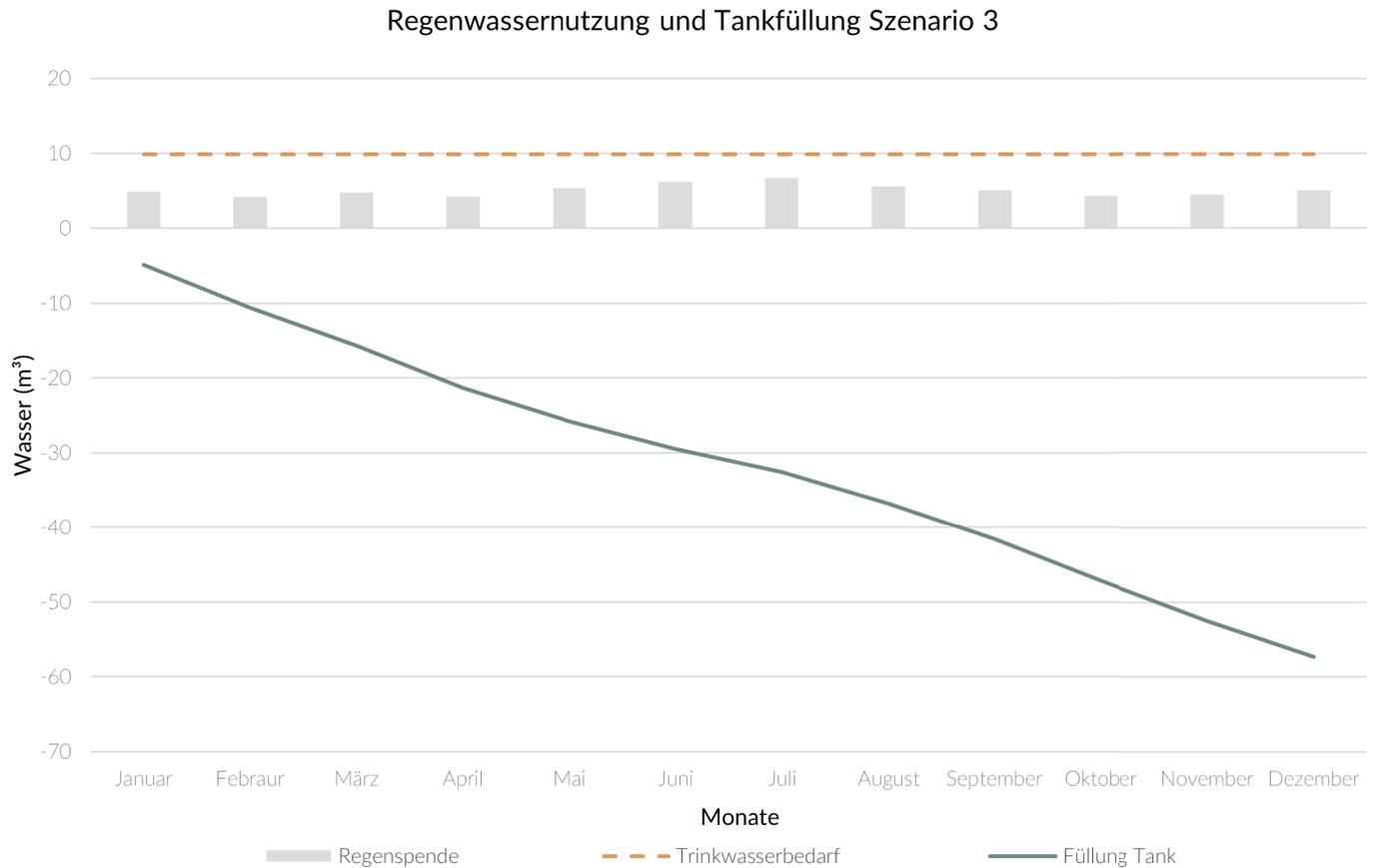


Abb. 102: Regenwassernutzung und Tankfüllung Szenario 3. Eigene Darstellung

Verwendete Faktoren:

Dach: Gründach (40% Versickerung) 100m²

Trinkwasserbedarf (berechnet aus Körperpflege, Toilettenspülung,

Wäsche und Reinigung (nicht TrinkWV)

Grauwasserbedarf berechnet aus Toilettenspülung

Wasserauffangung durch Tank, bei überwiegender Spende

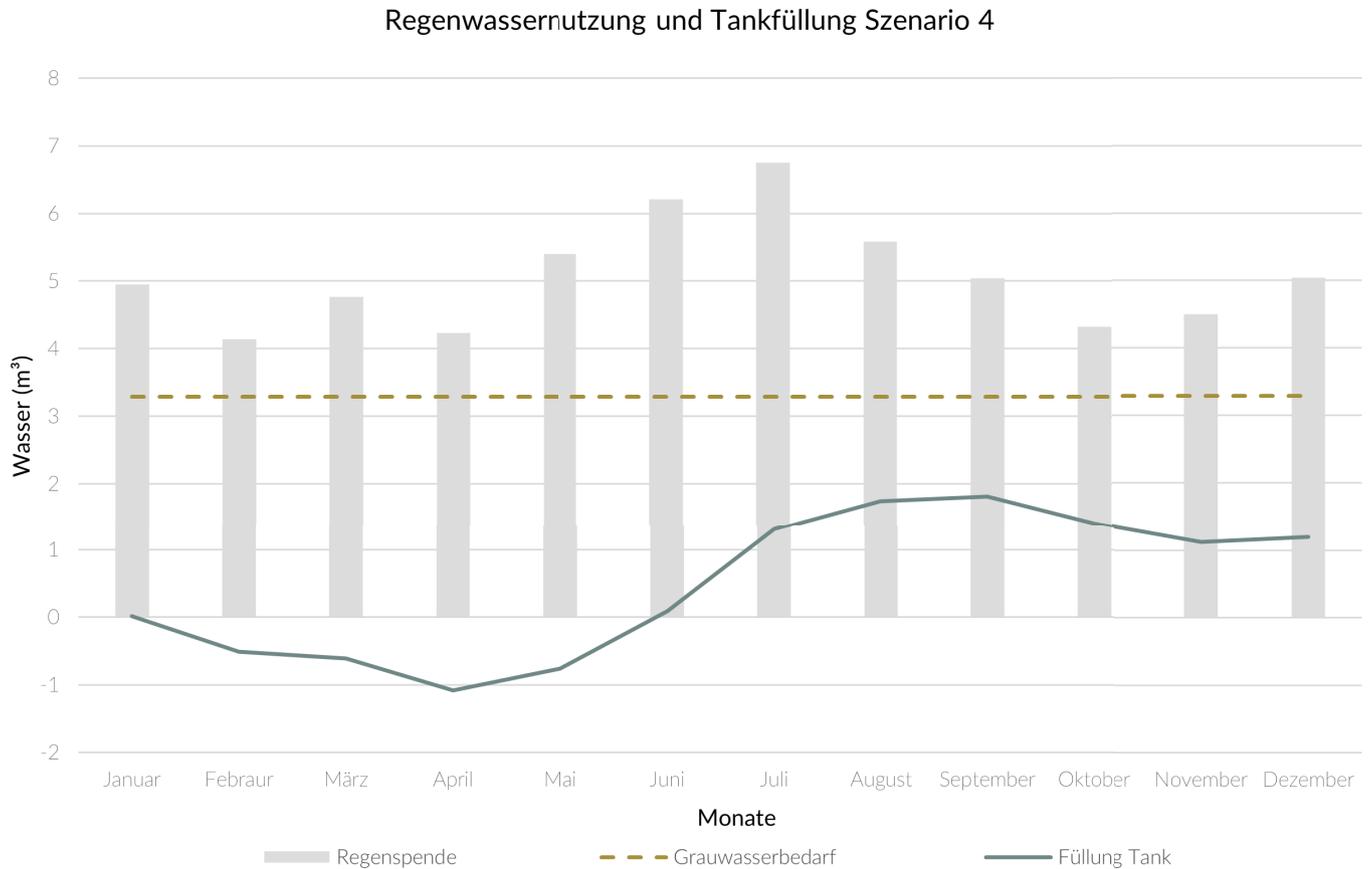


Abb. 103: Regenwassernutzung und Tankfüllung Szenario 4. Eigene Darstellung

Welche Schlüsse können aus den vorangegangenen Diagrammen gezogen werden? Die Menge an Regenwasserspende hängt direkt proportional von der Dachfläche und dem Abflussbeiwert ab. Die potentielle Menge an Nutzwasser und die benötigte Menge für Toilettenspülung und den Garten passt in mehreren Szenarien gut zusammen. Bei der Nutzung für Prozesse, welche Trinkwasser benötigen, ist die Abhängigkeit zu den davor genannten Parametern entscheidend, denn der Bedarf ist hier größer als für Nutzwasser. Es gibt für beide Nutzungen die Möglichkeit einer Notspeisung durch Trinkwasser aus der Leitung. Es entsteht keine eindeutige Aussage der Diagramme. Ohne die ökonomische Betrachtung wäre es hier schwer zu entscheiden, ob der baukonstruktive und finanzielle Mehraufwand mehrerer Wassersysteme in einem Haus lohnend ist.

Auch zu berücksichtigen ist die ökologische Nachhaltigkeit der notwendigen Anlagen und Leitungen. Je nach Ausführung können die Leitungen, wenn sie aus Metall sind, sehr gut recycelt werden. So können auch die Tanks aus 100% recycelfähigem Kunststoff hergestellt werden, lediglich die Technik für die Filterung ist systemabhängig bedingt recycelbar. (BBSR 2023a)

2.3 Fazit

Die vorhergegangenen Kapitel sind jeweils nur als ein Anfang der Forschung zu sehen. Sie sind ein Versuch Nachhaltigkeit im Bausektor zu optimieren und visualisieren. Mit dieser Perspektive funktionieren manche besser als andere. Jedoch fehlen bei allen Parameter wie die ökonomische Nachhaltigkeit.

Folglich können keine eindeutig Ergebnisse aus den Bilanzierungen und Diagrammen gezogen werden. Sie sind eher eine Orientierung und zeigen vor allem deutlich, welche Methode es zu vermeiden gilt.

Die Erkenntnisse, welche nach jeder Bilanzierung gezogen wurden, sind in dem entstehenden Konzept zu bedenken. Des Weiteren liefern jedes einen Ansatz, der in weiteren Forschungen vertieft werden könnte und sollte.

TEIL III

EIN KONZEPT DER

NACHHALTIGKEIT

3.1 Grundriss	163	3.4 Gebäudetechnik	197
3.2 Statik	164	3.4.1 Strom	198
3.3 Baukonstruktion	166	3.4.2 Wasser	202
3.3.1 Sohle	168	3.4.3 Wärme	206
3.3.2 Außenwand	170	3.4.4 Luft	210
3.3.3 Dach	175	3.5 Außenbereich	213
3.3.4 Zwischendecke	180	3.6 Nutzung	214
3.3.5 Innenwände	184	3.6.1 Pflege & Instandhaltung	220
3.3.6 Nasszellen	186	3.6.2 Umbau & Sanierung	221
3.3.7 Schächte	188		
3.3.8 Fenster & Türen	190		
3.3.9 sonstige innenliegende Bauteile	193		
3.3.10 sonstige außenliegenden Bauteile	194		
3.3.11 Herstellung	196		

Aus 1.3 Benchmarks & Referenzwerte und den Erkenntnissen von 2.2 Bilanzierungen gilt es nun die dritte Forschungsfrage zu beantworten. Dabei werden auch wiederholt Antworten auf die zweite Forschungsfrage fallen. Die Erkenntnisse sind wie Achsen zu behandeln, an welchen sich orientiert werden sollte. Manche Erkenntnisse sind dabei wichtiger als andere, welche einen schwächeren Einfluss auf die Nachhaltigkeit haben. Auch ein Grundrisstyp wird nicht festgelegt, da durch die Flexibilität des Grundrisses ein offener oder fließender Grundriss auch zu einem Flurtyp umgebaut werden kann.

Nachhaltigkeit ist vor allem in ihren sozialen und ökonomischen Aspekten außerhalb des Gebäudes zu berücksichtigen. Die planenden Leistungen und die Ausführung auf der Baustelle beinhalten eine Vielzahl an sozialen und ökonomischen Aspekten, welche es zu beachten gilt. Diese fangen bei gegenseitigem Wohlbefinden in der Zusammenarbeit an und gehen bis hin zur Baustellensicherheit. Gerade die DGNB Kriterien sind hierbei ausführlich. Auf ökonomischer Ebene gibt es einen Konflikt zwischen möglichst niedrigen Realisierungskosten und fairer Bezahlung für Planer:innen und Handwerker:innen. Ziel sollte es sein, eine ausgewogene Mitte zu finden und so weder den genannten Gruppen noch den Bauherr:innen zu schaden. Grundlegend ist dafür eine gute Zusammenarbeit von Architekt:in, Bauleitung und der:m Bauherr:in oder den Bauherr:innen.

Im Folgenden wird durch die wichtigsten Bestandteile eines Gebäudes geführt, um damit ein Konzept zu erschaffen. Dieses stellt keine eindeutige Vorgabe, sondern einen Leitfaden dar. Aufgrund der Komplexität und nicht ausreichend weitläufig oder tiefen vorgehenden Forschung sind vor allem Aspekte und Erkenntnisse entstanden, die vermieden werden müssen oder sollten. Diese Forschungserkenntnis war teilweise vorhersehbar, da das Feld des Bauens und der Baustoffe so weitläufig ist, dass es immer Wechselwirkungen und Zielkonflikte geben wird. Mit dieser Ausgangs-

lage kann kein eindeutiges Konzept die Lösung sein. Und im Sinne der gestalterischen Architektur sollte es das auch nie.

Ein Aspekt der fern von Gebäude und Bilanzierungen steht ist das Grundstück und seine Größe. Die Flächenaufstellungen in 1.2.3 Diskurs - EFHs, Flächen & Bauart zeigt auf, für welche Nutzungen Deutschlands Flächen aktuell verwendet werden. Die Frage nach dem Ausreichen dieser Flächen für den EFHbau ist nicht mit ja oder nein beantwortbar. Jedoch zeigen die noch vorhandenen Potentiale und auch der kleine Anteil der aktuellen Siedlungsfläche nicht, dass keine nachhaltigen EFHs mehr gebaut werden können. Vereint man diesen Gedanken mit der in 2.1.2 Betrachtete und vernachlässigte Parameter beschriebenen Möglichkeit der nachhaltigen und fairen Nutzung der Erbpacht, sind nur Mobilität und aktuelle, jedoch nicht aus dem EFH entstandene, Konflikte Argumente gegen weitere EFH Neubauten. Diese Aspekte können jedoch nicht auf der hier betrachteten Ebene der Architektur beantwortet werden.

Des Weiteren ist ein nachhaltiges Eigenheim nur unter Veränderung der Förderungen und damit Belastung der Haushalte möglich. Ebenso ist ein soziales, nachhaltiges Erbbaurecht für bezahlbare Eigenheime eine Grundlage.

Für die Planenden gilt grundlege eine BIM Planung zu bevorzugen. Dadurch können Baustoffmengen sowie Energieverluste einfach und standartisiert berechnet werden.

3.1 Grundriss

Es gibt verschiedene Grundrissstypen wie den Flurtyp, den offenen Grundriss, den Einraumgrundriss, den fließenden Grundriss und viele mehr. Dabei ergibt sich die Wahl des Typen aus der Beschaffenheit des Grundstückes und den individuellen Vorstellungen der Bewohner:innen. (Isphording 2008)

„Der Grundriss eines Hauses ist das Ergebnis aus der vorgefundenen Grundstückssituation und den individuellen Wohnvorstellungen seiner Nutzer. Die Planung des Raumgefüges und der inneren Wegeführung hat die Aufgabe, die persönlichen Ideen und Wünsche mit den funktionalen und technischen Anforderungen eines Wohngebäudes in Einklang zu bringen.“ (Isphording 2008, 12)
Dieser Ansatz soll unter Anwendung des folgenden Konzeptes nicht stark beeinträchtigt werden. Während weder Grundstückssituation noch Wohnvorstellungen vernachlässigt werden sollen, stehen sie unter einem Konzept, unter Prinzipien, welche nicht gebrochen werden sollten. Das Wohngefühl ist einer der zentralen Punkte der sozialen Nachhaltigkeit. Daher sollte ein Haus immer wie im vorhergehenden Zitat mit Hilfe eines Architekten geplant und umgesetzt werden.

Es gibt nicht viele Anforderungen an den Grundriss, jedoch sind diese sehr grundlegend. Ein Grundstein der Energieeffizienz, aber auch der ökonomischen, ist das Bauen eines Körpers mit einem guten A/V Verhältnis bei der gebauten Fläche. Eine einfache Form bringt auch einfache Regelanschlüsse und damit niedrige Kosten mit sich.

Die Herausforderung ist die benötigte Flexibilität des Grundrisses. So soll es möglich sein, ohne tiefgehende Umbauarbeiten und Leitungsverlegungen eine Grundriss barrierefrei oder komplett umzugestalten. Dafür wird ein Grundriss mit wenigen tragenden und damit festen Bauteilen und mit vielen flexiblen Innenwänden benötigt. Des Weiteren sind Leerrohre zu verlegen, um an mehreren Stellen in den Grundrissen kleinere Sanitäreinrichtungen wie eine Küche oder Wachbecken zu ermöglichen.

Die Flexibilität ist nur bei manchen Räumen eingeschränkt. So ist die Verlegung einer Küche durch mehrere, im Grundriss verteilten, vorverlegten Leerrohre möglich, jedoch ist sie auch mit einem höheren Aufwand verbunden. Aufwand bezieht sich dabei auf Zeit und Kosten. Badezimmer bzw. Nasszellen sind daher kaum umzugestalten. Ein Abfluss für Toiletten sollte nur an einer Stelle in allen Stockwerken vorgesehen sein. Dadurch sollte die Toilette, aber auch andere größere sanitäre Einrichtungen aufgrund der neu zu verlegenden wasserführenden Schicht, nicht umgelegt werden. Nahezu untersagt ist das Verlegen des HAR. Die Führung aller Leitungen und Schächte ist auf diesen ausgerichtet und eine Verlegung wäre nicht nachhaltig.

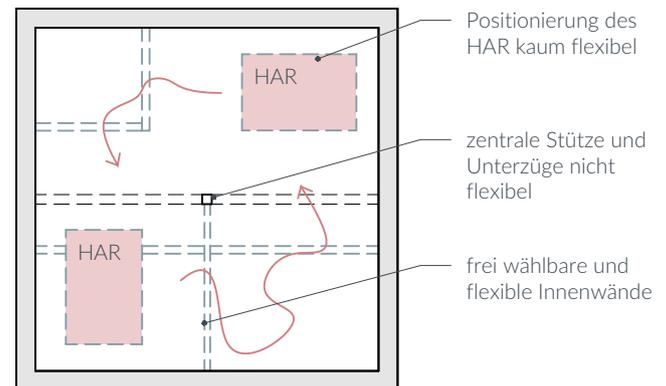


Abb. 104: Konzept flexibler Grundriss. Eigene Darstellung

3.2 Statik

Um die vorgegebenen Parameter einzuhalten, wird hier eine Hybrid aus Skelettbau und tragenden Außenwänden verwendet. Wie in 2.2.3 Effizienz Vordimensionierung Tragwerk beschreiben, ist zu erkennen, dass die Verwendung von nur einem Träger über die gesamte Länge oder Breite eines Gebäudes nicht nachhaltig, oder baukonstruktiv ungünstig ist. Folglich gilt eine ein statisches System zu entwickeln, welches diese Erkenntnisse umsetzt und die Flexibilität des Grundrisse bewahrt.

Eine mittig im Haus platzierte Stütze fängt die Geschosslast des 1.OG und des Daches über Unterzüge auf. Diese Unterzüge liegen neben der Stütze auf der verstärkten Außenwand auf. Somit können die Decken auf die Unterzügen und Außenwände gelegt werden. Dadurch können 2 Fassaden sehr offen gestaltet werden und benötigen nur eine mittig platzierte Verstärkung. Während die anderen Außenwände tragend und bedingt aussteifend ausgeführt werden. Die Last der Stütze und der Außenwände wird durch die Unterkonstruktion der Sohle aufgefangen und in die Schraubfundamente geleitet.

Schraubfundamente sind hierbei eine Möglichkeit den Bodenkontakt zu umgehen. Wie in 1.3.1.5 Benchmarks & Referenzwerte - Bio- & Ökopositivität beschrieben gilt es unterirdische Gebäudeteile zu vermeiden. Besonders, da Sohlen und Keller zur Versiegelung beitragen und meist aufwändig hergestellt werden müssen. Aufwändig bezieht sich hier auf die hohen Ansprüche an die Konstruktion und die damit oft verbundenen ökologisch nicht nachhaltigen Baustoffe. Des Weiteren ist die Herstellung mit einem Kostenmehraufwand verbunden, der verglichen mit den überirdischen Geschossen nicht nachhaltig ist (BKI 2022).

Schraubfundamente sind jedoch mit Sicherheit für 100 Jahre problemfrei tragfähig, und kreislaufgerecht. Der Einbau auf der Baustelle und die folgende tragende Unterkonstruktion ist einfach herzustellen. (Deutsche Schraubfundament GmbH o.J.)

Diese Unterkonstruktion wird aus doppel-T Stahlträgern ausgeführt. Diese gewährleisten eine garantierte Lebensdauer von 100

Jahren und sind nach der Nutzung in dem Gebäude für andere Zwecke ohne große Bearbeitung wiederverwendbar.

Die Teilung der 10m in 2 Teile ist, wie in den Diagrammen zu sehen, eine sehr gute Möglichkeit, ressourceneffizient zu planen und gleichzeitig eine großzügige Entwurfsfreiheit zu gewährleisten. Die Fragestellung der notwendigen Aufteilung in der zweiten tragenden Ebene ist die selbe, nur ohne das Addieren zusätzlicher Stützen. Die Stützen sind hinfällig, da die erste tragende Ebene als Auflager dient.

Um eine mögliche Veränderung der Zwischendecke und andere, in 3.3.4 Zwischendecke beschriebenen Punkte einzuhalten, werden hier ein Meter breite Hohlkastendecken gewählt. Diese ist wie eine Aufteilung einer 1m breiten Fläche auf 5 Träger zu sehen.

Der Brandschutz der Statik ist nach innen durch Lehm gewährleistet und nach außen durch eine großzügige Opferschicht in Form der Konstruktion. Eine Hohlkastendecke kann je nach Anforderungen auch als brandschutztechnische Trennung ausgeführt werden. Die offene Stütze und die Unterzüge müssen je nach Anforderung mit einer Opferschicht dimensioniert werden. Je nach Holzart sind das für jede offene Seite 0,5-0,7mm pro Minute einzuhaltender Brandschutzrichtlinien (DIN 2023).

Das Holz und damit gespeicherte CO₂ des Tragwerkes gilt es auch weiterhin zu speichern. Dafür soll die tragende Konstruktion möglichst weitreichend wiederverwendbar sein.

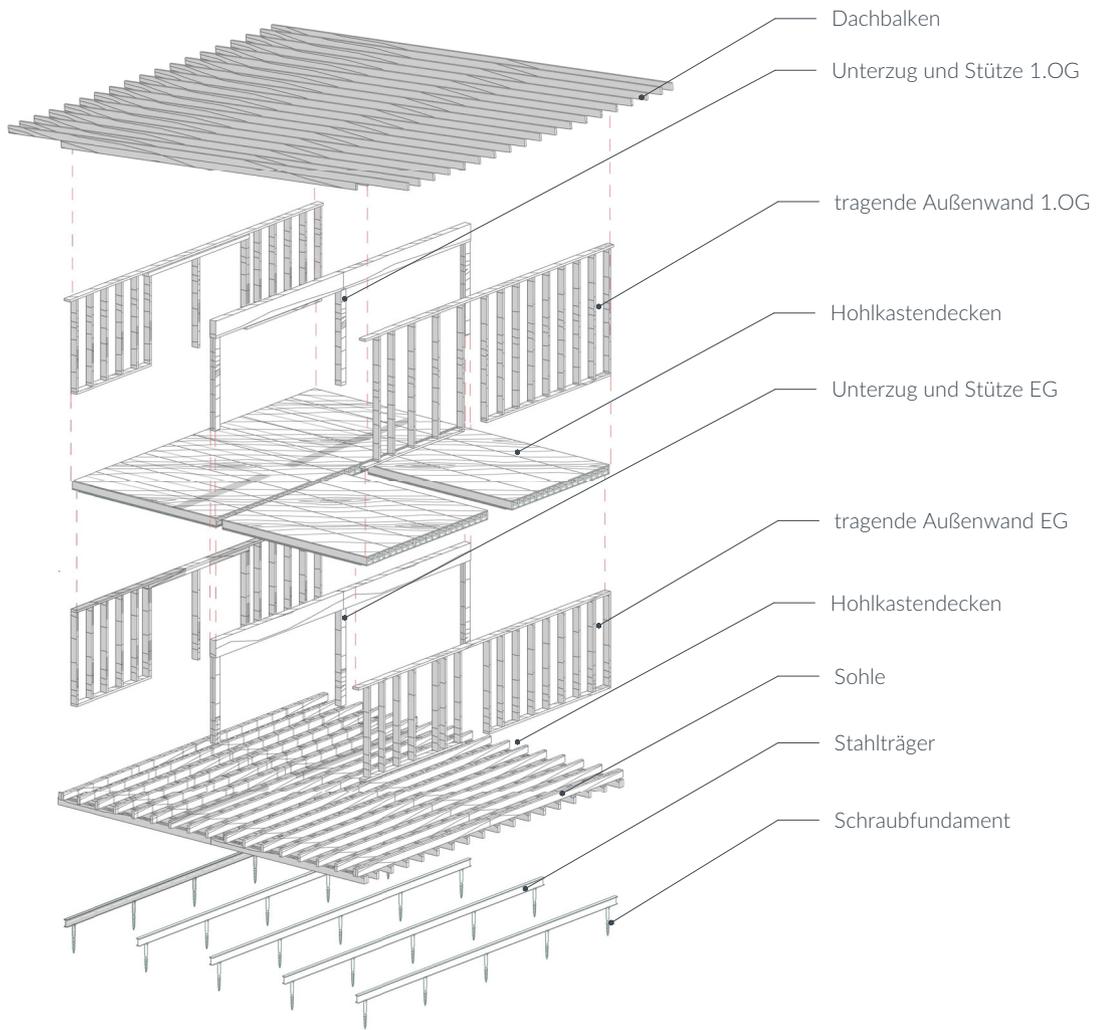


Abb. 105: Statik Konzept. Eigene Darstellung

M.: 1:200

3.3 Baukonstruktion

Durch die Definition von Nachhaltigkeit (1.1 Definition Nachhaltigkeit) und den gesetzten Benchmarks (1.3 Benchmarks & Referenzwerte Nachhaltigkeit) entsteht ein enger Rahmen für Materialien und baukonstruktive Grundlagen. Weitere grundlegende Faktoren wurden in 2.1.3 Vorausgesetzte Faktoren beschrieben. Folglich müssen diesen Definitionen, Benchmarks und Faktoren entsprechende Regelaufbauten gefunden werden.

Diese müssen möglichst nachwachsend, arm an TGH Ausstößen und kreislaufgerecht sein. Dabei darf nicht die notwendige Flexibilität des Grundrisses oder der Wohnkomfort eingeschränkt werden. Auch eine Integration der Gebäudetechnikplanung ergibt ein suffizienteres Ergebnis. Jedes Bauteil hat individuelle Ansprüche, so unterscheidet sich eine Innenwand eindeutig von der Sohle eines Gebäudes.

Die Werte für das CO₂e der verschiedenen Baustoffe sind, wie in 2.2.4 Dämmstoffeffizienz beschrieben, je nach Szenario kritisch zu bewerten.

Im Folgenden werden verschiedene unter den Benchmarks mögliche Regelschnitte für Außenbauteile verglichen und gegeneinander aufgewogen. Dadurch wird ein Aufbau gewählt, für welchen es entsprechende Varianten und Anschlüsse gibt. Die verschiedenen Aufbauten bestehen aus einer Aufstellung verschiedener Optionen. Dabei werden ökologisch nicht zu empfehlende Baustoffe in diesen Optionen nicht oder nur mit Erklärung verwendet. Die Deklaration der Baustoffe stammt aus den Umweltwirkungen von Bauteilen zum nachhaltigen Konstruieren (El khouli 2014). Die Aufbauten sind mit dem Finite-Elemente-Verfahren durch den Ubakus-Rechner berechnet und bewertet (Plag 2023). Durch UBAKUS werden auch Feuchteschutz nach DIN Verfahren und Werte für ausgestoßenes CO₂ berechnet, diese werden jedoch nicht in die Bewertung, lediglich in die Erstellung der Aufbauten miteinbezogen.

Aus diesen Gegenüberstellungen folgt ein möglichst ökologisch nachhaltiger Aufbau, der nicht ein eindeutiges Ergebnis sondern eine möglichst positive Antwort ist. Die negativen Aspekte dieses Aufbaus müssen genannt werden.

Beispiel Außenwand:

Für ein nachhaltiges baukonstruktives Konzept ist bei einem Gebäude der Aufbau der Außenwände maßgeblich. Ein Antwort vor allem auf die ökologisch nachhaltigen Anforderung hat Baufritz versucht zu geben (Baufritz GmbH & Co. KG o.J.). „Von außen betrachtet, hat die Voll-Werte-Wand 2 gute Seiten: die Innenverkleidung und die Fassade. Was sich dazwischen verbirgt, macht den noch größeren Unterschied.“ (Baufritz GmbH & Co. KG o.J.)

Ein atmungsaktiver Wandaufbau mit innerer und äußerer individueller Gestaltung, einer vorteilhaften und vorausgedachten Konstruktion, ist besser als die GEG Vorgaben und bringt einen CO₂ Speicher mit sich. Diese Außenwand erzeugt ein gesundheitszertifiziertes Wohnklima und einen U-Wert von 0,159 bis 0,20 W/m²K. Gerade die Gestaltungsoffenheit wird wiederholt betont. (Baufritz GmbH & Co. KG o.J.)

Wurde hier eine Lösung auf die gestellte Forschungsfrage gefunden? Ja und Nein. Das Konzept von Baufritz ist eine Antwort, welche viele in 1.3 Benchmarks & Referenzwerte Nachhaltigkeit gestellten Ansprüche einhalten kann. Jedoch macht es der erreichte U-Wert schwer, Passivhaus Standards oder Effizienzhaus-Stati zu erreichen. Damit wäre es auch aufwendiger, ein energieautarkes Gebäude zu bauen. Des Weiteren wird kein zusammenhängend nachhaltiges Konzept erörtert, sondern lediglich eine Außenwand. Diese ist jedoch in sich optimiert und zertifiziert. Nicht nur das, sondern auch die Individualisierbarkeit der äußeren Optik sollten als Grundlagen in einem baukonstruktiven Konzept bedacht werden.

Stehende Luftschicht:

Schützt die Konstruktion vor Witterungseinflüssen (30 mm)

Zusätzliche Dämmschicht:

60 mm Holzweichfaser in der Installations-ebene – auch ein nachträgliches Verlegen der Versorgungsleitungen ist problemlos möglich

Zusätzliche Dämmschicht:

Die äußere Holzweichfaser (60 mm) sitzt auf dem Ständer/Gefach

Luftdichtigkeitsebene:

Aus technischem Papier

Außenfassade als Witterungsschutz:

Diskret verschraubt in Wunschoptiken (hier Holzverschalung „Credo“)

Elektromog-Schutz-technik Xund-E:

Ca. 96% Abschirmung elektromagnetischer Strahlung – mit optionaler Xund-E Protect Ausstattung bis zu 99% (12,5 mm)

24 cm starke, ökologische Holzspäne-Dämmung HOIZ:

Für wohngesundes Naturklima und hervorragende Wärmedämmung im Winter sowie Hitzeschutz im Sommer

Wohnraumwand:

Individuell gestaltbar aus Naturgips (18 mm) und Holzverkleidungen (18 mm)



Abb. 106: Voll Werte Wand AAA. Baufritz GmbH & Co. KG 2025

3.3.1 Sohle

Aus bereits genannten Gründen ist eine Sohle gegen Außenluft nicht gegen Erdreich zu bevorzugen. Des weiteren stellt eine Sohle Ansprüche an Tragfähigkeit, Feuchtigkeitsschutz, Nässeschutz seitens des Erdreiches, Möglichkeit zur Verlegung von Leitungen und Sanitärinstallationen und hauptsächlich an den Wärmeschutz (Fouad 2022). Für eine schwebende Sohle gibt es noch keine große Variation an Aufbauten.

Balkensohle

Parallel zu der Unterkonstruktion werden Balken verlegt und ihre Zwischenräume werden ausgedämmt. Eine dicke Trittschalldämmung ist nicht notwendig, da kein Untergeschoss besteht. Die dafür notwendigen Balken sind nicht aus jedem Baum zu gewinnen und damit teuer. Des Weiteren ergeben sie eine durchgehende, jedoch schwache Wärmebrücke. Dadurch muss auch eine gute Dampfdichtigkeit bestehen.

Massivholz oder Brettstapelholz

Wird die Holzschicht an der Innenseite des Aufbaus platziert, ist dies optimal für die Innenwände, jedoch wird dadurch eine komplette Unterkonstruktion nach außen benötigt. An der Außenseite platziert wird viel druckfeste Dämmung nach innen oder erneut eine eigene tragende Konstruktion benötigt. Es kann ein Mittelweg gefunden werden, wobei dieser die Vorteile der Tragfähigkeit und dampfbremsenden Eigenschaft des Massivholzes negiert. Des Weiteren ist die Masse an Holz nicht ressourceneffizient.

Dicke: 47cm
U-Wert: 0,124 W/(m²K)

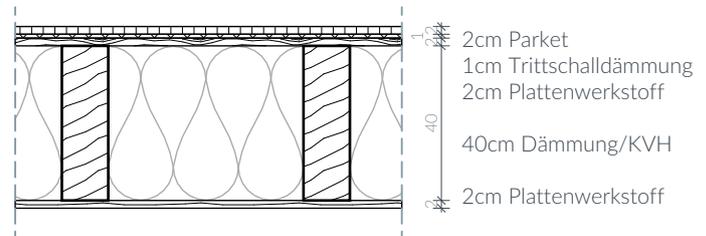


Abb. 107: Balkensohle. Eigene Darstellung

M.: 1:20

Dicke: 50cm
U-Wert: 0,128 W/(m²K)

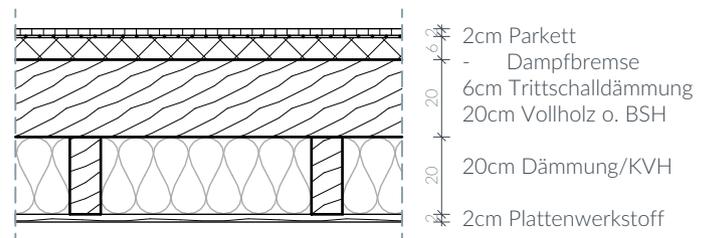


Abb. 108: Massivholz- o. Brettstapelholzsohle. Eigene Darstellung M.: 1:20

Gewählter Aufbau

Der Boden unter dem Gebäude kann bei Notwendigkeit flächig abgetragen und durch Kies ersetzt werden. Damit ist für eine bessere Versickerung gesorgt, und es sollten weniger Pflanzen ihren Weg in die Sohle finden. Die Sohle liegt in diesem Konzept auf der in 3.2 Statik beschriebenen Konstruktion aus Stahl. Darauf folgt eine schützende Schicht aus Nut- und Federbrettern. Diese schützt die Dämmung in der Sohle vor Insekten und ist langlebig und druckfest. Darauf folgen zwei verdrehte Schichten aus einem ausgedämmten Trägersystem mit einem Achsabstand von 62,5cm. Die Holzträger kreuzen sich, um bei ihrer Dicke keine Wärmebrücken zu erschaffen und um die Geschosslast flächig zu verteilen. Bei linearen höheren Lasten kann dieses Trägersystem unter den Außenwänden verstärkt werden. Durch die Dämmschicht wird ein nachhaltiger Dämmwert erreicht. Für das Konzept werden bauteilübergreifend 20cm dicke Holzfaserdämmplatten verwendet, da diese in der Bilanzierung sehr gut abschneiden und eine bereits weit verbreitete und ökonomische Methode sind. Einblasdämmstoffe haben in den Bilanzierungen teils besser abgeschnitten, doch ist ihre Verarbeitung komplizierter und Eingriffe in die Dämmebene verursachen einen größeren Aufwand. Ein weiteres Problem ist das Absacken bzw. Nachverdichten dieser Dämmstoffe, wodurch über eine längere Zeit Wärmebrücken entstehen können.

Die nächste Schicht wirkt aussteifend und dampfbremsend. Diagonalplatten, welche aus Massivholz mit einem Schwalbenschwanz entlang der Verbindung verbunden sind (GFM-Massivholz GmbH o.J.). Diese Schicht eignet sich optimal, um Abwasser- und Grauwasserleitungen, aber auch Frischwasser und Strom zu verlegen. Die Ausgänge durch die dampfbremsende Schicht sollten dabei verklebt werde. Die dampfbremsende Schicht ist aufgrund der diffusionsoffenen äußeren Schicht nicht zwingend notwendig, aber, um eine lange Lebensdauer zu gewährleisten, von Vorteil. Die oberste Schicht ergibt ein Parkett, welches gegen Trittschall auf

einer Korkbahn gelagert ist. Dieses Parkett kann in verschiedenen Stärken und Arten ausgeführt werden. Die Holzart ist dabei nach Kosten, Aussehen, Langlebigkeit und Lokalität frei zu wählen. Es ist zu überlegen, ob ein aufwändiges und teureres Vollholzpaket wie ein Stab- oder Mosaikparkett verlegt werden sollte. Die ökonomisch nachhaltigere Variante wäre ein mehrschichtiges Parkett, wobei darauf zu achten ist, dass die oberste (echte) Parkettschicht dick genug ist, um sie mehrmals abzuschleifen. Dieser Aufbau gewährleistet eine Wiederverwendung des KVHs. Teilweise werden die Balken stark beansprucht und können damit nicht im vollen Maße wiederverwendet werden. Die Idee der Wiederverwendbarkeit der tragenden Bauteile ist jedoch, wie im vorherigen Punkt erwähnt, grundlegend für alle nachfolgenden Bauteile.

Dicke: 47,5cm

U-Wert: 0,11 W/(m²K)

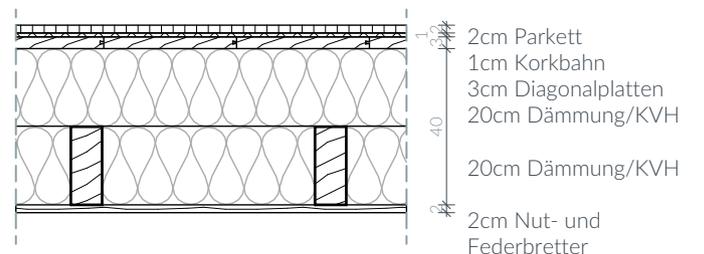


Abb. 109: Regelschnitt Sohle. Eigene Darstellung

M.: 1:20

3.3.2 Außenwand

Das Beispiel der Außenwand zeigt, wie viele Möglichkeiten und Potential in diesem Bauteil stecken. Die Anforderungen sind dabei Wärmeschutz, Brandschutz, Lärmschutz, Witterungsschutz, Diffusion, eine tragende Ausführung und Möglichkeit der Leitungsführung (Fouad 2022). Die gestalterische Freiheit nach innen und außen ist zu bewahren, jedoch unter limitierten Nachhaltigkeitsvoraussetzungen.

Massivholzwand oder Brettschichtholzwand

Der Aufbau bietet eine multifunktionale Schicht nach innen: dampfbremsend, tragfähig, aussteifend und langlebig. Jedoch ist sie nicht ressourceneffizient. Die Gestaltung nach innen ist durch die fertige Holzwand gegeben, kann aber angepasst werden.

Blockhaus

Nach innen bestehen die gleichen Vorteile wie bei der ersten Option. Es muss sichergestellt werden, dass die innere Holzschicht dampfdichter als die äußere ist. Durch die fehlende Hinterlüftung entstehen hohe Ansprüche an diese und an den Dämmstoff in den Zwischenräumen. Des Weiteren gibt diese Bauweise einen eindeutigen Stil vor und ist für Individualität und flexible Grundrisse geeignet. Auch die Ressourceneffizienz ist hier negativ anzumerken. Neben der Verwendung von viel Holz ist die äußere Schicht der Witterung ausgesetzt, wodurch die Balken bis in die Tiefe beschädigt werden können.

Dicke: 56cm
U-Wert: 0,108 W/(m²K)

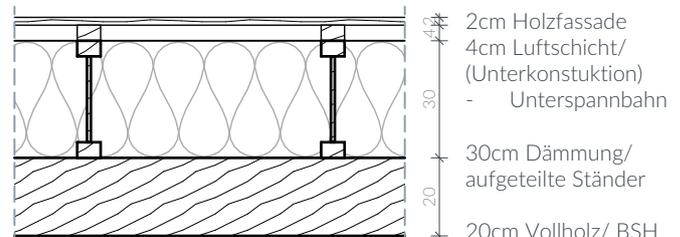


Abb. 110: Massiv- o. Brettschichtholzwand. Eigene Darstellung M.: 1:20

Dicke: 52cm
U-Wert: 0,108 W/(m²K)

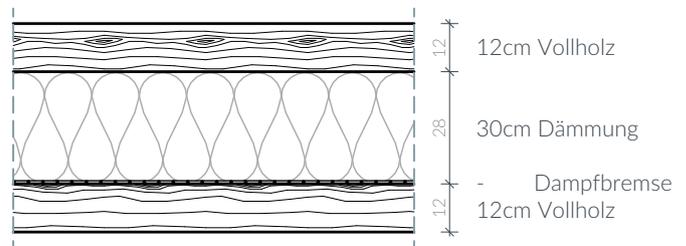


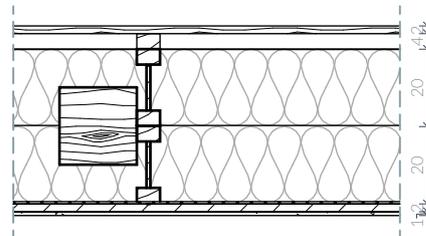
Abb. 111: Blockhaus Außenwand. Eigene Darstellung

M.: 1:20

Skelettbau

Der Skelettbau stellt eine ressourceneffiziente Methode dar, die nach außen und innen frei gestaltbar ist. Das Tragwerk ist optimal geschützt und kann Kreislaufgerecht ausgeführt werden. Jedoch ist damit auch der einzige tragende Teil der Wand schwer erreichbar. Der Versatz der Stützen in die Dämmebene ergibt sich aus der Notwendigkeit einer Installationsschicht. Durch das große Holzvolumen in der Dämmschicht muss eine Dampfbremse angebracht werden.

Dicke: 49cm
U-Wert: 0,107 W/(m²K)



2cm Holzfassade
4cm Luftschicht/
(Unterkonstruktion)
- Unterspannbahn
2x 20cm Dämmung/
aufgeteilte Ständer
+20x20cm KVH Stütze
- Dampfbremse
2cm Lehmbauplatte
1cm Lehmputz

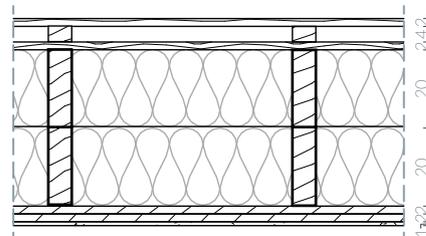
Abb. 112: Skelettbau Außenwand. Eigene Darstellung

M.: 1:20

Balloonframe

Die ressourceneffizienteste, hier aufgeführte Variante bringt eine Außenwand, die sich über mehrere Geschosse erstreckt, mit sich. Das System ist nach innen und außen variabel zu verkleiden. Es wird eine Aussteifung benötigt, welche durch Plattenwerkstoffe und somit auch einer Dampfbremse ausgeführt werden kann. Der Transport vorgefertigter, mehrgeschossiger Außenwandtafeln ist als problematisch zu bewerten. Dieses System sollte auf der Baustelle gebaut werden.

Dicke: 51cm
U-Wert: 0,113 W/(m²K)



2cm Holzfassade
4cm Luftschicht/
(Unterkonstruktion)
- Unterspannbahn
2x 20cm Dämmung/
Ständer KVH
2cm OSB
2cm Lehmbauplatte
1cm Lehmputz

Abb. 113: Balloonframe. Eigene Darstellung

M.: 1:20

Gewählter Aufbau

Der gewählt Aufbau bietet nach innen durch Lehmputz auf einer Lehmbauplatte eine passive Feuchtigkeitsregulierung und Gestaltungsfreiheit. Die Diagonalplatten dahinter übernehmen drei Aufgaben: die Aussteifung des Gebäudes in der Vertikalen, eine Dampfbremse und eine tragfähige Schicht für Montage von Wänden oder Möbeln. Die Dämmebene dahinter besteht wie bei der Sohle aus zwei 20cm dicken Holzfaserdämmmatten. Diese werden in ein Holzständerwerk mit Achsabstand von 62,5cm eingebaut. Es gibt zwei Möglichkeiten der Ausführung der Ständer. Ein Vollholzständer kann mehr Lasten aufnehmen, ein aufgelöster Holzständer hingegen ist ressourceneffizienter und erzeugt keine Wärmebrücke. Letztere sind in der Produktion oft teurer als erstere, dabei lässt sich darauf hoffen, dass dieser Preisunterschied mit der häufigeren Nutzung hinfällig wird. Je nach statischer Belastung wird so das Holzständerwerk ausgeführt. Um die Dämmung und tragende Ebene zu schützen, wird diese nach außen von einer Schicht diffusionsoffener Nut- und Federbretter überdeckt. Darauf folgt eine Hinterlüftung mit Holzunterkonstruktion für eine beliebige, jedoch den Nachhaltigkeitsanforderungen entsprechende Fassade.

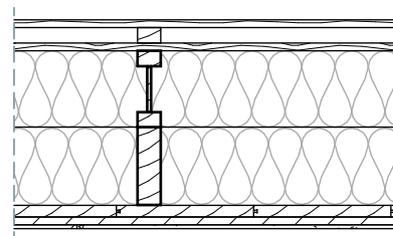
In der Außenwand werden Leitungen, wie in 3.4.1 Strom beschrieben, verlegt. Dabei ist es von Vorteil, wenn diese durch die aufgelösten Ständer gelegt werden können und keine Löcher in die Vollholzständer gebohrt werden müssen. Bei dem Bohren der Löcher ist es wichtig, nicht die statisch relevanten Punkte wie die Ober- und Unterkanten, sowie die entlang der Länge mittigen Bereiche zu durchbohren. Damit kann eine Wiederverwendung besser ermöglicht werden.

Die Außenwand wird an mehreren Punkten für Lüftungslöcher durchdrungen. Hier gilt es, die in 3.4.4 Luft beschriebenen Faktoren zu beachten und eine Entscheidung zu treffen, ob das Außenstück der Systeme unter der Fassade versteckt werden kann und soll. Das gilt es je nach System und Fassade zu entscheiden. Die Positionierung dieser Lüftungslöcher ist einheitlich auszuführen

und in dem Nutzungshandbuch zu dokumentieren.

Die Fassade muss die Unterkonstruktion und vor allem die Dämmebene vor Witterung und Insekten schützen. Lochanteile sind daher zu unterlassen und Insektengitter sind anzubringen.

Dicke: 54cm
U-Wert: 0,103 W/(m²K)



2cm Nut- und Federbretter
4cm Luftschicht/
(Unterkonstruktion)
2cm Nut- und Federbretter
(diffusionsoff.)
2x 20cm
Holzfaserdämmmatten/
aufgeteilte Ständer o. KVH
3cm Diagonalplatte
2cm Lehmbauplatte
1cm Lehmoberputz

Abb. 114: Regelschnitt Außenwand. Eigene Darstellung

M.: 1:20

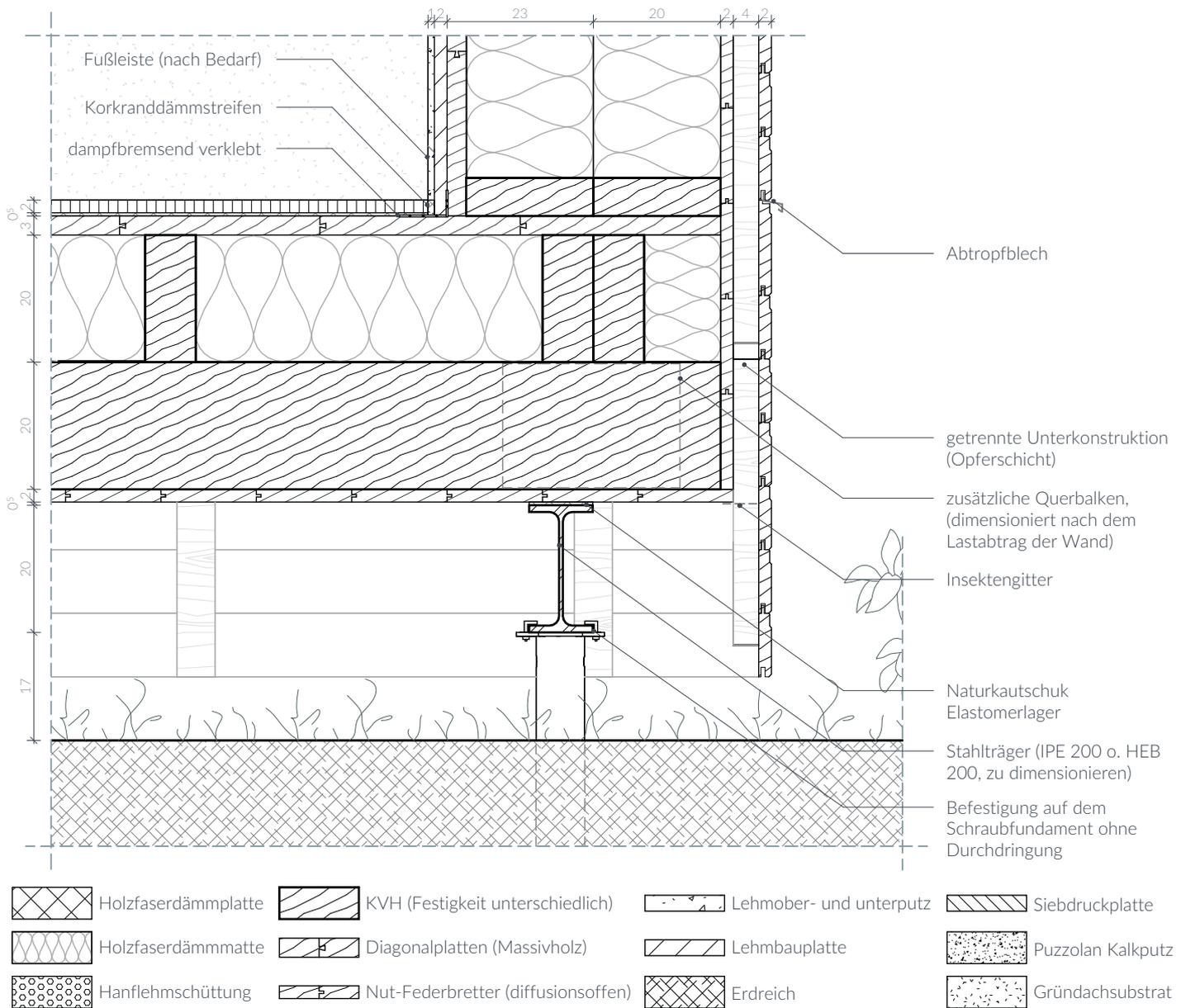


Abb. 115: Detail Anschluss Außenwand Sohle. Eigene Darstellung

M.: 1:10

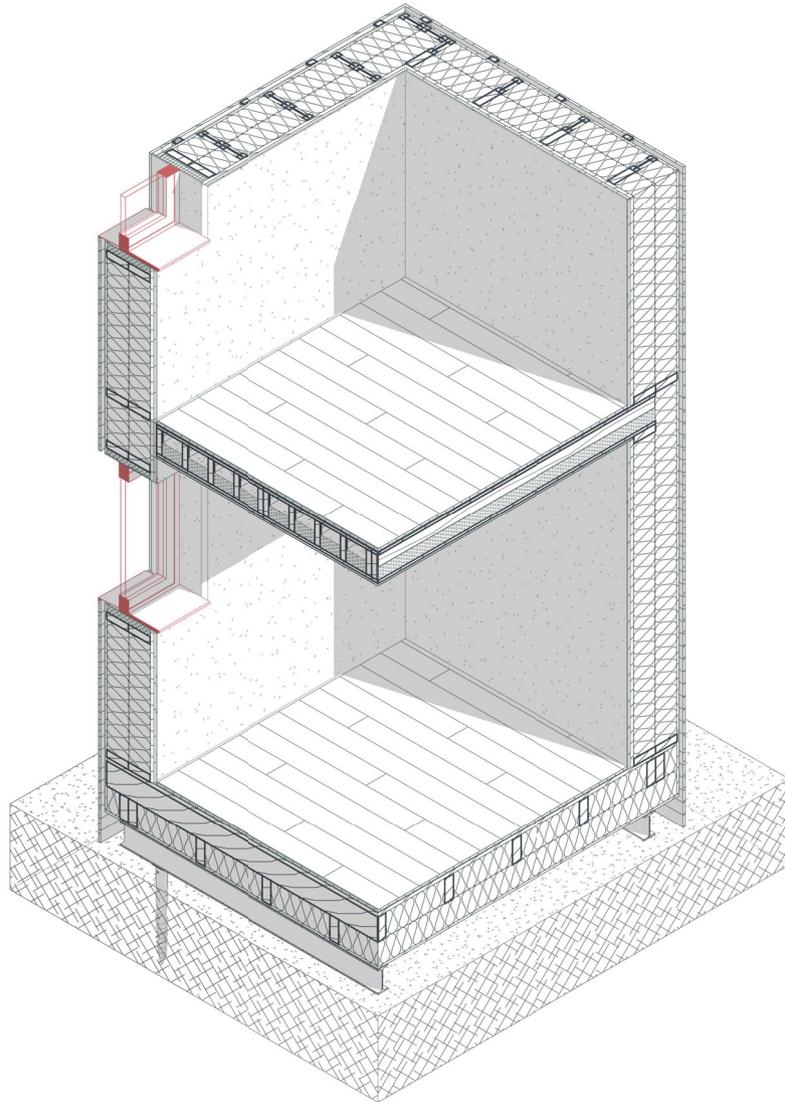


Abb. 116: Axonometrie Anschluss Außenwand Sohle. Eigene Darstellung

M.: 1:50

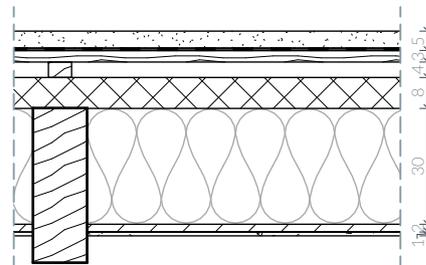
3.3.3 Dach

Die Ausführung als Pultdach ergibt sich aus dessen Kosten und Effizienz. Ein Pultdach hat einen simplen Aufbau und wenig Fläche verglichen mit einem Sattel- oder Walmdach. Ab einer Neigung von 5° gilt ein Dach als Pultdach. Damit benötigt es nur eine 2cm hohe Hinterlüftungsebene (DIN 2024b). Des Weiteren hat ein Pultdach den Vorteil, weite Überstände einfach umzusetzen. Diese schützen die Fassadenkonstruktion und können Verschattung für den sommerlichen Wärmeschutz gewährleisten. Ein Dach hat Ansprüche an Wärmedämmung, Schutz vor Wettereinflüssen, Schallschutz und eine Gewährleistung keiner schädlichen Durchdringung dieser schützenden Schichten (Fouad 2022). Das Dach kann jedoch bei Bedarf oder B-Planvorgaben in einer anderen Form, jedoch mit ähnlichem Aufbau ausgeführt werden. Die Ausrichtung des Pultdaches ergibt sich aus der daraus entstehenden Möglichkeit, mit einem Überstand einen physischen sommerlichen Wärmeschutz zu erschaffen und aus der Ausrichtung der Solarmodule. So ist es von klarem Vorteil, das Pultdach nach Süden geneigt auszuführen.

Balkendecke

Um die notwendigen U-Werte zu erreichen braucht es eine dicke Dämmebene. Diese wird so dick, dass die Balken komplett in ihr aufgenommen werden können. Will man jedoch sichtbare Balken, müsste man das System nach außen überdämmen. Sichtbare Balken wären dabei für einen flexiblen Grundriss nicht förderlich. Des Weiteren benötigen die Innenwände eine an vielen Stellen tragfähige Unterseite der Decke.

Dicke: 53cm
U-Wert: 0,114 W/(m²K)



5cm Gründachsubstrat
- EPDM-Bahn
3cm Siebdruckplatte
4cm Luftschicht/
(Unterkonstruktion)
8cm Dämmplatten
30cm Dämmung/ Balken
KVH
- Dampfbremse
2cm Lehmbauplatte
1cm Lehmputz

Abb. 117: Balkendecke Dach. Eigene Darstellung

M.: 1:20

Hohlkastendecke.

Die notwendige Höhe eines Aufbaus aus nur der Hohlkastendecke würde in einer Höhe dieser resultieren, welche gegen den Sinn einer Hohlkastendecke spricht. Weitere Vorteile dieser Methode wie Schallschutz oder das Verlegen von Leitungen ist für ein Dach irrelevant. Eine Hohlkastendecke mit niedrigerer Höhe zu nutzen und diese mit druckfester Dämmung zu ergänzen ist aufgrund der schlechten Energieeffizienz und den genannten Punkten nicht nachhaltig.

Massivholz oder Brettstapelholz

Die gleichen Vorteile wie bei der Außenwand sind hier positiv anzumerken. Die Innenwände können gut in dieser Methode angebracht werden. Des Weiteren benötigt es eine eigenständige Konstruktion um eine Dämmebene mit ausreichender Dicke zu gewährleisten. Wiederholt ist auch die schlechte Ressourceneffizienz zu kritisieren.

Dicke: 58cm
U-Wert: 0,122 W/(m²K)

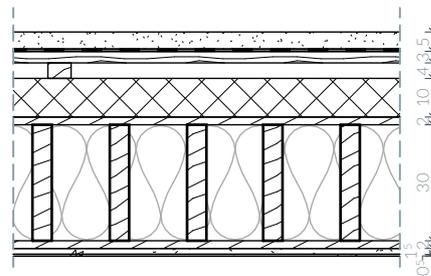


Abb. 118: Hohlkastendecke Dach. Eigene Darstellung

M.: 1:20

5cm Gründachsubstrat
- EPDM-Bahn
3cm Siebdruckplatte
4cm Luftschicht/
(Unterkonstruktion)
10cm Dämmplatten
2cm Spanplatten
30cm Dämmung/ Balken
KVH
2cm Spanplatten
- Dampfbremse
1,5cm Lehmunterputz
0,5cm Lehmoberputz

Dicke: 62cm
U-Wert: 0,117 W/(m²K)

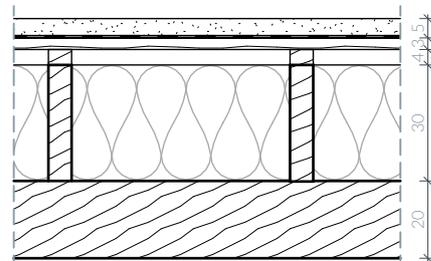


Abb. 119: Massivholz oder Brettstapelholz. Eigene Darstellung

M.: 1:20

5cm Gründachsubstrat
- EPDM-Bahn
3cm Siebdruckplatte
4cm Luftschicht/
(Unterkonstruktion)
- Unterdeckbahn
30cm Dämmung/ Balken
KVH
20cm Vollholz/ BSH

Gewählter Aufbau

Um eine lange Lebensdauer zu gewährleisten wird diese Höhe jedoch übertroffen. Der Aufbau als Kaldach gewährleistet ein diffusionsoffenes Dach und eine klare Trennung zur wasserführenden Schicht. Der Aufbau des dämmenden Teiles ähnelt dem der Sohle. Jedoch ist in der Ebene nach innen nach den diagonal Platten eine Schicht Lehmunterputz mit dem Heizelement angebracht, welche von einem Lehmoberputz überdeckt wird (siehe 3.4.3 Wärme). So wird auch hier eine passive Regelung der Feuchtigkeit und thermische Masse gewährleistet. Die Oberfläche nach innen kann auch hier nach Belieben gestaltet werden, sollte jedoch eine hohe Wärmeleitfähigkeit bieten, damit bietet sich eine natürliche dunklere Lehmoberfläche an. Die Sparrenebene ist aufgrund der dünneren Sparren und geneigten Lastaufnahme nicht verdreht oder versetzt, sondern entlang der Neigung ausgeführt. Um Langlebigkeit zu gewährleisten und ein Aufquellen der Holzfaserdämmung und damit Verkleinern der Hinterlüftung zu unterbinden, ist eine Schicht diffusionsoffener Nut- und Federbretter über der dämmenden Ebene vorgesehen. Auf dieser liegt die Hinterlüftung mit einer Unterkonstruktion. Diese stützt eine Fläche aus Siebdruckplatten, welche die wasserführende Schicht, eine EPDM Bahn, führt. Hier werden Produkte verwendet, welche viel Klebstoff enthalten oder aus Erdöl hergestellt werden. Eine EPDM Bahn vollständig recycelbar und damit kreislaufgerecht. Bei schonender Verwendung könnte sie theoretisch auch wiederverwendet werden. Diese Schicht ist langlebig und garantiert wasserabweisend. Jedoch wurde sich hier für eine Siebdruckplatte als Absicherung entschieden. Dieser Plattenwerkstoff soll bei einer Durchdringung der EPDM Bahn die Dachkonstruktion vor Wasser schützen. Sollte die EPDM Bahn wie zu erwarten halten, sind die Siebdruckplatten in optimalem Zustand wiederverwendbar.

Das Gründach auf dieser Schicht ist je nach Dachgröße und Wasserbedarf zu dimensionieren. Mit seinem Gewicht stützt es die Unterkonstruktion der PV-Module und kühlt diese indirekt.

Das ablaufende Wasser wird durch ein außenliegendes Fallrohr, welches bei Bedarf auch hinter der Fassade geführt werden kann, in den in 3.4.2 Wasser erklärten Tank geleitet.

Die Dicke der dämmenden Schicht ist gleich zu der Sohle und auch zu der Außenwand. In der Regel werden Dächer jedoch mit einem höheren U-Wert konzipiert (Fouad 2022). Der Hauptgrund hierfür ist die Vereinheitlichung der Aufbauten. Damit besteht ein Grundaufbau aus 6 verschiedenen Baustoffen. Die Diagonalplatten, 20cm dicke Holzfaserdämmmatten, diffusionsoffene Nut- und Federbretter und 3 verschiedene Varianten von Trägern bzw. Ständern. Des Weiteren haben die dämmenden Schichten des Daches außer einem Entlüftungsrohr und dem Unterzug keine Durchdringungen. Die Sohle führt dagegen Leitungen und Rohre und die Außenwand hat mit Lüftungsvorrichtungen und Fenstern Wärmebrücken. Die resultierende Transmission des Daches setzt daher nicht voraus, den Dämmwert zu erhöhen um minimale Einsparungen zu gewährleisten.

Dicke: 58,65cm

U-Wert: 0,108 W/(m²K)

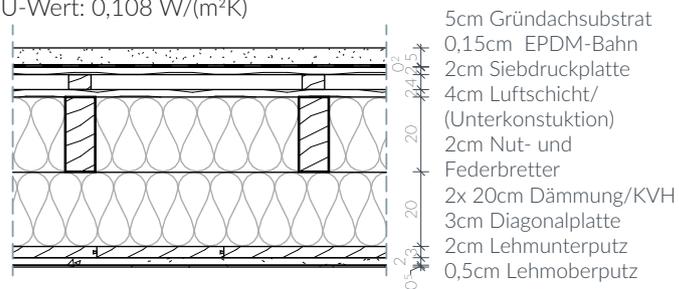


Abb. 120: Regelschnitt Dach. Eigene Darstellung

M.: 1:20

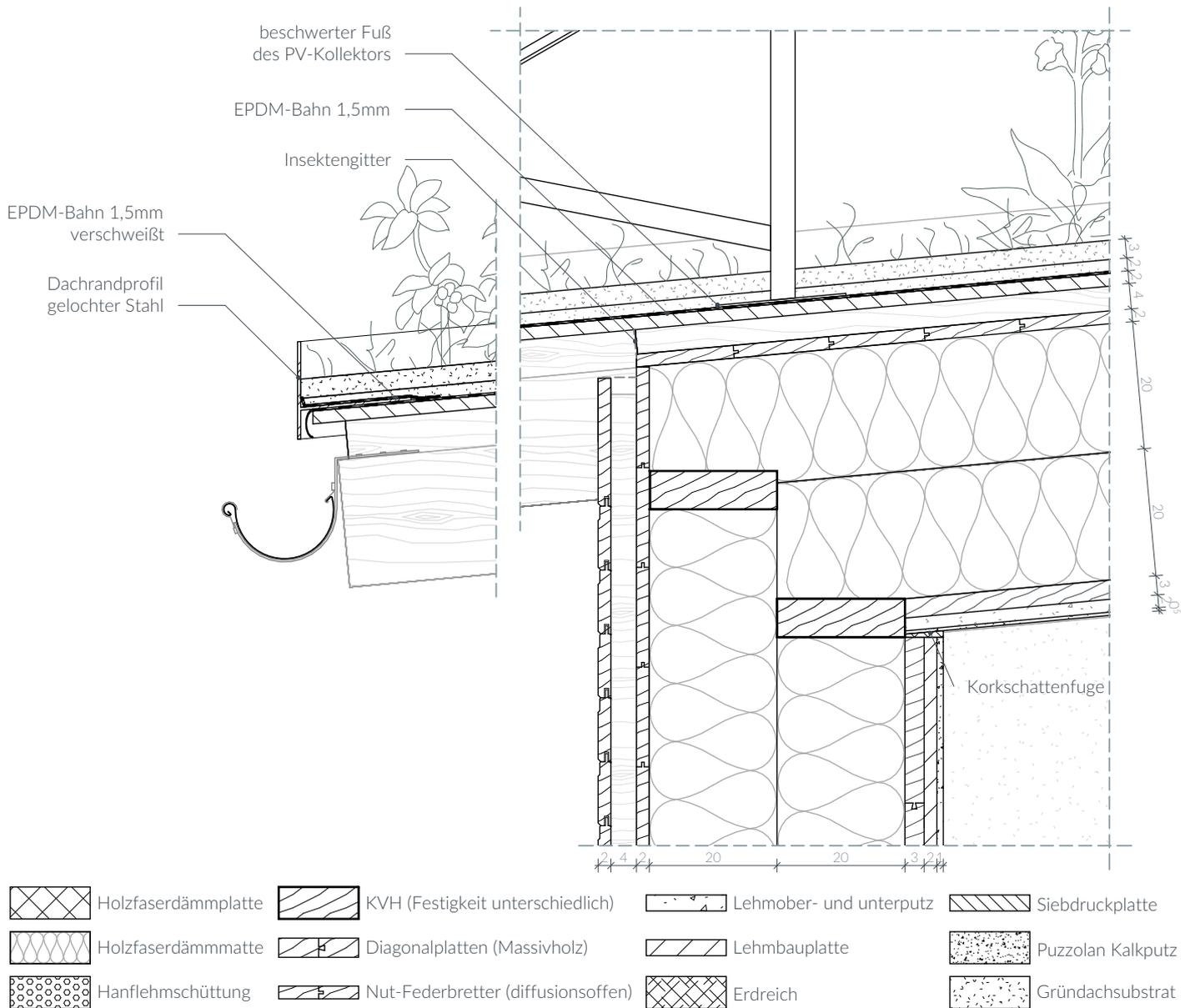


Abb. 121: Detail Anschluss Außenwand Dach & Dach Traufe. Eigene Darstellung

M: 1:10

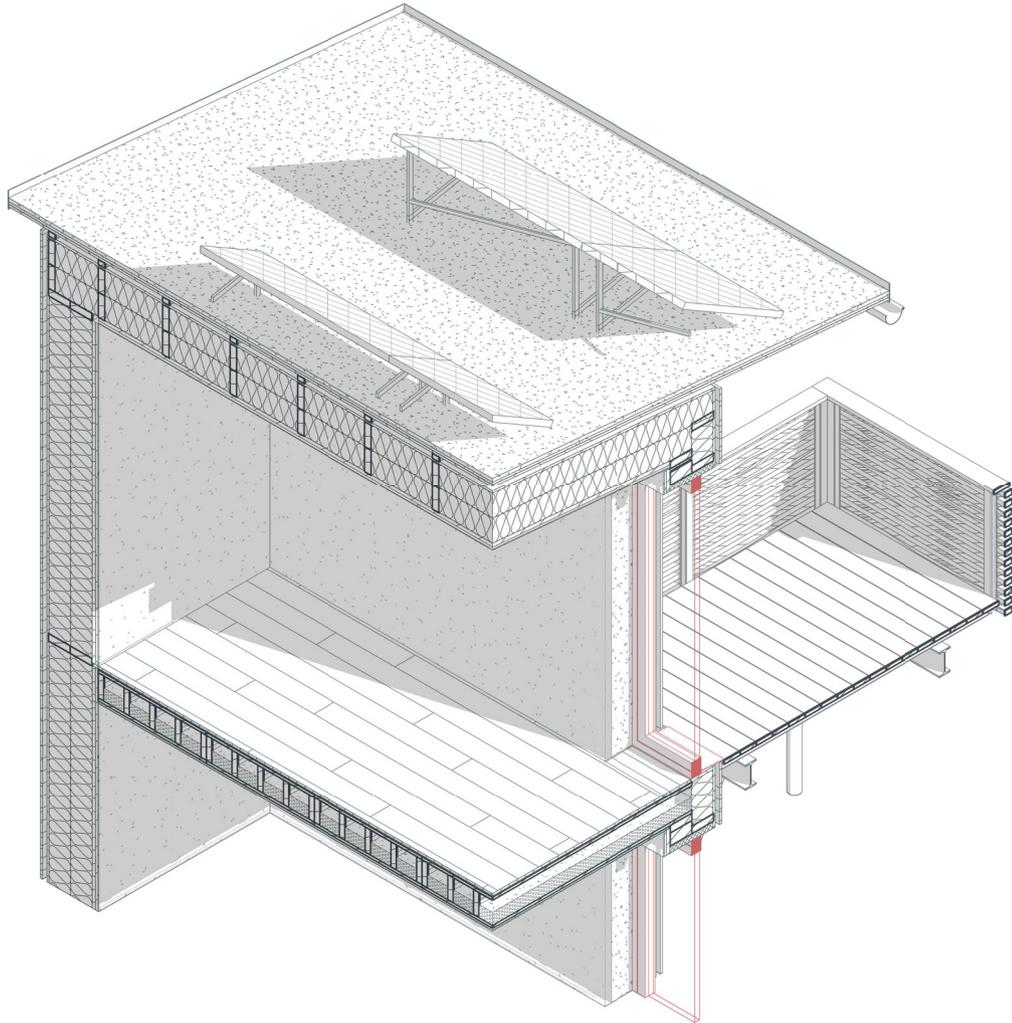


Abb. 122: Axonometrie Anschluss Außenwand Dach & Dach Traufe & Dach Organg. Eigene Darstellung

M.: 1:50

3.3.4 Zwischendecke

Hier gelten Anforderungen an Tragfähigkeit, Trittschall, Luftschall, Brandschutz und Leitungsverlegung (Fouad 2022). So ist neben der Statik die entstehende Höhe und Schwere von Decken relevant. Eine gewisse Höhe ist notwendig, um Rohre durch die Decke zu führen und eine Schwere für ausreichenden Schallschutz. Um einen flexiblen Grundriss zu gewährleisten ist es wichtig, Rohrleitungen vorzulegen. Und um eine eventuelle Aufteilung in zwei Wohneinheiten zu gewährleisten ist eine Decke mit gutem Schallschutz notwendig.

Balkendecke

Die alltäglichste, im Holzbau verwendete Decke kann nach Bedarf abgehängt oder offen ausgeführt werden. Es wird eine Trittschallschicht benötigt, um das Untergeschoss zu schützen. Dabei wäre für einen erhöhten Luftschallschutz die Decke abzuhängen von Vorteil. Sowohl bei offener als auch bei abgehängter Version ist die Befestigung einer Innenwand an dieser Decke schwierig. Leitungen können verlegt werden, dies ist jedoch mit einem Aufwand verbunden.

Massivholz oder Brettstapelholz

Eine massive Ausführung bringt die Vorteile eines guten Schallschutzes und einer Befestigungsmöglichkeit für die Innenwände mit sich. Jedoch ist das Installieren von Abflussrohren nur durch einen hohen Bodenaufbau möglich. Hier wiederholt sich auch die schlechte Ressourceneffizienz.

Dicke: 34cm (10)cm

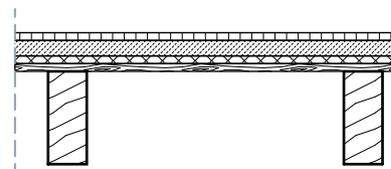


Abb. 123: Balkendecke. Eigene Darstellung

2cm Parket
4cm schwimmender
Estrich
2cm Trittschalldämmung
2cm Nut- und
Federbretter
24cm Balken KVH

M.: 1:20

Dicke: 26cm

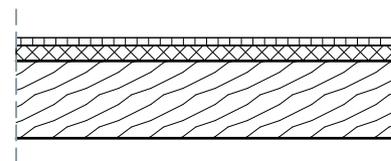


Abb. 124: Massiv- o. Brettstapelholzdecke. Eigene Darstellung

2cm Parket
4cm Trittschalldämmung
20cm Vollholz o. BSH

M.: 1:20

Hohlkasten

Die Hohlkastendecke funktioniert wie eine geschlossene Balkendecke, dabei ist sie maximal aufgelöst, was ihr eine gute Ressourceneffizienz verschafft. Durch die obere und untere Holzschicht kann an dieser Decke von beiden Seiten eine Innenwand statisch fixiert werden. Die entstehenden Kammern können genutzt werden um mit Schüttungen Schwere und Schallschutz zu erhöhen. Des Weiteren können in diesen Kammern Abflussrohre und andere Leitungen verlegt und einfach voneinander getrennt werden.

Gewählter Aufbau

Eine Hohlkastendecke erfüllt alle Anforderung, ist anspruchslos gegenüber besonderen Holzquerschnitten und optimal geeignet für eine Vorfertigung. Um flexible Innenwandpositionen zu ermöglichen, benötigt es eine Zwischendecke, welche an der Unter- und Oberseite eben und tragfähig ist. So können bei einer Hohlkastendecke Innenwände an jeder Position in der Decke verankert werden. Die Decken des Zwischengeschosses werden als 1m breite Hohlkastendecken ausgeführt, damit kann bei Bedarf auch das Treppenloch verändert werden. Entlang der langen Seite der Decken sind diese mit Stößen und Löchern zu versehen, um sie miteinander zu koppeln.

Des Weiteren ist der Aufbau nach innen wie bei dem Dach. Der Lehmunterputz kann zusammen mit einem Heizvlies (3.4.3 Wärme) in der Vorproduktion angebracht werden und mit dem Oberputz auf der Baustelle ausgeglichen werden. Der Fußboden nach oben ist wie bei der Sohle ein auf Kork gelagertes Parkett. Die notwendige Schwere und ein genügender Schallschutz können durch eine Hanf-Lehmschüttung in den Kammern der Hohlkastendecke erreicht werden. Um diese bei dem Transport nach der Vorproduktion an ihrer Position zu halten, kann sie angepresst werden. Des Weiteren ist eine Abdeckung der offenen Kammern durch einen Flies notwendig. So kann auf der Baustelle nichts aus den Kam-

Dicke: 28,5cm

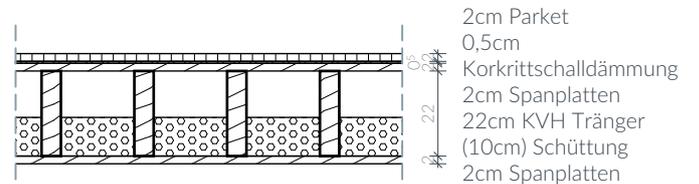


Abb. 125: Hohlkastendecke. Eigene Darstellung

M.: 1:20

mern fallen und die Deckenteile stoßen mit einer flexiblen Schicht an den Unterzug.

In der Zwischendecke sind, wie in 3.1 Grundriss beschrieben, mehrere Leerrohre verlegt, um eventuellen Bedarf für kleine Sanitäreinrichtungen, wie eine Küche oder ein Waschbecken, flexibel zu ermöglichen. Diese Frischwasser- und DN50 Rohre (siehe 3.4.2 Wasser) haben genug Platz, um mit Gefälle durch die Decke entlang einer Kammer geführt zu werden. In der Mitte des Gebäudes muss ein Schacht durch die Balken der Hohlkastendecke geführt werden. Dieser darf nicht an den statisch kritischen Punkten der Balken liegen. Parallel zu der Wasserführung kann in einer benachbarten Kammer Strom geführt werden. Die Heizdecken werden ähnlich wie die Wasserleitungen in der Mitte des Gebäudes zusammengeführt und von dort gesammelt zu dem HAR gelegt.

Dicke: 30cm

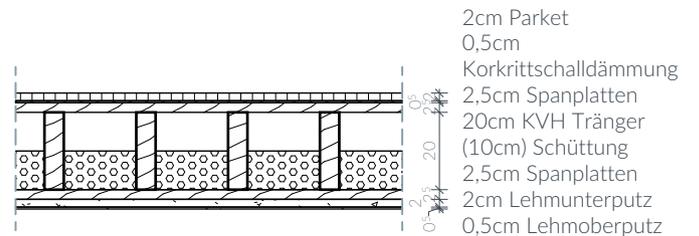


Abb. 126: Regelschnitt Zwischendecke. Eigene Darstellung

M.: 1:20

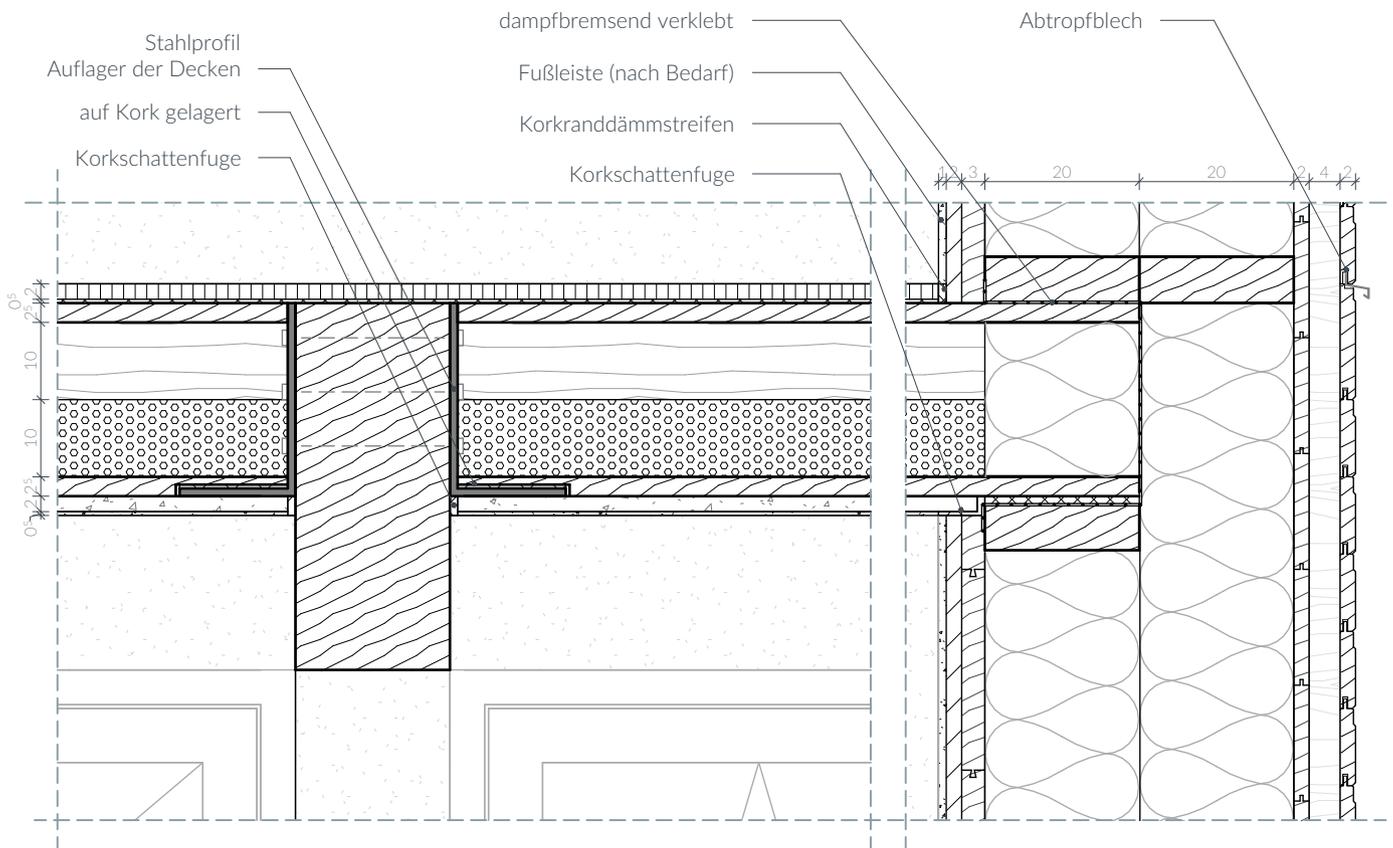


Abb. 127: Detail Anschluss Außenwand Zwischendecke & Zwischendecke Unterzug. Eigene Darstellung

M.: 1:10

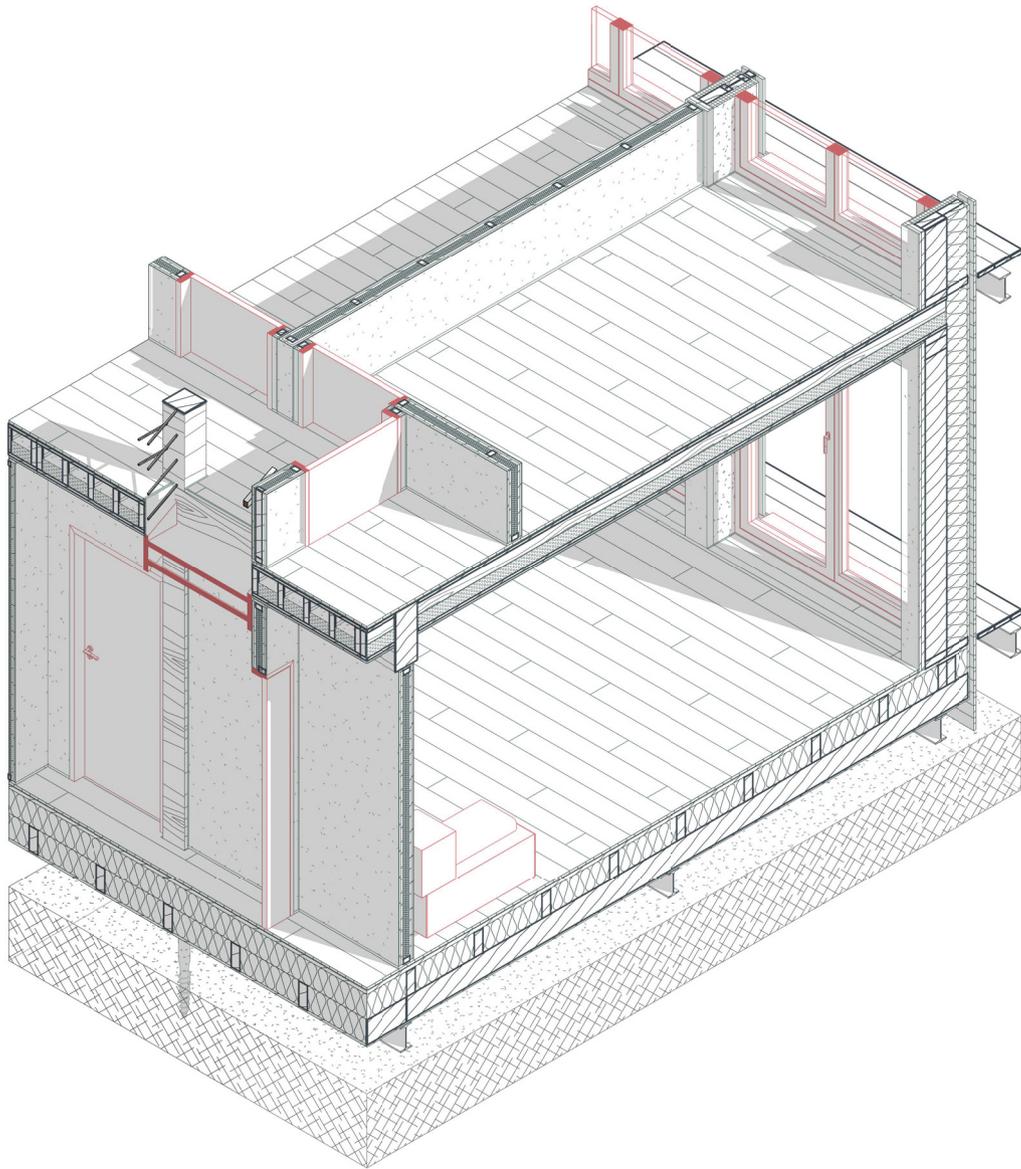


Abb. 128: Axonometrie Anschluss Außenwand Zwischendecke & Zwischendecke Unterzug. Eigene Darstellung

M.: 1:50

3.3.5 Innenwände

Für die folgenden Bauteile werden keine Anforderungen und Varianten aufgestellt, da diese zu variabel sind. Jedoch werden die verwendeten Konzepte tiefgehend erklärt und begründet.

Je nach Bedarf sollen die Innenwände einfach umgebaut werden können. Dabei ist es das Ziel, dass die oberste Schicht des Fußbodens (das Parkett) und die unterste der Decke (der Lehmoberputz) nicht durchdrungen werden müssen. Sie müssen nur punktuell durchbohrt und angeschraubt werden, um die Innenwand statisch an die Decke und den Boden zu pressen und damit zu stabilisieren. Diese Bohrung kann von außen mit einer später verputzten Sacklochbohrung schräg durch die Schwelle gesetzt werden. Oder sie wird, wenn die Lehmbauplatte und eventuelle Diagonalplatte abgenommen werden, senkrecht durch die Schwelle in den Boden geführt. Bei beiden Optionen wird ein Kippdübel durch die Bohrung unter die tragende Schicht des Bodens geführt. Um eine optimale Schallentkopplung zu gewährleisten, sollte diese Schraube mit einem Dämpfer unter einer Unterlegscheibe festgezogen werden. Die Platzierung dieser Kippdübel muss einheitlich ausgeführt und in dem Nutzungshandbuch dokumentiert werden. Bei diesem Prozess werden die Schichten nur minimal beschädigt und können mit schnellen Schönheitsreparaturen unkenntlich gemacht werden. Die Durchdringung der dampfbremsenden Schicht der Sohle sollte mit der Verwendung des Dämpfers aus beispielsweise Kautschuk genügend abgedichtet sein.

Aufgrund der Idee der Flexibilität dieser Innenwände sind keine Sanitärleitungen darin zu verlegen. Auch Strom sollte nur nach Bedarf in diesen Wänden verlegt werden.

Der Aufbau ist flexibel. Ein Holzständerwerk, kann nach individuellen Ansprüchen in verschiedenen Dicken ausgeführt werden, dabei wird mit Holzfaserdämmmatten ausgedämmt. Der folgende Aufbau ist beidseitig wie die inneren Schichten der Außenwand beplankt. Dabei sind die Diagonalplatten nur optional für lange und damit auszusteiende Wände oder für Wände, an welche schwere Möbel

gehängt werden sollen. Eine Fußleiste kann sowohl hier als auch in der Außenwand nach Belieben verwendet werden.

Um die Flexibilität, aber auch Schallschutz zu gewährleisten, stehen die Innenwände auf einer 2cm dicken Korkbahn und auch von der Decke sind sie mit einer solchen getrennt.

Im Obergeschoss haben Innenwände durch die Dachschräge verschiedene Höhen oder auch eine in sich unterschiedliche Höhe.

Um trotzdem eine Wiederverwendbarkeit zu gewährleisten, bestehen die Innenwände im Obergeschoss aus zwei Teilen. Der untere ist durch die niedrigste gegebene Höhe des OGs festzulegen. Die Oberkante ist dabei kein abschließender Balken, sondern die Enden der Ständer. So lässt sich der obere Teil, welcher nie höher als ein Meter werden sollte, flexibel anpassen. Dabei ist aber zu empfehlen, bei einem Umbau die Möglichkeiten ohne eines solchen Eingriffes in Erwägung zu ziehen.

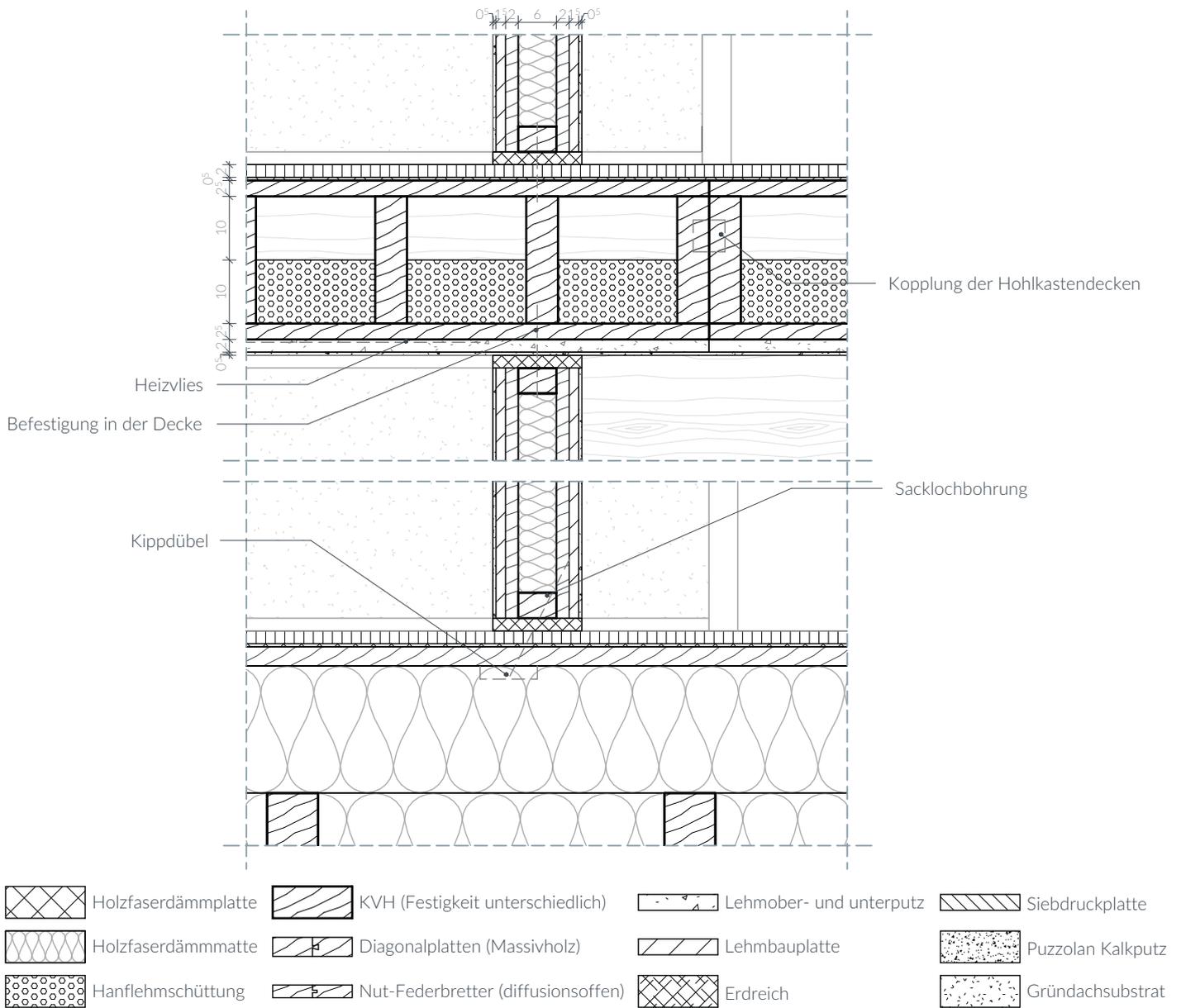
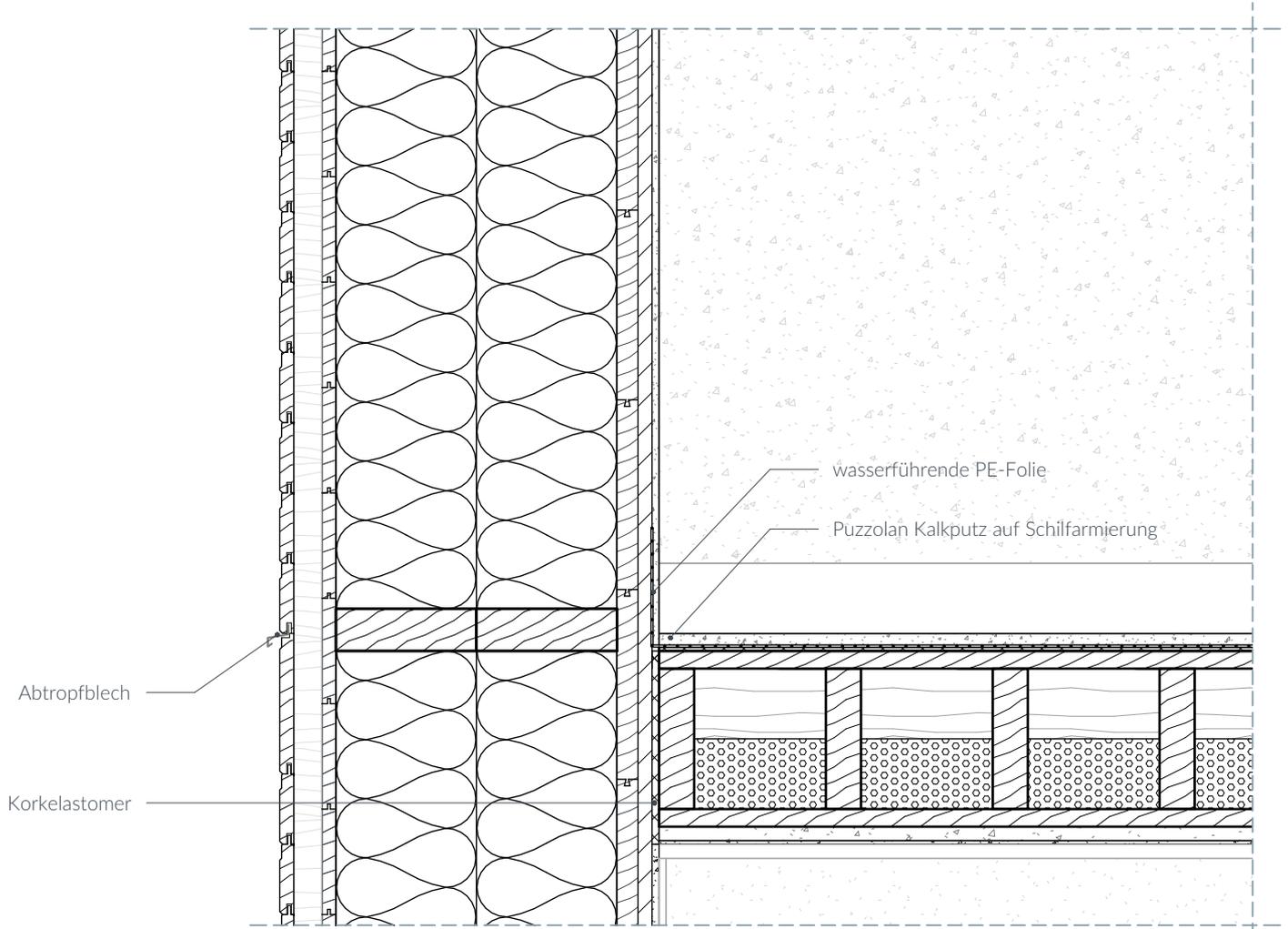


Abb. 129: Detail Anschluss Innenwand Sohle & Innenwand Zwischendecke. Eigene Darstellung

M.: 1:10

3.3.6 Nasszellen

Für die Nasszellen muss die Dampfbremse nach außen sehr gewissenhaft ausgeführt werden. Es muss eine wasserführende Schicht über der Korkbahn des Bodens gelegt werden, welche auch an den Rändern und in nassen Bereichen auch an der Wand nach DIN 18534 verlegt werden muss (DIN 2017). Dabei ist es ähnlich wie bei der Dachbahn. Eine erdölfreie Abdichtung wäre nur mit Metall möglich. Folglich muss auch hier eine recycelbare und langlebige Variante benutzt werden. Die Innenschichten der Wände sind in den trockenen Bereichen wie in den anderen Räumen aus Lehm. Dadurch wird die Luftfeuchtigkeit passiv geregelt. In den Nass- oder Spritzwasserbereichen empfiehlt sich jedoch ein Putz aus Lehm und Kalk oder für sehr lange Haltbarkeit ein hydraulischer Kalkputz. Dabei gibt es auch Varianten die als Träger für Fliesen genutzt werden. Falls Fliesen gewünscht sind, können diese so verwendet werden. Natürlich sollten jedoch auch hier die Nachhaltigkeitsparameter berücksichtigt werden. So sind lokale Echtsteinfließen häufig zu bevorzugen.



- | | | | | | | | |
|--|---------------------|---|------------------------------------|---|-------------------------|---|-------------------|
|  | Holzfaserdämmplatte |  | KVH (Festigkeit unterschiedlich) |  | Lehmober- und unterputz |  | Siebdruckplatte |
|  | Holzfaserdämmmatte |  | Diagonalplatten (Massivholz) |  | Lehmbauplatte |  | Puzzolan Kalkputz |
|  | Hanflehmschüttung |  | Nut-Federbretter (diffusionsoffen) |  | Erdreich |  | Gründachsubstrat |

Abb. 130: Detail Nasszellen. Eigene Darstellung

M.: 1:10

3.3.7 Schächte

Schächte sind je nach Platzierung des HAR nicht notwendig, da alle notwendigen Leitungen durch Decke, Sohle und Außenwand geführt werden können. Falls jedoch Bedarf an einem Schacht besteht, ist dieser aus einem Holzständerwerk mit Lehmbauplatten beplankt herzustellen. Bei notwendiger Dampfdichtigkeit oder Tragfähigkeit können die Diagonalplatten in gerader Anbringung und an den Ecken verklebt verwendet werden.

Strom und Wasser sind voneinander zu trennen. Des Weiteren sind die Zuleitungen von Trink- und Nutzwasser mit Dämmung zu ummanteln. Diese Ummantelungen sind notwendig, um kein Tauwasser in den Dämmebenen zu erzeugen. Jedoch sind sie meistens aus PE-Schaum oder Steinwolle. Es gibt vereinzelte Ansätze ökologische Dämmstoffe zu verwenden. So sind Seegras- und Juteummantelungen, falls verfügbar, zu bevorzugen.

Die vorverlegten Leitungen in der Zwischendecke müssen an den Anschlusspunkten, aber auch an den Verbindungen durch den Unterzug erreichbar sein. Die Hohlkastendecken müssen dafür die oberste Schicht in diesen Bereichen offenbar (verschraubt) herstellen.

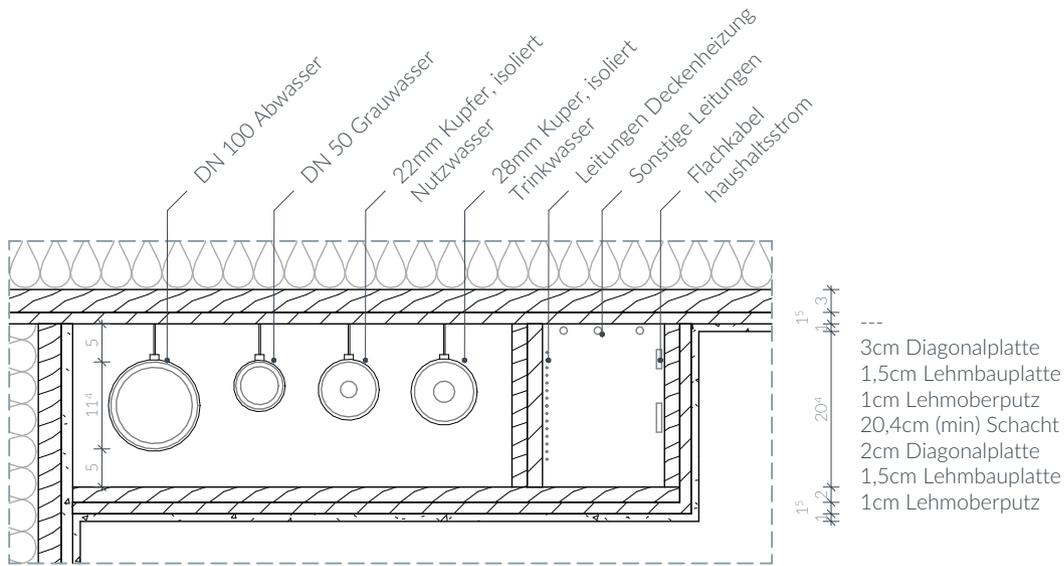


Abb. 131: Detail Beispiel Schacht. Eigene Darstellung

M.: 1:10

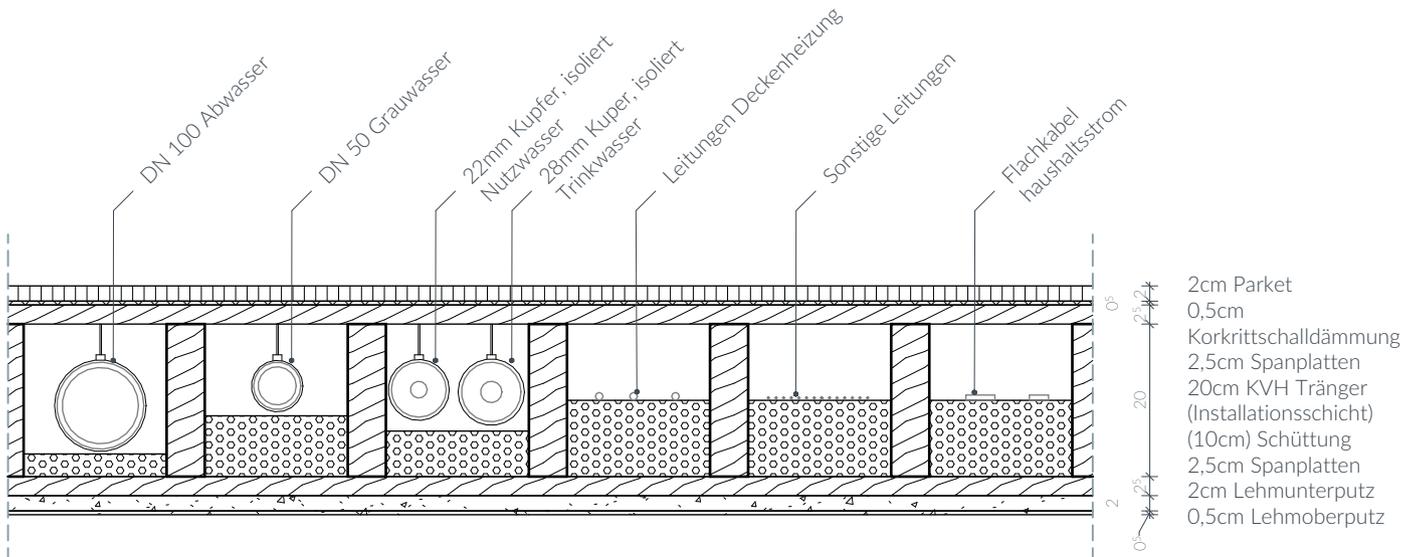


Abb. 132: Detail Leitungen in Hohlkastendecke. Eigene Darstellung

M.: 1:10

3.3.8 Fenster & Türen

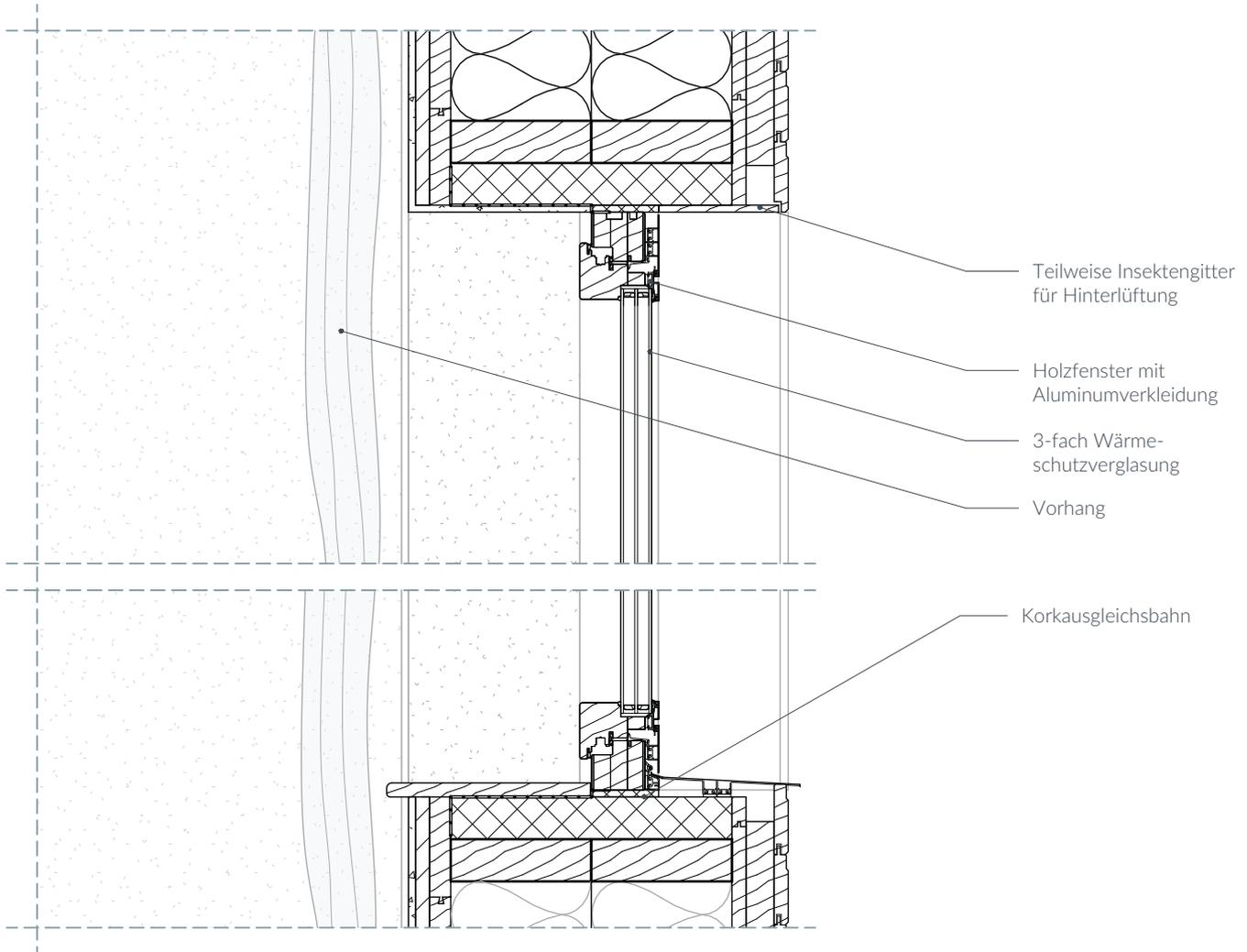
Fenster sind aufgrund ihres U-Wertes, der meist ein Vielfaches der Außenwand ist, ein großer Bestandteil des Transmissionswärmeverlustes. Der Mehrertrag durch Solarstrahlung ist wie in 2.2.5 Fensterfläche x Transmissionsverluste kaum zu beachten. Es sind dreifachverglaste Fenster zu verwenden. Die Fensterfläche hat einen besseren U-Wert als die Rahmen der Fenster, gerade öffn- bare Fenster stellen häufig Wärmebrücken dar (Konferenz Kantonaler Energiedirektoren EnDK o.J.). Öffn- bare Fenster sind jedoch ein wichtiger Punkt um Wohnkomfort zu gewährleisten. Ebenso benötigt man mindestens einen Punkt durch den man ein Gebäude betreten und verlassen kann. Für Türen gelten ähnliche U-Werte, nur dass diese auch in der Fläche einen wesentlich schlechteren U-Wert als Fenster haben. Beide sind also bewusst in ihrer Größe zu wählen und zu setzen.

Die Ausführung beider muss so weit wie möglich aus Holz sein. Dabei ist abzuwägen, ob die Fenster durch viel Witterungseinfluss nach außen mit Alu geschützt werden sollten.

Eingebaut werden beide in dem innenliegenden Anfang der äußeren Dämmebene der Außenwand. Dabei sind sie mit druckfesten Holzfaserdämmplatten für eine tragfeste, flexible und dämmende Schicht umbaut. Fenster und Türen sind mit einer Papierdampfbremse mit den Diagonalplatten zu verbinden. Damit wird der durch die Wärmebrücke entstehende, in der Dämmebene liegende Taupunkt entschärft.

Durch die flexiblen Einsatzmöglichkeiten mit der Holzfaserdämmplatte und dem Holzrahmenbau sind auch Nullschwellen bei einem Terrassen- oder Balkonaustritt verwirklichtbar.

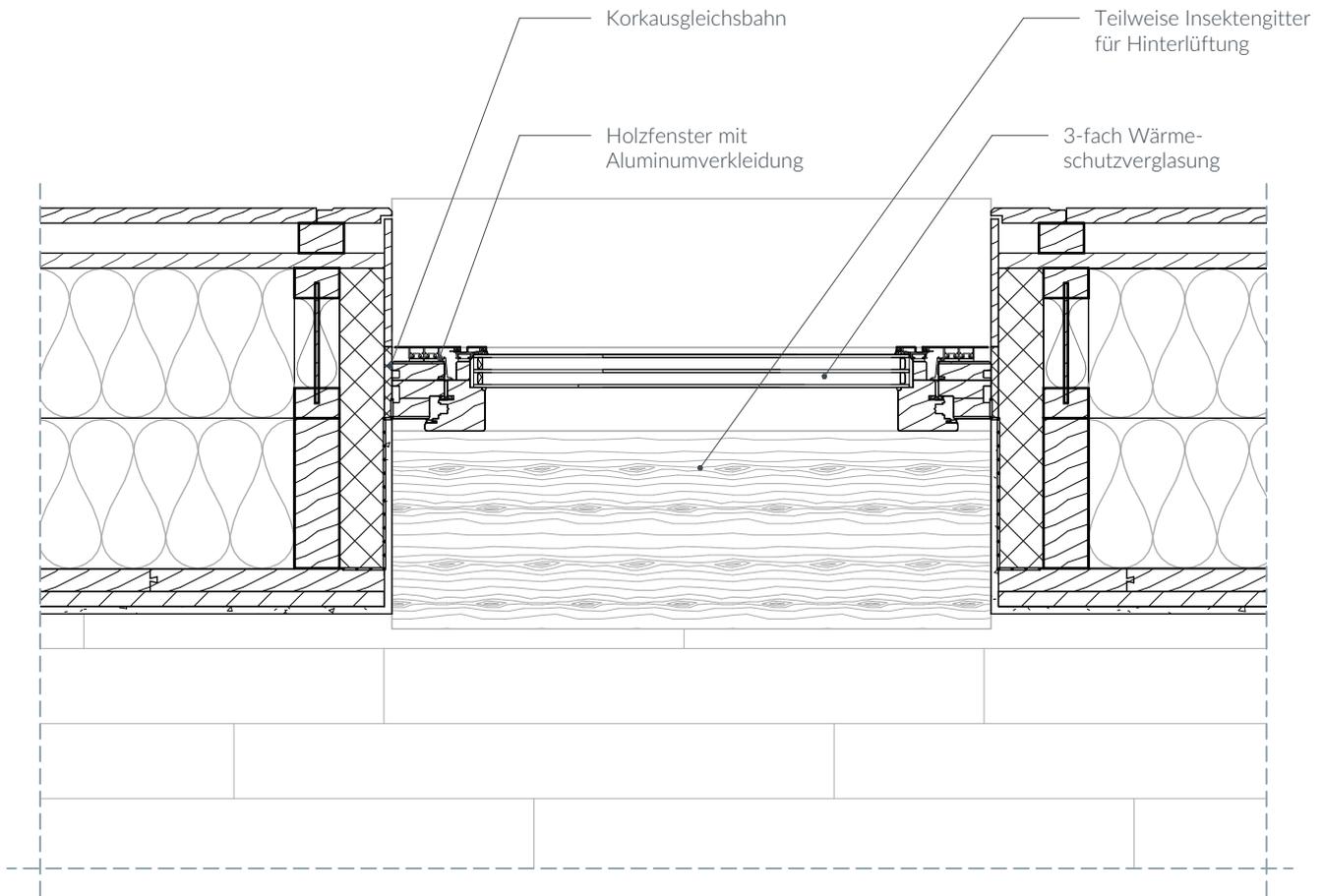
Die Verschattung durch Rollläden, Jalousien, Fensterläden oder Vorhänge ist individuell wählbar und umsetzbar. Die gewohnten Nachhaltigkeitsaspekte sind jedoch in Betracht zu ziehen.



	Holzfaserdämmplatte		KVH (Festigkeit unterschiedlich)		Lehmober- und unterputz		Siebdruckplatte
	Holzfaserdämmmatte		Diagonalplatten (Massivholz)		Lehmbauplatte		Puzzolan Kalkputz
	Hanflehmschüttung		Nut-Federbretter (diffusionsoffen)		Erdreich		Gründachsubstrat

Abb. 133: Detail Fenster Schnitt. Eigene Darstellung

M.: 1:10



Korkausgleichsbahn

Teilweise Insektengitter für Hinterlüftung

Holzfenster mit Aluminiumverkleidung

3-fach Wärmeschutzverglasung

- | | | | |
|--|--|---|---|
|  Holzfaserdämmplatte |  KVH (Festigkeit unterschiedlich) |  Lehmober- und unterputz |  Siebdruckplatte |
|  Holzfaserdämmmatte |  Diagonalplatten (Massivholz) |  Lehmbauplatte |  Puzzolan Kalkputz |
|  Hanflehm-schüttung |  Nut-Federbretter (diffusionsoffen) |  Erdreich |  Gründachsubstrat |

Abb. 134: Detail Fenster Grundriss. Eigene Darstellung

M.: 1:10

3.3.9 sonstige innenliegende Bauteile

Treppen

Es sind Holztreppen in Skelettbauweise zu bevorzugen. Diese können offen oder geschlossen mit einem abgetrennten Raum unter der Treppe ausgeführt werden. Auf Brettstapelholztreppen oder andere massive Treppen ist aufgrund der Ressourceneffizienz zu verzichten.

Geländer

Auch diese sind aus Holz auszuführen. Dabei kann es offen an die Außenkanten der Hohlkastendecken angebracht werden und mit einem Stahlseilnetz oder Holz horizontal geschlossen werden. Oder es wird mit Lehmboaplatten beplankt und fließend mit Decke und Wand verputzt.

Fahrstuhl

Für ein über die Stockwerke barrierefreies Haus kann ein Hublift eingebaut werden. Dabei kann er platzsparend mit einer Treppe geplant werden, oder es wird ein weiteres Deckenmodul entfernt, um mehr Platz zu gewährleisten.

Innentüren

Innentüren sind aus Holz auszuführen und so einzubauen, dass sie bei einem Umbau ohne Schäden wiederverwendet werden können.

3.3.10 sonstige außenliegenden Bauteile

Terrasse

Auch hier gilt die Grundlage so wenig Bodenkontakt wie möglich. Auf Schraubfundamenten, welche höher über dem Boden enden als bei dem Gebäude, wird eine Holzunterkonstruktion aus witterungsresistentem Holz gebaut. Darauf können Terrassendielen angebracht werden. Um Fäulnis vorzubeugen, sollten die Unterkonstruktion abgerundet und die flächigen Kontakte minimiert sein. Die Entwässerung durch leichtes Gefälle sollte nicht in Richtung des Hauses erfolgen. Ziel sollte es sein, das Regenwasser gezielt und dezentral auf den Boden zu leiten. Dieser kann nach Notwendigkeit zur Entwässerung oder gegen aufdringliche Gewächse auch durch eine Lage Kies ersetzt werden.

Um einen schwellenlosen Übergang auf die Terrasse zu gewährleisten, sollte diese mit ihrer Oberkante auf der Höhe der Oberkante des fertigen Fußbodens des Innenraumes sein. Der Übergang kann dann durch ein mit der Fensterkonstruktion verbundenes Blech verwirklicht werden.

Um eine unsichere Absturzhöhe und eine Geländer zu vermeiden sind weitere treppenartige Schichten um die Terrasse eine Möglichkeit. Jedoch ist die Absturzhöhe von der Terrasse auf den Boden meist unter 1 Meter, wodurch keine Absturzsicherung benötigt wird.

Balkon

Ein Balkon wird, genau wie eine Terrasse, als ein von dem Gebäude getrenntes System gebaut. Die Konstruktion und Anforderungen sind identisch, außer dass die Höhe mit einem simplen und ausgesteiften Holztragwerk ausgeführt werden muss. Geländer sind hierbei keine Option, sondern eine Pflicht. Diese können an der Unterkonstruktion angebracht werden und wie bei innenliegenden Geländern mit Holz oder Stahl ausgeführt werden. Der Balkon kann auch punktweise mit der Unterkonstruktion der Außenwand verbunden werden, dabei ist jedoch wichtig, dass kein Wasser in den hinterlüfteten Bereich gelangt.

Sowohl Terrasse als auch Balkon können auch mit Unterkonstruktionen aus Stahl ausgeführt werden. Dabei gilt wie bei der Unterkonstruktion der Sohle, dass gängige Stahlprofile wiederverwendet werden können. Stahl würde hierbei den Vorteil mit sich bringen, dass nur die Terrassendielen regelmäßig erneuert werden müssen, jedoch nicht die Terrassen- und Balkon-Unterkonstruktion. Für beide gilt, dass, wenn sie übereinander oder unter einem Dachvorstand platziert werden, die Lebensdauer der Konstruktionen erhöht und der Pflegeaufwand verringert wird.

Zugang

Der Zugang ist durch die schwebende Sohle erhöht und sollte deshalb ähnlich wie die Terrasse ausgeführt werden. Falls diese Systeme einer Eingangssituation nicht gerecht werden, gibt es auch Konstruktionen, um Steinfliesen auf und an einer Stahlkonstruktion zu befestigen.

Für den rollstuhlgerechten Zugang sollte eine Rampe aus einer minimalen Unterkonstruktion und bedeckt mit einem Stahlgitter vorgesehen werden.

Nebengebäude

Ein Carport oder Geräteschuppen kann mit Hilfe der Schraubfundamente einfach hergestellt werden. Einen erhöhten Boden in einem Geräteschuppen zu errichten ist dabei kaum von Vorteil. Der Boden kann mit einfachen Steinplatten auf Kies gebettet ausgeführt werden. Um den Innenraum besser von den Außenraum zu trennen, können bis auf den Boden reichende Opferbretter geplant werden. Dächer dieser Nebengebäude können und sollten bei einer Größe eines Carports auch als Gründach geplant werden. Bei sehr kleinen Dächern kann jedoch auch auf recycelbare Welldächer zurückgegriffen werden. Das abfließende Wasser sollte zentral oder auch dezentral gesammelt werden.

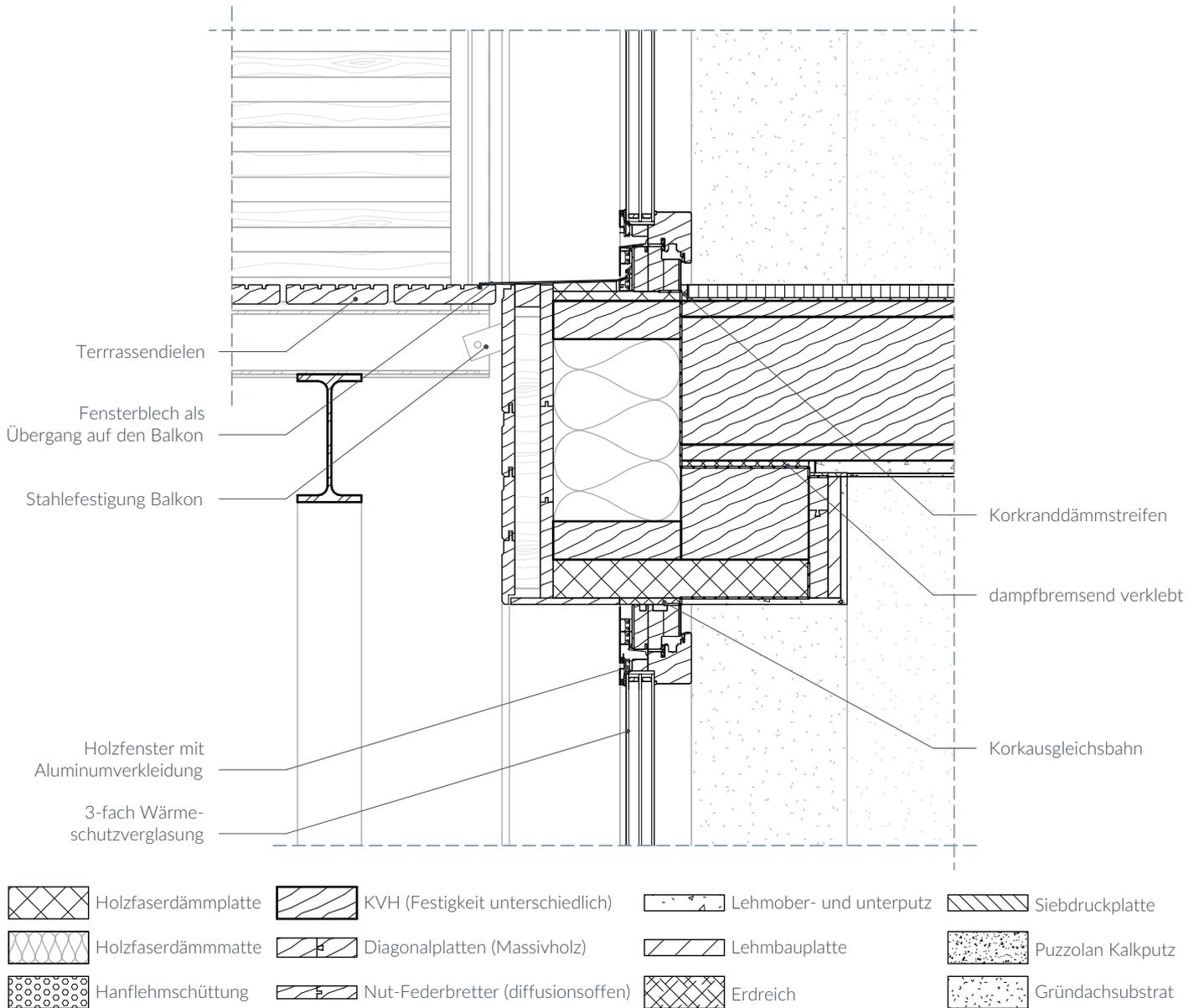


Abb. 135: Detail Anschluss Terrasse & Balkon. Eigene Darstellung

M.: 1:10

3.3.11 Herstellung

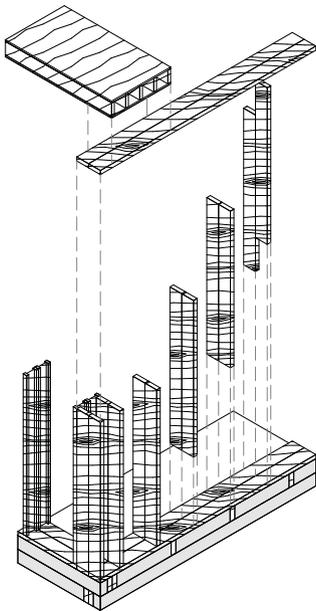
Mit einem Blick auf die aktuellen Holzbaupraktiken sieht man, dass Massivbau einen sehr geringen Anteil hat. Allen voran steht Modulbau. Dabei ist Modulbau eine etwas weiter vorgefertigte Version der Tafelbauweise. (bulwiengesa AG 2023)

Das Konzept beinhaltet keine Vorgabe zu der Herstellung der Bauteile. Eine Vorfertigung bietet sich an und kann je nach Lage und Unternehmen auch Kosten und Zeit einsparen und ist deshalb zu bevorzugen. Dabei ist auch zu betonen, dass bei der Vorfertigung in Tafelbauweise das Vorfertigen flächiger Bauteile, wie den Bodenplatten, Zwischendecken, Dächern und Wänden zu bevorzugen ist. Die Vorfertigung ganzer Module hat den Vorteil einer kürzeren

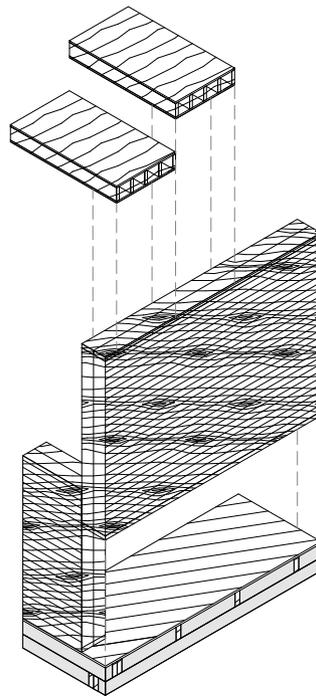
Bauzeit auf der Baustelle, jedoch ist die Lieferung der Module ineffizient, da ganze Räume mit einem großen Anteil an Luft auf LKWs transportiert werden.

Gerade bei der Fertigung in der Tafelbauweise ergibt sich ein großes Potential für Eigenleistungen, um Kosten zu senken. Nach Fertigstellen des Zusammenfügens aller Tafeln der Sohle, Außenwände, Zwischendecke, des Daches und dem Fertigstellen des Tragwerkes, können Arbeiten in Eigenleistung ausgeführt werden. Das Verputzen der Wände und Decken, Das Einbringen letzter Innenwände oder Installieren einiger Sanitäreinrichtungen, sind alles Arbeiten, die Kosten sparen und ein Verständnis für das Haus, seine Funktion und Nachhaltigkeit fördern.

Vorfertigung Bauteile



Vorfertigung Tafelbauweise



Vorfertigung Modulbau

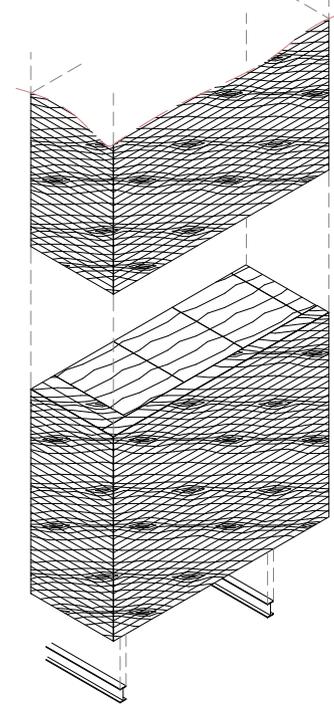


Abb. xx: Vorfertigungsvarianten. Eigene Darstellung

3.4 Gebäudetechnik

Für den Nachhaltigkeitsaspekt 1.1.1.4 Suffizienz und Lowtech, aber auch die ökonomische Nachhaltigkeit und soziale Nachhaltigkeit, ist dieser Punkt sehr bedeutend. Wohnkomfort und Energiekosten werden hier stark beeinflusst. Gleichzeitig bringt jedes technische Bauteil eine ökologische Belastung mit sich. Folglich gilt es, diese durch Kreislaufgerechtigkeit und Suffizienz zu minimieren. Dafür wird hier ein durchgehend dezentrales System gewählt. Dieses ist in vielen Aspekten energieeffizienter und flexibler, bringt jedoch einen Mehraufwand an Stromleitungen mit sich. Im Folgenden werden entsprechende Konzept aufgestellt und mit Plänen aus dem Konzepthaus (siehe Teil IV Konzepthaus) beispielhaft ausgeführt.

3.4.1 Strom

Strom ist in diesem Konzept allgegenwärtig. Als Erstes wäre die Erzeugung durch kristalline PV-Paneele auf dem Dach zu nennen. Diese sind nach einer Berechnung und der Beschreibung nach 2.2.2 PV-Gewinne x Heizlast auszurichten und zu dimensionieren. Dabei muss keine Autarkie erreicht werden, jedoch ist es nachhaltiger eigenen Strom zu verwenden. Das Gründach kann im Sommer durch passive Kühlung mit Hilfe von Evaporation die PV-Paneele kühlen und steigert damit die Lebensdauer und Effizienz. Nach der Erzeugung wird der Strom in Wechselstrom umgerichtet und in das Haus oder eine Batterie eingespeist. Dabei wird das Kabel durch eine Schwanenhals-Dachdurchführung mit der Durchlüftung in den HAR geführt. Die Batterie ist dabei nicht notwendig, jedoch kann es mit ihr gelingen autark durch den Winter zu kommen und auch im Sommer die Verfügbarkeit und Einspeisung des übermäßig gewonnen Stroms zu optimieren. Dieser Strom wird daraufhin in einen Kreislauf durch das Haus geleitet und über einen Verteiler in die einzelnen Deckenheizungselemente. Die Platzierung aller elektrischen Bauteile auf dem Dach muss mit dem notwendigen Sicherheitsabstand zu der Erdung ausgeführt werden. Diese Erdung wird von dem Dach außerhalb des Hauses durch ein Schraubfundament in das Erdreich geleitet. Der Stromkreislauf besteht aus einem Flachkabelsystem. Das umgeht das mehrfache Verlegen langer Kabellängen. Damit ist es ressourcenschonend, aber auch LowTech, da das anschließen weiterer Steckdosen o.ä. vereinfacht wird. Gerade das Anschließen der Lüftungssysteme für 3.4.4 Luft spart so viele Meter Kabel. Kabelschutz- oder Leerrohre und Kabelisolierung sollten aus recycelfreundlichen Kunststoffen wie PP hergestellt werden. Die Nachhaltigkeit des Stromverbrauches geht maßgeblich aus der Effizienz der Haushaltgeräte und Beleuchtung hervor. Autarkie und eigen gewonnener Strom soll keinen überflüssigen Stromverbrauch befürworten.

Die Kabelführung passiert über die Außenwände und über die vorverlegten Leerrohre in den Böden. Innenwände können über die Außenwände oder den HAR aktiviert werden, damit erhöht sich jedoch der Aufwand und senkt sich die Nachhaltigkeit bei einem Umbau. Die Höhe der verlegten Kabel in den Außenwänden und die Leerrohre im Boden sind einheitlich auszuführen und in dem Nutzungshandbuch zu vermerken.

Stromleitungen für die Verwendung von Leuchten an den Decken können raumseitig des Heizvlieses (siehe 3.4.3 Wärme) verlegt und verputzt werden. Das kann bereits in der Vorproduktion oder erst auf der Baustelle geschehen. Auf der Baustelle muss darauf geachtet werden, dass nur 1 cm des Unterputzes abgetragen wird, um das Heizvlies nicht zu beschädigen. Danach kann die entstandene Fuge zusammen mit dem Aufbringen des Oberputzes geschlossen werden.

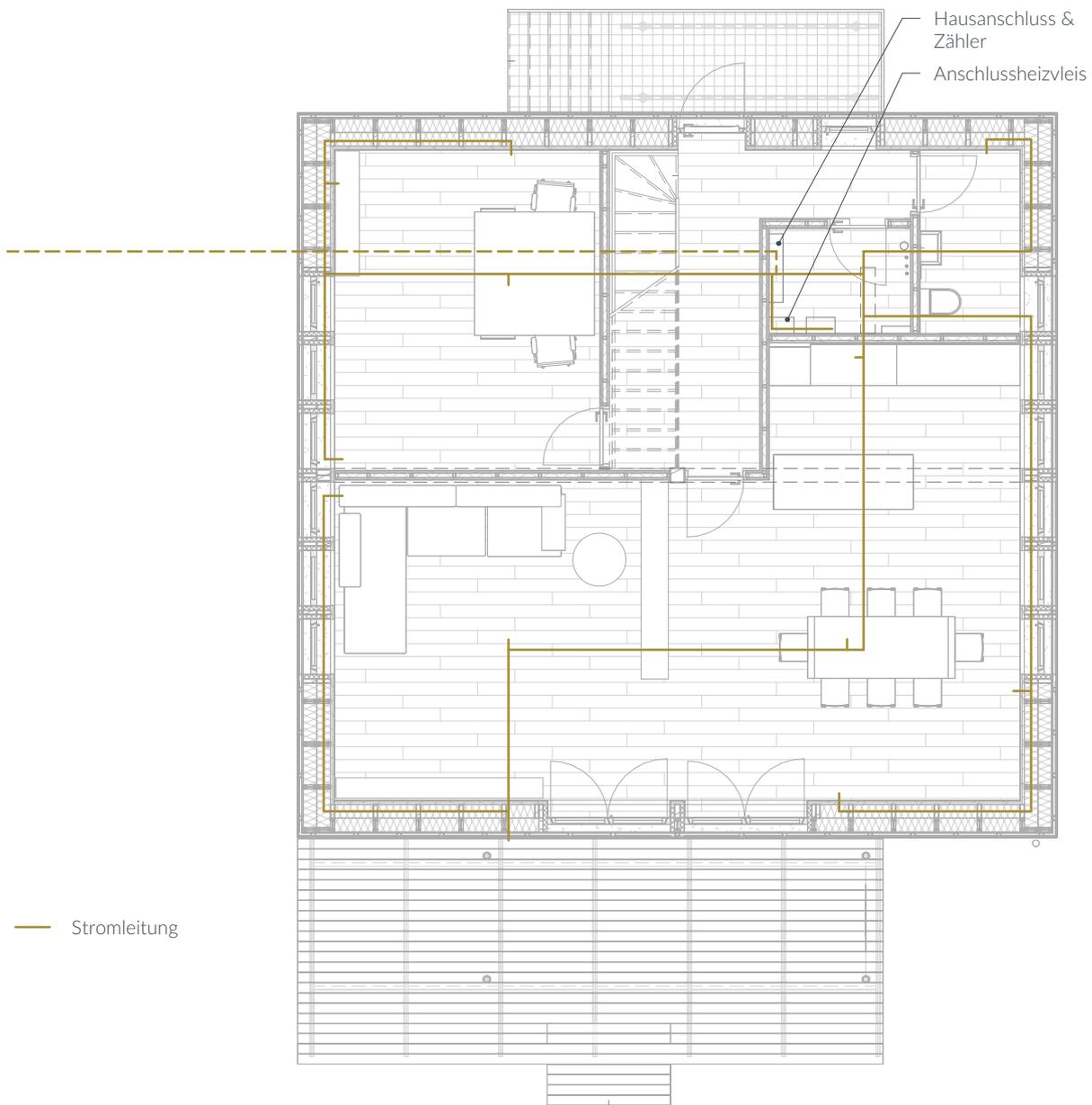


Abb. 138: Beispielhafter Grundriss Strom Konzepthaus. Eigene Darstellung

M.: 1:100

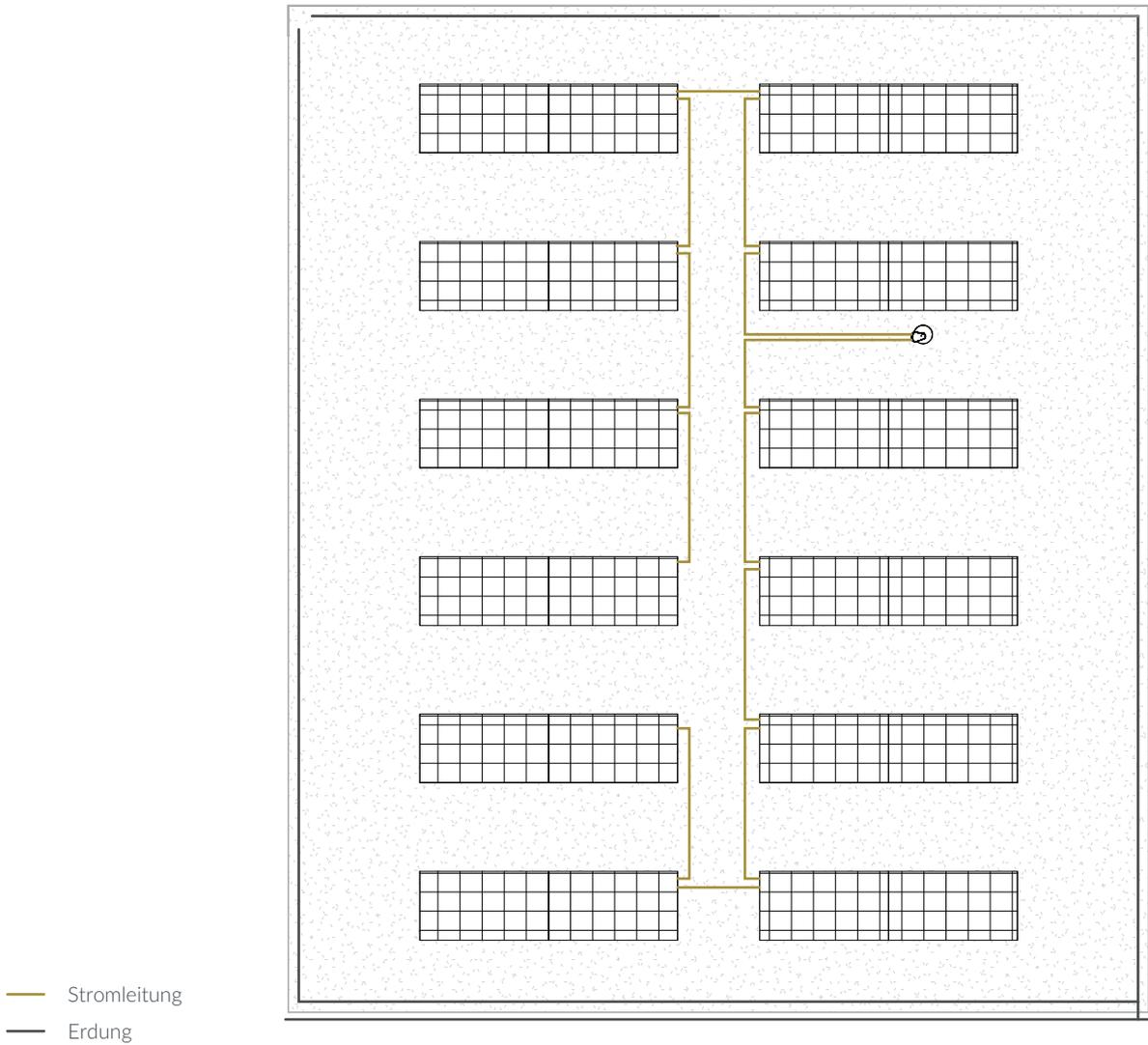


Abb. 139: Beispielhafte Dachaufsicht Strom Konzepthaus. Eigene Darstellung

M.: 1:100

3.4.2 Wasser

Um einen ökologisch und ökonomisch nachhaltigen, aber gesundheitlich und hygienisch hochwertigen Wasserhaushalt zu gewährleisten, wird folgendes System verwendet. Regenwasser und Grauwasser aus Handwaschbecken und Dusche werden in einem Tank außerhalb des Gebäudes und unter der Erde gesammelt. Durch eine Filtration gelangen sie in einen zweiten Tank des Nutzwassers. Dieses wird verwendet, um die Spülkästen der Toiletten zu füllen, den Garten zu bewässern oder Reinigungsprozesse zu führen. Bei einer sehr hohen Qualität der Aufbereitung, kann auch an die Verwendung des Nutzwassers für Wasch- und Spülmaschine gedacht werden. Ansonsten werden Waschbecken, Duschen, Waschmaschinen, Spülmaschinen und weitere Haushaltgeräte immer mit Trinkwasser aus der Leitung gespeist. Des Weiteren wird das Abwasser aus Toiletten, Waschbecken in der Küche und Spülmaschinen in die Kanalisation geleitet.

Wie viel Regenwasser dabei direkt durch das Gründach zurückgehalten werden soll, muss anhand des Nutzwasserbedarfes (wie in 2.2.7 Regenwasser & Versickerung) kalkuliert werden.

Um Nutz und vor allem Trinkwasser zu sparen gilt es, wassersparende Sanitärinstallationen, Haushaltsgeräte und Bewässerungsmethoden zu wählen.

Warmwasser wird dezentral mit elektronischen Durchlauferhitzern erzeugt. Damit entsteht eine sehr nachhaltige Möglichkeit mit wenig Leitungen und Heizaufwand, um an allen notwendigen Stellen ausreichend Warmwasser zu gewährleisten. So gibt es für Frischwasser je eine Trinkwasser- und eine Nutzwasserleitung und keine Zirkulationsleitungen. Diese Frischwasserleitungen sind für ein kreislaufgerechtes Konzept aus Kupfer und mit einer wärmeisolierenden nachhaltigen Ummantelung auszuführen.

Die notwendigen Trink-, Nutz-, Grau- und Abwasserleitungen sind, außer in den Nasszellen und im HAR, in den Böden zu verlegen.

Wie in 3.1 Grundriss beschrieben sollten für zukünftige Flexibilität Leerrohre durch die Böden gelegt werden, um eventuelle kleinere

Sanitärinstallationen an mehreren Orten im Haus zu ermöglichen. Dafür werden nur eine Trink- und ein Abwasserleitung verlegt. Die Abwasserleitung kann je nach angeschlossenem Sanitärobjekt als Abwasser oder Grauwasser genutzt und dementsprechend im HAR angeschlossen werden. Alle verlegten Leitungen und Rohre sind einheitlich auszuführen und in dem Nutzungshandbuch zu vermerken.

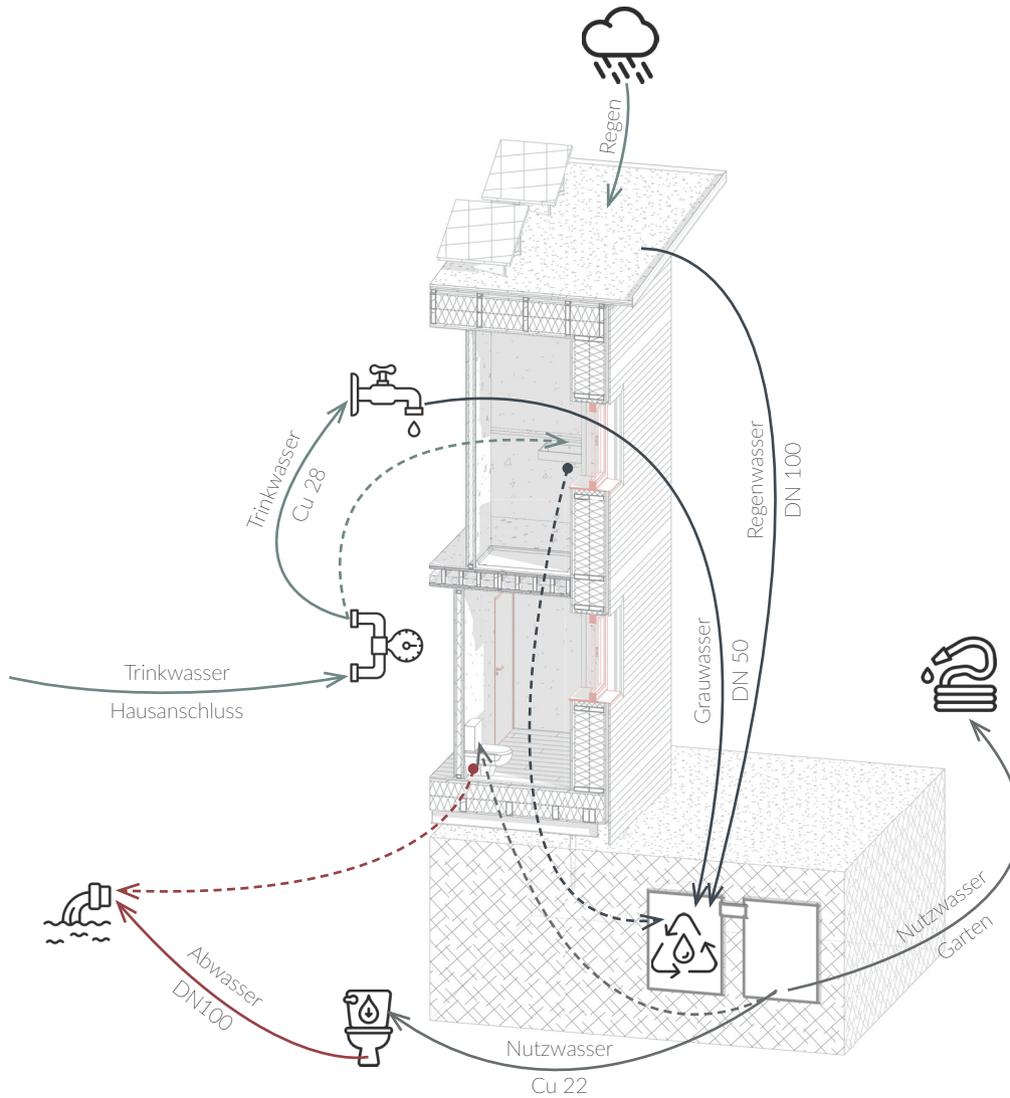


Abb. 140: Wasser Konzept. Eigene Darstellung (Icons von Freepik)

M.: 1:100

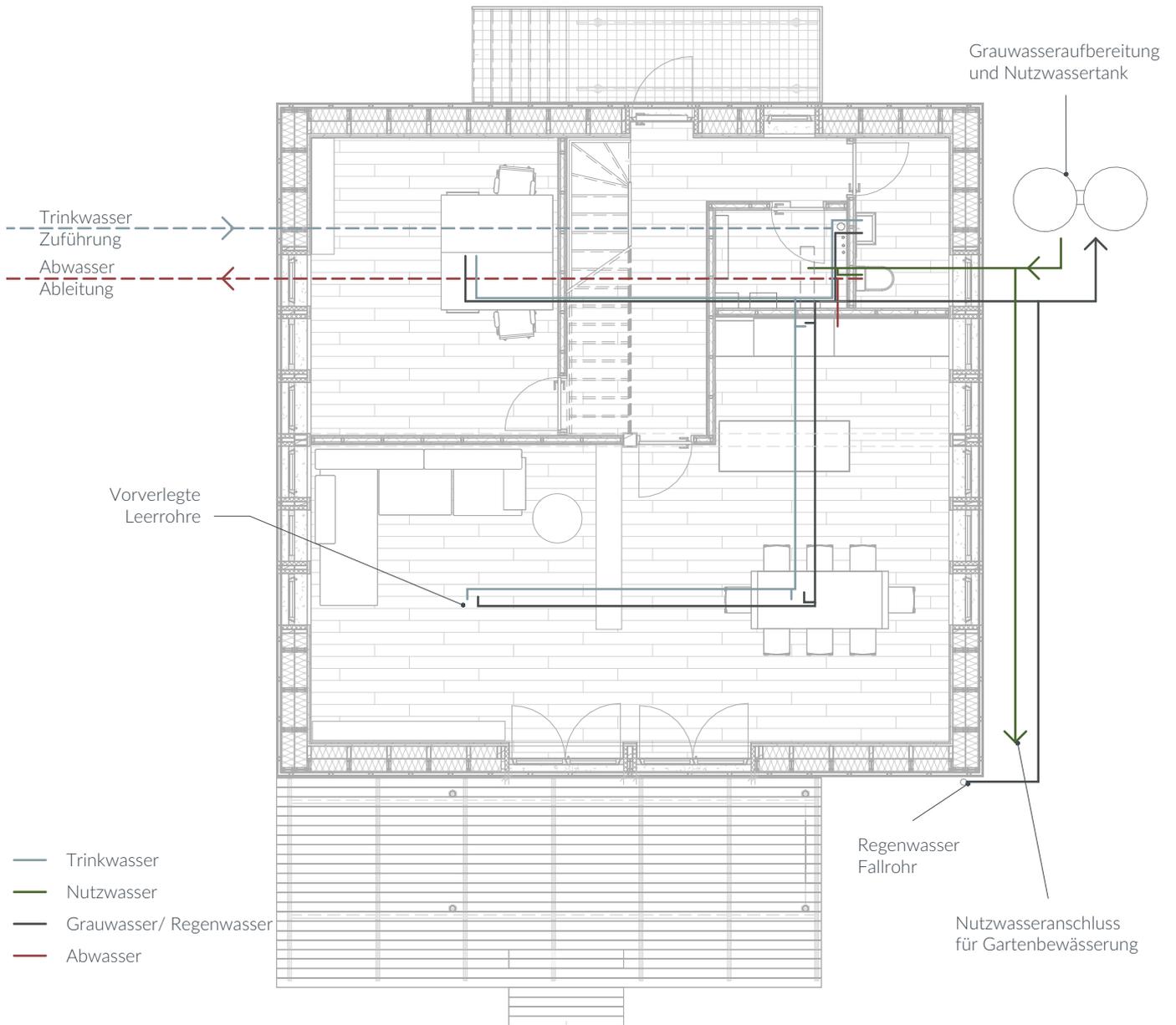


Abb. 141: Beispielhafter Grundriss Wasser Konzepthaus. Eigene Darstellung

M.: 1:100

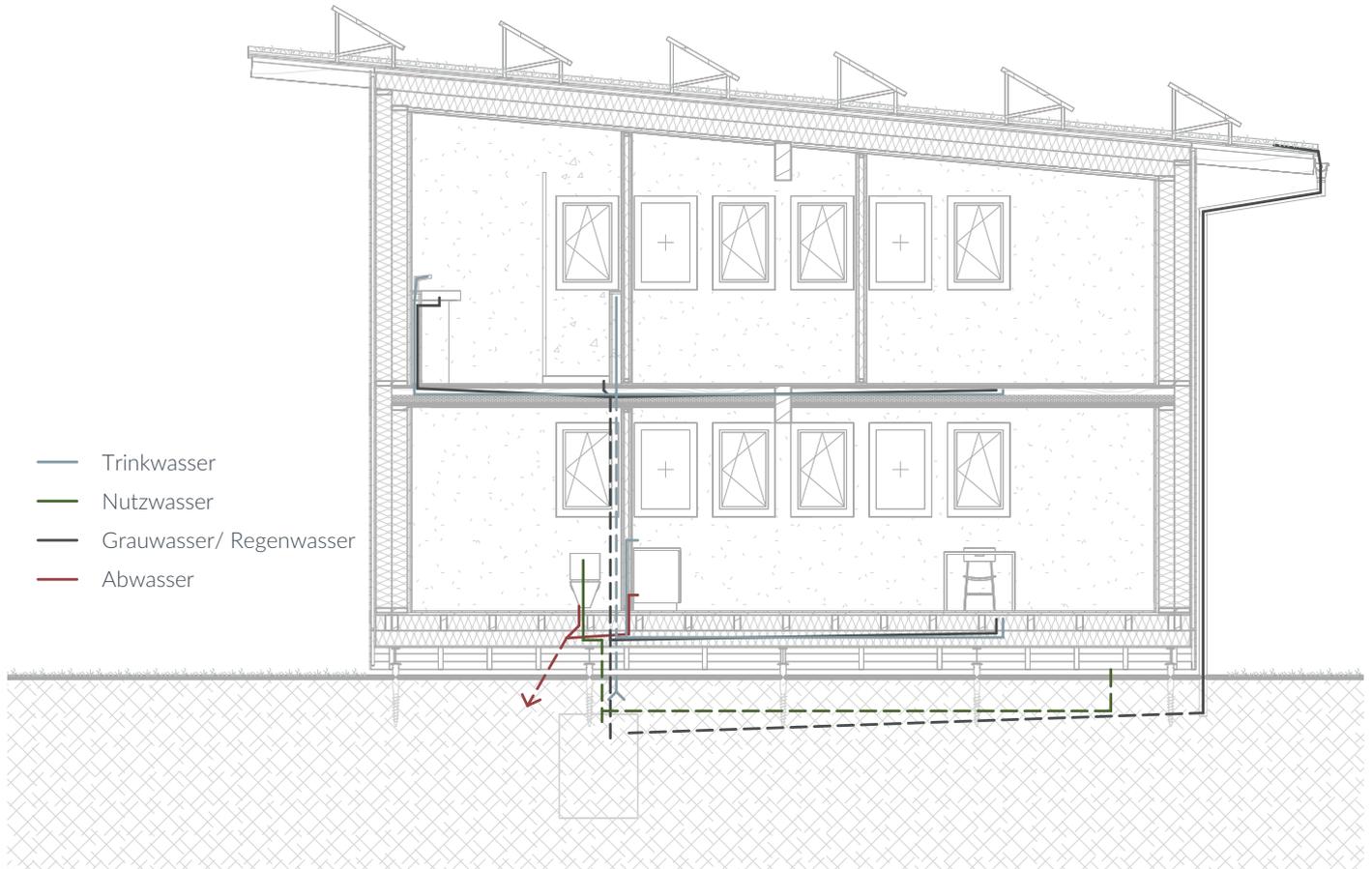


Abb. 142: Beispielhafter Schnitt Wasser Konzepthaus. Eigene Darstellung

M.: 1:100

3.4.3 Wärme

Heizung

Wärme wird elektrisch erzeugt, dadurch entspricht eine kWh Heizenergie einer kWh Strom. Durch die Stromproduktion, den Transport und die Speicherung fällt dieser Wirkungsgrad je nach Ausführung und Batterie ein wenig ab. Die Heizvliese erzeugen in Kombination mit dem Lehmputz eine angenehme und effiziente Erwärmung durch Strahlung. Durch diese Wärmestrahlung werden auch die Lehmelemente der Wände und andere Objekte in den Räumen zu einer leichten Heizung. Die einzelnen Elemente sind an den Deckenelementen mit dem Putz befestigt, so ergeben sich 5m lange Heizdecken. Diese sollten für eine individuellere Steuerung der Heizung unterteilt werden. Die Unterteilung ist flexibel, jedoch benötigen mehrere Module eine größere Menge an Kabeln. Zu empfehlen ist eine Unterteilung in 2,5m x 1m große Flächen. Damit ergibt sich ein Raster, welches durch die zentral geführten Kabel individuell angesteuert werden kann. Dieses Maß bezieht sich nicht auf die Größe der Heizelemente. Nach Definieren der Räume innerhalb dieses Rasters kann durch Taster und Thermostate die Heizung individuell oder automatisch gesteuert werden. Dieses Raster muss je nach Heizlast angepasst werden, so muss es nicht in voller Breite ausgeführt werden. Die Standardbreite des Vlieses ist 60cm mit auf welcher er, je nach Variante, 25-132W pro Laufmeter leisten kann (mfh systems GmbH o.J.). Die Breite der Heizflächen und die damit kritischen Stellen der elektronischen Kontakte sind einheitlich auszuführen und in dem Nutzungshandbuch zu vermerken.

Um die Lüftungswärmeverluste zu minimieren, sind Lüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung zu verbauen. Das Lüften durch Fenster darf den Bewohner:innen nicht genommen werden, jedoch würde das den Raum erheblich abkühlen. Durch eine Heizung, die zu 100% auf Strahlung basiert, ist das jedoch kein zu großes Problem.

Wärmeschutz

Um die Wärme im Sommer zu kontrollieren ist Lehm verbaut. Dieser gibt dem Haus eine Wärmelatenz, um mit Hilfe von Nachtlüftung das Haus auch im Sommer auf angenehmen Temperaturen zu halten. Solare Energie wird durch die dreifach Isolierverglasung bereits stark reduziert. Bei Bedarf kann auch eine Sonnenschutzverglasung mit bedacht werden. Jedoch sollte ein Überstand des Pultdaches oder physische Verschattung durch Jalousien oder Fensterläden das Problem auch lösen.

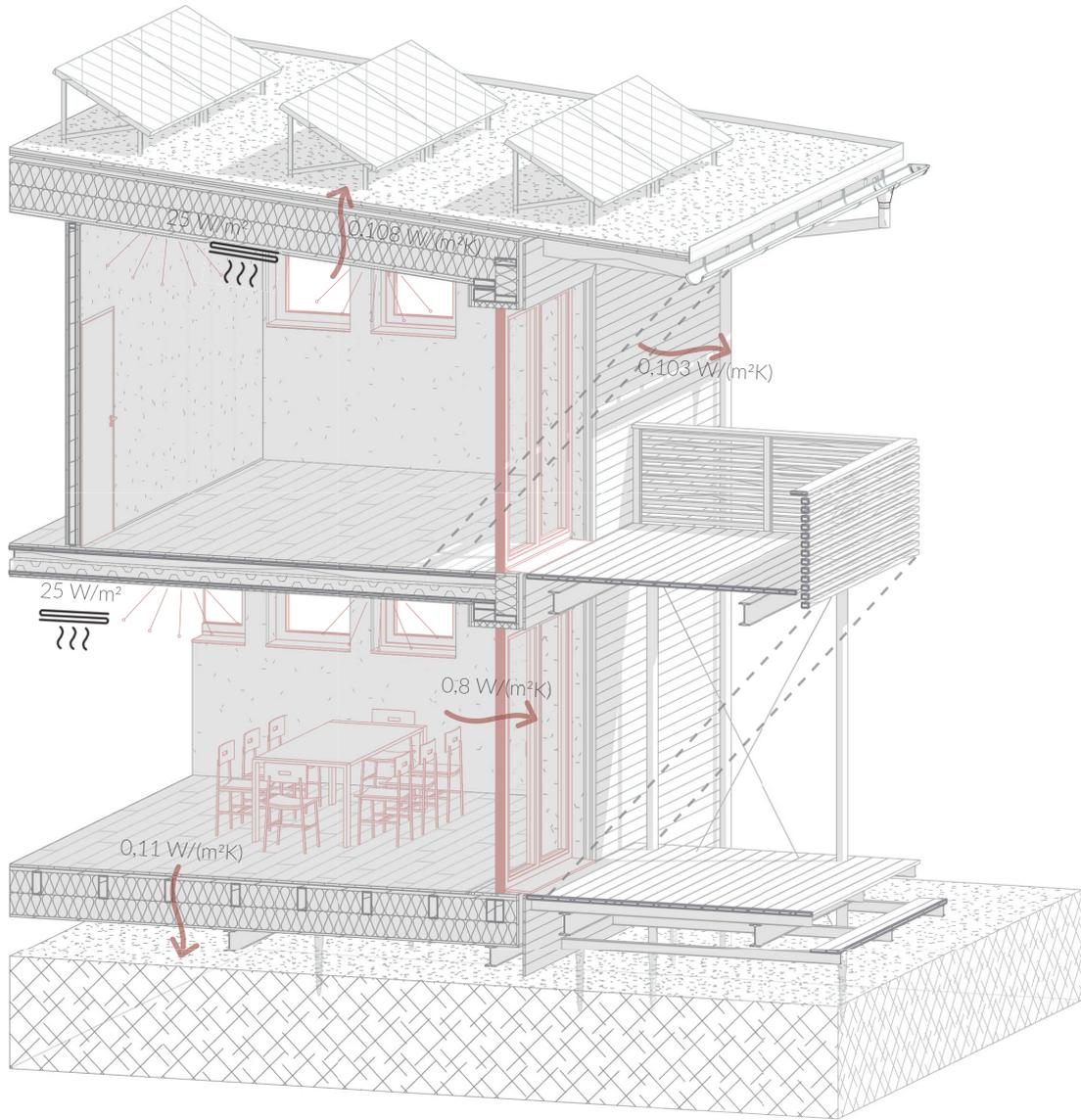


Abb. 143: Wärme Konzept. Eigene Darstellung (Icons von Freepik)

M.: 1:75

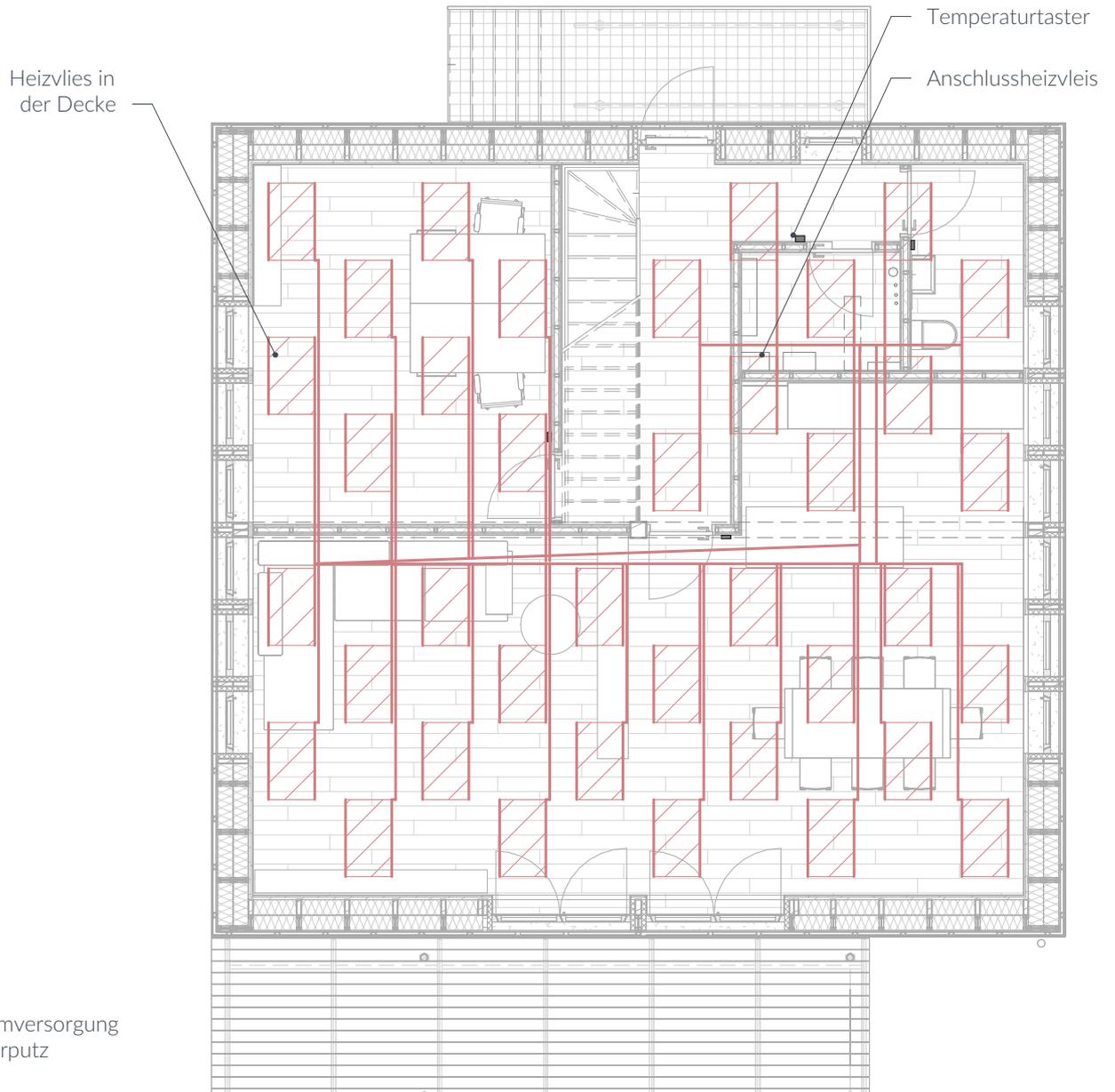


Abb. 144: Beispielhafter Grundriss Wärme Konzepthaus. Eigene Darstellung

M.: 1:100

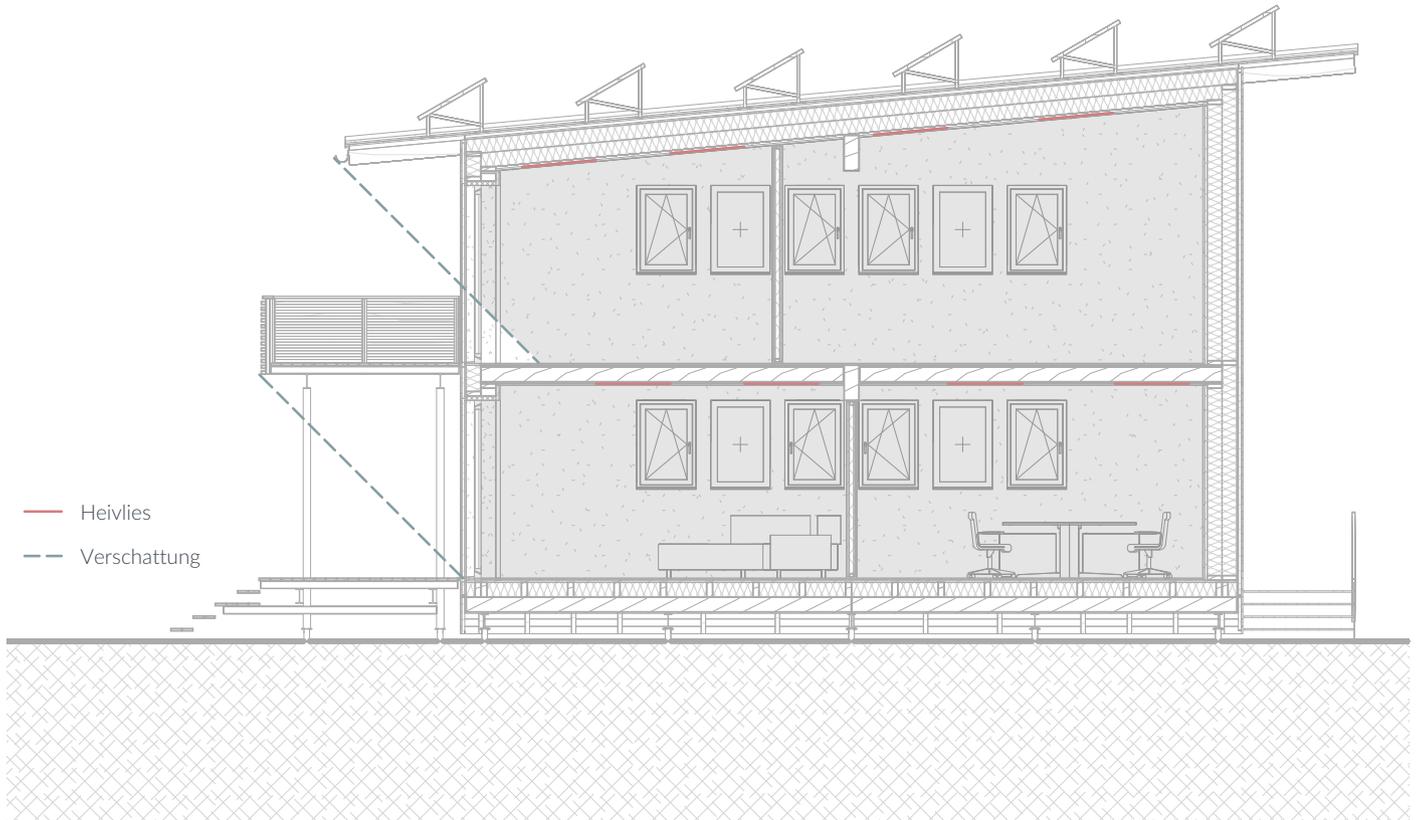


Abb. 145: Beispielhafter Schnitt Wärme(schutz) Konzepthaus. Eigene Darstellung

M.: 1:100

3.4.4 Luft

Die Lüftung zum hygienischen und Feuchtigkeitsschutz wird mit einem Push-Pull System gewährleistet. Diese Systeme können mit Wärmerückgewinnung ausgestattet werden und haben damit bereits bei Systemen der Mittelklasse eine Rückgewinnung von über 80% (Ventomaxx GmbH o.J.). Um zu gewährleisten, dass bei dem Prozess des Luftentnehmens oder -zuführens der Druckausgleich nicht durch Infiltration oder Exfiltration geschieht, gilt es zwei Geräte oder eine raumübergreifende Lüftung zu benutzen. So kann die Wärmerückgewinnung optimal ausgenutzt werden, und es kommt keine übermäßige Luftfeuchtigkeit durch Exfiltration in die Wandaufbauten. Des Weiteren kann mit mindestens zwei Geräten eine höhere Nachtlüftung in Räumen mit Notwendigkeit dafür gewährleistet werden.

Das Außenmodul dieses Systems kann unter der Fassade versteckt werden. Damit ist es schwerer zu erreichen, jedoch bei einem Umbau aufgrund der Optik zu bevorzugen.

Um eine ausreichende Lüftung auch nach Umbauten zu gewährleisten, werden in der Außenwand Löcher für die Systeme vorgesehen, welche nach Notwendigkeit mit den Systemen bestückt werden können. Die Position dieser Löcher ist einheitlich auszuführen und in dem Nutzungshandbuch zu vermerken. Falls die Notwendigkeit nicht besteht, sind sie mit einem Stopfen aus formstabilem Holzfaserdämmstoff und einer mit dem Außenwandaufbau übereinstimmenden Konstruktion gefüllt und innenseitig dampfbremmend verklebt.

Nach DIN 1946-6 ist bei einer Lüftung mit Zu- und Abluft keine Berechnung der Infiltration notwendig (DIN 2019). Für die Berechnung der Heizlast wird sie jedoch mit einer Luftwechselrate von 0,01 des gesamten Volumens des Gebäudes berücksichtigt.

Es sind offenbare Fenster für den Komfort der Bewohner:innen einzubauen.

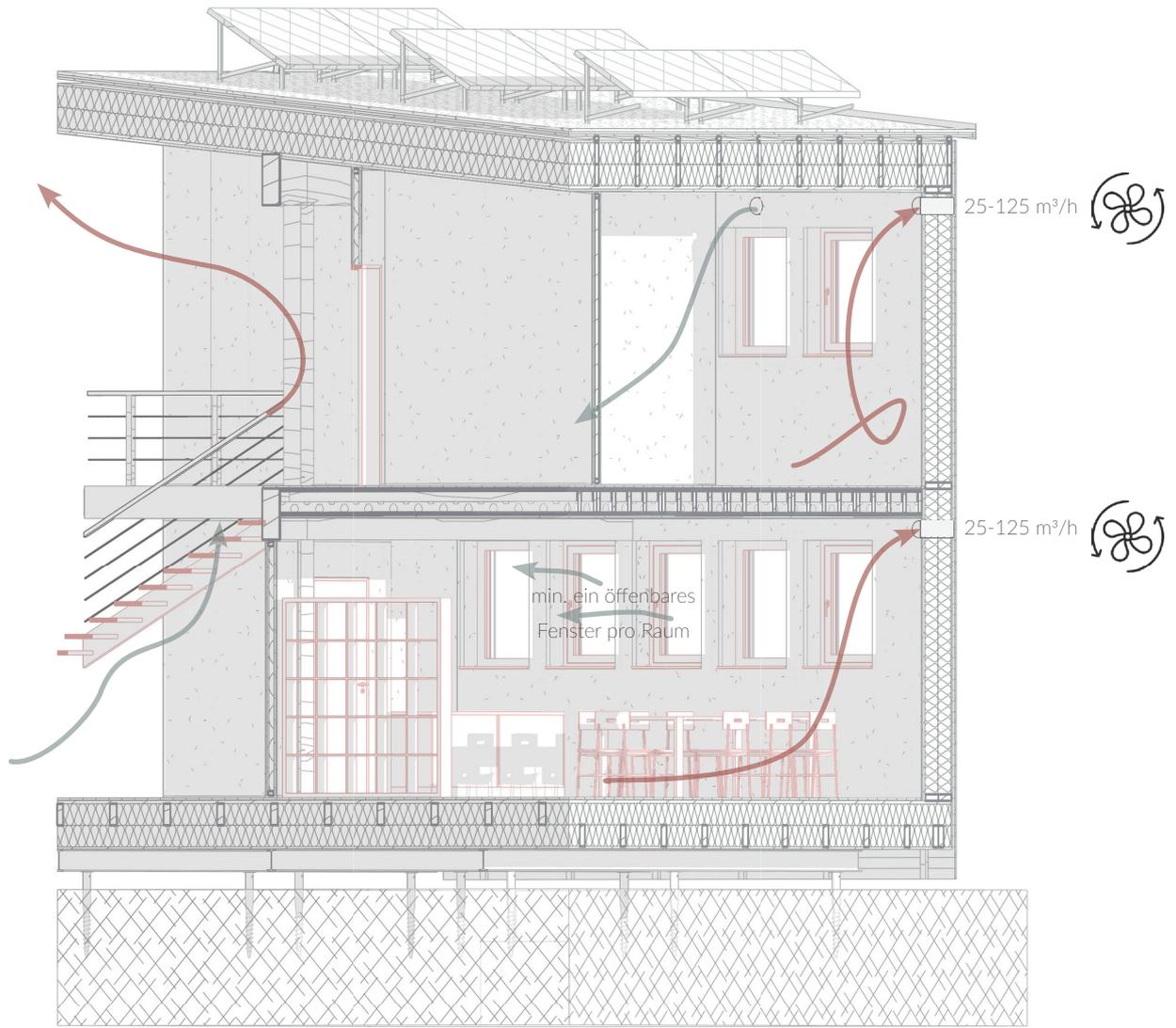


Abb. 146: Luft Konzept. Eigene Darstellung (Icons von Freepik)

M.: 1:75

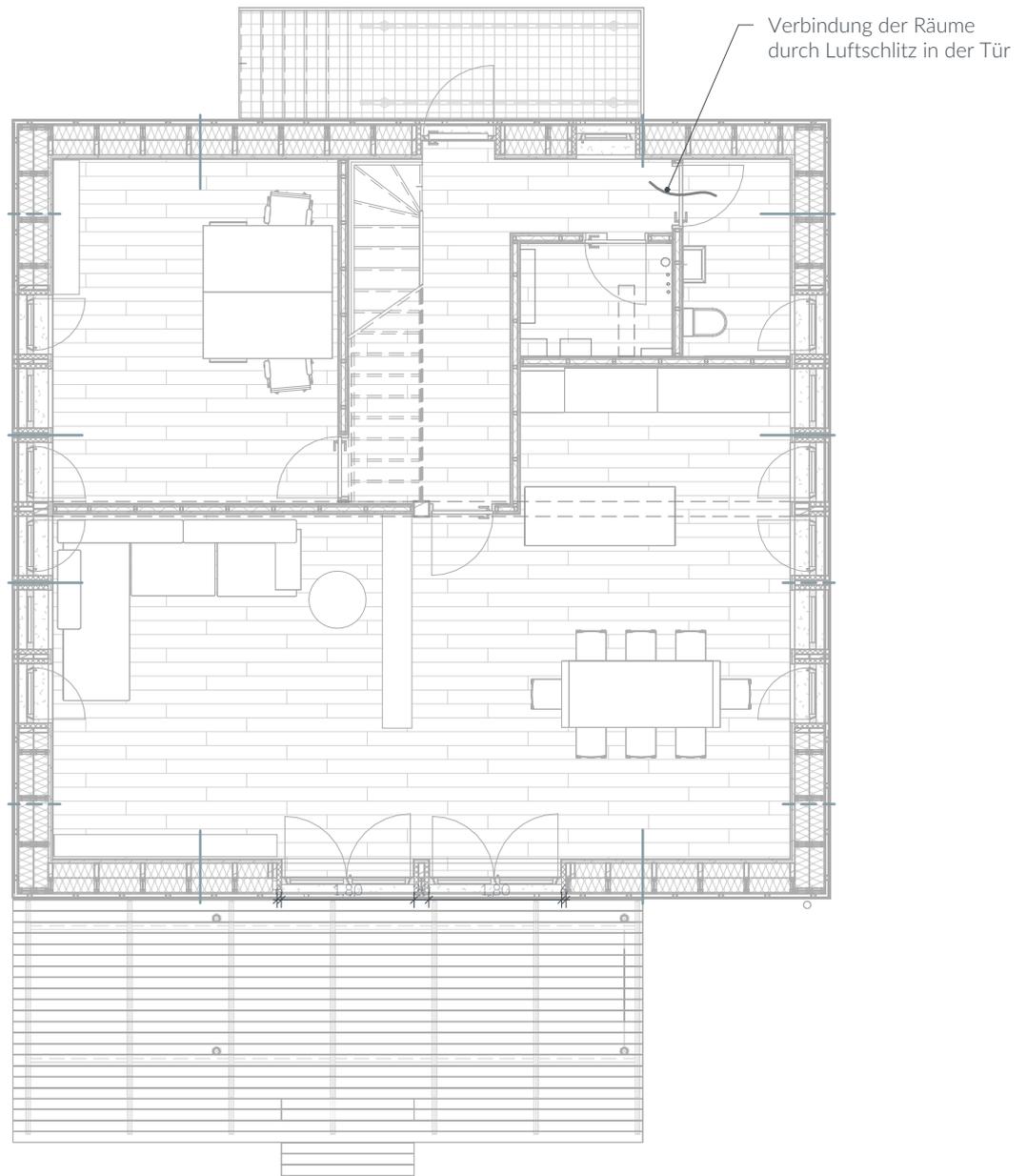


Abb. 147: Beispielhafter Grundriss Luft Konzepthaus. Eigene Darstellung

M.: 1:100

3.5 Außenbereich

Auch der Außenbereich ist nachhaltig zu gestalten. Dabei muss für ein komplett unversiegeltes Grundstück gesorgt sein und Biodiversität unterstützt werden. Ausgehend von der vorherigen Nutzung des Grundstückes sollte der Neubau mit diesem Konzept immer einen Gewinn an Biodiversität aufweisen können.

Für diese Ansprüche müssen großflächige Zuwegungen und Zufahrten versickerungsoffen oder mit Auffangen des abfließenden Wassers ausgeführt werden. Die zweite Möglichkeit beinhaltet viele Bauteile mit Bodenkontakt, was zu vermeiden ist. Erstere ist mit Rasengitter aus den Recycling Abfällen aus den gelben Tonnen umsetzbar (HÜBNER-LEE GmbH & Co. KG o.J.). Der dabei entstehende Werkstoff gibt keine Schadstoffe in die Umwelt ab und ist auch wiederverwendbar oder recycelbar.

Das großflächige Verwenden von Kies oder Schotterflächen ist untersagt und nur als Spritzschutz um Gebäudeteile oder als notwendige Schicht unter dem Gebäude denkbar.

Um eine Biodiversität zu garantieren, muss eine Varianz an Pflanzen geboten sein. Es sollten nicht nur Büsche und Rasen oder nur Bäume und Rasen verwendet werden, sondern zu der bestehenden Flora weitere Schichten hinzugefügt werden. Somit kann eine natürliche Biodiversität über alle Vegetationsschichten verteilt entstehen (DGNB o.J.a). Von dieser profitiert auch der Mensch in Form eines langlebigen und lebendigen Gartens.

3.6 Nutzung

Für jedes Gebäude mit einem Konzept dieser Art ist es notwendig, ein Nutzungshandbuch zu führen. Dort sind Orientierungen zur Pflege, Reinigung und Sanierung der Bauteile vermerkt. Auch die Verortung von Leerrohren, Leitungen und vulnerablen Stellen ist hier zusammengefasst. Damit lassen sich kleine Umbauten bis zu einer Sanierung durchführen, ohne dass bestehende Technik verletzt wird. Dieser Aspekt und das Instandhalten des Gebäudes sind elementar für eine lange Lebensdauer der Bauteile. Es folgen beispielhafte Vermerkungen der verlegten Leitungen und Technik und darauf eine Erklärung zu dem Umgang mit Pflege, Instandhaltung und Sanierung des Gebäudes.

Alle Leitungen sind Flachkabel und 30cm über OK FFB durch die Träger in einem Leerrohr verlegt

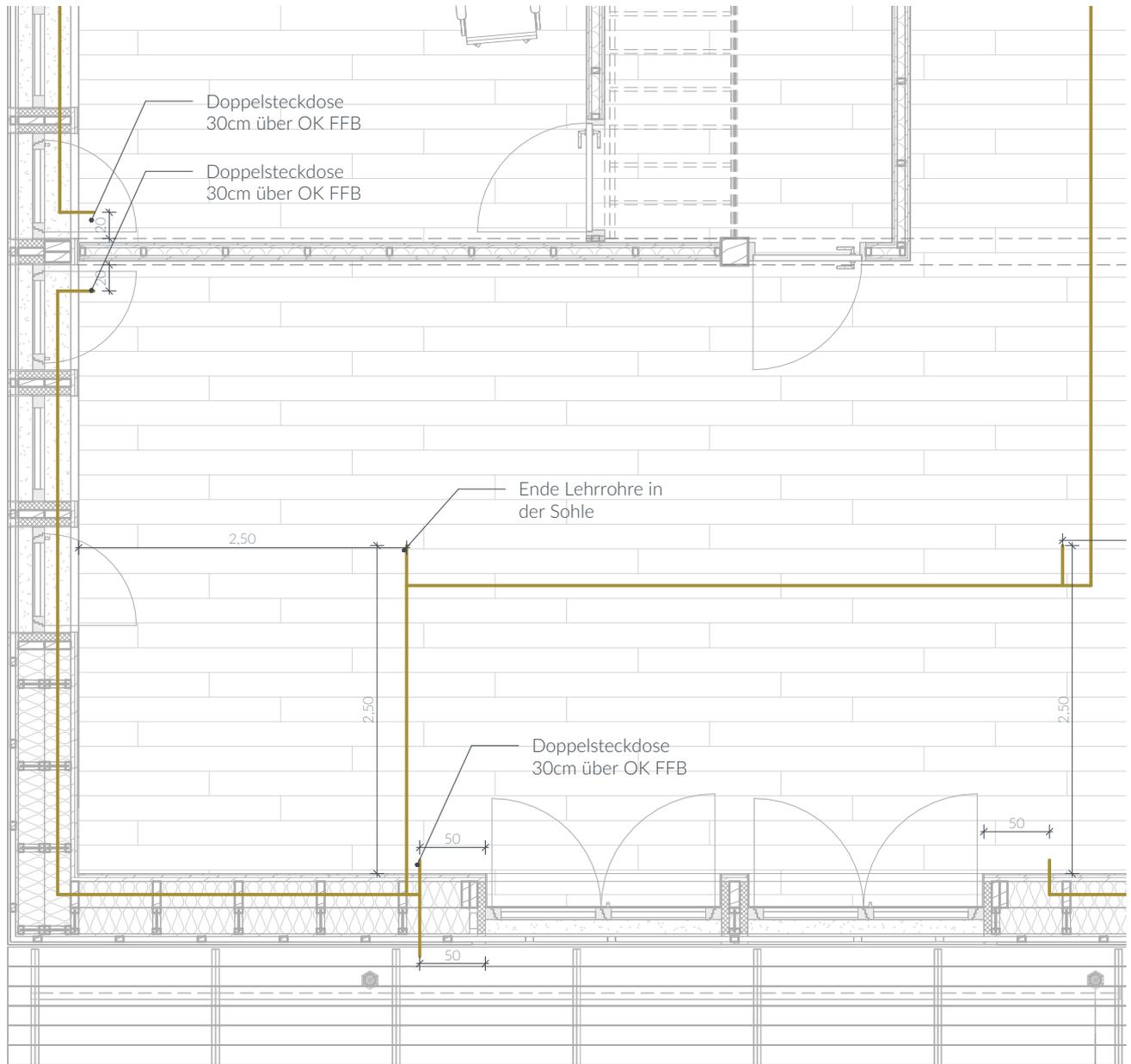


Abb. 148: Beispielhafte Verortung Strom. Eigene Darstellung

M.: 1:50

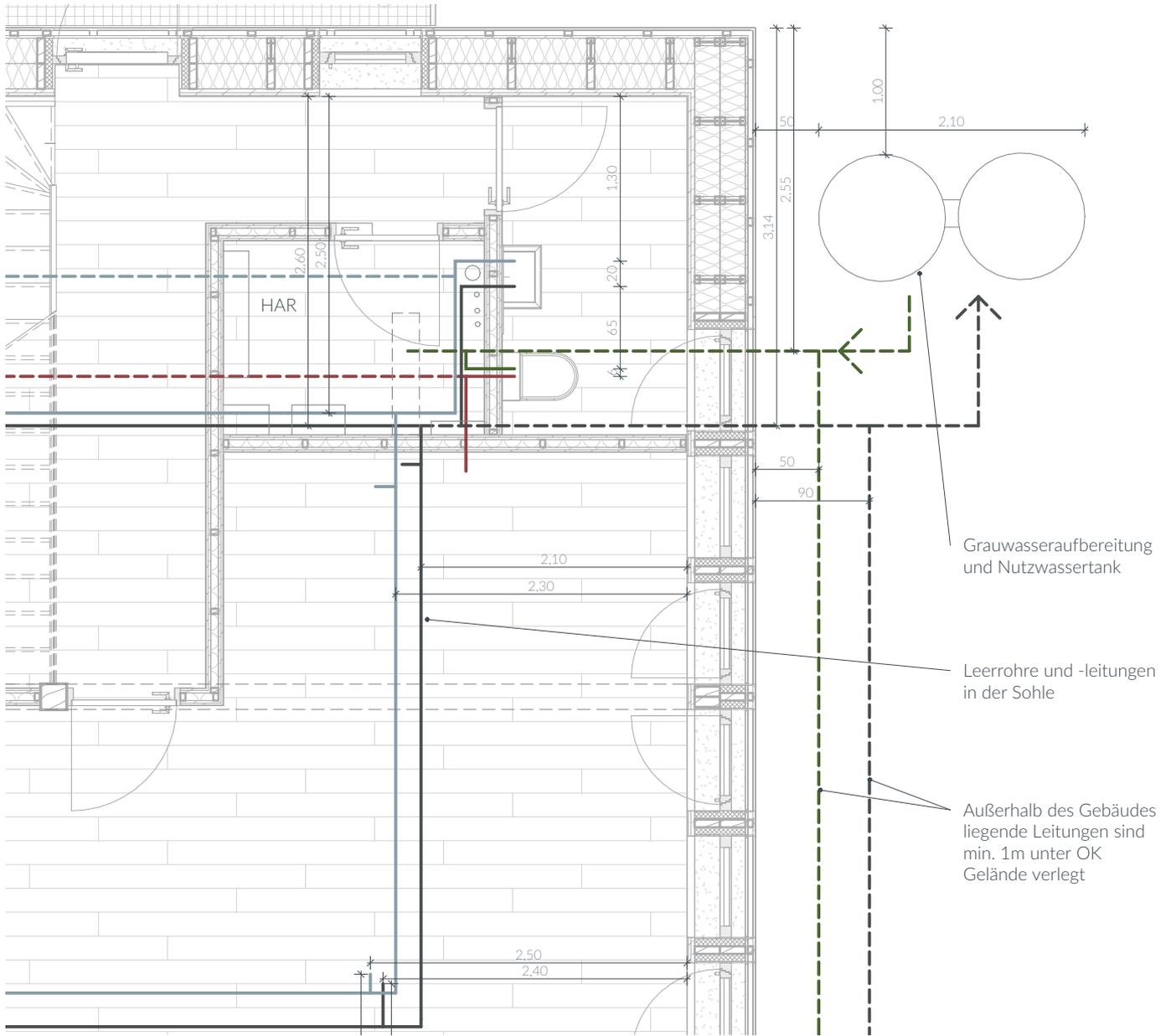


Abb. 149: Beispielhafte Verortung Wasser. Eigene Darstellung

M.: 1:50

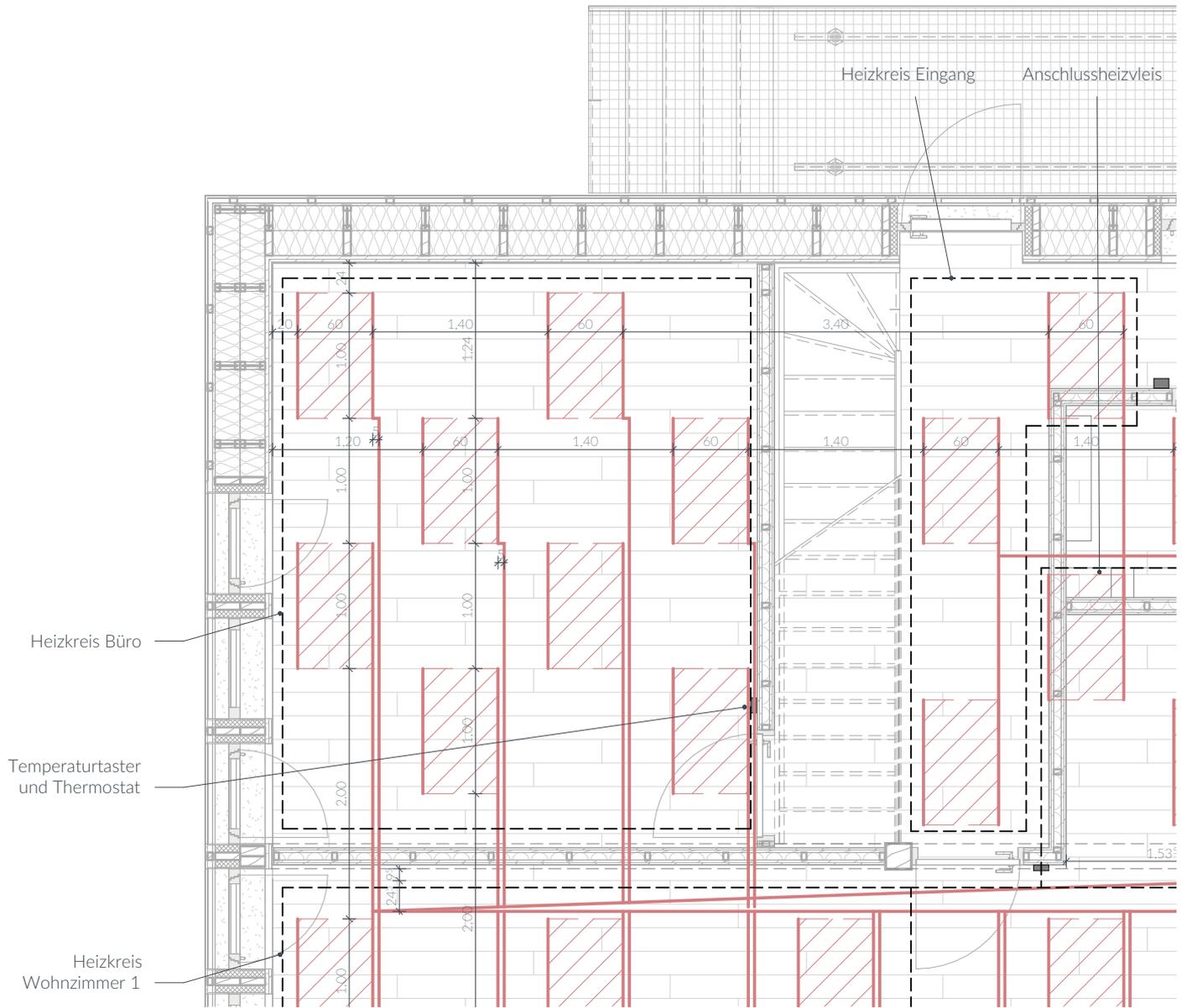


Abb. 150: Beispielhafte Verortung Wärme. Eigene Darstellung

M.: 1:50

Alle Lüftungsmodule und die Platzhalter sind in ihrer Mitte auf 2,50m über OK FFB angebracht. Das Außenmodul ist hinter der Fassade

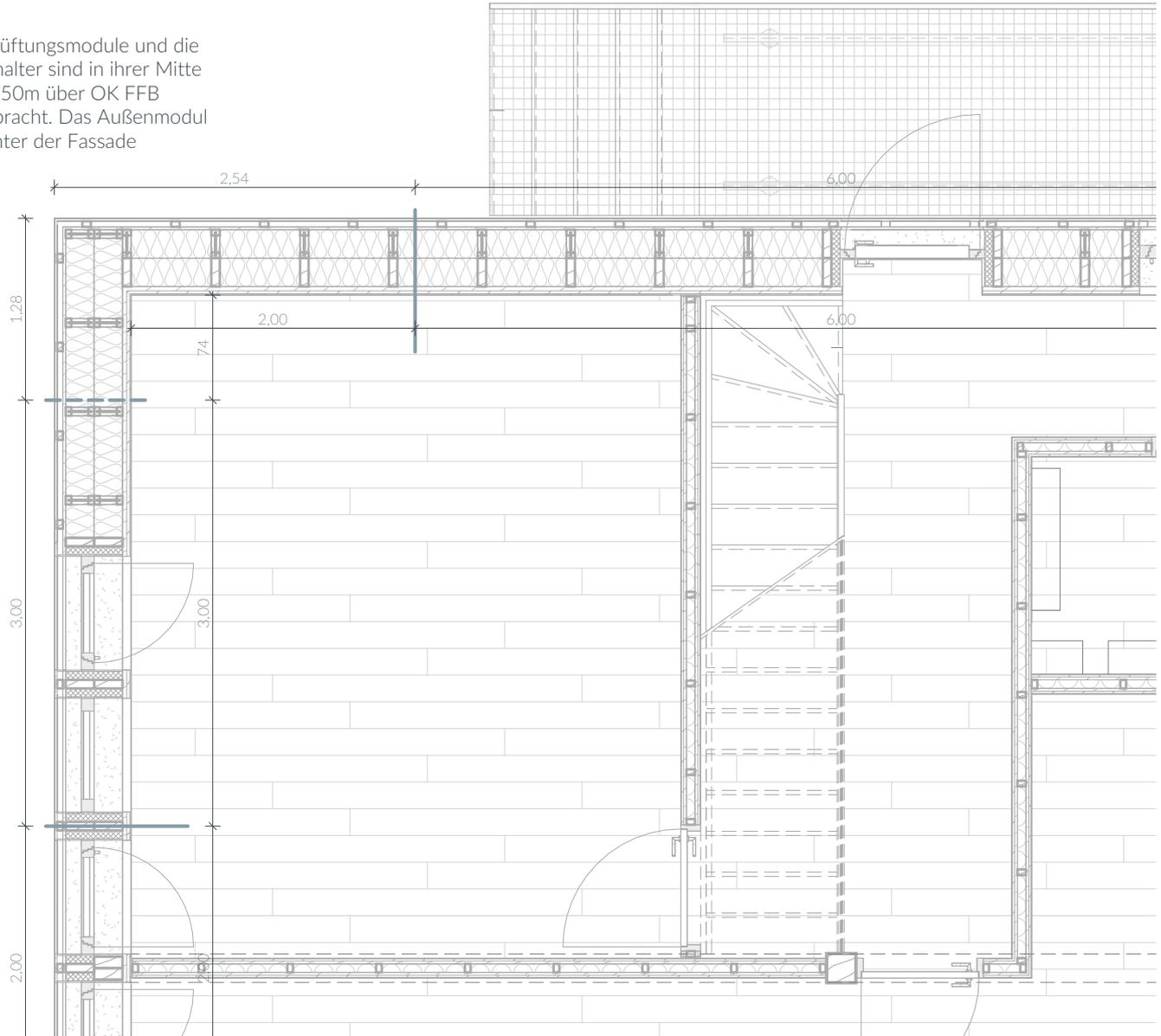


Abb. 151: Beispielhafte Verortung Luft. Eigene Darstellung

M.: 1:50

Alle Befestigungen sind in den Innenwänden ausgeführt, es sind keine Sacklochbohrungen. Die Befestigungen sind in Decke und Boden ausgeführt. Die Befestigungen in die Außenwände sind auf 1,00m über OK FFB

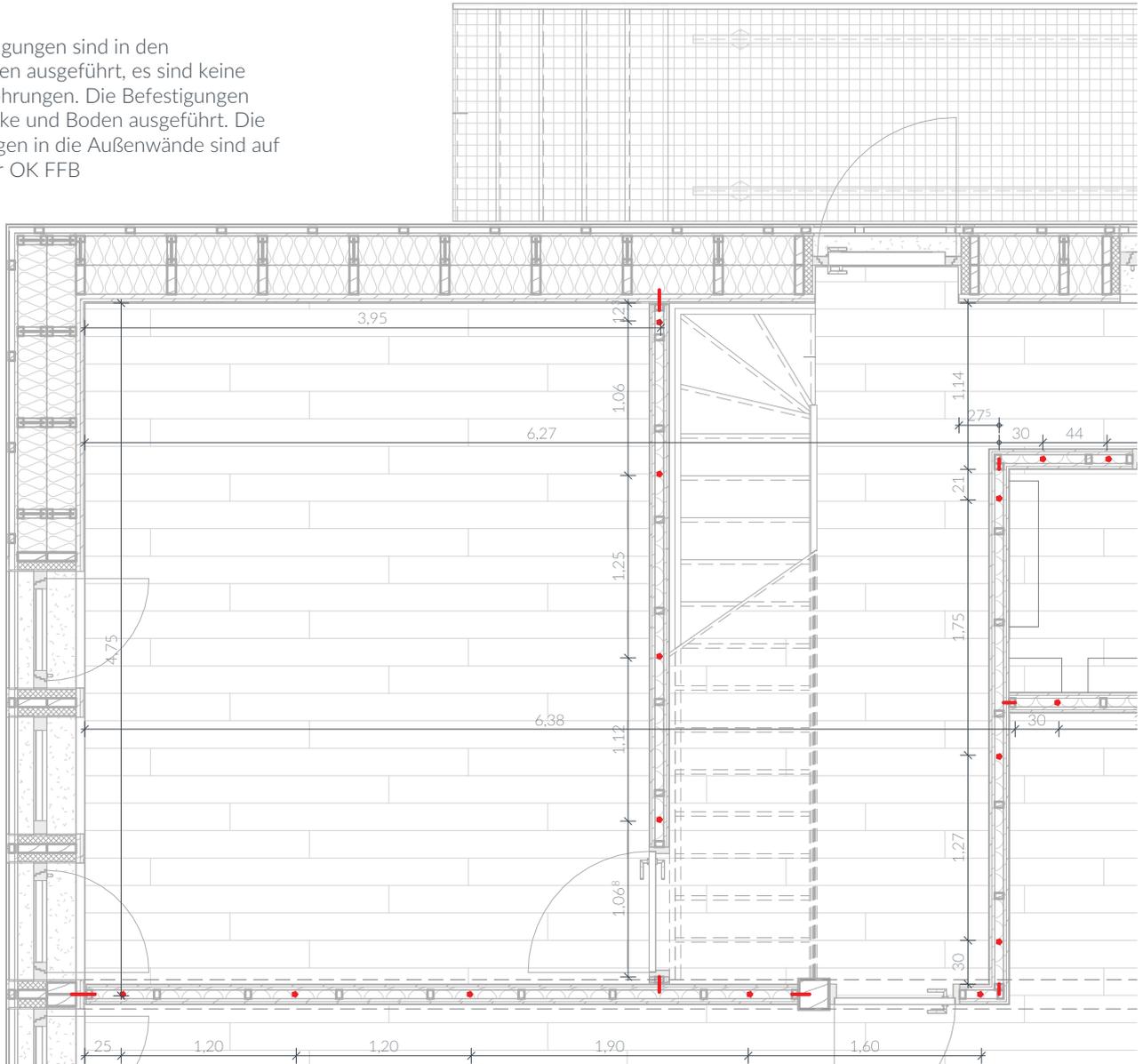


Abb. 152: Beispielhafte Verortung Bohrung Innenwände. Eigene Darstellung

M.: 1:50

3.6.1 Pflege & Instandhaltung

Fassade:

Die Fassade schützt die dämmende und tragende Schicht des Gebäudes, folglich ist es notwendig, diese instand zu halten. Je nach Wahl muss die Fassade regelmäßig lasiert, gestrichen, geschliffen oder komplett erneuert werden. Diese Regelmäßigkeit hängt dabei von der Qualität der verwendeten Baustoffe ab. Es ist wichtig, den geschlossenen Witterungs- und Insektenschutz nach der Pflege oder Sanierung wieder herzustellen. Bei schlechter Ausführung der Fassade oder starker Belastung kann auch die Unterkonstruktion ausgetauscht werden müssen.

Terrassen & Balkone:

Je nach Konstruktionsweise (siehe 3.3.10 sonstige außenliegenden Bauteile) müssen nur die Terrassendielen, oder die ganze Konstruktion regelmäßig instand gehalten werden. Das Geländer und die Unterkonstruktion müssen zu jeder Zeit tragfest und absturzsicher sein. Um die Lebensdauer der Terrassendielen zu verlängern, ist eine jährliche Reinigung zu empfehlen, so kann Moos und damit Feuchtigkeitsbildung vorgebeugt werden. Bei einer Erneuerung ist zu empfehlen, die gesamte Unterkonstruktion aus Holz zu erneuern. Nur bei punktueller Beschädigung ist es empfehlenswert, Einzelteile auszutauschen.

Der Übergang vom Innenraum auf die Terrasse oder den Balkon muss bei Beschädigung umgehend repariert werden, um Feuchtigkeitseintritt in die Außenwand zu vermeiden.

Parkett:

Das Parkett muss je nach Pflegeanforderungen regelmäßig lasiert oder geölt werden. Dabei sind nachhaltige und schadstofffreie Lasuren und Öle zu verwenden. Nach Bedarf kann das Parkett auch abgeschliffen werden. Dies empfiehlt sich vor allem nach dem Versetzen von Innenwänden, da das Parkett unter der alten Position der Wände ohne Sonneneinstrahlung anders altert als offenes Parkett.

Lehmputz:

Kleine Schäden in dem Lehmputz können durch Befeuchten der umliegenden Stelle und erneutes Abreiben oder Filzen mit anschließendem Schleifen behoben werden. Bei größeren Schäden kann identisch vorgegangen werden, jedoch muss die herausgebrochene Masse wieder mit Wasser angerührt werden oder eine neue Masse mit dem entsprechendem Putz zubereitet werden.

Löcher in Wänden und Decke:

Die Konstruktionen sind weitestgehend ungefährlich zu durchbohren oder durchnageln. Jedoch sind Leitungen und Rohre in Wänden und Decke. Diese sind jedoch alle, wie in 3.3 Baukonstruktion beschrieben, zu vermerken. Unter der Beachtung dieser Hinweise werden keine relevanten elektrischen Leitungen der Heizdecke oder Wasserleitungen beschädigt. Bei Entfernung einer Schraube oder eines Nagels ist wie in den vorherigen Punkten beschrieben umzugehen. Lediglich flächige Durchdringungen der dampfbremsenden Schicht sind bei und nach der Nutzung dampfbremsend abzukleben.

Reststücke des alten Parketts und Reste des Putzes sollten aufbewahrt werden, um Schäden oder Löcher der Innenwände zu bearbeiten.

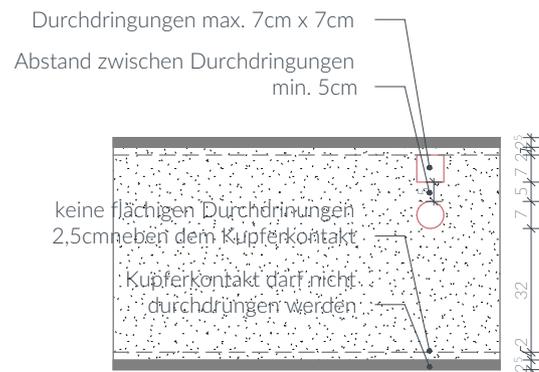


Abb. 153: Durchdringungsmöglichkeiten. Eigene Darstellung

M.: 1:20

3.6.2 Umbau & Sanierung

Allgemein:

Umbauten und Sanierungen sind innerhalb der 100 jährigen Lebensdauer hauptsächlich in Bereichen notwendig, welche aus Nachhaltigkeitsgründen in Eigenleistung ausgeführt werden können. Lediglich bei Sanitär- und Elektrikarbeiten ist Fachpersonal an manchen Punkten unabkömmlich.

Die genaue Lage der verlegten Heizdecke, der Leerrohre in den Böden und der Stromkabel ist, wie bereits erwähnt, dokumentiert und jeder Zeit zu berücksichtigen. Bei Bedarf soll auf sie zugegriffen werden können. Dafür muss häufig die dampfbremse Ebene durchdrungen werden. Für eine lange Lebensdauer der Bauteile sollte diese Durchdringung für Strom mit einer winddichten Hohlwanddose minimiert werden. Bei Leitungsanschlüssen in der Sohle sollten die entstehenden Lücken dampfbremsend verklebt werden. In beiden Fällen sollte beim Entfernen einer Hohlwanddose oder von Leitungen in der Sohle das zurückbleibende Loch dampfbremsend verklebt werden.

Innenwände:

Das Versetzen von Innenwänden ist durch das Bauen auf dem fertigen Fußboden und unter der fertigen Decke ohne Eingriffe in diese möglich. Dabei gibt es zwei Methoden Innenwände zu versetzen, welche in unterschiedlichen Szenarien unterschiedliche Vorteile haben. Bei dem Versetzten ist der Fußboden zu schützen.

1. Rückbau:

Die Wand wird rückgebaut. Dabei kann der Putz flächig auf den Lehmbauplatten bleiben und muss lediglich über den Befestigungen der Schrauben gelöst werden. Das Holzständerwerk kann dann von Decke und Boden gelöst werden und muss nur so weit wie möglich rück- oder umgebaut werden. An der neuen Position muss das umgebaute Holzständerwerk nach Unterlegen der Korkbahn mit den alten Kippdübeln, wie in 3.3.5 Innenwände beschrieben, befestigt werden. Darauf kann die Konstruktion mit

den Lehmbauplatten oder auch zusätzlich mit den Diagonalplatten beplankt werden. Danach müssen die Flächen ohne Putz, wie in 3.6.1 Pflege & Instandhaltung erklärt, nachgebessert und bearbeitet werden.

Methode 1. empfiehlt sich beim Versetzen von einer einzelnen Wand und ist die einzige Möglichkeit beim Versetzen in ein anderes Geschoss.

2. Verschieben:

Bei dieser Variante wird eine Konstruktion an beiden Seiten der Innenwand angebracht. Diese klemmt die Wand ein und kann sie mechanisch anheben. Dafür müssen die Kippdübel gelöst sein. Die Platzierung dieser ist angegeben und, je nach Anbringung, als überputzte Sacklochbohrung oder innenliegender Befestigung, mit einem kleinem Eingriff lösbar. Nachdem die Wand abgelöst ist, sorgt die Konstruktion durchgehend für Stabilität und sichert die Wand vor dem Umkippen. Um die Wand bewegen zu können, muss nun die Korkbahn zur Decke gelöst werden. Dann kann die Wand mechanisch bis zu einem Zentimeter gehoben werden. Die untere Korkbahn kann gelöst werden und die Wand somit frei durch das Geschoss geschoben werden. Muss die Wand auf die andere Seite des Unterzuges bewegt werden, kann die Vorrichtung bis zu 40° geneigt werden, um so die notwendige Höhe zu erreichen.

Die Befestigung an der neuen Position ist der gleiche Prozess, nur umgekehrt. Die Wand wird an ihre Position gebracht, eventuell wieder in die Vertikale ausgerichtet, und die untere Korkbahn wird untergelegt. Darauf wird die Wand auf diese Bahn abgelassen und die obere Bahn und seitliche Bahnen werden angebracht. Danach werden die Bohrungen gleich zu der alten Position gesetzt und die alten Kippdübel können mit dem untergelegten Kautschuk zum Entkoppeln angebracht und festgezogen werden. Die Konstruktion kann wieder abgenommen werden, und die entstandenen Löcher

in der Wand können, wie in 3.6.1 Pflege & Instandhaltung erklärt, nachgebessert werden.

Diese Methode empfiehlt sich bei einer wenig umzubauenden Wand oder einem großem Umbau.

Bei beiden Methoden müssen die durch die ehemalige Befestigung der Innenwände entstandenen Löcher bearbeitet werden. Diese sollten mit einem Kautschukstopfen luftdicht verschlossen werden, um darauf ein kleines Stück des original Parkettes mit dem bestehenden Parkett zu verleimen. Vor dem Schleifen des Parketts sollte dieses Stück auf die Ebene des Parketts abgestimmt werden.

In 3.3.5 Innenwände wird der Umgang mit Wänden unter der Dachschräge erklärt. Beim Versetzen dieser können auch die eben genannten Methoden entsprechend verwendet werden. Bei einem Versetzen an eine Position mit anderer Höhe wird der Schritt der Anpassung des oberen Teiles der Innenwand hinzugefügt. Dieser funktioniert durch die überstehenden Ständer jedoch genauso wie das Rück- oder Umbauen in der ersten, gerade genannten Methode.

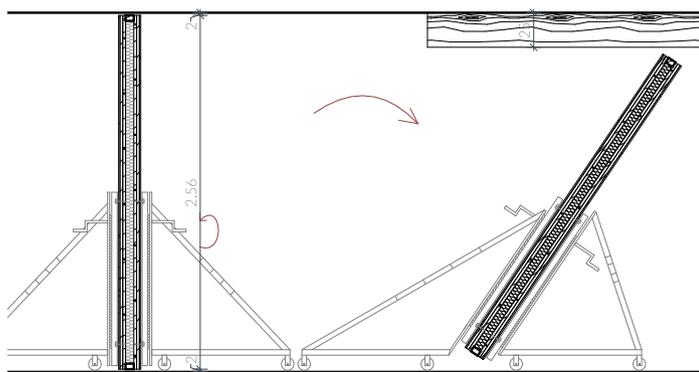


Abb. 154: Verschiebung Innenwand. Eigene Darstellung

M.: 1:50

Lüftung:

Die vorgefertigten Lüftungslöcher sind in dem Nutzungshandbuch dokumentiert, mit in 3.4.4 Luft beschriebenen Stopfen gefüllt und dampfbremmend verklebt. Bei einer Umgestaltung des Grundrisses kann es zu neuen Raumanordnungen kommen. Dabei kann die bestehende Positionierung der Lüftungssysteme nicht ausreichen oder übermäßig sein. Um dem entgegen zu wirken, können die Systeme versetzt werden. Meist sollten dabei genug Systeme und Stopfen verbaut sein, um diese gegenseitig zu versetzen. An der neuen Position der Systeme muss dafür die Putzschicht und die Lehmbauplatte durchdrungen werden, um dann den Stopfen zu entfernen und die Push-Pull-Lüftung einzusetzen. Um an das außenliegende Modul zu kommen, muss dafür bei versteckter Anbringung die Fassade geöffnet werden. Das zurückbleibende Loch an der alten Position ist mit einem Stopfen zu füllen, dampfbremmend abzukleben und dann mit einer Lehmbauplatte und Putz oder nur Putz an die bestehende Oberfläche anzugleichen und, wie in dem vorherigen Kapitel beschrieben, anzupassen. Wenn das außenliegende Modul die Fassade durchdrungen hat, muss auch dieses Loch mit Fassadenbrettern geschlossen werden.

Strom:

Um Steckdosen in der Außenwand zu verlegen oder zu ergänzen, muss der Putz, die Lehmbauplatte und die Diagonalplatte durchdrungen werden, um an den vorverlegten Flachkabelleitungen dahinter zu gelangen. Dann können winddichte Hohlwanddosen angebracht werden. Beim Verlegen muss das entstandene Loch dampfbremmend verschlossen werden, um anschließend verputzt und wie gewohnt an den umliegenden Putz angepasst zu werden. Bei dem Anbringen neuer Deckenleuchten können die vorhandenen in dem Putz unter der Decke verlegten Leitungen genutzt werden oder an diese angeschlossen werden. Es gilt den Unterputz flächig nur für 1 cm abzutragen. Punktuell gelten die gleichen Größen und Abstände zum Schutz der Heizdecke, wie in dem

vorherigen Kapitel gezeigt.

Die PV-Module werden in 100 Jahren mindestens einmal ausgetauscht werden müssen. Dabei ist es wichtig auf eventuelle Fortschritte der ökologischen Kollektoren zu achten und diese zu Nutzen.

Decken:

Das Versetzen von Decken für einen neuen Grundriss oder das Einbringen eines Hubliftes ist möglich, jedoch aufwendig. Bei einer Verlegung eines Treppenlochs oder dem Entfernen oder Verschieben eines Deckenmoduls müssen zuerst alle Leitungen darauf angepasst werden. Dabei kann es sein, dass neue Schächte in die Decken gebohrt werden müssen. Das Verlegen oder Entfernen eines Deckenmoduls ist dabei so individuell unterschiedlich, dass keine allgemeine Lösung gefunden werden kann. Durch die Modularität und den offenen Grundriss sind einem solchen Vorhaben kaum Grenzen gesetzt.

Sanitäreinrichtungen:

Nasszellen können nach Belieben wie gewöhnlich saniert werden. Für das Verlegen oder Neueinrichten einer Nasszelle oder Sanitär-einrichtung gelten folgenden Anforderungen:

Neue Positionen sind nur rund um die vorverlegten Leerrohre möglich. Dabei ist kein Leerrohr für eine Toilette verlegt. Das Einbauen anderer Sanitär-objekte muss nach ihren Anforderungen geschehen. Bei der Notwendigkeit einer wasserführenden Schicht, müssten Boden und Wände dementsprechend rückgebaut und ausgestattet werden. Beim Versetzen eines Raumes können die Schichten auch vorsichtig rückgebaut und an der neuen Position angebracht werden. Dabei ist die Dichtigkeit der wasserführenden Schicht nicht über die Wiederverwendung dieser zu setzen. Bei einem kompletten Neubau einer Nasszellen könnte die obersten Schichten der Böden und Wände und die wasserführende Schicht der ehemaligen Nasszelle nach Belieben belassen oder an die rest-

lichen Oberflächen angepasst werden.

Das Verlegen ist jedoch zu vermeiden oder mit möglichst viel Wiederverwendung auszuführen.

Das Versetzen oder Neueinbringen kleinerer Sanitär-objekte ist problemloser. Eine Küche oder ein Waschbecken können, den Leerrohren entsprechend, neu positioniert werden. Dafür muss das Parkett an der neuen Position durchdrungen werden, um an den offenbaren Teil der Hohlkastendecke zu gelangen. Danach kann an die darin vorbereitete Leitung angeschlossen und, falls das Loch in der Sohle ist, dies dampfbremsend verklebt werden. Bei dem Versetzen muss die ehemalige Stelle geschlossen und nach Bedarf dampfbremsend verklebt werden. Ein Stück des Originalparketts kann eingesetzt und zusammen mit dem gesamten Parkett abgeschliffen werden.

TEIL IV

KONZEPTHAUS

4.1 Grundstück	228
4.2 Entwurf - Inspiration und Grundsätze	231
4.3 Konzepthaus und Anpassungsvarianten	235
4.4 Lebenszyklusanalyse	244
4.5 Lebenszykluskostenanalyse	255
4.6 Soziale Bewertung	257

4 Konzepthaus

Der folgende Entwurf soll beispielhaft einen durchschnittlichen Haushalt in einem durchschnittlichen Gebäude widerspiegeln. Damit kann das Konzept erprobt und bilanziert werden. Durch die einheitlichen Maße und der Orientierung an Durchschnittswerten kann dieser Entwurf als Referenz benutzt werden. Er ist eine direkte Übersetzung des Konzeptes und kein individuell geplanter Entwurf. Folglich soll er zum Erproben und Referenzieren genutzt werden und nicht zum Kopieren oder entwurfstechnisch kritisieren.

Ziel ist es das Konzept in jeder Dimension (3.1-3.11) umzusetzen und das Resultat ökologisch und ökonomisch zu bilanzieren. Eine soziale Bilanzierung ist schwer möglich und wird deshalb durch eine formlose Bewertung umgesetzt.

4.1 Grundstück

Das für das Beispiel gewählte Grundstück soll einen Ort beschreiben, an dem nachhaltig EFHs gebaut werden könne. Dabei dürfen keine Splittersiedlung oder enge Ballungsräume als Option gesehen werden. Die besten Möglichkeiten zu bestehenden und für den Bau von EFHs ausgeschriebenen Flächen wurden in 1.2.3 Diskurs - EFHs, Flächen & Bauart erklärt. Das Konzept ist v.a. nachhaltig, wenn die Flächen ökologisch, damit hauptsächlich biologisch, aufgewertet werden. Eine Abwertung ist dringlichst zu vermeiden.

Für das Konzepthaus wurde ein Grundstück in Trittau gewählt. Trittau ist eine Gemeinde mit knapp 10.000 Einwohner:innen (Statistikamt Nord 2025). Sie liegt 30km östlich von Hamburg (siehe Abb. 155) und ist innerhalb von einer Stunde mit dem öffentlichen Nahverkehr erreichbar. Die Gemeinde hat ein für seine Größe ein enormes Angebot an Bildungseinrichtungen. Auch Freizeiteinrichtungen für alle Generationen sind vorhanden. Arbeitsplätze gibt es im primären, sekundären und tertiären Wirtschaftssektor. Folglich ergibt sich kein zwingender Pendelbedarf.

Wie auf dem B-Plan (siehe Abb. 156) zu erkennen ist, ist die Umgebung von EFHs geprägt. Das ausgewählte Grundstück liegt jedoch in einem Mischgebiet und erlaubt mehrere Wohneinheiten. Diese Parameter werden wichtig, um eine Flexibilität zu gewährleisten. Das Haus darf in zwei getrennte Wohneinheiten getrennt werden, und es dürfen nicht wesentlich störende Gewerbe geführt werden. Die nähere Umgebung ist ein lockeres und etwas durchmischtes Wohngebiet (siehe Abb. 157).



Abb. 155: Schwarzplan Trittau. Eigene Darstellung. Basierend auf: Bilhöfer o.J.

M.: 1:2.000



Abb. 156: Ausschnitt B-Plan Trittau NR. 39,1. Gemeinde Trittau 2006

Maßstabslos

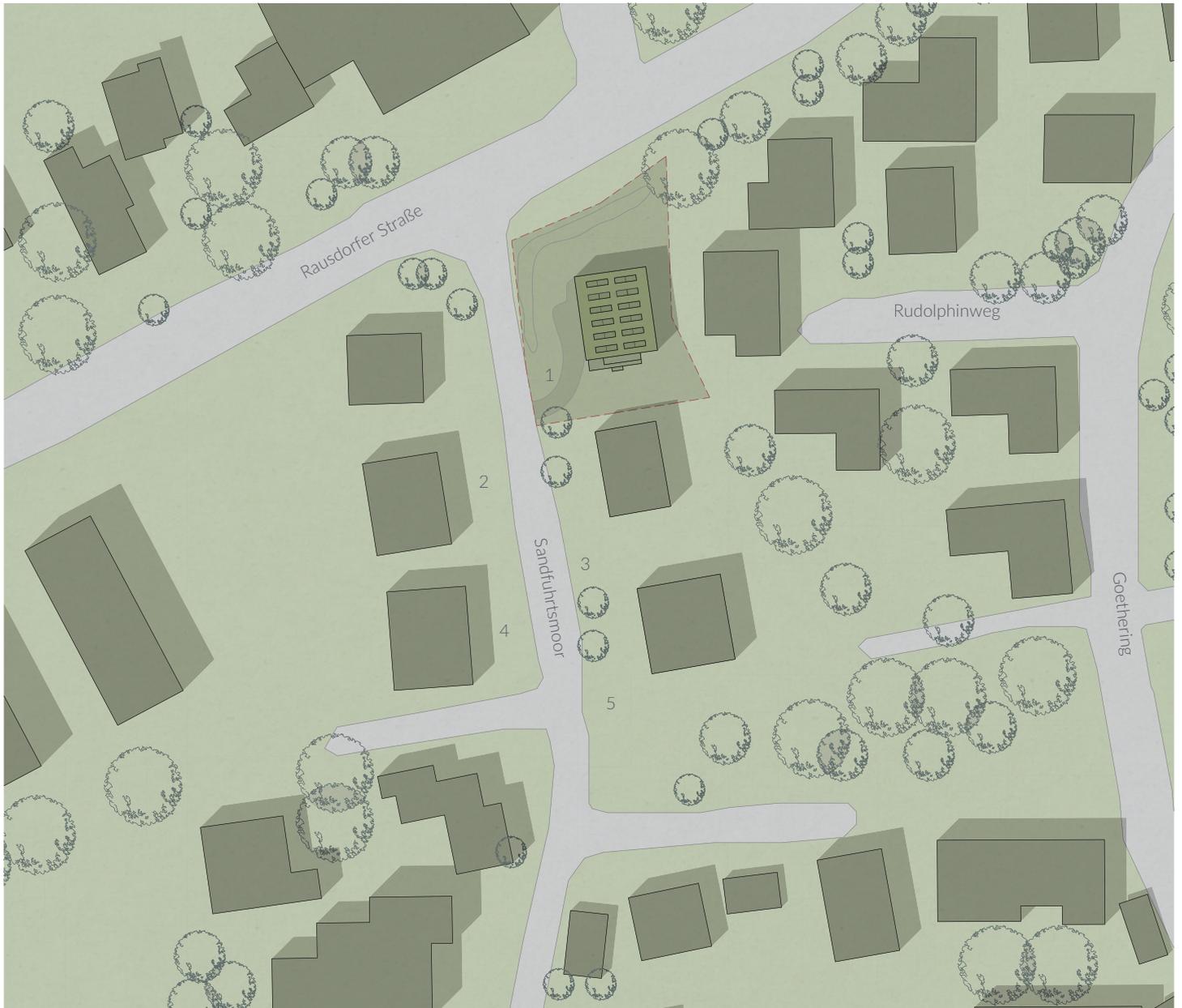


Abb. 157: Lageplan. Eigene Darstellung. Basierend auf: Bihöfer o.J.; Google Earth 2024

4.2 Entwurf - Inspiration und Grundsätze

Um eine allgemeine Anerkennung der Grundrisse und keinen subjektiven Geschmack zu repräsentieren, wird einen beispielhaften Entwurf gewählt und mit Umnutzung Szenarien erweitert. Dieser muss, um den Grundsatzkriterien zu entsprechen, leicht abgewandelt oder aufgrund von verschiedenen ausgerichteten Grundstücken gespiegelt oder gedreht werden. Jedoch ist das Ziel, die Grundstruktur und den Kern des Entwurfgedankens dabei nicht zu verlieren, sondern ihn für eine Entwicklung eines allgemein als gut empfundenen Grundrisses zu verwenden.

Damit ist der Entwurf kein Beispiel für das individuelle Entwerfen eines Gebäudes für seine neuen Bewohner:innen. Eigentlich soll das Konzept verwendet werden, um Familien oder anderen Personengruppen ihren Wunsch nach einem alleinstehenden Haus individuell und nachhaltig zu erfüllen.

Das folgende Beispiel ist eine Art Referenzhaus und eine schematische Sammlung von verallgemeinerten Beispielen für die Anwendung und Vergleichbarkeit des Konzeptes.

Neufertentwurf als Grundlage

Das Neufert Haus stammt aus dem Jahr 1929 und ist ein revolutionäres Konzept. Inspiriert durch die amerikanische Bauweise entwirft Neufert ein größtenteils vorproduzierbares, in Serie baubares Einfamilienhaus mit einem kleinen Einliegerbüro. Dafür ist der Grundriss nicht individuell angepasst, sondern ein Entwurf, der aus Neuferts Forschung und Erfahrung hervorgeht. (Neufert Stiftung o.J.)

Diese liegen jedoch fast ein ganzes Jahrhundert in der Vergangenheit. Es müssen kleinere Anpassungen vorgenommen werden, um den Grundriss für das Konzept zu optimieren. Die großen Anpassungen sind dabei das Wegfallen des Kellergeschosses und der Kamine und das Umwandeln des Walmdaches in ein Pultdach. Kleinere bauliche Anpassungen sind das Einfügen einer zentralen Stütze und Unterzügen und eine Anpassung der Fenster. Des

Weiteren werden kleinere Eingriffe in den Grundriss vorgenommen, um ihn an heutige Standards anzupassen. Ein großer Eingriff ist das Auslassen des Kellers. Die Grundlage dafür wurde in 1.3.1 Ökologische Nachhaltigkeit erklärt. Des Weiteren bot der Keller im Neufert Haus ein Lager für Nahrung und Kohle, eine Garage und das Zimmer für ein Hausmädchen (Zechlin 1931, 167). Diese Bestandteile müssen und sollten nicht mehr in einem Grundriss benötigt werden. In den folgenden Abbildungen (158, 159, 160) sind die Grundrisse und eine Ansicht des Gebäudes und seiner damaligen Einrichtung zu sehen.

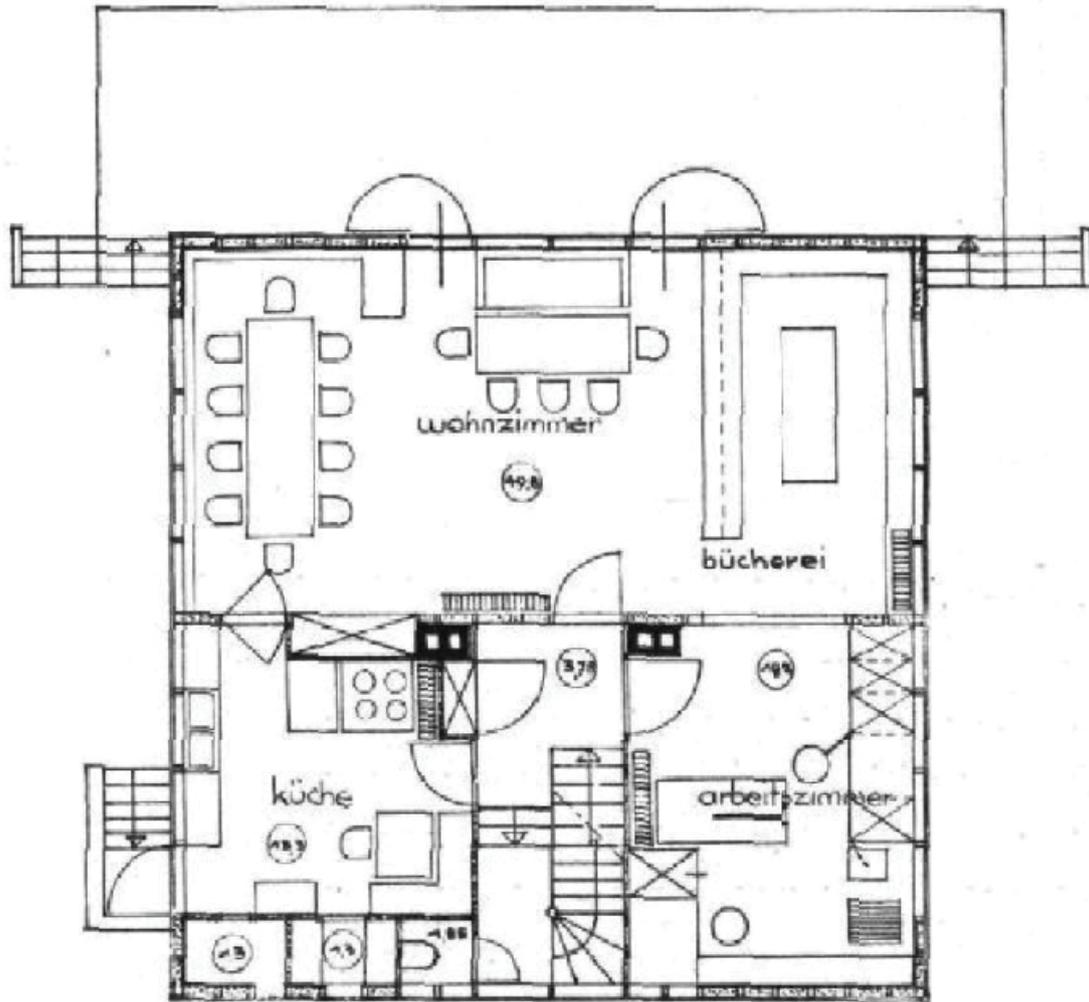


Abb. 158: Grundriss EG Haus Neufert, Zehlin 1931, 167

M.: 1:200

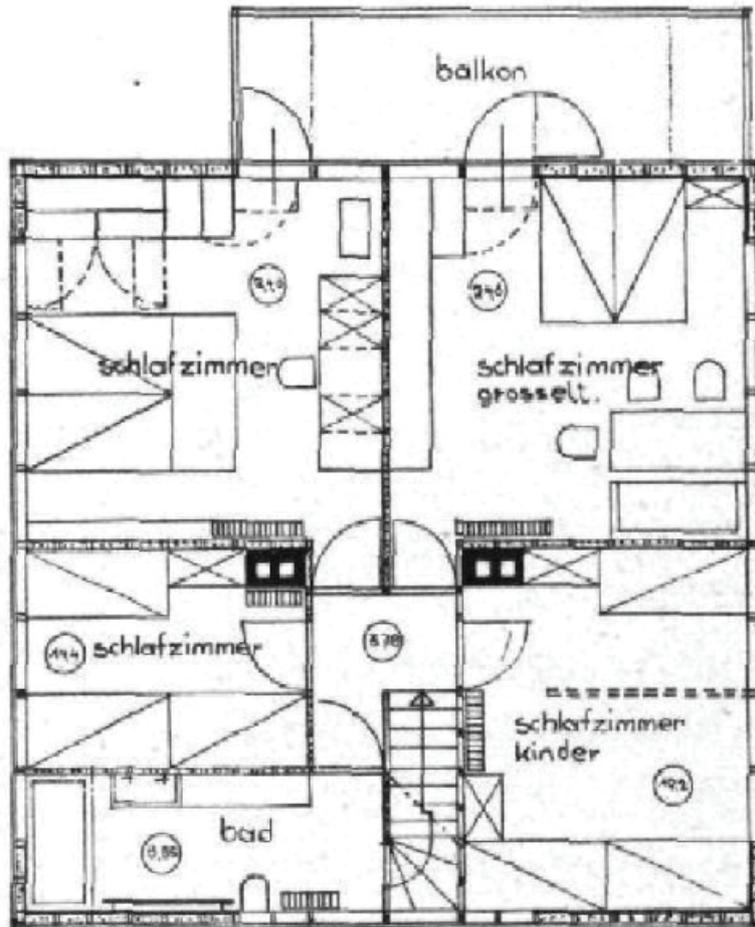


Abb. 159: Grundriss OG Haus Neufert. Zechlin 1931, 167

M.: 1:200



Abb. 160: Ansicht Ost Haus Neufert. NeufertStiftung o.J.

M.: 1:200

4.3 Konzepthaus und Anpassungsvarianten

Auf der Grundlage der Raumaufteilung und des Gesamtbildes des Neufert Hauses wurde unter Berücksichtigung des Konzeptes ein EFH entworfen. Dabei wird die in Teil II häufig verwendete BGF von 200m^2 überschritten. Das entsteht durch den Entwurf von Neufert und dicken Außenwandaufbauten. Die Idee eines Einliegerbüros oder Arbeitszimmer wurde auch übernommen. Damit wird der durchschnittliche Wohnflächenbedarf für 4 Personen unterschritten. Es ergeben sich $10,56 \times 11,08 = 234\text{m}^2$ BGF, vergleichbar mit in 2.1.3 Gesetzte Faktoren beschriebenen Durchschnittsgröße und der Berücksichtigung eines zusätzlich integrierten Büros.

Um die Flexibilität des Grundrisses beispielhaft zu beweisen, werden Änderungsszenarien erstellt (siehe Abb. 167 - 170). Diese sind, wie der gesamte Entwurf, nicht als realistische Entwurfsidee zu sehen, sondern dienen der allgemeinen und beispielhaften Bilanzierung. Ohne das Miteinbeziehen eventueller Änderungen wäre eine Lebenszyklusbetrachtung irreführend, da das Konzept in Teilen durch Änderungsmöglichkeiten begründet wurde. So sind die vorverlegten Leitungen und die verschiebbaren und kreislaufgerechten Innenwände, v.a. bei vielen Änderungen, ein deutlicher Vorteil gegenüber gängigen Systemen.

Sie zeigen auf, wie auch das Potential des Grundstückes durch seine Lage in einem Mischgebiet genutzt werden kann. So sind die folgenden Szenarien bei der Lage vieler EFHs nicht möglich.

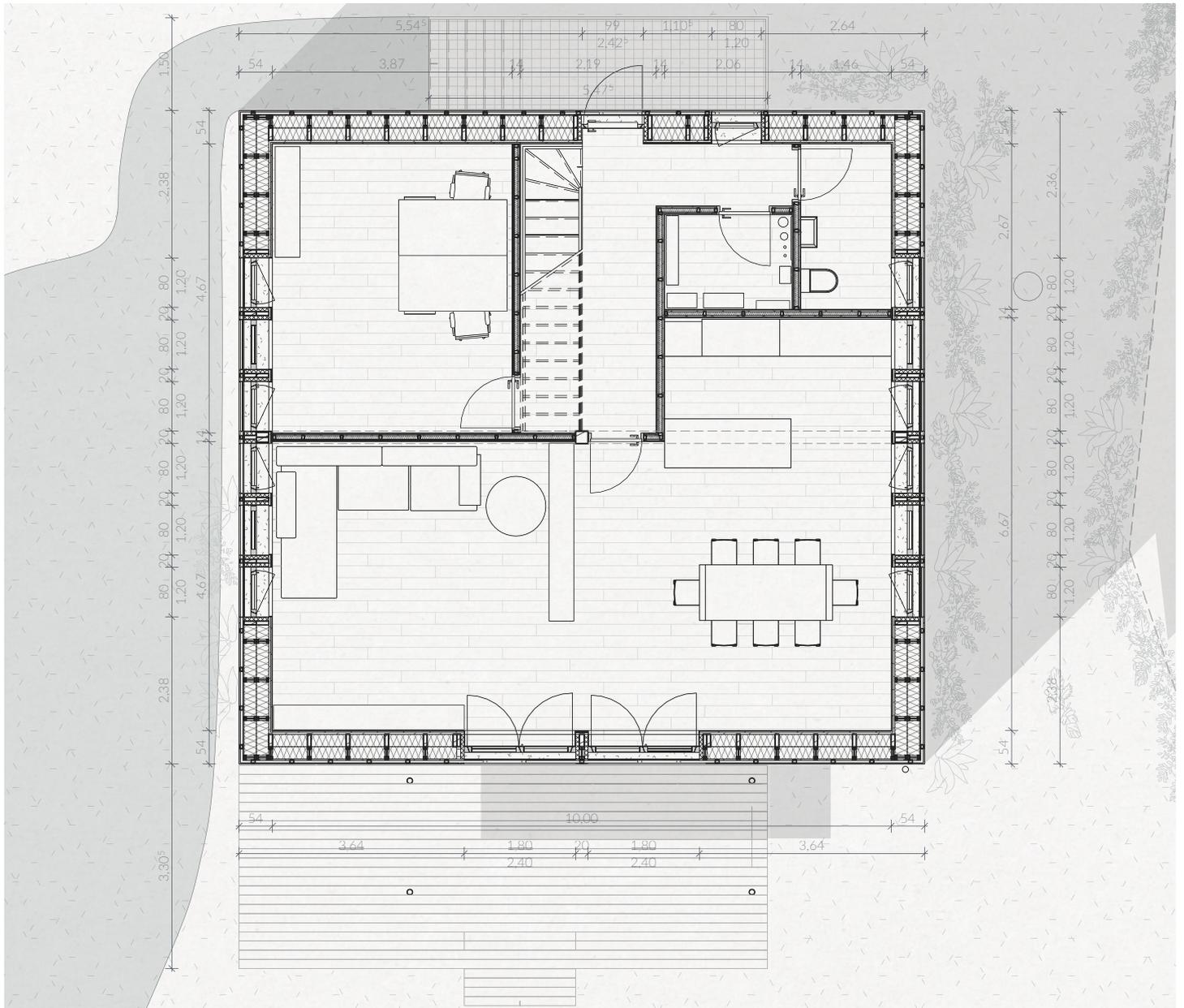


Abb. 161: Grundriss EG Konzepthaus. Eigene Darstellung

M.: 1:100

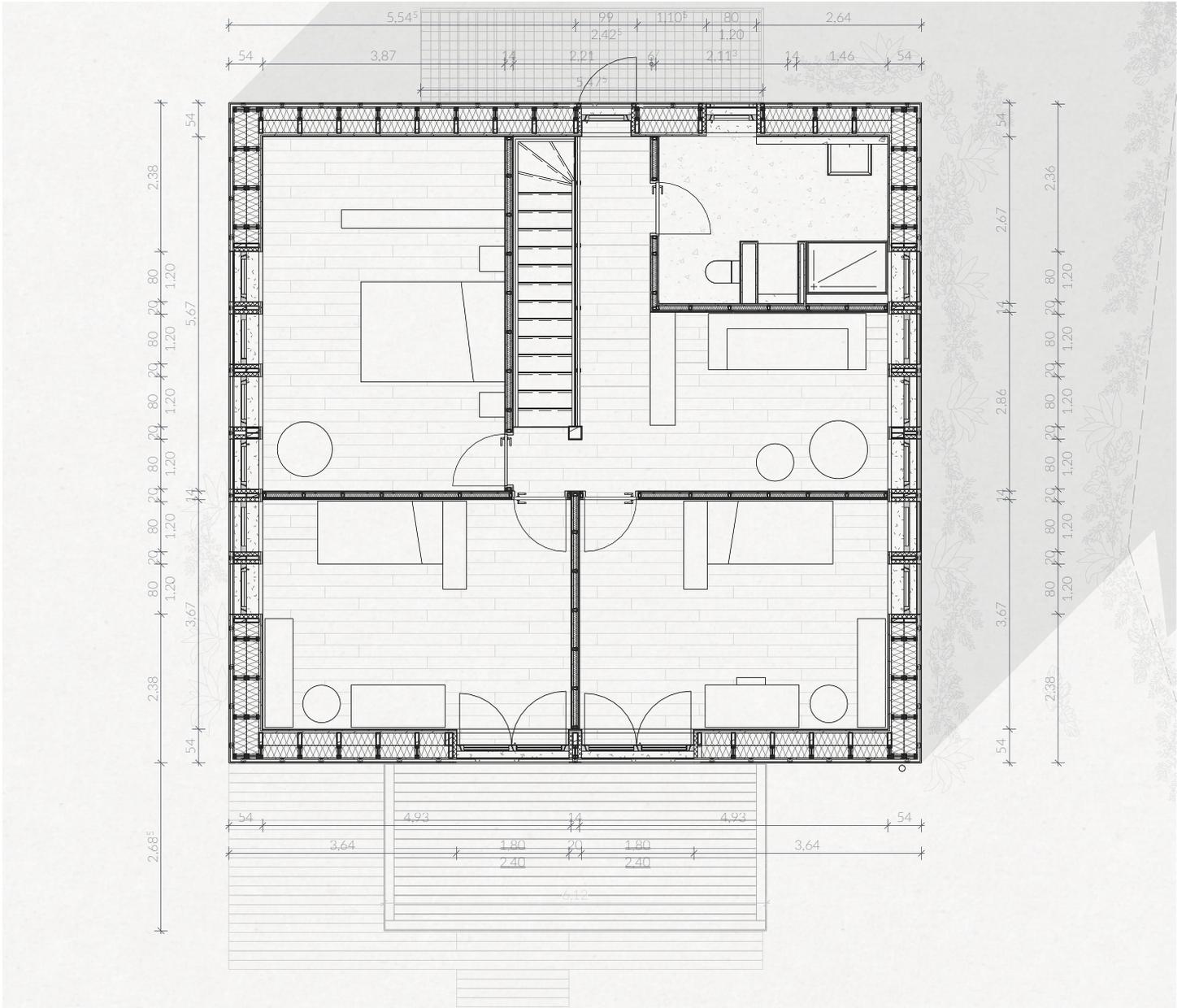


Abb. 162: Grundriss OG Konzepthaus. Eigene Darstellung

M.: 1:100

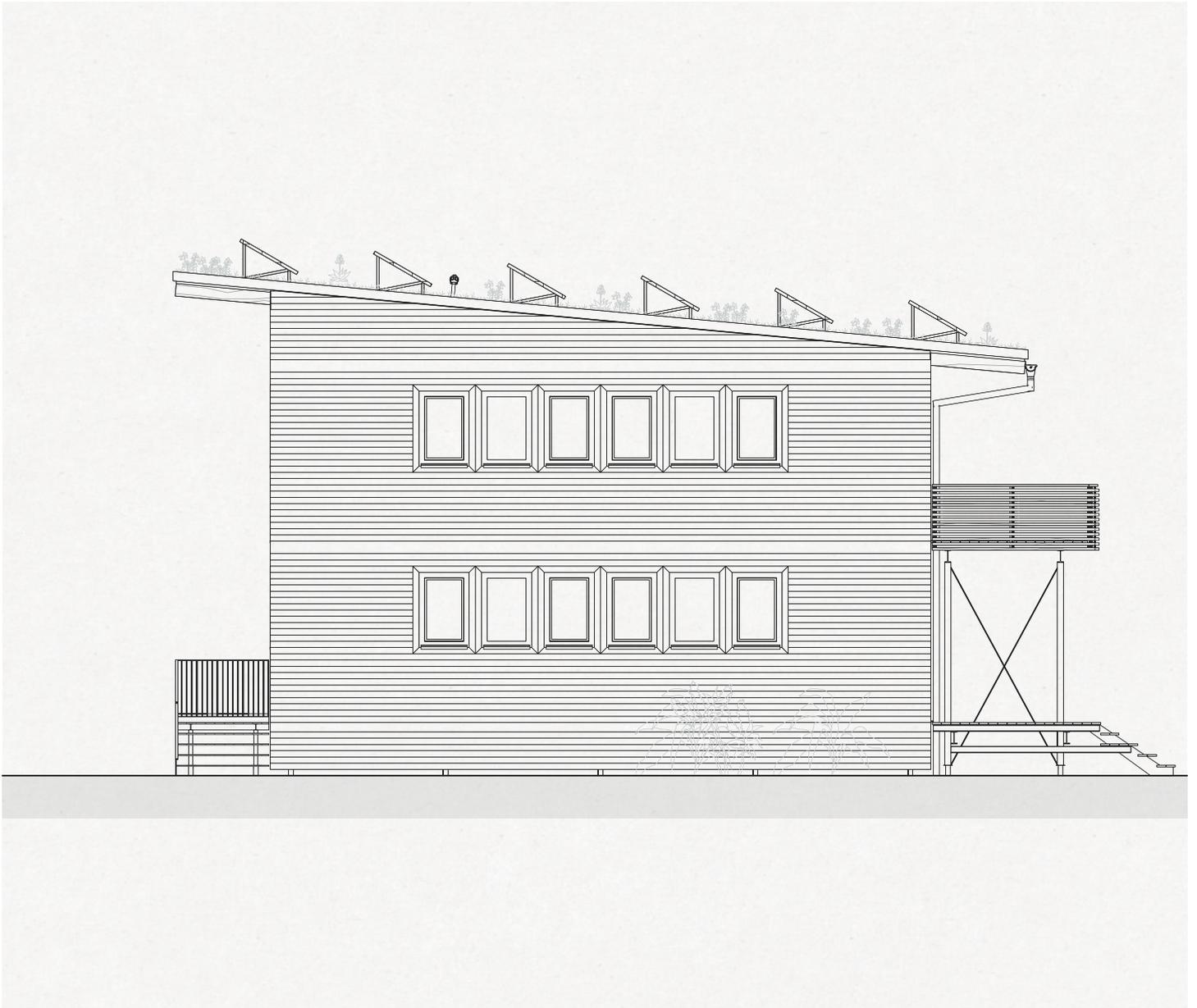


Abb. 163: Ansicht West. Eigene Darstellung

M.: 1:100



Abb. 164: Ansicht Nord. Eigene Darstellung

M.: 1:100

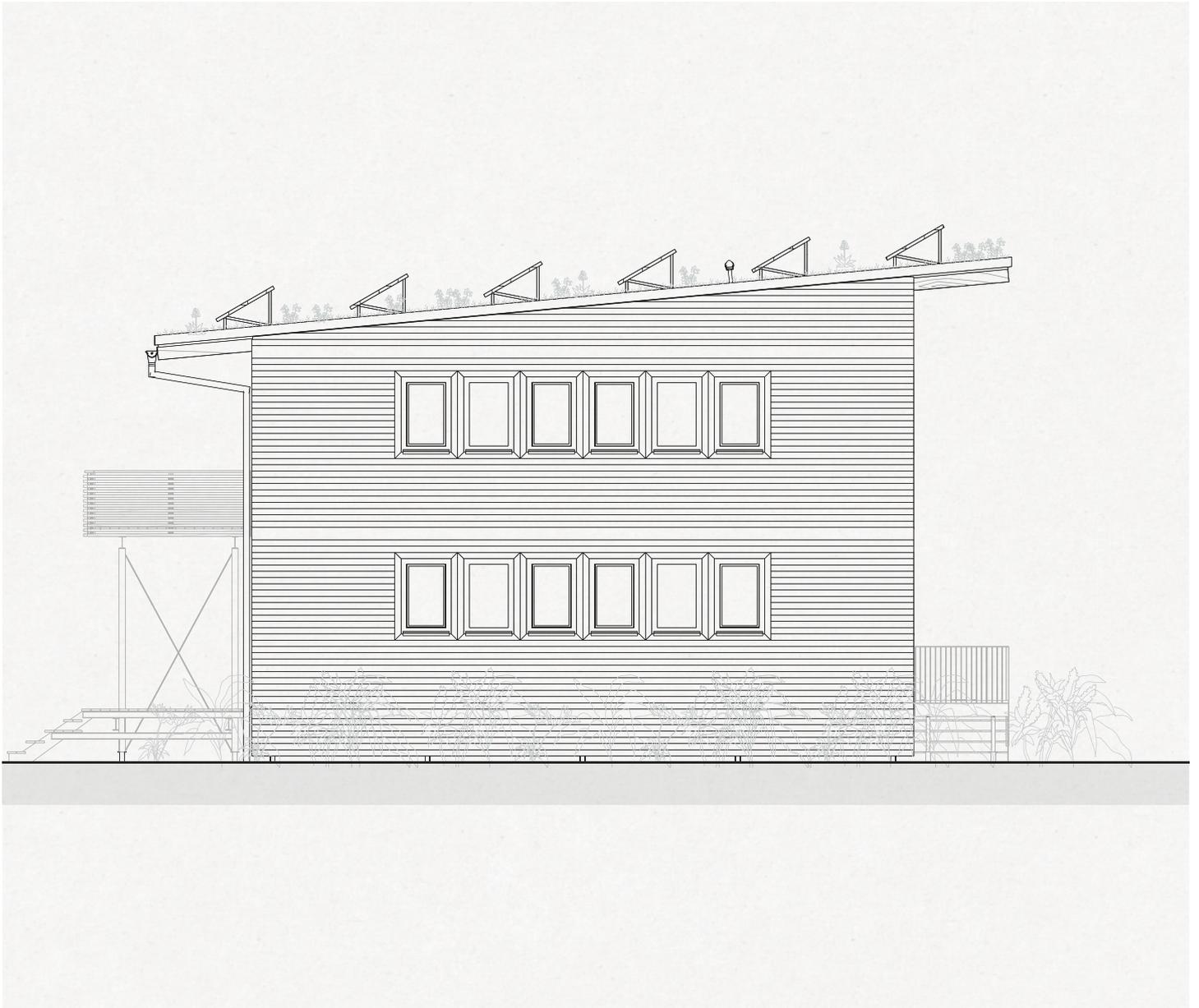


Abb. 165: Ansicht Ost. Eigene Darstellung

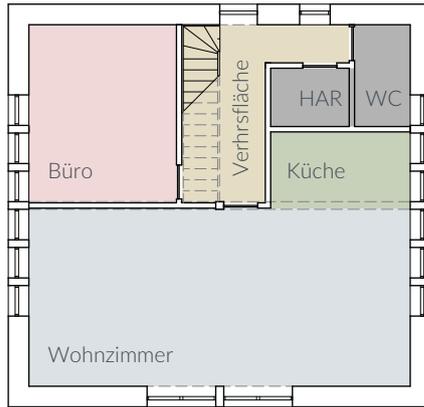
M.: 1:100



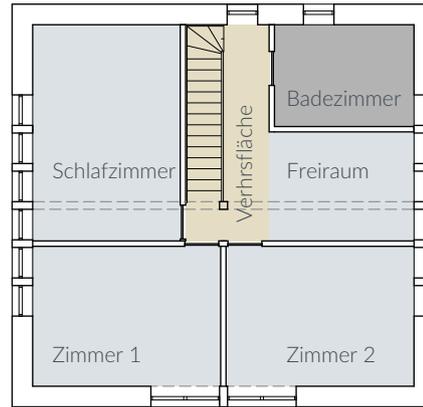
Abb. 166: Ansicht Süd. Eigene Darstellung

M.: 1:100

Ausgangsszenario



Erdgeschoss



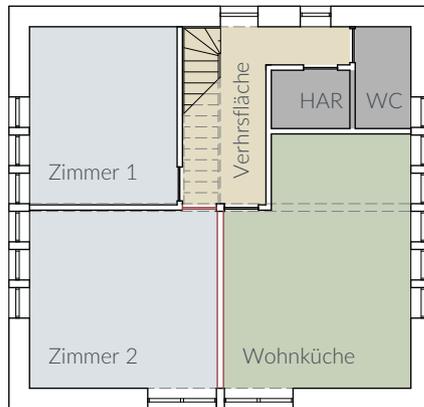
Obergeschoss

- Bestand
- Neubau
- - - Abriss

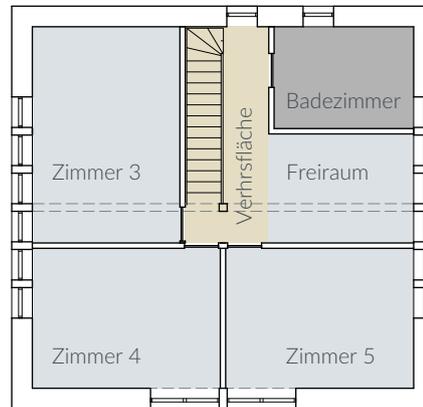
Abb. 167: Grundrisschema Ausgangsszenario. Eigene Darstellung

M.: 1:200

Szenario 5er WG



Erdgeschoss



Obergeschoss

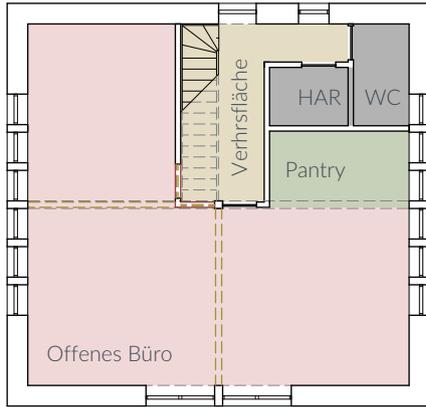
- Umbauten:
 1 neue Tür
 4,65m neue Innenwand

- Bestand
- Neubau
- - - Abriss

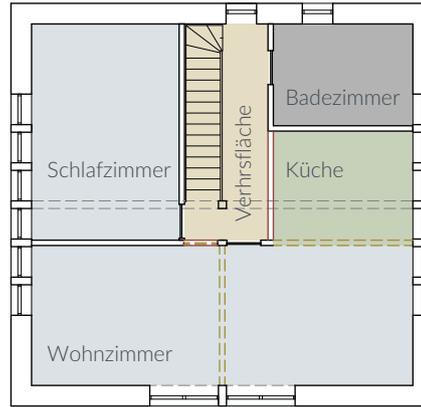
Abb. 168: Grundrisschema Szenario 5er WG. Eigene Darstellung

M.: 1:200

Szenario Büro + 1WE



Erdgeschoss



Obergeschoss

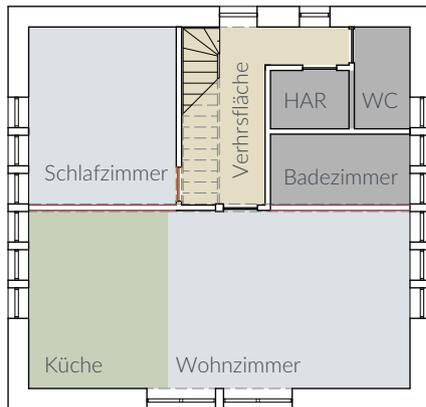
Umbauten:
 3 ausgebaute Türen
 8m abgerissene Innenwand
 7,5m verschobene Innenwand
 neue Küche

— Bestand
 — Neubau
 - - - Abriss

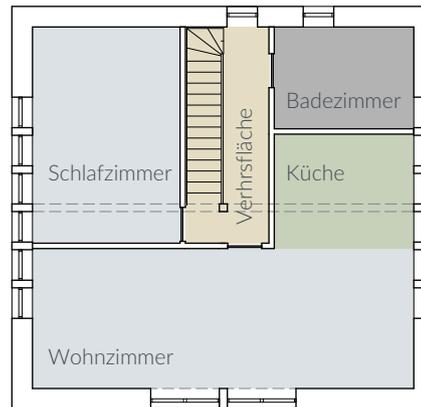
Abb. 169: Grundrisschema Szenario Büro + 1WE. Eigene Darstellung

M.: 1:200

Szenario 2WE



Erdgeschoss



Obergeschoss

Umbauten:
 1 neue Tür
 7,5m neue Innenwand
 Küche versetzt
 neues Badezimmer

— Bestand
 — Neubau
 - - - Abriss

Abb. 170: Grundrisschema Szenario 2WE. Eigene Darstellung

M.: 1:200

4.4 Lebenszyklusanalyse

Auf EU Ebene wird dem Problem der negativen ökologischen Auswirkungen der Baubranche mit hohen Investitionen begegnet. Diese Investitionen sollen helfen, das Ziel, 2050 einen Netto CO₂-Ausstoß von 0 zu haben, einzuhalten. Dabei fließen Geld und Bemühungen in Ressourceneffizienz, zirkuläre Wirtschaftsmodelle und besseres Management der Baumaterialien. Dafür sind Methoden wie die Lebenszyklusanalyse und damit eine Bilanzierung von benötigter Energie, ausgestoßenem CO₂ und verwendeten Materialien notwendig. (European Commission 2024)

In dieser Arbeit wird eine Lebenszyklusanalyse (LZA) im Sinne der DIN EN 15978 erstellt. Das Konzept versucht mit Wiederverwendbarkeit und Kreislaufgerechtigkeit möglichst nachhaltig zu sein. Diese Punkte werden in dem Lebensabschnitt D der Baustoffe berücksichtigt. Diese sind jedoch szenarien- und herstellerspezifisch und nicht auf einzelne Projekte übertragbar. Des Weiteren gibt es nicht zu allen Baustoffen ein EPD und häufig keine Varianten und Szenarien für den Lebensabschnitt D. Hier müsste also für eine realistische Wiedergabe der Vorteile dieses Konzeptes jeder wichtige Baustoff mit dem entsprechenden Szenarien versehen werden. Beispielsweise ist das verbaute KVH zum Großteil wiederverwendbar. Lehm ist nahezu unendlich recyclebar. Parameter wie diese können im Rahmen dieser Arbeit jedoch nur nach der Ergiebigkeit des ÖKOBAUDATs berücksichtigt werden.

Wie beschrieben werden für die Entwicklung einer Lebenszyklusanalyse oder anderen Bilanzierungen und Zertifikaten das ÖKOBAUDAT des BBSR als Datenbasis zur Verfügung gestellt. Anhand dessen kann man mit dem von BBSR erstellten Portal eLCA und den darin hinterlegten Bauteilvorlagen eine LZA erstellen. Da die Inhalte und Daten den Anforderungen der DIN EN 15804 entsprechen sind die Ergebnisse aus Berechnungen mit diesen für das BNB nutzbar. (BBSR 2023b)

In der Datenbank zur Erstellung des eLCAs ist für die Nutzungs- und Lebensdauer meistens nur ein minimaler Wert gegeben. Mit

der Konstruktionsweise des Konzeptes wird versucht, die Lebensdauer des statischen Systems und der wärmedämmenden Hülle zu optimieren. Nur die Schichten nach innen und außen müssen gepflegt und saniert werden. Des Weiteren gilt es die in Umbaumaßnahmen benötigten Bauteile zu addieren. Es folgt eine tabellarische LZA der KG300. Für die Berechnungen wurden Daten aus dem ÖKOBAUDAT und für die Lebensdauer mancher Bauteile die Vorgaben nach BNB verwendet (BBSR 2023a; BBSR 2011). Gerade die Szenarien für den Lebensabschnitt D und die Berücksichtigung einer Wiederverwendung wird in vielen Fällen noch nicht in ÖKOBAUDAT wiedergespiegelt. Folglich werden im Verlauf die Umweltauswirkungen teilweise bei Recycling mit 50% angerechnet und bei Wiederverwendung mit 25%. Das entspricht ca. den Werten, die Materialien im ÖKOBAUDAT erreichen, wenn sie beschriebene Szenarien für D erfüllen. Um die, wie in 2.2.4 Dämmstoffeffizienz beschrieben, in Frage gestellte Anrechenbarkeit eines negativen Wertes beim CO₂e darzustellen, wird für das CO₂e ein zweiter Wert berechnet. Für diesen wird eine Zehntel des negativ anrechenbaren Wertes positiv angerechnet. Bestandteile der KG400 werden auch aufgeführt, aber nicht bilanziert. Alle Berechnungen können im Anhang 2 nachvollzogen werden.

Pflege oder Austausch notwendig

Bauteilliste	Kommentar	Summe	Einheit	Austausch in 100a	Pflege in 100a
Lehmunterputz		3,8	m ³	1	
Lehmoberputz		2,7325	m ³	1	3
Puzzonlan Kalk		0,25	m ³	1	
Holzfassade	Dicke: 2cm	265	m ²	1	3
Terassendielen	Dicke: 3cm Breite: 14,5cm	310	lfm	3	3
Parkett	Dicke: 2cm	180	m ²		4
Dreh Kipp Fenster (Holz-Alu)	80cm x 120cm	18		1	
Festverglastes Fenster (Holz-Alu)	80cm x 120cm	8		1	
Dreh Kipp Fenster (Holz-Alu)	80cm x 240cm	1		1	
Doppelflügelige Terrassentür (Holz-Alu)	180cm x 240cm	4		1	
Innentür (Holz)	86cm x 198,5cm	8		1	
Einganstür (Holz-Alu)	101cm x 240cm	1		1	

Zusätzliche Baustoffe durch Umbauten

Bauteilliste	Kommentar	Summe	Einheit
Innentür	86cm x 198,5cm	2	
12,5m neue Innenwand:			
KVH 60x40	6cm x 4cm	77	lfm
Holzfaserdämmmatte	Dicke: 6cm	29	m ²
Diagonalplatten	Dicke: 2cm	65	m ²
Lehmbauplatte	Dicke: 2cm	65	m ²
Lehmoberputz		0,65	m ³

Kein Austausch notwendig & größtenteils recyclebar

Bauteilliste	Kommentar	Summe	Einheit
EPDM Bahn	Dicke: 1,5mm	160	m ²
Gründachsubstrat		11,5	m ³
Dachrandprofil		52	lfm
Schaumglas	Dicke: 2cm	0,04	m ²
Nut- und Federbretter diffusions-offen	Dicke: 2cm	480	m ²
Siebdruckplatte	Dicke: 2cm	160	m ²
Diagonalplatten	Dicke: 3cm	208	m ²
Diagonalplatten	Dicke: 2cm	263	m ²
Hanf- Lehmschüttung	in Hohlkastendecken	7	m ³
Holzfaserdämmmatte	Dicke: 20cm	760	m ²
Holzfaserdämmmatte	Dicke: 6cm	145	m ²
Holzfaserdämmplatte	Dicke: 2,5cm	4	m ²
Holzfaserdämmplatte	Dicke: 6cm	25	m ²
Korkbahn	Dicke: 5mm	185,5	m ²
Korkbahn	Dicke: 10mm	17,5	m ²
Korkbahn	Dicke: 20mm	13	m ³
Spanplatte (Hohlkastendecek	Dicke: 2,5cm	188	m ²
Spanplatte (getrennte Ständer)	Dicke: 0,5cm	54,4	m ²
Lehmbauplatte	Dicke: 2cm	263	m ²
Lehmbauplatte	Dicke: 3cm	181	m ²

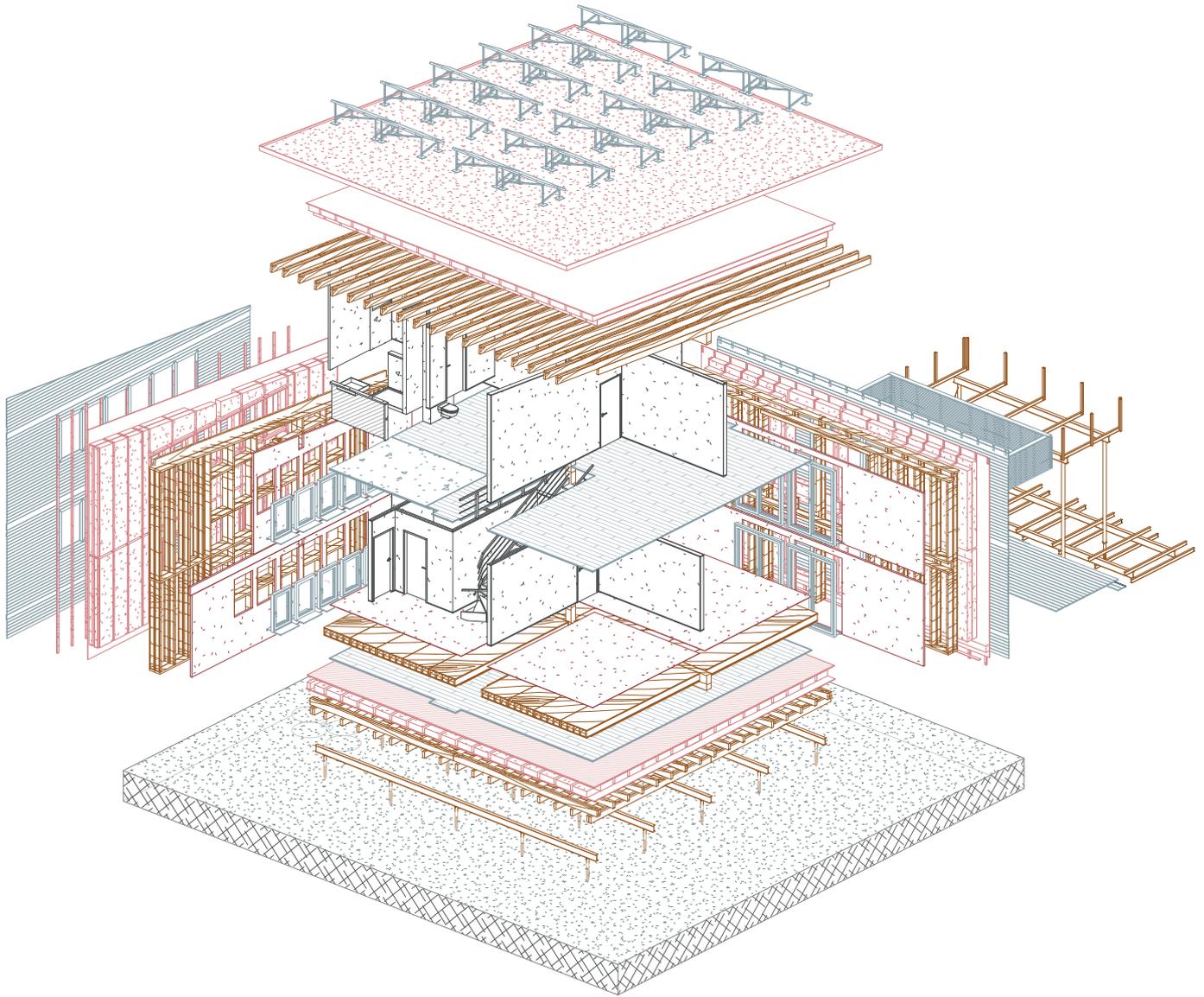
Kein Austausch notwendig & größtenteils wiederverwendbar

Bauteilliste	Kommentar	Summe	Einheit
KVH 60x40	6cm x 4cm	1850	lfm
KVH 60x60	6cm x 6cm	64	lfm
KVH 80x40	8cm x 4cm	12	lfm
KVH 200x60	20cm x 6cm	1200	lfm
KVH 200x100	20cm x 10cm	9	lfm
KVH 200x50	20cm x 5cm	475	lfm
KVH 200x200	20cm x 20cm	5,5	lfm
KVH 200x475	20cm x 45cm	21	lfm
IPE 100	8,1kg pro m	60	lfm
IPE 200	22,4kg pro m (evt. Teilweise HEB200 ntw.)	81	lfm
HEB 60	7,9kg pro m	11,5	lfm
10cm Rundprofil	22 kg prom	12	lfm
Schraubfundamente	ca. 24kg im Schnitt	33	

Summiert und auf die Lebensdauer und Pflege angepasst

Baustoffliste	Kommentar	Summe	Einheit
Lehmunterputz		7,575	m ³
Lehmoberputz		6,115	m ³
Puzzonlan Kalk		0,5	m ³
Holzfassade	Dicke: 2cm	530	m ²
Terassendielen	Dicke: 3cm Breite 14,5cm	1240	lfm
Lasur	(Pflege der Terasse und Fassade)	1239,8	m ²
Parkett	(Pflege nicht aufwendig wie bei Terasse und Fassade)	180	m ²
Fenster (Holz-Alu)		88,32	m ²
Innentür (Holz)		30,7278	m ²
Eingangstür (Holz-Alu)		4,848	m ²
EPDM Bahn	Dicke: 1,5mm	160	m ²
Schaumglas	Dicke: 2cm	0,04	m ²
Nut- und Federbretter diffusions-offen	Dicke: 2cm	480	m ²
Siebdruckplatte	Dicke: 2cm	160	m ²
Diagonalplatten	umgerechnet auf Dicke: 2cm	575	m ²
Lehmpulver	Hälfte der Hanf Lehmschüttung	3,5	m ³
Hanf Jute Dämmung	Hälfte der Hanf Lehmschüttung	3,5	m ³
Holzfaserdämmmatte	Addiert in m ³	160,7	m ³
Holzfaserdämmplatte	Addiert in m ³	1,6	m ³
Korkmatte	Addiert in m ³ für berechnung in 8mm Dicke	1,3625	m ³
Spanplatte	Addiert in m ³	4,972	m ³
Lehmbauplatte	Addiert in m ³	10,69	m ³
KVH	Addiert in m ³	26,1488	m ³
Stahl	Addiert in kg	3447,25	kg
Gesamt			
Gesamt angepasst			

Umrechnung& Anpassung	Einheit	GWP(total) [kg CO2e]	Energien(PETR+PENTR) [kWh]	WDP [I]	FW [I]
15150	kg	-6,51	-3.049,47	24.225,46	3.577,11
11618,5	kg	-452,78	-22.110,02	-1.234,12	10.328,21
0,25	m³	53,16	1.594,78	1.785,18	72,34
10,6	m³	-3.044,48	84.301,92	-97.054,83	-7.643,43
5,394	m³	-1.549,24	42.898,55	-49.388,09	-3.889,50
1239,8	m²	1.101,02	52.538,63	382.977,07	10.789,15
180	m²	1.475,21	317.512,70	5.251,87	5.251,87
88,32	m²	6.127,64	597.155,19	2.034.926,36	73.140,97
30,7278	m²	1.073,60	138.676,56	283.715,00	8.159,07
4,848	m²	352,26	34.667,37	157.210,65	5.810,00
80	m²	1.075,24	60.921,61	69.380,07	3.265,83
6,6	kg	0,91	16,35	74,21	1,97
9,6	m³	-2.757,26	76.348,91	-87.898,71	-6.922,35
3,2	m³	1.029,64	287.219,70	3.901,38	3.901,38
11,5	m³	-3.302,97	91.459,63	-105.295,33	-8.292,40
3850	kg	1.381,33	22.502,53	5.037,88	396,11
3,5	m³	140,81	-5.753,95	17.295,66	254,40
80,35	m³	875,53	281.152,04	33.398,63	33.398,63
0,8	m³	-11,92	7.746,41	1.041,85	1.041,85
170,3125	m²	111,07	48.642,73	270.884,20	3.936,80
2,486	m³	-116,60	166.748,31	536.644,96	14.413,72
10,69	m³	-503,79	-84.463,28	-13.071,42	-3.219,67
6,5372	m³	-2.289,43	130.419,04	83.928,43	224,92
3447,25	kg	5.450,87	275.085,39	393.258,51	17.904,16
		6.213,31	2.602.231,62	3.950.994,86	165.901,14
		21.651,80			



— 100a Lebensdauer & größtenteils wiederverwendbar

— 100a Lebensdauer & größtenteils recycelbar

— <100a Lebensdauer & pflegebedürftig

— Innenausstattung, variierende Lebensdauer

Abb. 171: LZA Konzepthaus. Eigene Darstellung

KG 400

Bauteilliste	Kommentar	Summe	Einheit
Solarpanele mit Unterkonstruktion		24	
Wechselrichter		1	
Kabel		50	m
Batterie 20kWh		1	
Regenrinne		11	m
Fallrohr		7	m
Abwasserrohre (DN100)		25	m
Abwasser- und Grauwasserrohre (DN50)		50	m
Trink- und Nutzwasser Kupferrohr		60	m
Trink- und Nutzwasser Ummantelung		60	m
Frischwasser Zuleitung Grundstück		20	m
Grauwassertank 5m ³ mit Filter		1	
Netzteil PRO TT 3200W (10 Heizkreise)		1	
Akku Thermostat		10	
Digitaler Heiz Controler		1	
Zuleitung Heizflies (gut recycelbar)		600	
CARBON FLEEC 60cm x 100cm (36W)		78	m
Durchlauferhitzer		3	
Haushalts Strom - Flachkabel		120	m
Haushalts Strom - Leerrohr		120	m
Strom Zuleitung Grundstück		20	m

Heizlast und PV-Anlage

Die Heizlast für das Gebäude kann sehr genau berechnet werden. Der benötigte Haushaltsstrom und der für Warmwasser benötigte Strom wurde hier wie in 2.2.2 PV-Gewinne x Heizlast mit Durchschnittswerten berechnet. Es ergibt sich eine notwendige Fläche mit PV-Modulen von ca. 135m². Diese auf einem 160m² großem Dach umzusetzen, ist nicht möglich. Des Weiteren ist hier wieder die Nachhaltigkeit einer damit entstehenden, sehr großen Überproduktion im Sommer zu hinterfragen. Um die über das gesamte Jahr benötigte Energie in selbigem Zeitraum zu erzeugen, benötigt es etwas mehr als 25m² PV-Fläche. Ein Mittelwert zwischen diesen beiden ergibt wohl die größt mögliche Nachhaltigkeit. Der Einsatz einer Batterie ist von großem Vorteil, um Dunkelflauten und der grundsätzlichen Verschiebung der Energieerzeugung zum Energieverbrauch entgegen zu wirken. Den gesamten Winter mit einer Batterie zu überbrücken, ist je nach PV-Fläche möglich, jedoch nicht ökonomisch nachhaltig.

Energie und CO₂e

Für das Konzepthaus wurden 24 PV-Module mit jeweils ca. 1,8m² Fläche verwendet. Dadurch ergibt sich eine vernachlässigbare Eigenverschattung und eine insgesamt fast doppelt so große Fläche (43,2m²) wie für den Jahresverbrauch benötigt. Damit ist das Konzepthaus eindeutig ein Energieplusgebäude. Die Berechnungen hierfür sind in Anhang 2 hinterlegt. Die gesamte benötigte Energie für Strom und Heizen beläuft sich auf 811.262 kWh innerhalb der angenommenen 100 Jahre. Mit den zuvor in 2.2.4 Dämmstoffeffizienz verwendeten 0,039kg CO₂e pro kWh durch eigenes produzierten und gespeicherten Strom, entsteht eine Ausstoß von 31.639 kg CO₂e. Dieser ist fällt verglichen mit den Ergebnissen der LZA stark ins Gewicht. Der Energieverbrauch selbst jedoch kaum. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, das auch die stoffgebundene Energie der Baustoffe in der LZA inkludiert ist. Bei einem Energieverbrauch von knapp 600.000kWh für die Fenster, wiederholt sich

jedoch das Bild.

Vergleicht man die CO₂e Werte mit andern Belastungen im Alltag erhält man Folgendes. In 1.4.5 Forschung wurde die Transatlantikflugreise (Hin- und Rückflug Frankfurt–New York) mit ca. 4.000 kg CO₂e genannt (Nagler 2022).

Um die Thematik der Flächennutzung für Nutztiere zu unterstützen ist hier ein Vergleichswert aus diesem Bereich. 1kg in Deutschland produziertes Rindfleisch stößt im Schnitt 25,5kg CO₂e aus (BLE o.J.).

Final können die Werte aus dem angewandten Konzept mit den gestellten Anforderungen aus 1.3 Benchmarks & Referenzwerte verglichen werden.

Die Wohnfläche und NRF variieren mit den Szenarien. Nimmt man 160m² für die NRF an ergeben sich folgende Werte. Mit den angerechneten CO₂e aus D erhält man einen Ausstoß von 0,39kg/(m²(NRF)a) des Bauwerkes (nur KG300). Mit der angepassten Anrechnung sind es 1,35kg. Das CO₂e durch die Energiegewinnung beläuft sich auf knapp 2kg/(m²(NRF)a). Diese Verhältnismäßigkeit zeigt, wie relevant die Betrachtung des Ausstoßes auch bei eigener Energiegewinnung ist.

Holzvolumen & Bäume

Mit der genauen Berechnung der Holzvolumina lässt sich ein grober Vergleich zu den dafür benötigten Bäumen ziehen. Eine ausgewachsene und nicht mehr CO₂ aufnehmende Fichte misst meist 2-3m³, wovon ca.75% für im Bau verwendbare Holzprodukten genutzt werden können (Albert 2024). Relevante Holzbaustoffe der LZA ergeben summiert 72,5m³. Bei der Annahme von 2,5m³ Baumvolumen und 75% Verwendung dieser für die benötigten 72,5m³ bekommt man ein Ergebnis von knapp 40 benötigten Fichten. Ein Großteil des Holzes sollte dabei nach dem Rückbau wiederverwendbar sein.

Wasserhasuhalt

Der entstehende Wasserverbrauch und die Nutzung des Regen- und Grauwassers sind für jedes Projekt einzeln zu berechnen. Für das Konzepthaus ist diese Dimensionierung anhand der Ergebnisse der Bilanzierungen entstanden. Bei einer tatsächlichen Planung kann man jedoch mit genaueren und realistischen Werten der verbauten Sanitäreinrichtungen eine passendere Berechnung durchführen. Jedoch sollten eventuelle Umbauten und Szenarien berücksichtigt werden, um beispielsweise den Nutzwasserbedarf in der Zukunft auch nachhaltig decken zu können.

Das eingesparte Wasser über den Lebenszyklus könnte man über den Nutzwasserverbrauch oder den Gewinn aus Regen- und Grauwasser berechnen. Der Nutzwasserverbrauch ist stark von den verbauten Sanitärprojekten und der Frequenz ihrer Nutzung abhängig. Der Gewinn aus Regen- und Grauwasser ist mehr als ein Potenzial zu betrachten, da die Nutzung des gesamten Gewinns nicht gewährleistet ist. Die folgende Rechnung basiert auf den Zahlen aus 2.2.7 Regenwasser & Versickerung und nimmt für den täglich Haushaltswasserverbrauch einer Person 100l an. Des Weiteren wird mit durchschnittlich 4 Bewohner:innen über die gesamte Lebenszeit gerechnet.

$$\begin{aligned} & \text{Regenspende und Grauwasser über Lebenszeit} \\ & = 800 \frac{l}{m^2} \cdot 0,6 \cdot 160m^2 \cdot 100 + 100l \cdot 0,36 \cdot 4 \cdot 365 \cdot 100 \\ & = 7.680.000l + 5.256.000l \\ & = 12.936.000l \end{aligned}$$

Dieses Potential überwiegt den Werten der LZA für FW stark. So ist hier ein starker Nachhaltigkeitsaspekt zu sehen. Zieht man den Vergleich zwischen den 165.901 benötigten Liter FW für den Lebenszyklus des Gebäudes und Rindfleisch ergibt sich folgendes Bild. Für die Produktion eines Kilogramms Rindfleisch werden in Deutschland durchschnittlich 7.713l Frischwasser aufgewendet (BLE 2025).

Weitere ökologische Faktoren

Die Vorgaben an Versiegelung und Biodiversität werden mit Umsetzten des Konzeptes immer eingehalten. Die eventuelle Steigerung der Biodiversität ist dabei stark von der vorherigen Nutzung des Grundstückes abhängig. Des Weiteren sind die Anforderungen an Lowtech, Suffizienz und Kreislaufgerechtigkeit, durch das erstellen des Konzept nach diesen Parametern, erfüllt.

4.5 Lebenszykluskostenanalyse

Es gibt viele Möglichkeiten, eine Analyse dieser Art zu erstellen. Die Grundlage dafür ist oft die DIN ISO 15686-5. Das Konzept beinhaltet jedoch große Eingriffe in Planung, Bewirtschaftung, Umbauten und den Prozess am Ende des Lebenszyklus, sodass die Berechnungen nicht nach Norm ausgeführt werden können. Des Weiteren ist in Bewertungssystemen der Betrachtungszeitraum häufig auf 50 Jahre gesetzt. Dieser Zeitraum widerspricht dem Nachhaltigkeitsgrundsatz der 1.1.1.3 Permanenz. Das Konzept sieht einen großen Teil der Sanierungsarbeiten als potentielle Eigenleistungen, auch dieser Punkt erschwert eine Vergleichbarkeit der Analysen. Verschiedene Standorte und Unternehmen verändern die Herstellungskosten in einem Maß, welches schwer in einem Konzept zu vereinheitlichen ist.

Die Grundlage des Erbbaurechtes und der damit verbundenen Erbpacht zählen sind zu den meistens betrachteten KG300 und KG400, jedoch ist es ein Faktor, der die Finanzierbarkeit eines Eigenheimes stark beeinflusst. Die Berücksichtigung ist relevant, da viele Analyseverfahren eine finanzielle Rentabilität als Ziel setzen. Ziel dieses Konzepts ist die Nachhaltigkeit.

Die Datengrundlage der Bestandteile des Konzepthauses ist, wie in der LCA zu sehen, sehr detailreich. Eine Vergleichbarkeit ist notwendig, um die Frage „Geht´s noch nachhaltiger?“ auch auf der ökonomischen Ebene beantworten zu können.

Es müsste eine Bilanzierung, welche KG 300 und KG400 bauteil- und rohstofforientiert berechnet, folgen. Das BKI liefert für eine vereinfachte Bilanzierung kaum vergleichbare Wandaufbauten oder Systeme, beispielsweise wurde in der Ausgabe zu Holzbauten in 2022 kein EFH auf Schraubfundamenten erwähnt (BKI 2022).

Im Rahmen dieser Arbeit kann dadurch nur eine qualitative Bewertung getroffen werden.

Die technischen Anlagen in KG400 belaufen sich auf die Lüftungssysteme, Heizvliese, PV-Anlage, Wasserleitungen, Wasseraufbereitung und alle dafür benötigten Mittel. Die Mehrkosten der Wasseraufbereitung werden sich durch die entstehende Ersparnis an Frischwasser- und Abwasserkosten amortisieren. Darüber hinaus sollten sie einen Teil der unvermeidbaren Kosten für Wasserleitungen gegenfinanzieren können. Der Strom und Heizkreislauf funktioniert zusammen und lässt sich auch so bilanzieren. Je nach Größe der PV-Anlage und Einspeisevergütungen amortisieren sich die höheren Investitionskosten. Im Optimalfall könnte mit der Refinanzierung der Heizungs- und Stromtechnik durch die Gewinne der PV-Anlage gerechnet werden.

KG300 kommt mit Bau- und Rückbaukosten, welche unausweichlich sind. Durch eine Vorfertigung und die einfache und sich wiederholende Konstruktionsweise werden diese Kosten jedoch stark gesenkt. Einen größeren Einfluss hat die Wiederverwendbarkeit und Recyclingfähigkeit fast aller Materialien. Nach einem Rückbau kann somit ein Großteil der Baustoffe weiter verkauft werden. Dabei wird kein Gewinn entstehen, jedoch senkt dieser Aspekt die Lebenszykluskosten bedeutend.

So ergibt sich ein Bild, in welchem die Bewohner:innen bei dem Bund zu sozial nachhaltigen Preisen zur Miete auf einem Grundstück in einem Haus, welches seine eigenen technischen Anlagen teils refinanziert und ein finanzieller Baustoffspeicher ist, leben.

4.6 Soziale Bewertung

Bei der Bewertung der sozialen Nachhaltigkeit wiederholen sich die in 1.3.2 Soziale Nachhaltigkeit beschriebenen Probleme. Gerade die Bewertung der Nachhaltigkeit der Planung und Ausführung wurde nicht thematisiert und ist ohne einen direkteren Realitätsbezug schwierig. Es folgt eine qualitative Einordnung der gesetzten Benchmarks sozialer Nachhaltigkeit.

Individuum

Der entstehende Wohnkomfort sollte die normgerechten Voraussetzungen übertreffen. Das Gebäude hat einen ganzjährlich hohen Komfort durch angenehme Temperaturen und Luftfeuchtigkeit. Der Grundriss und das Bild nach innen und außen sind sehr frei gestaltbar und damit individualisierbar. Ein Schallschutz für Privatsphäre ist von außen nach innen, sowie innerhalb des Gebäudes durch notwendige Aufbauten und Schwere gegeben. Des Weiteren wurden für die Nachhaltigkeit keine hygienischen Einbußen in Kauf genommen. Das entstehende Gebäude ist durch die verbauten Baustoffe ein gesundes Haus und emittiert keine Schadstoffe.

Barrierefreiheit ist nicht standardisiert gegeben, kann jedoch mit einer einfachen Nachrüstung einer Rampe und eines schwellenlosen Übergangs auf die Terrasse und das Hinzufügen eines barrierefreien WCs ganzheitlich im EG geben werden. Auch an den Einbau eines Hubliftes ist gedacht. Durch die generelle Flexibilität kann auch anderen Anforderungen an Barrierefreiheit nachgegangen werden.

Die sich ergebenden Grundrisse sind bis auf den HAR und eventuell den Nasszellen sehr einfach zu verändern. Mit Eigenleistung und kleinen Eingriffen lassen sich hier viele verschiedene Varianten einfach ermöglichen.

Es entsteht ein guter Kompromiss aus Wohnkomfort, Flexibilität und Barrierefreiheit. Dabei sind die notwendigen Kompromisse klein und kaum problematisch.

Gemeinschaft

Die Kritik am Beitrage eines EFHs zur gemeinschaftlich sozialen Nachhaltigkeit wird mit diesem Konzept kaum beantwortet. Gemeinschaft, Teilhabe und Inklusion werden gefördert, sind jedoch nicht mit der Nachhaltigkeit von MFHs zu vergleichen. Dafür benötigt es Ansätze wie in Tittmoning (siehe 1.4.4 Beispiele). Die Entwicklung eines auf Gerechtigkeit, Chancengleichheit, Kohäsion, Teilhabe und Inklusion aufbauenden Stadtteiles ist dafür notwendig, ein solcher könnte auch EFHs beinhalten.

TEIL V

FAZIT

5.1 Allgemein	261
5.2 Teil I Grundlagen	262
5.3 Teil II Nachhaltigkeit visualisieren	263
5.4 Teil III Ein Konzept der Nachhaltigkeit	264
5.5 Teil IV Konzepthaus	265
5.6 Ausblick	266
5.7 Appell	267

5 Fazit

In dieser Arbeit wurden viele Fragen gestellt. Viele Problematiken, Kompromisse und Ungenauigkeiten sind in Teil 2 und 3 entstanden. Darauf folgt in Teil 4 ein Versuch, unter Berücksichtigungen dieser Fragen und Probleme die grundlegende Frage: „Geht’s noch nachhaltiger“, zu beantworten. Die Antwort ist: Ja. Im Folgenden werden die weiteren Forschungsfragen anhand der Unterteilung der Arbeit beantwortet und kritisch reflektiert.

5.1 Allgemein

Der Rahmen einer Bachelor-Thesis wurde hier wiederholt gesprengt. Das resultiert aus einer Forschung, welche eine ganzheitliche Behandlung eines Themas versucht, sich dadurch aber teilweise in Präzision, Tiefe und Ausführung schwächt. Deshalb sind viele Ergebnisse wiederholt kritisch zu untersuchen. Es wurden Ansätze geschaffen, jedoch nur kaum belastbare Ergebnisse erzielt. Es gibt viele Erkenntnisse, aus welchen sich das Konzept ergeben hat. Dieses geht von einem Baukasten bis hin zu groben Leitfäden. Das ist mit der unterschiedlichen Ergebnisstärke der einzelnen Untersuchungen zu begründen.

Ein sinnhaftes und wirkungsvolles Konzept mag entstanden sein, jedoch ist dafür kein realistischer Anwendungsbereich zu finden. Der Bedarf ist gegeben, jedoch ist das Konzept nicht genug erprobt und teilweise zu spekulativ, um eine ganzheitliche Nachhaltigkeit zu garantieren. Des Weiteren ist anzunehmen, dass der architektonische Anspruch von Bauher:innen, Architekt:innen oder des Stadtbildes mit diesem Konzept nicht zufriedenzustellen ist. Der Anpassbarkeit an die Umgebung und dem Entwurf selbst sind Grenzen gesetzt.

Die Suche nach einem Konzept und die Deutung der Ergebnisse sind nicht frei von einer voreingenommenen Haltung. Diese spiegelt nur bedingt den aktuellen Diskurs um EFHs wieder. Deshalb ist es mir wichtig, diese Verzerrung auch anders zu begründen: Ein Konzept, welches einen nachhaltigen Einfamilienhaus-Neubau ermöglicht, kann auch für Reihenhäuser und Mehrfamilienhäuser verwendet werden. Der dabei häufig schlechtere Faktor von Dachfläche für PV-Module und Regenwassergewinnung wird durch andere Nachhaltigkeitsfaktoren bei Weitem ausgeglichen. Vielmehr würde die Anwendung in RHs und MFHs die Nachhaltigkeit grundlegend steigern. So war eine Motivation dieser Arbeit auch, das Problem an seiner kritischsten Stelle zu behandeln, um es so ganzheitlicher zu beantworten.

5.2 Teil I Grundlagen

Die Definition und Bewertung der Nachhaltigkeit EFHs wurde anhand von grundlegenden Wegweisern, wie der Agenda21, bis hin zu wassersparenden WCs erklärt und definiert. Die Gewichtung der entstehenden Parameter bleibt jedoch aus. Das begründet sich durch die Dimension dieser Arbeit. Bereits die Definition, als auch die Benchmarks sind nicht fundiert genug, um mit ihnen eindeutige Forschungsergebnisse zu bewerten. Eine Gewichtung dieser Bewertungen wäre damit nur ein weiterer wagem Schritt, welcher wenig Mehrwert mit sich bringt.

Die Thematik der Flächenproblematik wird hier thematisiert, jedoch bei den Benchmarks und im Konzept wenig erforscht oder berücksichtigt. Das entsteht aus dem fehlenden Zusammenhang einer politischen Problematik zu einem baukonstruktiven und gebäudetechnischen Konzept. Und auch hier wäre eine tiefergehende Behandlung des Themas im Rahmen dieser Arbeit nicht ohne eine starke voreingenommene Haltung möglich gewesen.

5.3 Teil II Nachhaltigkeit visualisieren

Die Bilanzierungen sind in ihrer Aussagekraft sehr unterschiedlich. So ergibt das A/V-Verhältnis eine Orientierung und Berechnungsmethode. Die Vordimensionierung und Betrachtung der solaren Gewinne zeigen Faktoren auf, welche manche Varianten ausschließen können, aber in der perfekten Optimierung sehr kompliziert werden. Dabei könnte häufig die Frage der Sinnhaftigkeit dieser Betrachtungen entstehen. Die Bilanzierungen zum Wasserhaushalt und zur Energieversorgung zeigen auf, wie viel Nachhaltigkeit möglich ist. Die Dämmstoffeffizienz vergleicht Baustoffe sehr detailliert und erschafft somit sehr eindeutige Erkenntnisse.

Gerade hier täuscht, wie in 2.2.4 Dämmstoffeffizienz beschrieben, der Detailgrad. Denn die Lebenszyklusbetrachtung ist durch verschiedene Szenarien von den Lebensabschnitt D und durch hier nicht berücksichtigte eventuell schnellere Abnutzung verzerrt. Die bestehenden Parameter müssten identisch ausgelegt sein und weitere geschaffen und miteinbezogen werden, um hier gerecht zu vergleichen.

Die entstehenden Zielkonflikte scheinen unendlich. So ist beispielsweise eine optimale Dicke für eine Außenwand aus der energetischen, ökologischen und ökonomischen Sicht eindeutig gegeben, jedoch überschneiden diese sich nur selten. Folglich muss für fast Alles ein Kompromiss gefunden werden.

Die dadurch entstehenden Erkenntnisse können offensichtlich wirken. Das bedeutet jedoch nicht, dass eine Bilanzierung nicht notwendig wäre, um ein Optimum zu finden. Es soll ja noch nachhaltiger gehen!

5.4 Teil III Ein Konzept der Nachhaltigkeit

Das Konzept, welches sich auch dem Vergleich verschiedenen Möglichkeiten und den Erkenntnissen der Bilanzierungen ergibt, scheint teilweise unspektakulär und wenig innovativ. Das ist auch das Ziel. Die Lösung der Probleme und die Beantwortung der Forschungsfragen liegt nicht in dem Erschaffen neuer Dimensionen. Sie gelingt durch die nachhaltige Verwendung meist bewährter Systeme.

Die Gegenüberstellungen verschiedener Systeme ist sehr kurz und oberflächlich gehalten. Hier ist es sehr relevant mehr, tiefer und quantitativer zu vergleichen. Das Konzept besteht somit aus quantitativen Ergebnissen der Bilanzierungen und häufig eher qualitativ bewerteten Systemen.

Die sich daraus ergebenden planerischen und konstruktiven Maßnahmen können jedoch die Problematik unflexibler Innenräume lösen. Darauf wurde im Konzept viel Wert gelegt, was eigentlich mit anderen Systemen nachhaltiger zu lösen wäre.

5.5 Teil IV Konzepthaus

Auch hier müsste tiefergehend entworfen und daraufhin geforscht werden, um ein würdiges Konzept- und damit auch Referenzhaus zu kreieren. Gerade für den Entwurf wurden viele Kompromisse eingegangen, welche in einer längeren Ausarbeitung gelöst werden könnten. Jedoch dient das hier entstandene Gebäude sehr gut als allgemeines und entwurfsneutrales Versuchsobjekt für das Überprüfen der Bilanzierungen. Gerade das Überprüfen und daraus folgende Optimieren ist durch den Rahmen dieser Arbeit zu kurz gekommen.

Auch hier sollte erneut erwähnt werden, dass das entstehende Haus nur eine von vielen Optionen ist, dieses Konzept anzuwenden. Es könnte auch ein RH, MFH oder Anbau damit umgesetzt werden.

5.6 Ausblick

Die Definitionen, Bewertungs- und Bilanzierungsmethoden und das Konzept mit seinem Konzepthaus sind Ergebnisse dieser Arbeit, welche eher eine Forschungsmethode und -grundlage erschaffen als eine tatsächliche Forschung mit einem ganzheitlichen Ergebnis. Darauf basierend können und sollten weitere Forschungen und Konzepte entwickelt werden. Denn der Wunsch nach EFHs und die damit verbundene Problematik wird sich in den nächsten Jahrzehnten vermutlich nicht nennenswert verändern. Des Weiteren ist es jedoch fraglich, ob ein Konzept dieser Art diese Wünsche erfüllen kann. Es müsste sich noch viel in der Mentalität der Bevölkerung ändern, um dieses Konzept als Lösung zu erkennen. Es kann und darf auch keine alleinige Lösung bieten. Architektur lebt von Vielfalt und Veränderung. Dazu könnte ein solches Konzept eine notwendige Orientierung in Richtung Nachhaltigkeit beitragen.

5.7 Appell

Ein EFH ist eine Belastung der Umwelt. Nahezu alles, was der Mensch in seinem alltäglichen Leben macht und benutzt, resultiert in Belastungen, welche in ihrer Nachhaltigkeit hinterfragbar und kritisierbar sind. Hierbei sind Schuldzuweisungen nicht zielführend. Es müssen mehr Methoden der Messbarkeit und weitere Konzepte für ein nachhaltigeres Miteinander im Jetzt und in der Zukunft geschaffen werden. Ein Konzept wie dieses könnte einen Teil davon bilden. Eine für Planende einfache Möglichkeit, den Wunsch von Menschen nach einem EFH oder anderen Wohnarten nachhaltig zu beantworten.

Ein jeder ist für seinen Einfluss auf die Nachhaltigkeit seines und unseres Lebens verantwortlich. Dieser Einfluss und diese Verantwortung sollte bewusst berücksichtigt und genutzt werden. Damit lässt sich abschließend gerade für das Feld des Einfamilienhauses sagen:

Es geht noch nachhaltiger!

VERZEICHNISSE & ANHANG

Abkürzungsverzeichnis	270
Formelzeichenverzeichnis	272
Abbildungsverzeichnis	274
Literaturverzeichnis	284
Anhang	300

Abkürzungsverzeichnis

B

BBSR - Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BGF - Bruttogrundfläche
BKI - Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern
BLE - Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
BMEL - Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMUB - Bundesministerium für Umwelt, Natur, Bau und Reaktorsicherheit
BMUKN - Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMWSB - Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen
BNB - Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen

C

CO₂ - Kohlenstoffdioxid
CO₂e - Kohlenstoffdioxid Äquivalent
CRU - Stoffe zur Wiederverwendung [kg]

D

DGNB - Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V.
DIN - Deutsches Institut für Normung e. V.
DWD - Deutscher Wetterdienst

E

EEWärmeG - Erneuerbare Energien Wärmegesetz
EFH - Einfamilienhaus
eLCA - Portal für die Erstellung von LZAs
EnEV - Energieeinsparverordnung
EPD - Environmental Product Declaration
EPDM - Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk
EZH - Ein- oder Zweifamilienhaus

F

FW - Nettoeinsatz von Süßwasserressourcen [m³]

G

GEG - Gebäudeenergiegesetz
GWP-total - summiertes globales Erwärmungspotenzial [kg CO₂e]

H

HAR - Hausanschlussraum
HP - Heizperiode

I

IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU)

K

KfW - Kreditanstalt für Wiederaufbau
KG - Kostengruppe
KVH - Konstruktionsvollholz

L

LZA (LCA) - Lebenszyklusanalyse

M

MFH - Mehrfamilienhaus
MFR - Stoffe zum Recycling [kg]

N

NF - Nutzfläche
NRF - Nettoraumfläche

O

ÖKOBAUDAT - ökologische(s) Bau Daten (Portal)

P

PE - Polyethylen

PENRE -nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ o. kWh]

PENRM - nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ o. kWh]

PENRT - summierte nicht-erneuerbare Primärenergie [MJ o. kWh]

PERE - Erneuerbare Primärenergie als Energieträger [MJ o. kWh]

PERM - und Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung [MJ o. kWh]

PERT - summierte erneuerbare Primärenergie [MJ o. kWh]

PP - Polypropylen

PV - Photovoltaik

Q

QNG - Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude

R

RH - Reihenhaus

S

SDG - Sustainable Development Goals

T

THG - Treibhausgas

TrinkwV - Trinkwasserverordnung

U

UN - United Nations

W

WärmeschutzV - Wärmeschutzverordnung

WDP - Wasser-Entzugspotenzial [m³ world equivalent]

WE - Wohneinheit

Formelzeichenverzeichnis

BRI = Bruttorauminhalt [m^3]

ρ_L = Luft Dichte [$\frac{kg}{m^3}$]

c_L = spezifische Luft Wärmekapazität [$\frac{J}{kg \cdot K}$]

n = Luftwechselrate

V_L = Lüftungsvolumen [m^3]

H_v = Lüftungswärmeverlust [$\frac{W}{K}$]

H_t = Transmissionswärmeverlust [$\frac{W}{K}$]

F_x = Normaußentemperatur – Norminnentemperatur

λ_x = Wärmeleitfähigkeit des Material x [$\frac{W}{m^2 \cdot K}$]

R = Wärmedurchlasswiderstand [$\frac{m^2 \cdot K}{W}$]

R_x = R eines gemischten Bauteils [$\frac{m^2 \cdot K}{W}$]

R_{si} = R der inneren Oberflächen = $0,1 \frac{W}{mK}$

R_{se} = R der äußeren Oberflächen = $0,1 \frac{W}{mK}$

H_{tg} = Heizenergie pro Tag [kWh]

H_{hp} = Heizenergie pro HP [kWh]

H_{le} = Heizenergie pro Lebensdauer [kWh]

A = Außenfläche [m^2]

H_{wb} = Wärmebrückenzusatz [$\frac{W}{K}$]

U = U-Wert eines Bauteils [$\frac{W}{m^2 \cdot K}$]

H_{ges} = Gesamtwärmeverlust [$\frac{W}{K}$]

W = Widerstandsmoment [cm^3]

V_{Tr} = Volumen des Trägers [m^3]

x = Verhältnis von h zu b

Anz = Anzahl Balken

L = zu überspannende Länge [m]

q_G = Geschosslast [$\frac{kN}{m^2}$]

b_E = Breite Einzugsfeld der Flächenlast [m]

γ = Sicherheitswert

q_T = Streckenlast auf den Träger [$\frac{kN}{m}$]

M_{max} = max. Biegemoment [kNm]

σ_{max} = max. Biegespannung des Trägers [$\frac{kN}{cm^2}$]

f_t = max. Biegespannung des Materials [$\frac{kN}{cm^2}$]

b_s = Breite der Stütze [m]

l_h = Höhe der Stütze bzw. des Geschosses [m]

I = Flächenträgheitsmoment [cm^4]

W = Widerstandsmoment [cm^3]

E = Elastizitätsmodul KVH [kN/cm^2]

k = Knickbeiwert bestimmt durch Euler

F_k = Kraft unter welcher die Stütze knickt [N]

F_t = aus den Trägern abgeleitete Kraft auf die Stütze [kN]

V_{St} = Volumen einer quadratischen Stütze [m^3]

$V_{St,Rand}$ = Volumen einer Stütze am Rand [m^3]

$V_{St,innen}$ = Volumen einer Stütze im Inneren [m^3]

$V_{St,gesamt}$ = Volumen der gesamten Stützen [m^3]

V_{ges} = Gesamtvolumen der Träger und Stützen [m^3]

χ = Reduktionsfaktor für Knicken

k_{mod} = Modifikationsfaktor für die Festigkeit von Holz

A_q = Querschnittsfläche [m^2]

$f_{c,k}$ = Druckfestigkeit [N/mm^2]

γ_m = Material-Teilsicherheitsbeiwert

$f_{c,d}$ = Bemessungswert der Druckfestigkeit KVH

$N_{b,Rd}$ = Druckfähigkeit der Stütze [N]

h_{Tr} = Höhe des Trägers [m]

$b_{St,innen}$ = Breite einer quadratischen Stütze [m]

$b_{St,Rand}$ = Breite einer quadratischen Randstütze [m]

K_{cm} = Kosten pro m^2 ja cm [$\frac{€}{cm}$]

K_{Auf} = Kosten des Aufbaus [€]

K_{kWh} = Heizkosten pro kWh [$\frac{€}{kWh}$]

K_{Heiz} = Heizkosten der Lebensdauer [€]

K_{ges} = Gesamtkosten über die Lebensdauer [€]

Q_s = Solare Gewinne in der H [kWh]

F_f = Abminderungsfaktor für Fensterrahmen

F_s = Verschattungsfaktor

F_c = Abminderungsfaktor für Sonnenschutzglas

g = Energiedurchlassungsgrad Glas

A_{δ} = Maueröffnungsfläche

S_{zul} = Zulässiger Sonneneintragswert

S_{vor} = Vorhandener Sonneneintragswert

ψ = Abflussbeiwert

Abbildungsverzeichnis

Alle CAD-Zeichnungen wurden mit der Revit und alle Diagramme mit Excel erstellt. Die dabei entstandenen Abbildungen wurde nur selten in den Texten erwähnt. Dafür wurde sich entschieden, da die meisten Diagramme und Zeichnungen für sich selbst stehen können, und um dadurch einen besseren Lesefluss zu garantieren.

Abb. 1: Rebound-Effekt. Eigene Darstellung. basierend auf:

Statistisches Bundesamt. 2024. „Wohnfläche je Einwohner in Wohnungen in Deutschland von 1991 bis 2023“.

Statista, August 14. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/36495/umfrage/wohnflaeche-je-einwohner-indeutschland-von-1989-bis-2004/>.

Statistisches Bundesamt. 2025. „Bevölkerung: Deutschland, Stichtag“. August 16. Zugegriffen am 15. September 2025.

<https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/statistic/12411/table/12411-0001/search/s/RWlud29obmVvemFobCUyMFVORCUyMERldXRzY2hsYW5k>.

Umweltbundesamt. 2025. „Treibhausgasemissionen durch Haushalte in Deutschland bis 2024“. Statista, März 7. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/12172/umfrage/energiebedingte-treibhausgasemissionen-durchhaushalte-seit-1990/.com>.

Abb. 2: Flächenverteilung Deutschland. Eigene Darstellung. basierend auf:

Statistisches Bundesamt. 2024. „Bodenfläche insgesamt nach Nutzungsarten in Deutschland“. DE Statist, Oktober 24. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Tabellen/bodenflaeche-insgesamt.html>.

Statistisches Bundesamt. 2019. „Wie wird die landwirtschaftliche Fläche in Deutschland genutzt?“ Text. Umwelt-

bundesamt. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.umweltbundesamt.de/umweltatlas/umwelt-landwirtschaft/einfuehrung/landwirtschaft-in-deutschland/wie-wird-die-landwirtschaftliche-flaeche-in>.

Abb. 3: Preisindex für Ein- und Zweifamilienhäuser nach Kreistypen.

Statistisches Bundesamt. 2025e. „Preisindex für Ein- und Zweifamilienhäuser nach siedlungsstrukturellen Kreistypen in Deutschland vom 1. Quartal 2016 bis zum 4. Quartal 2024“. Statista, März 25. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1054465/umfrage/preisindex-fuer-ein-und-zweifamilienhaeusernach-siedlungsstrukturellen-kreistypen-in-deutschland/>.

Abb. 4: Wohnfläche im städtischen und ländlichen Raum.

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), und Indikatoren und Karten zur Raum- und Stadtentwicklung (INKAR). 2024. „Entwicklung der Wohnfläche je Einwohner im städtischen und ländlichen Raum in Deutschland in den Jahren von 2011 bis 2022“. Statista, August 14. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1413027/umfrage/entwicklung-der-wohnflaeche-im-staedtischen-und-laendlichen-raumdeutschlands/>.

Abb. 5: Deutschlandatlas Mieten.

Brack, N, J Nielsen, und A Schürt. o.J. „Starke regionale und strukturelle Unterschiede bei Mieten in Deutschland“. Deutschlandatlas. Zugegriffen am 15. September 2025. https://www.deutschlandatlas.bund.de/DE/Karten/Wie-wir-wohnen/040-Mieten.html#_hbf5g1nrr.

Abb. 6: Skizze A/V Verhältnis eingeschossig. Eigene Darstellung.

Abb. 7: A/V Verhältnis bei eingeschossigen Häusern. Eigene Darstellung.

Abb. 8: Skizze A/V Verhältnis zweigeschossig. Eigene Darstellung.

Abb. 9: A/V Verhältnis bei zweigeschossigen Häusern. Eigene Darstellung.

Abb. 10: Skizze A/V Verhältnis dreigeschossig. Eigene Darstellung.

Abb. 11: A/V Verhältnis bei dreigeschossigen Häusern. Eigene Darstellung.

Abb. 12: Skizze Transmissionsverluste. Eigene Darstellung.

Abb. 13: Transmissionsverluste durch A/V Verhältnis & U-Wert. Eigene Darstellung.

Abb. 14: Einstrahlscheibe jährliche Solarstrahlung.
Rutschmann, Ines. 2025. „Wie schnell rechnet sich eine Photovoltaikanlage?“ Solarwissen Selfmade Energy, Mai 6. Zugriffen am 15. September 2025. <https://solarwissen.selfmade-energy.com/wie-schnell-rechnet-sich-eine-photovoltaikanlage/>.

Abb. 15: Vergleich kristalliner PV-Kollektoren zu organischen, 200m² BGF. Eigene Darstellung.

Abb. 16: Vergleich kristalliner PV-Kollektoren zu organischen, 150m² BGF. Eigene Darstellung.

Abb. 17: kristalliner PV-Kollektoren verschiedene Geschossigkeit

bei 200m² BGF. Eigene Darstellung.

Abb. 18: kristalliner PV-Kollektoren verschiedene Geschossigkeit bei 150m² BGF. Eigene Darstellung.

Abb. 19: organische PV-Kollektoren verschiedene Geschossigkeit bei 200m² BGF. Eigene Darstellung.

Abb. 20: organische PV-Kollektoren verschiedene Geschossigkeit bei 150m² BGF. Eigene Darstellung.

Abb. 21: Vordimensionierung nach Staffa. Eigene Darstellung.

Abb. 22: W in Abhängigkeit von q und L. Eigene Darstellung.

Abb. 23: q in Abhängigkeit von Geschosslast und Balkenabstand. Eigene Darstellung.

Abb. 24: W in Abhängigkeit des Querschnittes. Eigene Darstellung.

Abb. 25: Skizze Vordimensionierung 1. Eigene Darstellung.

Abb. 26: Vordimensionierung Träger Länge. Eigene Darstellung.

Abb. 27: Skizze Vordimensionierung 2. Eigene Darstellung.

Abb. 28: Vordimensionierung Träger Breite. Eigene Darstellung.

Abb. 29: Skizze Vordimensionierung 3. Eigene Darstellung.

Abb. 30: Vordimensionierung Träger Länge oder Breite. Eigene Darstellung.

Abb. 31: Vordimensionierung Träger Länge und Breite. Eigene Darstellung.

Abb. 32: Skizze Vordimensionierung 4. Eigene Darstellung.

Abb. 33: Vordimensionierung Träger & Stützen. Eigene Darstellung.

Abb. 34: Vordimensionierung Träger & Stützen Ausschnitt.
Eigene Darstellung.

Abb. 35: Vordimensionierung Träger & Stützen Zoomin. Eigene
Darstellung.

Abb. 36: ÖKOBAUDAT Tabelle Parameter. Eigene Darstellung.

basierend auf S.15:

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR),
Hildegund Figl, und Oliver Kusche. 2023b. ÖKOBAUDAT-
Handbuch, Technisch/formale Informationen und Regeln
zur ÖKOBAUDAT-Datenbank. Version 2.1. Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR).

Abb. 37: Lebenswegmodule. Eigene Darstellung. basierend auf
S.17:

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR),
Hildegund Figl, und Oliver Kusche. 2023b. ÖKOBAUDAT-
Handbuch, Technisch/formale Informationen und Regeln
zur ÖKOBAUDAT-Datenbank. Version 2.1. Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR).

Abb. 38: Dämmstoffeffizienz Strohballen. Eigene Darstellung.

Abb. 39: Dämmstoffeffizienz Strohballen. Eigene Darstellung.

Abb. 40: Dämmstoffeffizienz Glaswolle. Eigene Darstellung.

Abb. 41: Dämmstoffeffizienz Hanf Jute Combi Dämmmatten.
Eigene Darstellung.

Abb. 42: Dämmstoffeffizienz expandierter Kork. Eigene Darstel-
lung.

Abb. 43: Dämmstoffeffizienz EPS. Eigene Darstellung.

Abb. 44: Dämmstoffeffizienz Mauerziegel (mit Polysterol gefüllt).
Eigene Darstellung.

Abb. 45: Dämmstoffeffizienz Mauerziegel (mit Polysterol gefüllt)
angepasst. Eigene Darstellung.

Abb. 46: Dämmstoffeffizienz Zellulosefaser Einblasdämmstoffe.
Eigene Darstellung.

Abb. 47: Dämmstoffeffizienz Zellulosefaserplatten. Eigene Dar-
stellung.

Abb. 48: Dämmstoffeffizienz Holzeinblasdämmung. Eigene Dar-
stellung.

Abb. 49: Dämmstoffeffizienz Holzfaserdämmplatte (Nassverfah-
ren). Eigene Darstellung.

Abb. 50: Dämmstoffeffizienz Holzfaserdämmstoffplatten (Trocken-
verfahren). Eigene Darstellung.

Abb. 51: Dämmstoffeffizienz Holzwolle Leichtbauplatte. Eigene
Darstellung.

Abb. 52: Dämmstoffeffizienz Holzwolle Leichtbauplatte angepasst.
Eigene Darstellung.

Abb. 53: Dämmstoffeffizienz Holzfaserdämmstoff flexible Matten.
Eigene Darstellung.

Abb. 54: Dämmstoffeffizienz BSH. Eigene Darstellung.

Abb. 55: Dämmstoffeffizienz BSH angepasst. Eigene Darstellung.

Abb. 56: Dämmstoffeffizienz Steinwolle-Dämmstoffe im hohen Rohdichtebereich. Eigene Darstellung.

Abb. 57: Dämmstoffeffizienz Steinwolle-Dämmstoffe im hohen Rohdichtebereich angepasst. Eigene Darstellung.

Abb. 58: Dämmstoffeffizienz Steinwolle-Dämmstoffe im niedrigen Rohdichtebereich. Eigene Darstellung.

Abb. 59: Dämmstoffeffizienz Steinwolle Flachdämmplatte. Eigene Darstellung.

Abb. 60: Dämmstoffeffizienz Steinwolle Flachdämmplatte angepasst. Eigene Darstellung.

Abb. 61: Dämmstoffeffizienz Lehmbauplatte (1,5cm). Eigene Darstellung.

Abb. 62: Dämmstoffeffizienz Lehmbauplatte (1,5cm) angepasst. Eigene Darstellung.

Abb. 63: Dämmstoffeffizienz Gipsbauplatte (1,25cm). Eigene Darstellung.

Abb. 64: Dämmstoffeffizienz Gipsbauplatte (1,25cm) angepasst. Eigene Darstellung.

Abb. 65: Dämmstoffeffizienz Porenbetonsteine. Eigene Darstellung.

Abb. 66: Dämmstoffeffizienz Porenbetonsteine angepasst. Eigene Darstellung.

Abb. 67: Dämmstoffeffizienz Schaumglas (Mülldeponie). Eigene Darstellung.

Abb. 68: Dämmstoffeffizienz Schaumglas (Mülldeponie) angepasst. Eigene Darstellung.

Abb. 69: Dämmstoffeffizienz Schaumglas (Wiederverwendung). Eigene Darstellung.

Abb. 70: Dämmstoffeffizienz Schaumglas (Wiederverwendung) angepasst. Eigene Darstellung.

Abb. 71: Dämmstoffeffizienz Schaumglas (Recycling). Eigene Darstellung.

Abb. 72: Dämmstoffeffizienz Schaumglas (Recycling) angepasst. Eigene Darstellung.

Abb. 73: Skizze Dämmstoffeffizienz und Kosten Außenwand Wandaufbau. Eigene Darstellung.

Abb. 74: Dämmstoffeffizienz und Kosten Außenwand Szenario 1. Eigene Darstellung.

Abb. 75: Dämmstoffeffizienz und Kosten Außenwand Szenario 2. Eigene Darstellung.

Abb. 76: Dämmstoffeffizienz und Kosten Außenwand Szenario 3. Eigene Darstellung.

Abb. 77: Dämmstoffeffizienz und Kosten Außenwand Szenario 4.

- Eigene Darstellung.
- Abb. 78: Skizze Raum solare Einflüsse Szenario 1. Eigene Darstellung.
- Abb. 79: Sommerlicher Wärmeschutz und Energiebilanz Szenario 1. Eigene Darstellung.
- Abb. 80: Skizze Raum solare Einflüsse Szenario 2. Eigene Darstellung.
- Abb. 81: Sommerlicher Wärmeschutz und Energiebilanz Szenario 2. Eigene Darstellung.
- Abb. 82: Skizze Raum solare Einflüsse Szenario 3. Eigene Darstellung.
- Abb. 83: Sommerlicher Wärmeschutz und Energiebilanz Szenario 3. Eigene Darstellung.
- Abb. 84: Skizze Raum solare Einflüsse Szenario 4. Eigene Darstellung.
- Abb. 85: Sommerlicher Wärmeschutz und Energiebilanz Szenario 4. Eigene Darstellung.
- Abb. 86: Skizze Raum solare Einflüsse Szenario 5. Eigene Darstellung.
- Abb. 87: Sommerlicher Wärmeschutz und Energiebilanz Szenario 5. Eigene Darstellung.
- Abb. 88: Skizze Raum solare Einflüsse Szenario 6. Eigene Darstellung.
- Abb. 89: Sommerlicher Wärmeschutz und Energiebilanz Szenario 6. Eigene Darstellung.
- Abb. 90: Skizze Raum solare Einflüsse Szenario 7. Eigene Darstellung.
- Abb. 91: Sommerlicher Wärmeschutz und Energiebilanz Szenario 7. Eigene Darstellung.
- Abb. 92: Wasserhaushalt Szenario 1. Eigene Darstellung.
- Abb. 93: Wasserhaushalt Szenario 2. Eigene Darstellung.
- Abb. 94: Wasserhaushalt Szenario 3. Eigene Darstellung.
- Abb. 95: Wasserhaushalt Szenario 4. Eigene Darstellung.
- Abb. 96: Regenwassernutzung Szenario 1. Eigene Darstellung.
- Abb. 97: Regenwassernutzung Szenario 2. Eigene Darstellung.
- Abb. 98: Regenwassernutzung Szenario 3. Eigene Darstellung.
- Abb. 99: Regenwassernutzung Szenario 4. Eigene Darstellung.
- Abb. 100: Regenwassernutzung und Tankfüllung Szenario 1. Eigene Darstellung.
- Abb. 101: Regenwassernutzung und Tankfüllung Szenario 2. Eigene Darstellung.
- Abb. 102: Regenwassernutzung und Tankfüllung Szenario 3. Eigene Darstellung.
- Abb. 103: Regenwassernutzung und Tankfüllung Szenario 4. Eigene Darstellung.

- ne Darstellung.
- Abb. 104: Konzept flexibler Grundriss. Eigene Darstellung.
- Abb. 105: Statik Konzept. Eigene Darstellung.
- Abb. 106: Voll Werte Wand AAA.
Baufritz GmbH & Co. KG. 2025. „Detaildatenblatt, Bau-
fritz-Voll-Werte-Wand ‚AAA‘“. Januar. Zugegriffen am 15.
September 2025. [https://www.baufritz.com/Dokumente/
Voll-Werte-Wand/Voll-Werte-Wand_AAA_D-AT_web.pdf](https://www.baufritz.com/Dokumente/Voll-Werte-Wand/Voll-Werte-Wand_AAA_D-AT_web.pdf).
- Abb. 107: Balkensohle. Eigene Darstellung.
- Abb. 108: Massivholz- oder Brettstapelholzsohle. Eigene Darstel-
lung.
- Abb. 109: Regelschnitt Sohle. Eigene Darstellung.
- Abb. 110: Massivholzwand oder Brettschichtholzwand. Eigene
Darstellung.
- Abb. 111: Blockhaus Außenwand. Eigene Darstellung.
- Abb. 112: Skelettbau Außenwand. Eigene Darstellung.
- Abb. 113: Balloonframe. Eigene Darstellung.
- Abb. 114: Regelschnitt Außenwand. Eigene Darstellung.
- Abb. 115: Detail Anschluss Außenwand Sohle. Eigene Darstellung.
- Abb. 116: Axonometrie Anschluss Außenwand Sohle. Eigene Dar-
stellung.
- Abb. 117: Balkendecke Dach. Eigene Darstellung.
- Abb. 118: Hohlkastendecke Dach. Eigene Darstellung.
- Abb. 119: Massivholz oder Brettstapelholz. Eigene Darstellung.
- Abb. 120: Regelschnitt Dach. Eigene Darstellung.
- Abb. 121: Detail Anschluss Außenwand Dach & Dach Traufe.
Eigene Darstellung.
- Abb. 122: Axonometrie Anschluss Außenwand Dach & Dach Trau-
fe & Dach Ortgang. Eigene Darstellung.
- Abb. 123: Balkendecke. Eigene Darstellung.
- Abb. 124: Massivholz- oder Brettstapelholzdecke. Eigene Darstel-
lung.
- Abb. 125: Hohlkastendecke. Eigene Darstellung.
- Abb. 126: Regelschnitt Zwischendecke. Eigene Darstellung.
- Abb. 127: Detail Anschluss Außenwand Zwischendecke & Zwi-
schendecke Unterzug. Eigene Darstellung.
- Abb. 128: Axonometrie Anschluss Außenwand Zwischendecke &
Zwischendecke Unterzug. Eigene Darstellung.
- Abb. 129: Detail Anschluss Innenwand Sohle & Innenwand Zwi-
schendecke. Eigene Darstellung.
- Abb. 130: Detail Nasszellen. Eigene Darstellung.

Abb. 131: Detail Beispiel Schacht. Eigene Darstellung.

Abb. 132: Detail Leitungen in Hohlkastendecke. Eigene Darstellung.

Abb. 133: Detail Fenster Schnitt. Eigene Darstellung.

Abb. 134: Detail Fenster Grundriss. Eigene Darstellung.

Abb. 135: Detail Anschluss Terrasse & Balkon. Eigene Darstellung.

Abb. 136: Vorfertigungsvarianten. Eigene Darstellung.

Abb. 137: Strom Konzept. Eigene Darstellung.

(Icons von Freepik)

Batterie: https://www.freepik.com/icon/car-battery_4238361#fromView=search&page=1&position=26&uuid=b0d09596-2756-409d-8649-48ee8761b65a %3EIcon by Uniconlabs

Sonne: https://www.freepik.com/icon/solar-energy_1107371#fromView=search&page=1&position=26&uuid=07988059-18eb-46db-81df-cded495d55db %3EIcon by berkahicon

Blitz: https://www.freepik.com/icon/thunder_11280985#fromView=search&page=1&position=30&uuid=c5e7717a-8243-42c4-bc2b-d627ed-5f1a87 %3EIcon by Creatype

Ofen: https://www.freepik.com/icon/cooking_13811628#fromView=search&page=1&position=13&uuid=fa7f1876-0a88-4335-bf7694669576 %3EIcon by IconMark

Steckdose: [https://www.freepik.com/icon/socket_4893157#fromView=search&page=1&position=7&uuid=dce8c686-f60d-4d21-81ac-](https://www.freepik.com/icon/socket_4893157#fromView=search&page=1&position=7&uuid=dce8c686-f60d-4d21-81ac-661941199657)

[661941199657](https://www.freepik.com/icon/socket_4893157#fromView=search&page=1&position=7&uuid=dce8c686-f60d-4d21-81ac-661941199657) %3EIcon by Freepik

Heizmatte: https://www.freepik.com/icon/heating_18362398#fromView=search&page=4&position=45&uuid=363dd908-bcbb-4127-98c9-547b306299d9 %3EIcon by Iconjam

Ventilator: https://www.freepik.com/icon/ventilation_2758315#fromView=search&page=1&position=1&uid=a5e7a3cc-ee8c-4a4b-b48c-5d6c783f348f %3EIcon by torskaya

Wechselrichter: https://www.freepik.com/icon/power_13291478#fromView=search&page=1&position=29&uuid=d6cc49b8-f68f-4318-9f2c-cce76d7c3054 %3EIcon by Bloodline Studios

Abb. 138: Beispielhafter Grundriss Strom Konzepthaus. Eigene Darstellung.

Abb. 139: Beispielhafte Dachaufsicht Strom Konzepthaus. Eigene Darstellung.

Abb. 140: Wasser Konzept. Eigene Darstellung.

(Icons von Freepik)

Abwasser: https://www.freepik.com/icon/water-pollution_16706440#fromView=search&page=1&position=33&uid=ba0b8287-f205-46b2-80d9-b42e0d359547 %3EIcon by Abdul-Aziz

Regenwolke: https://www.freepik.com/icon/rain_1483221#fromView=families&page=1&position=3&uid=051d1570-940b-404c-bc58-1ea4813bfd38 %3EIcon by Freepik

Wasserhahn: https://www.freepik.com/icon/water-tap_5787699#fromView=search&page=1&position=7&uid=7a7888f6-d82c-4f3b-927c-739c3a723197 %3EIcon by DinosoftLabs

Wasserzähler: https://www.freepik.com/icon/counter_5787926#fromView=resource_detail&position=4 %3EIcon by DinosoftLabs

Wasserrecycling: https://www.freepik.com/icon/recycle-water_10197402#fromView=search&page=1&position=15&uuid=5760e49f-1819-488f-9da0-acf114288cf4 %3EIcon by VetIcon

Toilettenwasser: https://www.freepik.com/icon/toilet_12078498#fromView=search&page=1&position=1&uuid=a8156af1-1011-4110-8e81-835172ddafd3 %3EIcon by juicy_fish

Wasserschlauch: https://www.freepik.com/icon/farm_16183278#fromView=search&page=1&position=8&uuid=aa597f0e-d085-4d0a-ab01-804f43fd2112 %3EIcon by rimsha-ibrar

Abb. 141: Beispielhafter Grundriss Wasser Konzepthaus. Eigene Darstellung.

Abb. 142: Beispielhafter Schnitt Wasser Konzepthaus. Eigene Darstellung.

Abb. 143: Wärme Konzept. Eigene Darstellung.
(Icons von Freepik)

Heizmatte: https://www.freepik.com/icon/heating_18362398#fromView=search&page=4&position=45&uuid=363dd908-bcbb-4127-98c9-547b306299d9 %3EIcon by Iconjam

Abb. 144: Beispielhafter Grundriss Wärme Konzepthaus. Eigene Darstellung.

Abb. 145: Beispielhafter Schnitt Wärme(schutz) Konzepthaus. Eigene Darstellung.

Abb. 146: Luft Konzept. Eigene Darstellung.
(Icons von Freepik)

Ventilator: https://www.freepik.com/icon/ventilation_2758315#fromView=search&page=1&position=1&uuid=a5e7a3cc-ee8c-4a4b-b48c-5d6c783f348f %3EIcon by torskaya

Abb. 147: Beispielhafter Grundriss Luft Konzepthaus. Eigene Darstellung.

Abb. 148: Beispielhafte Verortung Strom. Eigene Darstellung.

Abb. 149: Beispielhafte Verortung Wasser. Eigene Darstellung.

Abb. 150: Beispielhafte Verortung Wärme. Eigene Darstellung.

Abb. 151: Beispielhafte Verortung Luft. Eigene Darstellung.

Abb. 152: Beispielhafte Verortung Bohrung Innenwände. Eigene Darstellung.

Abb. 153: Heizvlies Durchdringungsmöglichkeiten. Eigene Darstellung, basierend auf Informationen aus: mfh systems GmbH, o.J. „E-ENERGY CARBON FLEECE | Flächenheizung | mfh systems“. mfh Systems. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.mfh-systems.com/produkte/e-nergy-carbon/e-nergy-carbon-fleece/>.

Abb. 154: Verschiebung Innenwand. Eigene Darstellung.

Abb. 155: Schwarzplan Trittau. Eigene Darstellung, basierend auf: Bilhöfer, Timo, o.J. SWZPLN. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://swzpln.de/>.

Abb. 156: Ausschnitt B-Plan Trittau NR. 39,1.

Gemeinde Trittau. 2006. „Satzung der Gemeinde Trittau über den Bebauungsplan Nr. 39,1. Änderung und Ergänzung“. September 25. Zugegriffen am 15. September 2025. https://pubweb.itv-stormarn.de/gis/plaene/Trittau_BPL_39_1Ae_E.jpg.

Abb. 157: Lageplan. Eigene Darstellung. basierend auf:
Bilhöfer, Timo. o.J. SWZPLN. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://swzpln.de/>.
Google Earth. 2024. Trittau, Deutschland, 53°36'N, 10°24'E. Oktober 5. Zugegriffen am 15. September 2025. https://earth.google.com/web/@53.60147153,10.39794967,35.64347781a,692.29968837d,35y,343.10069007h,0t,0r/data=ChYqEAgBEgoyMDIOLTEwLTA1GAFCAGg-BOgMKATBCAggASgOI_____ARAA?authuser=0.

Abb. 158: Grundriss EG Haus Neufert. S.167:
Zechlin, Hans Josef. 1931. Ein Holzskelettbauversuch von Ernst Neufert, Berlin. Wasmuths Monatshefte für Baukunst und Städtebau., 15.1931 (15). Zugegriffen am 15. September 2025. https://digital.zlb.de/viewer/image/14192921_1931/150/.

Abb. 159: Grundriss OG Haus Neufert. S.167:
Zechlin, Hans Josef. 1931. Ein Holzskelettbauversuch von Ernst Neufert, Berlin. Wasmuths Monatshefte für Baukunst und Städtebau., 15.1931 (15). Zugegriffen am 15. September 2025. https://digital.zlb.de/viewer/image/14192921_1931/150/.

Abb. 160: Ansicht Ost Haus Neufert.
Neufert Stiftung. o.J. „Neufert Haus, 1929 Weimar“. Neufert-Stiftung. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.neufert-stiftung.de/de/neufert-haus>.

Abb. 161: Grundriss EG Konzepthaus. Eigene Darstellung.

Abb. 162: Grundriss OG Konzepthaus. Eigene Darstellung.

Abb. 163: Ansicht West. Eigene Darstellung.

Abb. 164: Ansicht Nord. Eigene Darstellung.

Abb. 165: Ansicht Ost. Eigene Darstellung.

Abb. 166: Ansicht Süd. Eigene Darstellung.

Abb. 167: Grundrisssschema Ausgangsszenario. Eigene Darstellung.

Abb. 168: Grundrisssschema Szenario 5er WG. Eigene Darstellung.

Abb. 169: Grundrisssschema Szenario Büro + 1WE. Eigene Darstellung.

Abb. 170: Grundrisssschema Szenario 2WE. Eigene Darstellung.

Abb. 171: LZA Konzepthaus. Eigene Darstellung.

Literaturverzeichnis

Im Rahmen der Recherche wurden die KI basierten Programme ChatGPT und Perplexity genutzt. Jedoch nur im Rahmen der Inspiration für Quellen und das Durchsuchen und Zusammenfassen mancher. Alle Texte und indirekten Zitate wurden von mir formuliert und geschrieben.

AceFlex GmbH. o.J. „Luxor ECO LINE M108 Glas/Glas HJT 440Wp, Bifazial, White mesh“. AceFlex. ugegriffen am 15. September 2025. <https://www.aceflex.de/produkt/luxor-eco-line-m108-glas-glas-hjt-440wp-weisse-folie-bifazial/>.

Albert, Matthias, Jürgen Nagel, Matthias Schmidt, Ralf-Volker Nagel, und Hermann Spellmann. 2024. Eine neue Generation von Ertragstafeln für die Baumarten Eiche, Buche, Fichte, Douglasie und Kiefer in Nordwestdeutschland. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt. Göttingen University Press. <https://doi.org/10.17875/gup2024-2636>.

Aydt, Ralf. 2023. Modell Nachbarschaften: Vom Einfamilienhaus zur sozial-ökologischen Siedlung – eine Utopie? Oekom.

Bau EPD GmbH. 2019a. Baustrohballen, Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V., EPD - ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION. BAU-EPD-Fasba-2019-01-GaBi. BAU EPD. Wien. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://fasba.de/wp-content/uploads/2022/02/BAU-EPD-Fasba-2019-1-GaBi-Baustrohballen-20191010.pdf>.

Bau EPD GmbH. 2019b. Knauf Bauplatten GKB und GKBI Knauf Feuerschutzplatten GKF und GKFI, KNAUF GesmbH, EPD - ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION. BAU EPD-KNAUF-2019-1-Gipskartonplatten-GaBi. BAU EPD. Wien. Zugegriffen am 15. September 2025. https://www.bau-epd.at/fileadmin/user_upload/epds_Deutsch/BAU-EPD-KNAUF-2019-1-Ecoinvent-Gipskartonplatten-20191010-neu.pdf.

www.bau-epd.at/fileadmin/user_upload/epds_Deutsch/BAU-EPD-KNAUF-2019-1-Ecoinvent-Gipskartonplatten-20191010-neu.pdf.

Bau EPD GmbH. 2022. THERMO HANF COMBI JUTE, HempFlax Building Solutions GmbH, EPD - ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION, UMWELT-PRODUKTDEKLARATION. BAU-EPD-Hempflax-2022-1-GaBi. BAU EPD. Wien. Zugegriffen am 15. September 2025. https://www.bau-epd.at/fileadmin/user_upload/epds_Deutsch/BAU-EPD-Hempflax-2022-01-GaBi-Thermohanf-20221111-Webseite.pdf.

Baufritz GmbH & Co. KG. 2025. „Detaildatenblatt, Baufriz-Voll-Werte-Wand „AAA““. Januar. Zugegriffen am 15. September 2025. https://www.baufritz.com/Dokumente/Voll-Werte-Wand/Voll-Werte-Wand_AAA_D-AT_web.pdf.

Baufritz GmbH & Co. KG. o.J. „Wandaufbau - naturgesunde Wände | Baufriz“. [baufriz.com](https://www.baufritz.com). Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.baufritz.com/de/technik/unser-wandaufbau>.

Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern (BKl), Hrsg. 2022. Sonderband Holzbau. BKl Kostenplanung S4. BKl Baukosteninformationszentrum.

BauSites GmbH. o. J. „Dämmstoff Magazin: Wärmeleit Zahlen / λ -Werte“. [baulinks](https://www.baulinks.de). Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.baulinks.de/baumaterial/lambda-werte-waermeleitzaehl-waermeleitfaehigkeit-waermedaemmung.php>.

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU, Ökoenergie-Institut Bayern, und Tobias Unger. 2025. Das nachhaltige Haus -

- heute für Morgen bauen. Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie.
- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz. o.J. „Nachhaltiges Bauen - IZU“. Umweltpakt.Bayern. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.umweltpakt.bayern.de/nachhaltigkeit/fachwissen/330/nachhaltiges-bauen>.
- Bilhöfer, Timo. o.J. SWZPLN. <https://swzpln.de/>.
- Brack, N, J Nielsen, und A Schürt. o.J. „Starke regionale und strukturelle Unterschiede bei Mieten in Deutschland“. Deutschlandatlas. Zugegriffen am 15. September 2025. https://www.deutschlandatlas.bund.de/DE/Karten/Wie-wir-wohnen/040-Mieten.html#_hbf5g1nnr.
- Blum, Andreas, Mehmet M Atci, Julia Roscher, Ralph Henger, und Florian Schuster. 2022a. Bauland- und Innenentwicklungspotenziale in deutschen Städten und Gemeinden. No. 11/2022. BBSR Online-Publikation. Zugegriffen am 15. September 2025. https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2022/bbsr-online-11-2022-dl.pdf;jsessionid=5F9F02B26896F06CFE4E026E-AEB3976E.live21304?__blob=publicationFile&v=3.
- Blum, Andreas, Clemens Deilmann, Robing Gutting, Karin Gruhler, Norbert Krauß, und Milena Martinsen. 2022b. Auswirkungen des demographischen Wandels auf die Nutzung von natürlichen Ressourcen. No. 144/2022. TEXTE. Zugegriffen am 15. September 2025. Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/auswirkungen-des-demographischen-wandels-auf-die>.
- Brandl, Uwe. 2019. Wohnen im ländlichen Raum/Wohnen für alle: Bedarfsgerechte und (flächen-)nachhaltige Planungs- und Umsetzungsstrategien für den Wohnbedarf der Zukunft - Ein Handlungsleitfaden für das Rathaus. 1st ed. With Franz Dirnberger, Matthias Simon, und Manfred Miosga. Rehm Verlag.
- Brune, Miriam, Steffen Bender, und Markus Groth. 2017. Gebäudebegrünung und Klimawandel. Anpassung an die Folgen des Klimawandels durch klimawandeltaugliche Begrünung. Report 30. Climate Service Center Germany. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/report30.pdf>.
- Brüning, Uwe. o.J. „Musterhaushalt.de - Durchschnittswerte - Durchschnittlicher Stromverbrauch“. musterhaushalt.de. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.musterhaushalt.de/durchschnitt/stromverbrauch/>.
- bulwiengesa AG. 2023. „Marktstudie: Holz als Baustoff im Neubau. Berlin: bulwiengesa AG“. Berlin, August 22. Zugegriffen am 15. September 2025. https://bulwiengesa.de/sites/default/files/2023-09/marktstudie_holz_als_baustoff_im_neubau.pdf.
- Bund Deutscher Architekten BDA. 2019. „Das Haus der Erde, Positionen für eine klimagerechte Architektur in Stadt und Land“. Berlin. Zugegriffen am 15. September 2025. https://www.bda-bund.de/wp-content/uploads/2019/04/20190819_DasHausDerErde_Monitor.pdf.
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). 2022. „Informationsblatt CO2-Faktoren“. November 30. Zugegriffen am 15. September 2025. https://www.bafa.de/Shared-Docs/Downloads/DE/Energie/eew_infoblatt_co2_fakto.

ren_2025.pdf?__blob=publicationFile&v=4

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE). 2025. „Wasserfußabdruck: Wie viel Wasser steckt in landwirtschaftlichen Produkten?“ Bundesinformationszentrum Landwirtschaft, Juli 27. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.landwirtschaft.de/umwelt/natur/wasser/wasserfussabdruck-wie-viel-wasser-steckt-in-landwirtschaftlichen-produkten?utm.com>.

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE). o.J. „Wie klimaschädlich sind tierische Lebensmittel?“ Bundesinformationszentrum Landwirtschaft. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.landwirtschaft.de/umwelt/klimawandel/rolle-der-landwirtschaft/wie-klimaschaedlich-sind-tierische-lebensmittel?utm.com>.

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). 2011. „Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)“. November 3. Zugegriffen am 15. September 2025. https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/Nutzungsdauer_Bauteile/BNB_Nutzungsdauern_von_Bauteilen__2011-11-03.pdf.

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). 2020. Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland. No. 17/2020. BBSR Online-Publikation. Zugegriffen am 15. September 2025. https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2020/bbsr-online-17-2020-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=3.

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). 2023a. „ÖKOBAUDAT – Ökobilanzdaten für das Bau-

wesen“. CSV-Datei. Version 2024-I. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.oekobaudat.de/OEKOBAUDAT/resource/datastocks/ca70a7e6-0ea4-4e90-a947-d44585783626/exportCSV?decimalSeparator=comma>.

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), Hildegund Figl, und Oliver Kusche. 2023b. ÖKOBAUDAT-Handbuch, Technisch/formale Informationen und Regeln zur ÖKOBAUDAT-Datenbank. Version 2.1. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). Zugegriffen am 15. September 2025. https://www.oekobaudat.de/fileadmin/downloads/2023-11-20_OEBD-Handbuch_v2.1_Red_2023-12-18.pdf.

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), und Indikatoren und Karten zur Raum- und Stadtentwicklung (INKAR). 2024. „Entwicklung der Wohnfläche je Einwohner im städtischen und ländlichen Raum in Deutschland in den Jahren von 2011 bis 2022“. Statista, August 14. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1413027/umfrage/entwicklung-der-wohnflaeche-im-staedtischen-und-laendlichen-raum-deutschlands/>.

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), Thomas Riedel, Susan Bender, und Petra Hennig. 2024. „Der Wald in Deutschland - Ausgewählte Ergebnisse der vierten Bundeswaldinventur“. Oktober. Zugegriffen am 15. September 2025. https://www.bmlh.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/vierte-bundeswaldinventur.pdf?__blob=publicationFile&v=17.

Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUKN). 2024. „Wassernutzung pri-

- vater Haushalte“. Text. Umweltbundesamt, Umweltbundesamt, September 10. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/wassernutzung-privater-haushalte>.
- Bundesministerium für Umwelt, Natur, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Referat B I 5 - Bauingenieurwesen, Nachhaltiges Bauen, Bauforschung, und sol-id-ar planungswerkstatt. 2015. „Energieeffizient bauen und modernisieren, Ratgeber für private Bauherren“. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Juni. Zugegriffen am 15. September 2025. https://www.alt-bau-neu.de/fileadmin/user_upload/kommunen/gevelsberg/downloads/attachments/ratgeber_energieeffizientesbauen.pdf.
- Bundesministerium für Umwelt, Natur, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Referat G I 1, Jörg Mayer-Ries, und Florian Raecke. 2016. „Den ökologischen Wandel gestalten - Integriertes Umweltprogramm 2030“. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), August. Zugegriffen am 15. September 2025. https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/integriertes_umweltprogramm_2030_bf.pdf.
- Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB). 2023. „QNG-Anforderungskatalog Anhangdokument 313 - Schadstoffvermeidung in Baumaterialien“. September 14. Zugegriffen am 15. September 2025. https://www.qng.info/app/uploads/2023/04/QNG_Handbuch_Anlage-3_Anhang-313_Schadstoffe_v1-3-final.pdf.
- Dachverband Lehm e.V. 2023. Muster-Umweltproduktdeklaration, Lehmplatten nach DIN 18948, Dachverband Lehm e.V. UPD_LP_DVL2023004_PKRÜ5-DE. Zugegriffen am 15. September 2025. https://www.dachverband-lehm.de/file_download/179/DVL_UPD_LP_U9.pdf.
- Deurer, Jana, Jan Steinbach, Benjamin Krick, Burkhard Schulze-Darup, und Bernd Steinmüller. 2025. Der kumulierte Energieaufwand als Förderkriterium im Gebäudebereich. TEXTE No. 71/2025. With Umweltbundesamt. Umweltbundesamt. 160. <https://doi.org/10.60810/OPENUMWELT-7701>.
- Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB). 2020. „DGNB System - Kriterienkatalog Quartiere, Version 2020: Soziale und funktionale Mischung (SOC3.2)“. DGNB GmbH. Zugegriffen am 15. September 2025. https://www.dgnb.de/filestorages/Downloads_unprotected/dokumente/kriterien/dgnb-kriterium-soc3-2-quartiere-version-2020.pdf.
- Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB). 2024. „DGNB System - KRITERIENKATALOG KLEINE WOHN-GEBAUDE Sanierung / Neubau, Version 2024“. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.dgnb.de/?eID=dumpFile&t=f&download=1&f=10321&token=f8201a465d3fd8b0697015a347b9185c4e3ba810>.
- Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB). o.J.a. „Biodiversität“. DGNB. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.dgnb.de/de/nachhaltiges-bauen/biodiversitaet>.
- Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB). o.J.b. „DGNB System - Kriterienkatalog Nachhaltige Baustelle“. DGNB GmbH. Zugegriffen am 15. September 2025. https://www.dgnb.de/filestorages/Downloads_unprotected/dokumente/kriterien/dgnb-kriterium-baustelle-erstan

wendung-3-bs-gesundheit-soziales.pdf.

Deutsche Schraubfundament GmbH. o.J. „Mit Sicherheit ohne Beton: Schraubfundamente für Modulbau“. Brechen. Zugriffen am 15. September 2025. https://www.hiss-eichstetten.de/fileadmin/user_upload/kataloge/2025_02_27_Krinner_Modulbau/Broschuere-Modulbau-neu.pdf.

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA). 2025. Arbeitsblatt DWA-A 138: Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. DWA, Hennef.

Deutscher Wetterdienst (DWD). 2023. „Starkniederschlagshöhen und -spenden gemäß KOSTRA DWD 2020“. openko, Januar 1. Zugriffen am 15. September 2025. https://www.openko.de/maps/kostra_dwd_2020.html#7/50.572/10.393.

Deutscher Wetterdienst (DWD). 2024. „Deutschlandwetter im Jahr 2024“. dwd, Dezember 30. Zugriffen am 15. September 2025. https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2024/20241230_deutschlandwetter_jahr_2024_news.html?nn=16210.

Deutscher Wetterdienst (DWD). o.J.a. „Globalstrahlung (mittlere 30-jährige Monats- und Jahressummen)“. dwd. Zugriffen am 15. September 2025. https://www.dwd.de/DE/leistungen/solarenergie/strahlungskarten_mvs.html?nn=16102.

Deutscher Wetterdienst (DWD). o.J.b. „Klimadaten Deutschland Mittelwerte Niederschlag“. dwd. Zugriffen am 15. September 2025. https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/nieder_9120_SV_html.html;jsessionid=F75F552F5E5AA-

6A9506E7BA5A5516C83.live11043?view=nasPublication&nn=16102.

Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN). 2003. DIN 4108-6, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs. DIN Media, Juni.

Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN). 2017. DIN 18534-1, Abdichtung von Innenräumen Teil 1: Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze. DIN Media, Juli.

Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN). 2018. DIN EN ISO 6946:2017, Bauteile Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient Berechnungsverfahren. DIN Media, März.

Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN). 2019. DIN 1946-6, Raumlufttechnik Teil 6: Lüftung von Wohnungen Allgemeine Anforderungen, Anforderungen an die Auslegung, Ausführung, Inbetriebnahme und Übergabe sowie Instandhaltung. DIN Media, Dezember.

Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN). 2021. DIN EN 15643:2021-12, Nachhaltigkeit von Bauwerken - Allgemeine Rahmenbedingungen zur Bewertung von Gebäuden und Ingenieurbauwerken; Deutsche Fassung EN_15643:2021. DIN Media GmbH, Dezember.

Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN). 2022. DIN EN 15804, Nachhaltigkeit von Bauwerken Umweltproduktdeklarationen Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte. DIN Media, März.

- Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN). 2023. DIN EN 1995-1-1:2023-10, Eurocode_5_- Bemessung und Konstruktion von Holzbauten_- Teil_1-1: Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche und Englische Fassung prEN_1995-1-1:2023. DIN Media, Oktober.
- Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN). 2024a. DIN 4108-2, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. DIN Media, Dezember.
- Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN). 2024b. DIN 4108-3, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung. DIN Media, März.
- Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN). 2024c. DIN EN 15978:2024-05, Nachhaltigkeit von Bauwerken_- Bewertung der Umweltleistung von Gebäuden_- Methodik; Deutsche und Englische Fassung prEN_15978:2024. DIN Media, Mai.
- Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN). 2025. DIN 1986-100, Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke Teil 100: Bestimmungen in Verbindung mit DIN EN 752 und DIN EN 12056. DIN Media, Juni.
- Dietrich, Kai. 2023. „Solaranlage: Wann sie sich fürs Eigenheim rentiert“. ZDFheute, Juli 8. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.zdfheute.de/ratgeber/solaranlage-photovoltaik-energie-zu-hause-100.html>.
- Drexel, Thomas. 2015. Low budget: moderne Einfamilienhäuser unter 250.000 Euro. 1. Auflage. Deutsche Verlags-Anstalt.
- Drusche, Volker. 2023. EnergieSynergie: nachhaltig planen, bauen und sanieren: Kosten sparen und Ressourcen schonen. 5. Auflage, Stand: Dezember 2022. Reguvis.
- El khouli, Sebastian, Martin Zeumer, und Viola John. 2014. Nachhaltig Konstruieren: Vom Tragwerksentwurf Bis Zur Materialwahl - Gebäude ökologisch Bilanzieren und Optimieren. DETAIL Green Books. Detail Architecture GmbH.
- EPD HUB. 2023. Expanded Insulation Corkboard (ICB), Amorim Cork Insulation, ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION. HUB-0281. EPD HUB. Zugegriffen am 15. September 2025. https://www.amorimcorkinsulation.com/xms/files/EPD_Amorim_Cork_Insulation_Expanded_Insulation_Corkboard_-ICB_-_2023.pdf.
- EPD International AB. 2021. DDP-S, DDP-X, from KNAUF INSULATION, ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION. S-P-03776. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://knauf.com/api/download-center/v1/assets/da86983d-4f31-45bc-874b-d020ef60c7a0?download=true&country=de>.
- Ernst, Laurin. 2023. „Statik Eines Holzbalkens [Schritt für Schritt Anleitung]“. Statik, Oktober 17. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.structuralbasics.com/de/statik-holzbalken/>.
- European Commission. 2024. „Circular construction and materials for a sustainable building sector | BUILD UP“. European Commission - Build Up, Mai 8. Zugegriffen am 15. September 2025.

- ber 2025. <https://build-up.ec.europa.eu/en/resources-and-tools/articles/circular-construction-and-materials-sustainable-building-sector>.
- Faller, Bernhard, Colin Beyer, und Dirk Löhr. 2022. „Der Einsatz des Erbbaurechts aus kommunaler Perspektive - Arbeitshilfe“. Forum Baulandmanagement NRW. Zugegriffen am 15. September 2025. https://www.forum-bauland.nrw/wp-content/uploads/Forum-Baulandmanagement-NRW_Arbeitshilfe-Erbbaurecht.pdf.
- Feist, Wolfgang, Passivhaus-Institut, und Universität Innsbruck, Hrsg. 2015. „Tagungsband zur 19. internationalen Passivhaustagung 2015 in Leipzig“. Passivhaus Institut.
- Feist, Wolfgang, Passivhaus-Institut, und Universität Innsbruck, Hrsg. 2018. „Tagungsband: 22. Internationale Passivhaustagung 2018: 9.-10. März 2018, München: Passivhaus - das lohnt sich!“ Passivhaus Institut.
- Flörke, Martina, Thorben Uschan, Ulf Stein, u. a. 2024. Auswirkung des Klimawandels auf die Wasserverfügbarkeit - Anpassung an Trockenheit und Dürre in Deutschland (WAD-Klim). No. 143/2024. TEXTE.
- Fouad, Nabil A., Hrsg. 2022. Holzbau. Bauphysik-Kalender, 22. Jahrgang (2022). Ernst & Sohn.
- Gemeinde Trittau. 2006. „Satzung der Gemeinde Trittau über den Bebauungsplan Nr. 39,1. Änderung und Ergänzung“. September 25. Zugegriffen am 15. September 2025. https://pubweb.itv-stormarn.de/gis/plaene/Trittau_BPL_39_1Ae_E.jpg.
- GFM-Massivholz GmbH. o.J. „GFM-Platte für Architekten“. GFM-System. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.gfm-system.com/gfm-platte-fuer-architekten/>.
- Google Earth. 2024. Trittau, Deutschland, 53°36'N, 10°24'E. Oktober 5. Zugegriffen am 15. September 2025. https://earth.google.com/web/@53.60147153,10.39794967,35.64347781a,692.29968837d,35y,343.10069007h,0t,0r/data=ChYqEAgBEgoyMDI0LTEwLTA1GAFCAGgBOgMKAT-BCAggASgOI_____ARAA?authuser=0.
- Grootens, Mathias. 2009. „Umrechnungsfaktoren für das Sachwertverfahren, Faktoren zur Umrechnung von Wohnfläche in Bruttogrundfläche“. NWB Datenbank, Februar 16. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://datenbank.nwb.de/Dokument/323931/>.
- Grossarth, Jan. 2024. Bioökonomie und Zirkulärwirtschaft im Bauwesen: Eine Einführung. Springer Fachmedien. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-40198-6>.
- hamburg.de GmbH. 2023. „Umsetzung der neuen Bodenpolitik: Positive Flächenbilanz, mehr Erbbaurechte, weniger Verkäufe Deutschlandweit beste Erbbaurechtskonditionen in Hamburg“. Hamburg, Juli 25. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.hamburg.de/politik-und-verwaltung/behoerden/finanzbehoerde/aktuelles/2023-07-25-fb-lig-bilanz-522486>.
- hamburg.de GmbH. o.J. „Förderrichtlinie für die Speicherung und Nutzung von Regenwasser - hamburg.de“. Hamburg. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.hamburg.de/politik-und-verwaltung/behoerden/bukea/themen/wasser/grundwasser/foerderung-zisterne-regenwassernutzung->

- hamburg-gartenbewaesserung-175944.
- Hannemann, Christine, Herbert Glasauer, Jörg Pohlan, Andreas Pott, und Volker Kirchberg. 2010. Jahrbuch StadtRegion 2009/2010 Stadtkultur und Kreativität. Barbara Budrich.
- Heliatek GmbH. 2020. „Organic Photovoltaics – Truly Green Energy: “Ultra-Low Carbon Footprint”“. Dresden, März. Zugegriffen am 15. September 2025. https://www.heliatek.com/fileadmin/user_upload/content/nachhaltigkeit/HeliaFact/2023-11_Heliatek_Truly_Green_Energy_Ultra_Low_Carbon_Footprint_REV4.pdf.
- Heliatek GmbH. o.J. „TECHNISCHES DATENBLATT: HeliaSol® 436-2000-CFF“. Dresden. Zugegriffen am 15. September 2025. https://www.heliatek.com/fileadmin/user_upload/pdf_documents/Datasheet_HeliaSol_436-2000_Web-site_DE.pdf.
- Hengstler, Jasmin, Manfred Russ, Alexander Stoffregen, Aline Hendrich, und Simone Weidner. 2021. Aktualisierung und Bewertung der Ökobilanzen von Windenergie- und Photovoltaikanlagen unter Berücksichtigung aktueller Technologieentwicklungen. No. 35/2021. CLIMATE CHANGE.
- Hnilica, Sonja, und Elisabeth Timm, Hrsg. 2017. Das Einfamilienhaus. 1. Auflage. ZfK - Zeitschrift für Kulturwissenschaften, 1 (2017). Transcript.
- Höger, Uwe. 2023. „Wohn-Vermögen. Zur wohnungswirtschaftlichen, politischen und biographischen Bedeutung des Einfamilienhauses in Deutschland“. Ethik und Gesellschaft, März 14, Nr. 1 (2022): Wohnvermögen. <https://doi.org/10.18156/EUG-1-2022-ART-1>.
- HÜBNER-LEE GmbH & Co. KG. o.J. „TTE® Rasengitter: unversiegelt & belastbar“. Hübner-Lee. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.huebner-lee.de/aussenanlagen-tte-gruen.html>.
- IfD Allensbach. 2024. „Bevölkerung in Deutschland nach Wohnsituation von 2019 bis 2024“. Statista, Juni 19. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/171237/umfrage/wohnsituation-der-bevoelkerung/>.
- IGEPA Austria GmbH. o.J. „HeliaSol® Modul 50 Watt“. igeпа. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://igepa.at/soht-modul-g-50wp.html>.
- Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU). 2019. binderholz Brettsperrholz BBS - binderholz X-LAM BBS binderholz Cross Laminated Timber CLT BBS, Binderholz Bausysteme GmbH, UMWELT-PRODUKTDEKLARATION. EPD EPD-BBS-20190021-IBB1-DE. Berlin. Zugegriffen am 15. September 2025. https://www.binderholz.com/fileadmin/user_upload/pdf/pruefzeugnisse-zulassungen/EPD-binderholz-Brettsperrholz-BBS_19-03-2024.pdf.
- Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU). 2020. STEICO Holzfaserdämmplatten aus dem Nassverfahren, STEICO SE, UMWELT-PRODUKTDEKLARATION. EPD EPD-STE-20200174-IBA1-DE. Berlin. Zugegriffen am 15. September 2025. https://www.steico.com/fileadmin/user_upload/importer/downloads/umwelt-produktdeklaration_epd/STEICO_IBU-environmental-product-declaration_wood-fibre-boards-wet-process_EUR_de_i.pdf.

- Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU). 2021a. FOAMGLAS® F, Pittsburgh Corning Europe NV, UMWELT-PRODUKTDEKLARATION. EPD EPD-PCE-20200301-IBA1-DE. Berlin. <https://www.foamglas.com/-/media/project/foamglas/public/shared/files/certifications/b---common-certificates/epd-environmental-product-decl/epd-foamglas-f-de.pdf>.
- Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU). 2021b. Mauerziegel, mit Dämmstoff gefüllt, Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V., UMWELT-PRODUKTDEKLARATION. EPD EPD-BDZ-20210063-ICG1-DE. Berlin. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.thermopor.de/download.php?file=46b532d96dcbe0dcd59f3283b362bfa9>.
- Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU). 2021c. SAGLAN Glaswolle, phenolgebunden, Sager AG, UMWELT-PRODUKTDEKLARATION. EPD EPD-SAR-20200272-CBA1-EN. Berlin. Zugegriffen am 15. September 2025. www.ibu-epd.com.
- Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU). 2021d. Ytong-Porenbeton, Xella Baustoffe GmbH, UMWELT-PRODUKTDEKLARATION. EPD EPD-XEL-20210286-IAD2-DE. Berlin. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://technik.xella.de/media/ressourcen/ytong/zertifikate/ibu-institut-bauen-und-umwelt-ytong-porenbeton.pdf>.
- Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU). 2022. Konstruktionsvollholz (KVH) Holzwerke Ladenburger GmbH, UMWELT-PRODUKTDEKLARATION. EPD EPD-HLG-20220051-IBC1-DE. Berlin. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.foamglas.com/-/media/project/foamglas/public/shared/files/certifications/b---common-certificates/epd-environmental-product-decl/epd-foamglas-f-de.pdf>.
- Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU). 2023a. best wood FLEX 50, Holzwerk Gebr. Schneider GmbH, UMWELT-PRODUKTDEKLARATION. EPD EPD-HWS-20230343-IBA3-DE. Berlin. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.schneider-holz.com/de/service/downloads/download/zertifikat-epd-flex-50/>.
- Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU). 2023b. best wood Holzfaser-Dämmplatten, Holzwerk Gebr. Schneider GmbH, UMWELT-PRODUKTDEKLARATION. EPD EPD-HWS-20230344-IBA2-DE. Berlin. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.schneider-holz.com/de/service/downloads/download/zertifikat-epd-holzfaser-daemmplatten/>.
- Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU). 2024a. Fibrolith®-Leichtbauplatten/Stall-Lüftungsplatten Fibrolith® Dämmstoffe GmbH, UMWELT-PRODUKTDEKLARATION. EPD EPD-FIB-20230462-IBC1-DE. Berlin. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://my.assets-library.com/m/5cef-6cc68157ad8b/original/EPD-Fibro-Stall-Luftungsplatte.pdf>.
- Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU). 2024b. ROCKWOOL Steinwolle-Dämmstoffe im hohen Rohdichtebereich, DEUTSCHE ROCKWOOL GmbH & Co. KG, UMWELT-PRODUKTDEKLARATION. EPD EPD-DRW-20240316-IBC3-DE. Berlin. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.rockwool.com/siteassets/rw-d/nachhaltigkeit-und-gebaudezertifizierungen/umwelt-produktdeklarationen-epd/wu-umwelt-produktdeklaration-epd-hohe-rd-rockwool.pdf>.
- Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU). 2024c. ROCKWOOL Steinwolle-Dämmstoffe im niedrigen Rohdichtebereich, DEUTSCHE ROCKWOOL GmbH & Co. KG, UMWELT-

- PRODUKTDEKLARATION. EPD EPD-DRW-20240315-IBC3-DE. Berlin. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.rockwool.com/siteassets/rw-at/nachhaltigkeit/umwelt-produktdeklarationen-epd/wu-umwelt-produktdeklaration-epd-niedrige-rd-rockwool-at.pdf>.
- Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V. 2021. „Wie die Deutschen wohnen wollen“. iwd, April 16. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.iwd.de/artikel/wie-die-deutschen-wohnen-wollen-506735/>.
- ISOCELL GmbH & Co KG. o.J. „ISOCELL - Zellulosefaser“. isocell. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.isocell.com/de-de/produkte/produkt/zellulose>.
- Isphording, Stephan, Hrsg. 2008. Der ideale Grundriss; 2. Das Einfamilienhäuser-Planungsbuch für Architekten und Bauherren: 70 neue Projekte / Stephan Isphording. 2. Aufl. Callwey.
- Jochum, Patrick, und Peter Mellwig. 2014. „Grenzen der Dämmung opaker Bauteile“. Bauphysik 36 (6): 289–97. <https://doi.org/10.1002/bapi.201410042>.
- Johannes Strommer. 2019. „Formeln für Knicken von Stäben (Euler & Tetmajer) - DI Strommer“. Johannes-Strommer.com, Juni 10. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.johannes-strommer.com/formeln/knicken-von-staeben-euler/>.
- Kalisch, Dennis, Henry Wüstemann, Wendy Y. Chen, und Boping Chen. 2021. „Integrating the Value of Biodiversity and Ecosystem Services into Urban Policy in China and Germany (2nd Edition)“. Technische Universität Berlin. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.bfn.de/sites/default/files/2021-07/biodiversity-and-ecosystem-services-into-urban-policy-in-china-and-germany.pdf>.
- Keller, Felix. 2018. „Vergesst das Einfamilienhaus“. Venedig, Mai. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.bak.admin.ch/dam/bak/en/dokumente/kulturpflege/publikationen/Referat-von-Felix-keller.pdf.download.pdf/Referat-von-Felix-keller.pdf>.
- Kofner, Stefan. 2004. Wohnungsmarkt und Wohnungswirtschaft. Oldenbourg. <https://doi.org/10.1524/9783486700398>.
- Konferenz Kantonalener Energiedirektoren EnDK. o.J. Merkblatt Fenster Das Fenster in der Energieberechnung. Konferenz-kantonalenerenergiedirektorenendk.
- Kost, Christoph, Paul Müller, Jael Sepulveda Schweiger, Verena Fluri, und Jessica Thomse. 2024. Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien. Studie. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. Zugegriffen am 15. September 2025. https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2024_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf.
- Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). 2025a. „Eigentum Bauen oder Kaufen – gefördert von der KfW“. kfw. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/>.
- Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). 2025b. „Was ist ein Effizienzhaus? Sanieren und Förderung nutzen“. kfw. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestehende-Immobilie/>

- Energieeffizient-sanieren/Das-Effizienzhaus/strukturell-entnahme-landkreise-bund-isoe-2025.pdf.
- Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). o. J. „Wohneigentum für Familien – Neubau (300)“. kfw. Zugegriffen 5. August 2025. Zugegriffen am 15. September 2025. [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/Foerderprodukte/Wohneigentum-fuer-Familien-\(300\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/Foerderprodukte/Wohneigentum-fuer-Familien-(300)/).
- Krutke, Dirk. 2022. Bauklimatik: einfach skizziert. Basiswissen Architektur. Av edition.
- Lichtenberg, Cilia. 2021. „Das Erbbaurecht als Beitrag zum gemeinschaftlichen Wohnbau in Deutschland“. In Gemeinschaftliches Wohnen und selbstorganisiertes Bauen (pp. 99–109), herausgegeben von Andrej Holm und C Laimer. TU Wien Academic Press. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://repositum.tuwien.at/handle/20.500.12708/18109>.
- Loga, Tobias. 2004. Die Heizperiodenbilanz im Vergleich zum Monatsbilanzverfahren. 1. Auflage. INSTITUT WOHNEN UND UMWELT GMBH. Zugegriffen am 15. September 2025. https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/werkzeuge/2004_IWU_Loga_Die-Heizperiodenbilanz-im-Vergleich-zum-Monatsbilanzverfahren.pdf.
- Lütkemeier, Robert, und David Kuhn. 2025. „Grundwasserstress in Deutschland Überblicksstudie: Struktureller und akuter Grundwasserstress durch öffentliche und nichtöffentliche Entnahmen auf Ebene der Landkreise“. Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) GmbH, Frankfurt am Main, Mai 27. Zugegriffen am 15. September 2025. https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/fluesse/grundwasserstress-deutschland-studie-wasser-analyse-strukturell-entnahme-landkreise-bund-isoe-2025.pdf.
- mfh systems GmbH. o.J. „E-ENERGY CARBON FLEECE | Flächenheizung | mfh systems“. mfh Systems. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.mfh-systems.com/produkte/e-nergy-carbon/>.
- Nagler, Florian, Hrsg. 2022. Einfach Bauen: ein Leitfaden. Birkhäuser.
- Neufert Stiftung. o.J. „Neufert Haus, 1929 Weimar“. Neufert-Stiftung. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.neufert-stiftung.de/de/neufert-haus>.
- Neuffer Fenster + Türen GmbH. o.J. „Uw- Ug- und Uf- Werte von Holzfenstern“. fensterversand. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.fensterversand.com/fenster/holz/uw-werte.php>.
- Norddeutscher Rundfunk. 2023. „Studie zu neuer ‚Landlust‘, Lieber im Grünen als in der Großstadt“. tagesschau.de, September 12. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.tagesschau.de/inland/studie-land-100.html>.
- Osterburg, Bernhard, Andrea Ackermann, Jonas Böhm, u. a. 2023. Flächennutzung und Flächennutzungsansprüche in Deutschland. No. 224. Thünen Working Paper. Zugegriffen am 15. September 2025. https://literatur.thuenen.de/digibib_extern/dn067046.pdf.
- Pfeiffer, Mirjam, Klaus Hennenberg, Hannes Boettcher, Judith Reise, und Udo Mantau. o. J. Referenzszenario der Holzverwendung und der Waldentwicklung im UBA-Projekt BioSINK. Öko-Institut Working Paper No. 4/2023. Öko-In-

- stitut Working Paper. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/WP-Referenzszenario-BioSINK.pdf>.
- Plag, Ralf. o. J. „Inside u-wert.net – Rechenverfahren“. ubakus. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.ubakus.de/inside-u-wert-net-rechenverfahren/>.
- Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. 2023. „Ausreichend Wasser in bester Qualität, Ziel für nachhaltige Entwicklung“. Die Bundesregierung, August 16. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/archiv-bundesregierung/nachhaltigkeitspolitik/sichere-wasserversorgung-313276>.
- Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. o.J. „Zuhause sein in Stadt und Land“. GUT LEBEN IN DEUTSCHLAND. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.gut-leben-in-deutschland.de/bericht/wohnen-infrastruktur/>.
- Pyschny, Dominik, und Diana Fischer. 2002. „Nachhaltiges Bauen“. nbau. NACHHALTIG BAUEN, April 27. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.nbau.org/2022/04/27/nachhaltiges-bauen/>.
- Rat für Nachhaltige Entwicklung. 2023. „Der Baubranche wird so langsam klar, welch großen Einfluss sie auf den Klimawandel hat“. Nachhaltigkeitsrat, Oktober 26. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.nachhaltigkeitsrat.de/aktuelles/der-baubranche-wird-so-langsam-klar-welch-grossen-einfluss-sie-auf-den-klimawandel-hat/>.
- Redaktion Ernst & Sohn GmbH. 2023. „Multitalent Lehm für nachhaltigen Bau“. nbau. NACHHALTIG BAUEN, Mai 6. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.nbau.org/2023/05/06/multitalent-lehm-fuer-nachhaltigen-bau/>.
- RTL interactive GmbH. 2025. „Mittlerer Niederschlag in Deutschland nach Monat“. Statista, März 6. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1166631/umfrage/durchschnittliche-niederschlagsmenge-in-deutschland-nach-monat/>.
- Rutschmann, Ines. 2025. „Wie schnell rechnet sich eine Photovoltaikanlage?“. Solarwissen Selfmade Energy, Mai 6. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://solarwissen.selfmade-energy.com/wie-schnell-rechnet-sich-eine-photovoltaikanlage/>.
- Salzberger, Hannah, Leonie Müller-Judex, und Tobias Just. 2024. Schlüsselfaktor S: Die Soziale Nachhaltigkeit in der Immobilienwirtschaft: Auf dem Weg zu einem europäischen Bewertungsstandard. Beiträge zur Immobilienwirtschaft, Nr. Heft 30 (Oktober). <https://doi.org/10.5283/epub.59401>.
- Schmid, Werner. o.J. „Photovoltaik: Der richtige Winkel für Sommer und Winter | Haustec“. haustec. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.haustec.de/energie/pv-module/winterertrag-von-pv-anlagen-mit-der-richtigen-aufstellung-steigern>.
- Sommer, Adolf Werner. 2018. Passivhäuser: Planung - Konstruktion - Details - Beispiele. 3., Überarbeitete und Erweiterte Auflage. RM Rudolf Müller.
- Spreier, Katharina. 2023. „Einfamilienhäuser werden mehr und mehr zum Auslaufmodell“. tagesschau, Mai 28. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.tagesschau.de/wirt->

- schaft/verbraucher/einfamilienhaeuser-112.html.
- Staffa, Michael. 2014. Tragwerkslehre: Grundlagen, Gestaltung, Beispiele: Statik, Hallenbau, Geschossbau, räumliche Tragsysteme, Vordimensionierung, Querschnittstabellen. Bauwerk BBB. Beuth.
- Statistikamt Nord. 2025. „Bevölkerung der Gemeinden in Schleswig-Holstein 4. Quartal 2024“. A I 2-vj 4/24 SH. Juni 25.
- Statistisches Bundesamt. 2019. „Wie wird die landwirtschaftliche Fläche in Deutschland genutzt?“ Text. Umweltbundesamt, Umweltbundesamt. Zugriffen am 15. September 2025. <https://www.umweltbundesamt.de/umweltatlas/umwelt-landwirtschaft/einfuehrung/landwirtschaft-in-deutschland/wie-wird-die-landwirtschaftliche-flaeche-in>.
- Statistisches Bundesamt. 2021. „Von Januar bis November 2020 genehmigte Wohnungen: 59 % in Mehrfamilienhäusern“. DE Statis, Februar 25. Zugriffen am 15. September 2025. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/02/PD21_N015_44.html.
- Statistisches Bundesamt. 2023a. „43,4 Millionen Wohnungen in Deutschland zum Jahresende 2022“. DE Statis, Juli 28. Zugriffen am 15. September 2025. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/07/PD23_297_31231.html.
- Statistisches Bundesamt. 2023b. „Anteil der Eigentümer- und Mieterhaushalte in Deutschland im Jahr 2022 nach Gemeindegrößenklassen“. Statista, August 25. Zugriffen am 15. September 2025. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1409274/umfrage/eigentuerer-und-mieterhaushalte-in-deutschland-nach-gemeindegroessenklassen/>.
- Statistisches Bundesamt. 2023c. „Seit 1950 wurden in der Bundesrepublik Deutschland durchschnittlich 405 000 neue Wohnungen pro Jahr fertiggestellt“. DE Statis, Juni 29. Zugriffen am 15. September 2025. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/06/PD23_N041_31.html.
- Statistisches Bundesamt. 2024a. „Anzahl der Einfamilienhäuser in Deutschland im Jahr 2023 nach Bundesländern“. Statista, August 14. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1415914/umfrage/anzahl-der-einfamilienhaeuser-in-deutschland-nach-bundeslaendern/>.
- Statistisches Bundesamt. 2024b. „Bodenfläche insgesamt nach Nutzungsarten in Deutschland“. DE Statis, Oktober 24. Zugriffen am 15. September 2025. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Tabellen/bodenflaeche-insgesamt.html>.
- Statistisches Bundesamt. 2024c. „Preise für viele Baumaterialien gehen 2023 zurück, aber immer noch höher als vor Energiekrise“. DE Statis, März 14. Zugriffen am 15. September 2025. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2024/03/PD24_N012_61.html.
- Statistisches Bundesamt. 2024d. „Wohnfläche je Einwohner in Wohnungen in Deutschland von 1991 bis 2023“. Statista, August 14. Zugriffen am 15. September 2025. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/36495/umfrage/wohnflaeche-je-einwohner-in-deutschland-von-1989-bis-2004/>.

Statistisches Bundesamt. 2025a. „14,4 % weniger fertiggestellte Wohnungen im Jahr 2024“. DE Statist, Mai 23. Zugriffen am 15. September 2025. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2025/05/PD25_183_31121.html.

Statistisches Bundesamt. 2025b. „16,8 % weniger Baugenehmigungen für Wohnungen im Jahr 2024“. DE Statist, Februar 18. Zugriffen am 15. September 2025. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2025/02/PD25_061_3111.html.

Statistisches Bundesamt. 2025c. „Anzahl der Einfamilienhäuser in Deutschland in den Jahren von 2001 bis 2023“. Statista, Juli 15. Zugriffen am 15. September 2025. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/39010/umfrage/bestand-der-einfamilienhaeuser-in-deutschland-seit-2000/>.

Statistisches Bundesamt. 2025d. „Bevölkerung: Deutschland, Stichtag“. August 16. Zugriffen am 15. September 2025. <https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/statistic/12411/table/12411-0001/search/s/RWlud29obmVy-emFobCUyMFVORCUyMERldXRZy2hsYW5k>.

Statistisches Bundesamt. 2025e. „Preisindex für Ein- und Zweifamilienhäuser nach siedlungsstrukturellen Kreistypen in Deutschland vom 1. Quartal 2016 bis zum 4. Quartal 2024“. Statista, März 25. Zugriffen am 15. September 2025. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1054465/umfrage/preisindex-fuer-ein-und-zweifamilienhaeuser-nach-siedlungsstrukturellen-kreistypen-in-deutschland/>.

Statistisches Bundesamt. o.J.a. „Bau- und Immobilienpreisindex“. DE Statist. Zugriffen am 15. September 2025. https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Baupreis-Immobilienpreisindex/_inhalt.html.

Statistisches Bundesamt. o.J.b. „Kurzübersicht Abfallbilanz - Zeitreihe“. DE Statist. Zugriffen am 15. September 2025. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/Tabellen/liste-abfallbilanz-kurzuebersicht.html>.

Staub, Alexandra. 2017. „Von Stunde Null bis Tempo 100. Das Einfamilienhaus und die »Amerikanisierung« westdeutscher Wohnideale in der Nachkriegszeit“. Zeitschrift für Kulturwissenschaften 11 (1): 73–96. <https://doi.org/10.14361/zfk-2017-0107>.

STEICO SE. o.J. „Steicozell, Holzfaser-Einblasdämmung“. setico. Zugriffen am 15. September 2025. <http://www.steico.com/de/produkte/daemmung/gefachdaemmung/einblasdaemmung/steicozell>.

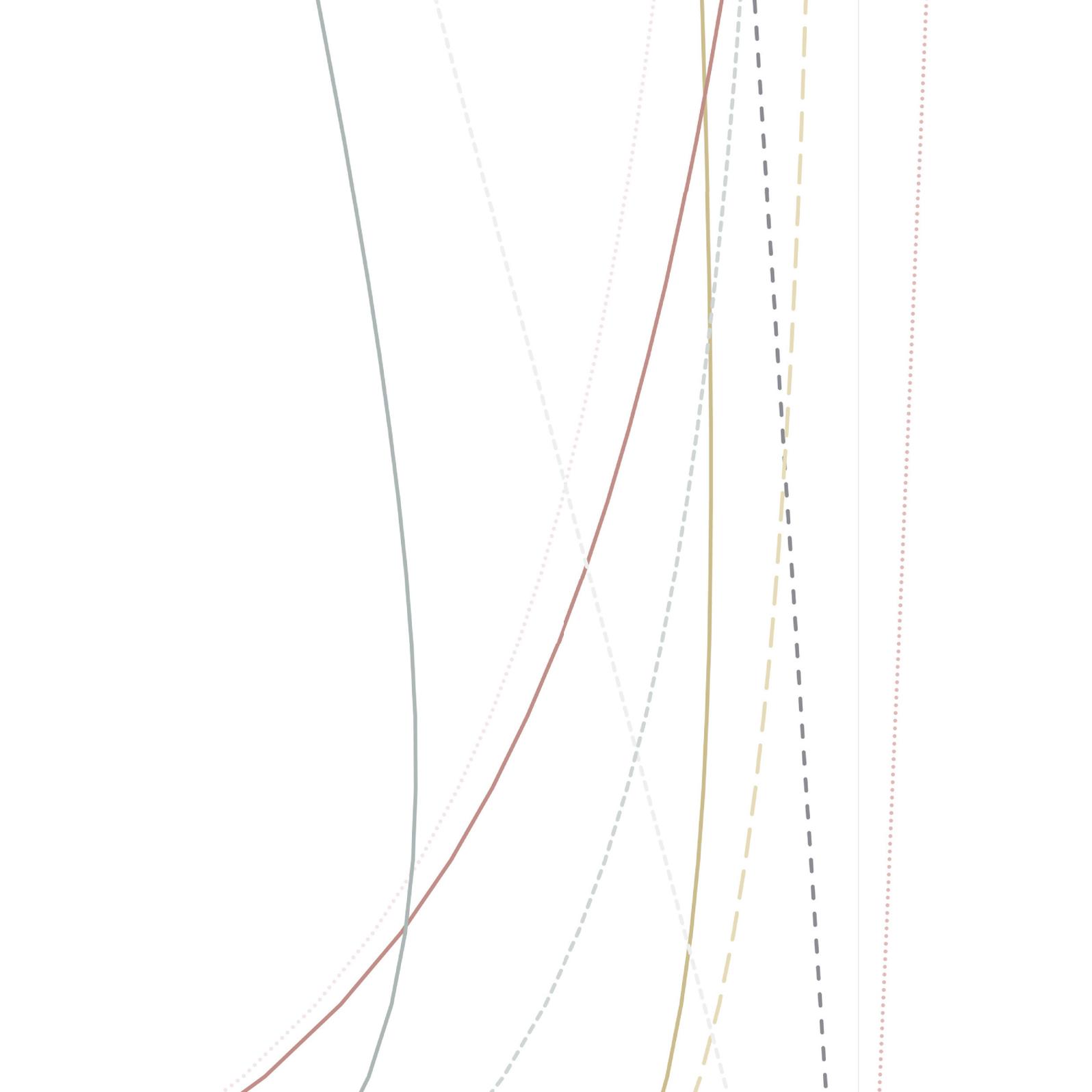
Streck, Stefanie. 2011. Wohngebäudeerneuerung: Nachhaltige Optimierung im Wohnungsbestand. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-16839-0>.

Umweltbundesamt. 2022. „Bebauung und Versiegelung“. Umweltbundesamt, Umweltbundesamt, März 24. Zugriffen am 15. September 2025. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-flaeche/bodenbelastungen/bebauung-versiegelung>.

Umweltbundesamt. 2023. „UBA-Prognose: Treibhausgasemissionen sanken 2022 um 1,9 Prozent“. Text. Umweltbundes-

- amt, Umweltbundesamt, März 15. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/uba-prognose-treibhausgasemissionen-sanken-2022-um>.
- Umweltbundesamt. 2025. „Treibhausgasemissionen durch Haushalte in Deutschland bis 2024“. Statista, März 7. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/12172/umfrage/energiebedingte-treibhausgasemissionen-durch-haushalte-seit-1990/.com>.
- United Nations Conference on Environment and Development. 1992. Agenda 21. United Nations, Rio de Janeiro. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>.
- Vallentin + Reichmann Architekten GbR. o.J. „Energieautarkes Passivhaus – VALLENTIN + REICHMANN“. vallentin-reichmann. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.vallentin-reichmann.de/architektur-energie/energieautarkes-passivhaus/>.
- VDE VERLAG GmbH. 2025. „Ost-West vs. Süd: Die optimale Ausrichtung für Solarparks im volatilen Strommarkt“. energie, April 22. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.energie.de/sonne-wind-waerme/news-detailansicht/nsctrl/detail/News/ost-west-vs-sued-die-optimale-ausrichtung-fuer-solarparks-im-volatilen-strommarkt>.
- Ventomaxx GmbH. o.J. „Aktive Lüfter mit Wärmerückgewinnung“. Ventomaxx. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.ventomaxx.de/dezentrale-lueftung-produktuebersicht/aktive-luefter-mit-waermerueckgewinnung/>.
- Verhülsdonk, Dominik, und Raphael Spieker. 2000. Strategien der Wohnungspolitik. Materialien zum Siedlungs- und Wohnungswesen und zur Raumplanung 36. Zentralinst. für Raumplanung, Inst. für Siedlungs- und Wohnungswesen.
- Vöpel, Anna. 2025. „Die Preisentwicklung von Photovoltaik (bis Juli 2025)“. Vergütung Und Wirtschaftlichkeit. Vergütung und Wirtschaftlichkeit, August 8. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://gruenes.haus/photovoltaik-preisentwicklung/>.
- Weißbach, Anne. 2025. „Stromverbrauch im 4-Personen-Haushalt: Infos & Stromspartipps“. co2online, Mai 13. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.co2online.de/energiesparen/strom-sparen/strom-sparen-stromspartipps/stromverbrauch-4-personen-haushalt/>.
- Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages. 2007. CO2-Bilanzen verschiedener Energieträger im Vergleich. WD 8-056/2007. Deutscher Bundestag. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.bundestag.de/resource/blob/406432/70f77c4c170d9048d88dcc3071b7721c/wd-8-056-07-pdf-data.pdf>.
- Woodpecker Group AG. o.J. „Hartschaum EPS 20 Lambda 0.036 W/mK Rohdichte ca. 20 kg/m3 (Swisspor)“. Woodpeckershop. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://www.woodpeckershop.ch/de/item/hartschaum-eps-20-lambda-0036-w-mk-rohdichte-ca-20-kg-m3-swisspor-1009273>.
- World Commission on Environment and Development. 1987. „Our common future“. Oxford University Press, Oxford. Zugegriffen am 15. September 2025. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>.

Zechlin, Hans Josef. 1931. Ein Holzskelettbauversuch von Ernst Neufert, Berlin. Wasmuths Monatshefte für Baukunst und Städtebau., 15.1931 (15). Zugegriffen am 15. September 2025. https://digital.zlb.de/viewer/image/14192921_1931/150/.



Anhang

Anhang 1.: ÖKOBAUDAT mit Markierungen

Hier ist nur ein Ausschnitt angehängt, da es eine CSV Datei ist, jedoch ist diese auch unter der Quelle (BBSR 2023a), jedoch ohne Markierungen, verfügbar.

Anhang 2.: Heizlast, Bauteilliste und LZA. Berechnungen erstellt mit Excel. Bauteilliste aus Revit exportiert und angepasst. Dieser Anhang gilt lediglich der Vollständigkeit. Die Berechnungen sind jedoch nur aus der gesamten und innerlich verknüpften CSV Datei verständlich lesbar. Bei tiefergehender Interesse kontaktieren Sie mich gerne.

Anhang 3.: Modellbilder. Eigens gebautes Modell im Maßstab 1:10.

Anhang 1: Beispielhafter Auszug ÖKOBAUDAT

UUID	Version	Name (de)	PERT	PENRT	FW	CRU	MFR	GWPTotal (A2)	WDP (A2)
10185	00.00.0:	Hempflax-Thermo Combi Hanf Jute Dämmm.	1,078702832	18,73081617	0,00125705		0	1,398556548	0,01363454
10185	00.00.0:	Hempflax-Thermo Combi Hanf Jute Dämmm.	0,299182879	1,60289832	0,01950277		0	6,993789529	0,83036905
10185	00.00.0:	Hempflax-Thermo Combi Hanf Jute Dämmm.	0,00		0		0	0	0
10185	00.00.0:	Hempflax-Thermo Combi Hanf Jute Dämmm.	0,00		0		0	0	0
10185	00.00.0:	Hempflax-Thermo Combi Hanf Jute Dämmm.	0,00		0		0	0	0
10185	00.00.0:	Hempflax-Thermo Combi Hanf Jute Dämmm.	0,00		0		0	0	0
10185	00.00.0:	Hempflax-Thermo Combi Hanf Jute Dämmm.	0,00		0		0	0	0
10185	00.00.0:	Hempflax-Thermo Combi Hanf Jute Dämmm.	0,00		0		0	0	0
10185	00.00.0:	Hempflax-Thermo Combi Hanf Jute Dämmm.	0,00		0		0	0	0
10185	00.00.0:	Hempflax-Thermo Combi Hanf Jute Dämmm.	0,00		0		0	0	0
10185	00.00.0:	Hempflax-Thermo Combi Hanf Jute Dämmm.	0,359461578	6,241764216	0,00041889		0	0,465852869	0,00454351
10185	00.00.0:	Hempflax-Thermo Combi Hanf Jute Dämmm.	2,510302384	13,46566331	0,15351164		0	55,80024894	6,53226401
10185	00.00.0:	Hempflax-Thermo Combi Hanf Jute Dämmm.	0,00		0		0	0	0
10185	00.00.0:	Hempflax-Thermo Combi Hanf Jute Dämmm.	-88,48	-412,4748439	-0,1020033		0	-24,42798655	-2,4391928
6d9cf1	00.02.0:	ASSA ABLOY PULSE	6,27	11,201	0,0262061		0	0,9602	0,720775
6d9cf1	00.02.0:	ASSA ABLOY PULSE	0,00		0		0	0	0
6d9cf1	00.02.0:	ASSA ABLOY PULSE	0,00		0		0	0	0
6d9cf1	00.02.0:	ASSA ABLOY PULSE	0,00		0,0127	8,52E-07	0	0,000954	0,00000924
6d9cf1	00.02.0:	ASSA ABLOY PULSE	0,01	0,524	0,0000337		0,245	0,0384	0,00117
6d9cf1	00.02.0:	ASSA ABLOY PULSE	0,00	0,00307	-7,04E-08		0	0,00116	-3,73E-06
6d9cf1	00.02.0:	ASSA ABLOY PULSE	-0,20	-4,55	-0,0122		0	-0,434	-0,519
b922a	00.02.0:	Grobblech	1280,00	22100	2,9		0	146	2280
b922a	00.02.0:	Grobblech	0,00		0		0	0	0
b922a	00.02.0:	Grobblech	0,00		0		0	0	0
b922a	00.02.0:	Grobblech	1490,00	-12700	-1,02	60,7	867	-1530	-0,524
b9935	00.03.0:	Dispersionsbasierte Produkte, Gruppe 4	15,56	97,82631675	0,03422409		0	4,970988095	0,09088717
b9935	00.03.0:	Dispersionsbasierte Produkte, Gruppe 4	0,04	0,674102584	4,3833E-05		0	0,051143882	0,00045214
b9935	00.03.0:	Dispersionsbasierte Produkte, Gruppe 4	0,16	1,009734153	0,00072662		0	0,209942865	0,0172785
b9935	00.03.0:	Dispersionsbasierte Produkte, Gruppe 4	0,00	0,003585228	2,0259E-08		0	0,00026194	4,9492E-07
b9935	00.03.0:	Dispersionsbasierte Produkte, Gruppe 4	0,00	0,156533779	8,8452E-07		0	0,011636635	2,1609E-05
b9935	00.03.0:	Dispersionsbasierte Produkte, Gruppe 4	0,09	0,519053589	0,00348066		0	0,887830022	0,14747429
b9935	00.03.0:	Dispersionsbasierte Produkte, Gruppe 4	-1,26	-6,368898619	-0,0014562		0	-0,377774017	-0,0351644
87cc6	00.02.0:	Produkte auf Basis Epoxidharz, Gruppe 5	4,13	82,39606153	0,01315975		0	3,511890795	0,44280082
87cc6	00.02.0:	Produkte auf Basis Epoxidharz, Gruppe 5	0,04	0,705691271	4,5887E-05		0	0,053540502	0,00047332
87cc6	00.02.0:	Produkte auf Basis Epoxidharz, Gruppe 5	0,05	0,88970527	0,00048654		0	0,177725913	0,0194815
87cc6	00.02.0:	Produkte auf Basis Epoxidharz, Gruppe 5	0,00	0,002669851	1,5087E-08		0	0,000195062	3,6856E-07
87cc6	00.02.0:	Produkte auf Basis Epoxidharz, Gruppe 5	0,00	0,116567708	6,5869E-07		0	0,008665579	1,6091E-05
87cc6	00.02.0:	Produkte auf Basis Epoxidharz, Gruppe 5	0,07	0,386529268	0,00259198		0	0,661150017	0,10982128
87cc6	00.02.0:	Produkte auf Basis Epoxidharz, Gruppe 5	-0,93	-4,724304556	-0,0010787		0	-0,280235265	-0,0260491
e79e3	00.03.0:	HIT-HY 270	1,74	43,31706026	0,04306612		0	0,00013617	2,505257606
e79e3	00.03.0:	HIT-HY 270	0,01	0,702525787	8,363E-05		0	1,7093E-05	0,048746825
e79e3	00.03.0:	HIT-HY 270	1,32	9,20229216	0,00563215		0	0,03981053	0,23036334
e79e3	00.03.0:	HIT-HY 270	0,02	1,055825842	0,0001346		0	3,309E-06	0,071212343
e79e3	00.03.0:	HIT-HY 270	0,29	5,421083462	0,00472005		0	0,08871896	0,514201705
e79e3	00.03.0:	HIT-HY 270	0,00	0,05405567	3,2824E-06		0	7,2009E-08	0,004021681
e79e3	00.03.0:	HIT-HY 270	0,00	0,071710733	9,142E-06		0	2,2474E-07	0,004836678
e79e3	00.03.0:	HIT-HY 270	0,00		0		0	0	0
e79e3	00.03.0:	HIT-HY 270	0,01	0,221989078	0,00029174		0	1,2142E-06	0,114307349
e79e3	00.03.0:	HIT-HY 270	0,00		0		0	0	0

Anhang 2: Heizlast

Heizlast =
 $(T_{i,inh}) \cdot \Delta T = 1.705 \text{ W}$

Temperatur Differenz $\Delta T = 15$
 Normtemperatur $T_N = 20$
 Normaußtemperatur $T_{N,a} = 5$

Länge HP 484 apr 212
 U Wert der Außenwände = 0,103

Für Heißluft und Heißwasser dimensionierung
 Temperatur Differenz $\Delta T = 20$

$(T_{i,inh}) \cdot \Delta T = 3.751 \text{ W}$

Fläche mit 3000/10h 36

2 Fächer pro Str. länger Heißwasserboiler $\Rightarrow 2 \times 10h$
 30 Fächer im GG 30
 40 Fächer im OG 40
 20 Fächer 20
 Zu und ist ok da Räume sehr veränderbar und Fenster geöffnet werden können

Transmissionverlust
 $H_T = \sum (F_{A,i} \cdot U_i \cdot A_i + H_{Wb}) = 85 \text{ W/K}$

Temperatur Korrekturfaktor $F_{A,i} = 1,05665667$
 Wärmestromdichte/Fäche $U_i = 0,103$
 wärmeleitfähige Außenfläche $A_i = 11,1$
 Wärmehinübergangskoeffizient $H_{Wb} = 0,005$

$\Delta T_N =$ Normtemperatur(0) - Normaußtemperatur(0) = 15
 gleiches innen und außen
 Temperatur an den Innenebene \Rightarrow Rückfließen

Normtemperatur(0) $T_N = 20$
 Normaußtemperatur(0) $T_{N,a} = 5$

Dach $H_{Dach} = (F_{A,D} \cdot U_{Dach} \cdot A_{Dach} + H_{Wb,D}) = 13,302 \text{ W/K}$

$F_{A,D} = 1,05665667$
 $U_{Dach} = 0,103$
 $A_{Dach} = 11,1$
 $H_{Wb,D} = 0,005$

Wand $H_{Wand} = (F_{A,W} \cdot U_{Wand} \cdot A_{Wand} + H_{Wb,W}) = 13,7793333 \text{ W/K}$

$F_{A,W} = 1,05665667$
 $U_{Wand} = 0,11$
 $A_{Wand} = 11,1$
 $H_{Wb,W} = 0,005$

Normtemperatur(0) $T_N = 20$
 Normaußtemperatur(0) $T_{N,a} = 5$

Außenwand Süd $H_{Süd} = (F_{A,S} \cdot U_{Süd} \cdot A_{Süd} + H_{Wb,S}) = 1,06641111 \text{ W/K}$

$F_{A,S} = 1,05665667$
 $U_{Süd} = 0,103$
 $A_{Süd} = 11,1$
 $H_{Wb,S} = 0,005$

Außenwand Ost $H_{Ost} = (F_{A,O} \cdot U_{Ost} \cdot A_{Ost} + H_{Wb,O}) = 4,894011 \text{ W/K}$

$F_{A,O} = 1,05665667$
 $U_{Ost} = 0,103$
 $A_{Ost} = 11,1$
 $H_{Wb,O} = 0,005$

Außenwand Nord $H_{Nord} = (F_{A,N} \cdot U_{Nord} \cdot A_{Nord} + H_{Wb,N}) = 6,90021333 \text{ W/K}$

$F_{A,N} = 1,05665667$
 $U_{Nord} = 0,103$
 $A_{Nord} = 11,1$
 $H_{Wb,N} = 0,005$

Außenwand West $H_{West} = (F_{A,W} \cdot U_{West} \cdot A_{West} + H_{Wb,W}) = 4,177233 \text{ W/K}$

$F_{A,W} = 1,05665667$
 $U_{West} = 0,103$
 $A_{West} = 11,1$
 $H_{Wb,W} = 0,005$

Heizlast durch Transmissi 1.280 W

$F_{A,i} = 1,05665667$
 $U_i = 0,103$
 $A_i = 11,1$
 $H_{Wb} = 0,005$

$\Delta T_N =$ Normtemperatur(0) - Normaußtemperatur(0) = 15
 gleiches innen und außen
 Temperatur an den Innenebene \Rightarrow Rückfließen

Normtemperatur(0) $T_N = 20$
 Normaußtemperatur(0) $T_{N,a} = 5$

Dach $H_{Dach} = (F_{A,D} \cdot U_{Dach} \cdot A_{Dach} + H_{Wb,D}) = 13,302 \text{ W/K}$

$F_{A,D} = 1,05665667$
 $U_{Dach} = 0,103$
 $A_{Dach} = 11,1$
 $H_{Wb,D} = 0,005$

Wand $H_{Wand} = (F_{A,W} \cdot U_{Wand} \cdot A_{Wand} + H_{Wb,W}) = 13,7793333 \text{ W/K}$

$F_{A,W} = 1,05665667$
 $U_{Wand} = 0,11$
 $A_{Wand} = 11,1$
 $H_{Wb,W} = 0,005$

Normtemperatur(0) $T_N = 20$
 Normaußtemperatur(0) $T_{N,a} = 5$

Außenwand Süd Fenster $H_{SüdF} = (F_{A,S,F} \cdot U_{SüdF} \cdot A_{SüdF} + H_{Wb,S,F}) = 14,7456 \text{ W/K}$

$F_{A,S,F} = 1,05665667$
 $U_{SüdF} = 0,103$
 $A_{SüdF} = 11,1$
 $H_{Wb,S,F} = 0,005$

Außenwand Ost Fenster $H_{OstF} = (F_{A,O,F} \cdot U_{OstF} \cdot A_{OstF} + H_{Wb,O,F}) = 8,8304 \text{ W/K}$

$F_{A,O,F} = 1,05665667$
 $U_{OstF} = 0,103$
 $A_{OstF} = 11,1$
 $H_{Wb,O,F} = 0,005$

Außenwand Nord Fenster $H_{NordF} = (F_{A,N,F} \cdot U_{NordF} \cdot A_{NordF} + H_{Wb,N,F}) = 2,4576 \text{ W/K}$

$F_{A,N,F} = 1,05665667$
 $U_{NordF} = 0,103$
 $A_{NordF} = 11,1$
 $H_{Wb,N,F} = 0,005$

Außenwand West Fenster $H_{WestF} = (F_{A,W,F} \cdot U_{WestF} \cdot A_{WestF} + H_{Wb,W,F}) = 8,8304 \text{ W/K}$

$F_{A,W,F} = 1,05665667$
 $U_{WestF} = 0,103$
 $A_{WestF} = 11,1$
 $H_{Wb,W,F} = 0,005$

Lüftungswärmeverlust
 $H_V = (q_{V,i} \cdot c_{p,i}) \cdot n \cdot V = 141,6 \text{ W/K}$

Dichte * Wärmehinübergangskoeffizient $q_{V,i} \cdot c_{p,i} = 0,34$
 Lüftungswärme $n = 10,6$
 Volumen $V = 117,9$

Bruttorauminhalt $BRI = 741,6$

Volumen $V = 117,9 \text{ m}^3$

Gebäude $n = 10,6$
 $q_{V,i} = 0,34$
 $c_{p,i} = 1,01$
 $V = 117,9$

Lüftungswärmeverlust mit WRG
 $H_V \cdot \eta_{WRG} = 28 \text{ W/K}$

Gute Geräte bekommen 85% bis
 $\eta_{WRG} = 0,85$

Heizlast(BR) durch Lüftung = 425 W

Ab hier nur noch Bilanz & Energieausweis
 Heizlast durch Lüftung (ohne WRG) = 2.124 W
 Heizlast durch Lüftung = 2

Heizlast durch Transmissi 1.280 W

Gesamt Nutzfläche		300
Erläuterung Energieausweis:		
Q _h = (Q _h - Q _h) - (Q _h - Q _h)	3.612,62 kWh/a	
Heizwärme:	20,07 kWh/(m²*a)	
Hier haben wir eine Infiltration von ... addiert und einen Lüftungsstrom "L20" geschoben, da unsere Lüftungsanlage eine WU von 85% hat und somit nur 7% der Luft die Energie aus dem Haus trägt		
H _V Lüftungswärmeverlust (L20) + Infiltrationswärmeverlust	30,34 kWh/a	
H _T Transmissionswärmeverlust	85 kWh/a	
Infiltrationswärmeverlust	2,02 kWh/a	
daraus resultierende Verluste:		
Q _h = 20,07 kWh/a	20 C	
Q _h = 20,07 kWh/a	5 C	
Q _h = 20,07 kWh/a	2.315,46 kWh	pro Jahr
Q _h = 20,07 kWh/a	6.114,78 kWh	pro Jahr
Q _h = 20,07 kWh/a	1.781,23 kWh	pro Jahr
Q _h = 20,07 kWh/a	4.434,40 kWh	pro Jahr
Q _h = (Q _h + Q _h) + (Q _h + Q _h)		
h _h = monatliche Gesamtenergieaufstellung auf betreffende Fläche		
F ₁ Abminderungskoeffizient für Fenster/Alten	0,7	Hinminderungskoeffizient
F ₂ Verschattungskoeffizient	1	1 Individuell
F ₃ Abminderungskoeffizient für Sonnenschutzglas	1	1 Temperatur Verschattung
B ₁ Energieerhaltungskoeffizient Glas	0,47	0,47 einseitig einseitig Verschattung/Verschattung
A ₁ Maueröffnungsfläche	-	- Hinminderungskoeffizient
h _h Süd	270 kWh/m²	
h _h Nord	200 kWh/m²	
h _h West/Ost	155 kWh/m²	
Q _h Süd	782,48 kWh	50% Verschattung
Q _h Nord	71,86 kWh	20% Verschattung
Q _h Ost	469,87 kWh	20% Verschattung
Q _h West	469,87 kWh	20% Verschattung
Q _h gesamt	1.781,23 kWh/a	
Q _h = 2 (Q _h - Q _h) - Q _h	5 kWh/a	Wärmehinübergang
Q _h = 2 (Q _h - Q _h) - Q _h	15 kWh/a	Büro in Bürosystem
Q _h = 2 (Q _h - Q _h) - Q _h	2 kWh/a	Büro in Nichtbürosystem
A ₁ = Nutzfläche	20	
A ₂ = Außenfläche	120	
Q _h = Außenfläche	600 W	
Q _h = Außenfläche	75 W	
Q _h = Außenfläche	675 kWh	pro Tag
Q _h = Außenfläche	212 kWh	Tag pro Heizperiode
Q _h = 0,024 * (Q _h - Q _h) - Q _h	3.614,40 kWh/a	
Strombedarf im Winter		
Strombedarf im Winter	3.200 kWh	
Strombedarf im Sommer	1.611 kWh/a	
Effizienz PV-Anlage kristallin	20 kWh/a	gerade Jahr
Effizienz durch Ausrichtung	0,9	
Leistung notwendig durch PV-Anlage in einer Heizperiode =		
Leistung notwendig durch PV-Anlage in einer Heizperiode =	6.112 kWh	in der Heizperiode werden nur 20%-30% der Gesamtmenge produziert
Leistung notwendig durch PV-Anlage in einer Heizperiode =	114,2 m²	
Jahresstromverbrauch Haushalt mit Warmwasser		
Jahresstromverbrauch Haushalt mit Warmwasser	4.500 kWh	
Strombedarf im Sommer	600 kWh/a	
Effizienz PV-Anlage kristallin	0,2	
Effizienz durch Ausrichtung	0,9	
Leistung notwendig durch PV-Anlage Gesamter Jahr =		
Leistung notwendig durch PV-Anlage Gesamter Jahr =	6.112 kWh	
Leistung notwendig durch PV-Anlage Gesamter Jahr =	75,1 m²	
> realistischer Wert		
Gesamter Energieverbrauch Lebensmittel	811.262,42 kWh	

Anhang 3: Modellbilder



Anhang 3: Modellbilder



Anhang 3: Modellbilder



Anhang 3: Modellbilder



Anhang 3: Modellbilder



