

EDUwood – Klimaschutzpotenzial Holzbau am Campus der Technischen Universität Nürnberg

Forschungsbericht

EDUwood

Impressum

Technische Universität München
TUM School of Engineering and Design

Lehrstuhl für Architektur und Holzbau (ATC)
Arcisstraße 21, 80333 München

Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion (HBB)
Arcisstraße 21, 80333 München

Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen (ENPB)
Arcisstraße 21, 80333 München

Autor:innen

Theresa Laura Blömer, Nico Ehlers, Katja Jantzen, Dominik Merk, Jonas Pauli,
Kathrin Theilig
Prof. Stephan Birk, Prof. Dr.-Ing. Werner Lang, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter

Projektzeitraum

September 2022 – November 2023

Förderung

Das Forschungsprojekt wurde finanziert vom Freistaat Bayern, vertreten durch das Bayerische Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst, das Bayerische Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr sowie das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus.

München, 09.02.2024

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
Kurzfassung	4
Abstract	5
Abkürzungsverzeichnis	6
1. Einleitung	9
1.1. Projektziel	9
1.2. Aufbau des Forschungsprojekts	9
2. Ausgangssituation an der Technischen Universität Nürnberg	12
2.1. Ausgangslage und Planungsgrundlage	12
2.2. Energiekonzept und Technische Gebäudeausstattung	14
3. Grundlagen	17
3.1. Referenzen für den Hochschulbau	17
3.1.1. Datenauswertung.....	19
3.2. Baukonstruktive und bauphysikalische Grundlagen	22
3.2.1. Brandschutz.....	22
3.2.2. Schallschutz.....	29
3.2.3. Wärmeschutz.....	32
3.2.4. Normative Nachweise/ Baukonstruktive Anforderungen	33
3.3. Lebenszyklusbetrachtung	37
3.4. Multikriterielle Bewertung.....	41
3.4.1. Nutzwertanalyse	41
3.4.2. Wirtschaftliche Betrachtung	44
3.4.3. Kosten-Nutzen-Analyse	44
3.5. Thermische Simulationen	46
3.5.1. Allgemeines	46
3.5.2. Maßnahmen zum Sommerlichen Wärmeschutz.....	46
3.5.3. Bewertung des thermischen Komforts.....	47
4. Methodik	50
4.1. Festlegen der betrachteten Raumtypologien und Konstruktionsmethoden im Holzbau.....	50
4.1.1. Festlegen der betrachteten Raumtypologien.....	50
4.1.2. Festlegen der Konstruktionsmethoden im Holzbau	51
4.1.3. Anordnung der Raumtypologien im Gebäude	53
4.1.4. Vergleich mit konventioneller Bauweise	54

4.2.	Bauteilebene.....	55
4.2.1.	Variantenuntersuchung Materialien.....	55
4.2.2.	Rahmenbedingungen.....	58
4.2.3.	Konstruktionsraster.....	63
4.2.4.	Spannweiten und Deckensysteme.....	63
4.2.5.	Lastermittlung.....	65
4.3.	Raumebene.....	68
4.3.1.	Thermische Simulationen.....	68
4.3.2.	Lebenszyklusanalyse auf Raumebene.....	71
4.4.	Campusebene.....	72
5.	Wände.....	76
5.1.	Allgemein.....	76
5.2.	Bauteilaufbauten.....	76
5.2.1.	Außenwand.....	76
5.2.2.	Flurwand.....	79
5.2.3.	Trennwand.....	86
5.2.4.	Bürowand (Trennwand ohne Anforderungen).....	94
5.3.	Handlungsempfehlung.....	100
6.	Raumtypologie Büro.....	101
6.1.	Grundriss und Anforderungen.....	101
6.2.	Bauteilebene.....	103
6.2.1.	Geschossdecke.....	103
6.2.2.	Oberer Gebäudeabschluss (Dach).....	117
6.2.3.	Flurdecke.....	131
6.3.	Raumebene.....	141
6.4.	Handlungsempfehlung.....	147
7.	Raumtypologie Seminar.....	149
7.1.	Grundriss und Anforderungen.....	149
7.2.	Bauteilebene.....	151
7.2.1.	Geschossdecke.....	151
7.2.2.	Oberer Gebäudeabschluss (Dach).....	158
7.3.	Raumebene.....	166
7.4.	Exkurs: Betrachtungszeitraum 50 und 100 Jahre.....	172
7.5.	Handlungsempfehlung.....	174
8.	Raumtypologie Labor.....	176
8.1.	Grundrisse und Anforderungen.....	176
8.2.	Bauteilebene.....	178
8.2.1.	Geschossdecke.....	178

8.2.2.	Oberer Gebäudeabschluss (Dach)	187
8.3.	Raumebene	187
8.4.	Handlungsempfehlung	192
9.	Raumtypologie Versammlung	194
9.1.	Grundriss und Anforderungen	194
9.2.	Bauteilebene	196
9.2.1.	Geschossdecke	196
9.2.2.	Oberer Gebäudeabschluss (Dach)	204
9.3.	Raumebene	204
9.4.	Handlungsempfehlung	209
10.	Raumtypologie Technikum	212
10.1.	Grundriss und Anforderungen	212
10.2.	Bauteilebene	213
10.2.1.	Geschossdecke	213
10.2.2.	Oberer Gebäudeabschluss (Dach)	213
10.3.	Raumebene	224
10.4.	Handlungsempfehlung	229
11.	Campusebene	231
11.1.	Treibhauspotenzial und graue Energie	231
11.2.	Kohlenstoffspeicher	233
12.	Zusammenfassung und Ausblick	235
12.1.	Zusammenfassung	235
12.2.	Weiterführende Themen und Forschungsbedarf	237
12.2.1.	Weiterführende Brandschutzthemen	237
12.2.2.	Forschungsbedarf	240
	Abbildungsverzeichnis	241
	Tabellenverzeichnis	248
	Literaturverzeichnis	250
	Anhang A Bauteilmatrix	
	Anhang B Simulationsparameter	
	Anhang C Raumtypologien	
	Anlage Raum- und Bauteilkatalog	

Kurzfassung

Im Juli 2021 wurde in der Regierungserklärung „Klimaland Bayern“ das Ziel vorgegeben, Bayern bis zum Jahr 2040 zu einem klimaneutralen Bundesland zu entwickeln. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde der Holzbau als wichtiger Bestandteil der staatlichen Klimastrategie definiert und entsprechend im Bayerischen Klimaschutzgesetz (BayKlimaG) verankert. Im Kontext der Regierungserklärung wurde die Technische Universität Nürnberg (University of Technology Nuremberg - UTN) als Leuchtturmprojekt für den Holzbau ausgewählt. Im Rahmen des Forschungsprojekts EDUwood untersucht ein Team der Technischen Universität München, inwieweit der neue Campus der Technischen Universität Nürnberg in Holzbauweise zweckmäßig und nachhaltig realisiert werden kann und welche Klimaschutzpotenziale damit verbunden sind.

In diesem Zusammenhang wurden fünf für den Hochschulbau relevante Nutzungen und Raumtypologien ausgewählt und untersucht: Büro, Seminar, Labor, Versammlung und Technikum. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen als Handlungsempfehlung für Planende und Bauherr:innen (z.B. der Staat durch die staatliche Bauverwaltung: Staatliche Bauämter), um grundlegende Anforderungen des Holzbaus bereits in der Projektentwicklung und in den frühen Planungsphasen zu berücksichtigen. Für eine vergleichende Betrachtung hinsichtlich Tragfähigkeit, Brandfallnachweis und weiteren Kriterien werden Bauteile sowohl aus Holz als auch in mineralischer (konventioneller) Bauweise entwickelt. Die Bauteile werden hinsichtlich ihres Klimaschutzpotenzials analysiert, wobei der Ressourceneinsatz, bauphysikalische Eigenschaften und baukonstruktive Aspekte berücksichtigt werden. Durch die Anwendung von Nutzwertanalysen werden die Baukonstruktionen identifiziert, die in Bezug auf die genannten Untersuchungskriterien am besten abschneiden.

Um die ökonomischen Aspekte zu berücksichtigen, erfolgt eine Auswertung der Materialkosten pro Bauteil, gefolgt von einer Kosten-Nutzen-Analyse durch die Gegenüberstellung der Nutzwerte. Auf Raumebene werden thermische Simulationen der jeweiligen Raumtypologien durchgeführt, um den Einfluss der Baustoffwahl auf den thermischen Komfort sowie den Heiz- und Kühlenergiebedarf zu zeigen. Die Ökobilanzierung auf Raumebene ermöglicht einen Vergleich der Konstruktionsarten über den gesamten Lebenszyklus. Abschließend wird auf Campusebene untersucht, welches Einsparpotenzial der Campus bei Errichtung in Holzbauweise im Vergleich zur konventionellen Bauweise aufweisen kann. Zusätzlich zur Baukonstruktion wird die Gebäudetechnik und der Energiebedarf für den Betrieb des Campus berücksichtigt.

Die Untersuchungsergebnisse liefern fundierte Handlungsempfehlungen, um Holzbaukonstruktionen der ausgewählten Raumtypologien insbesondere im Hochschulbau zu integrieren.

Abstract

In July 2021, the government declaration “Climate State Bavaria” set the goal of developing Bavaria into a climate-neutral federal state by 2040. In order to achieve this goal, timber construction was defined as an important component of the state's climate strategy and anchored accordingly in the Bavarian Climate Protection Act (BayKlimaG). In the context of the government declaration, the University of Technology Nuremberg (UTN) was selected as a lighthouse project for timber construction. As part of the EDUwood research project, a team from the Technical University of Munich examined the extent to which the new campus of the UTN can be constructed using wood and what climate protection potential is associated with it.

In this context, uses and five room typologies relevant to university construction were selected and examined: Office, seminar, laboratory, assembly, and technical center. The insights gained serve as recommendations for planners and state construction administrations (e.g. state building authorities) to consider fundamental requirements of timber construction in early planning phases. For a comparative analysis of load-bearing capacity, fire safety and other criteria, components are developed both in timber and in mineral (conventional) construction methods. The components are analyzed regarding their climate protection potential, considering the use of resources, physical building properties and structural design aspects. By applying utility value analysis, the construction elements that perform best in terms of the specified criteria are identified.

To take the economic aspects into account, the material costs per component are evaluated, followed by a cost-benefit analysis by comparing the utility values. Thermal simulations of the respective room typologies are carried out at room level to show the influence of the choice of building material on thermal comfort as well as heating and cooling energy requirements. The life cycle assessment at room level enables a comparison of the construction types over the entire life cycle. Finally, at campus level, the potential savings that the campus can achieve with timber construction compared to conventional construction methods are examined. In addition to the building construction, the building technology and energy requirements for the operation of the campus are also considered.

The study results provide well-founded recommendations in order to integrate timber constructions of the selected room typologies, especially in university buildings.

Abkürzungsverzeichnis

Allgemein

ATC	Lehrstuhl für Architektur und Holzbau
HBB	Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
ENPB	Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
BGF	Brutto-Grundfläche
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
NUF	Nutzfläche
PV	Photovoltaik
SCOP	Seasonal Coefficient of Performance
SEER	Seasonal Energy Efficiency Ratio
UTN	University of Technology Nuremberg

Raumtypologie

B	Büro
F	Flur
L	Labor
S	Seminar
V	Versammlung
T	Technikum
konv	Konventionell

Bauteilaufbau

AW	Außenwand
BW	Bürowand
DA	Dach
DE	Decke
FW	Flurwand
TW	Trennwand
FE	Fenster

PR	Pfosten-Riegel-Fassade
erdb	erdberührt

Konstruktionsart

BST	Brettstapelholz
BSP	Brettsperrholz
HFWT	Holzfachwerkträger
HBV	Holz-Beton-Verbund
HTB	Holztafelbau
K	Kastendecke
MSt	Metallständer
R	Rippendecke
SDT	Satteldachträger
SB	Skelettbau
SFWT	Stahl-Fachwerkträger
SpBHD	Spannbeton-Hohldiele
StB	Stahlbeton

Spezifikation

nE	Nassestrich
tE	Trockenestrich
AHD	Abhangdecke
GKP	Gipskartonplatte
LBP	Lehmbauplatte
t / nt	tragend / nicht tragend
exDB	extensive Dachbegrünung
m	Metallabdeckung
fg	flachgeneigt
gr / gk	gerade / gekrümmt

Bauteilbezeichnung

Raumtypologie_Bauteilaufbau_Konstruktionsart_Spezifikation

Ökobilanz

Äq.	Äquivalente
A1–A3	Herstellung
B4	Austausch
C3	Abfallbehandlung
C4	Beseitigung
D	Recyclingpotenzial
EoL	End of Life (Phase C)
GWP	Treibhauspotenzial (en: global warming potential)
LCA	Ökobilanz (en: life cycle analysis)
LCC	Lebenszykluskostenrechnung (en: Life Cycle Costing)
PERT	Primärenergie erneuerbar
PENRT	Primärenergie nicht erneuerbar

Bauordnungen, Baubestimmungen und Richtlinien

BayBO	Bayerische Bauordnung
BayTB	Bayerische Technische Baubestimmungen
VStättV	Versammlungsstättenverordnung
MIndBauRL	Muster Industriebau Richtlinie
MSchulbauRL	Muster Schulbau Richtlinie
MHolzBauRL	Muster Holzbau Richtlinie

Bauphysik

R'_w	bewertetes Bau-Schalldämm-Maß [dB]
$R'_{w,erf}$	erforderliches bewertetes Bau-Schalldämm-Maß [dB]
$L'_{n,w}$	bewerteter Norm-Trittschallpegel im Bau [dB]
$L'_{n,w,erf}$	erforderlicher bewerteter Norm-Trittschallpegel im Bau [dB]
λ	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]
U-Wert	Wärmedurchgangswiderstand [W/m ² K]

1. Einleitung

1.1. Projektziel

Ziel des Forschungsprojekts EDUwood – Klimaschutzpotenzial Holzbau am Campus der Technischen Universität Nürnberg (UTN) ist es, Erkenntnisse über Klimaschutzpotenziale bei Neubauten hauptsächlich im Hochschulbau in Holzbauweise zu gewinnen. Die Ergebnisse dienen als Handlungsempfehlung für Planende und Bauherr:innen (z.B. der Staat durch die staatliche Bauverwaltung: Staatliche Bauämter). Damit können wichtige Grundlagen und relevante Parameter, die für den Holzbau zu beachten sind, bereits in der Projektentwicklung und frühen Planungsphasen berücksichtigt werden.

Die gewonnenen Erkenntnisse zielen darauf ab, das Klimaschutzpotenzial von Holz als Baumaterial, insbesondere aus regionaler und nachhaltiger Bewirtschaftung, für die bauliche Entwicklung der Masterplanung der Technischen Universität Nürnberg (UTN) aufzuzeigen und zu nutzen.

Diese Erkenntnisse sind nicht nur für die gegenwärtige Planung von Bedeutung, sondern dienen auch als wertvolle Grundlage für zukünftige Bauprojekte und insbesondere für Wettbewerbsausschreibungen der Neubauten auf dem UTN-Campus, indem sie Leitlinien im Bereich der nachhaltigen Architektur aufzeigen.

1.2. Aufbau des Forschungsprojekts

Das Projekt ist in drei Arbeitspakete (AP) unterteilt (Abbildung 1). Den Arbeitspaketen sind die Themenfelder Holzbau, Holzbaukonstruktion, und Lebenszyklusbetrachtung (LCA) sowie thermische Simulation zugeordnet. Die Bearbeitung erfolgt durch den Lehrstuhl für Architektur und Holzbau (ATC), den Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion (HBB) und den Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen (ENPB). Der Themenkomplex erfordert eine integrale Zusammenarbeit der drei beteiligten Lehrstühle, da mit der Entwicklung der Arbeitspakete eine umfangreiche Überprüfung und Auswertung einhergeht.

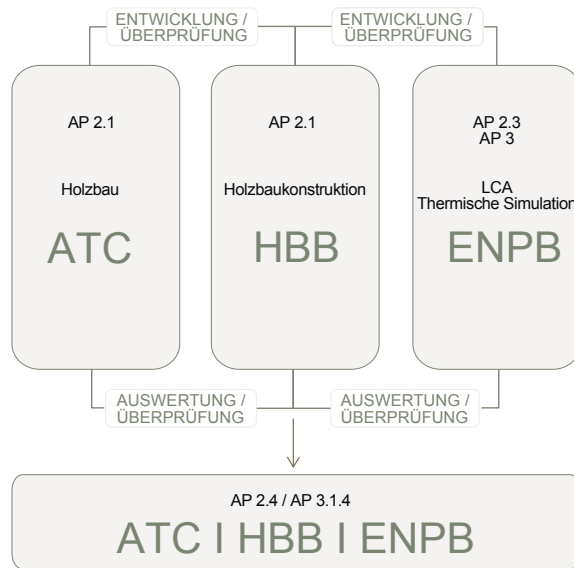


Abbildung 1: Arbeitspakete des Forschungsprojekts EDUwood (eigene Darstellung)

Die Vorgehensweise (Abbildung 2) im Forschungsprojekt EDUwood umfasst die Arbeitsschritte **Recherche**, **Entwicklung**, **Auswertung** und **Überprüfung** der Ergebnisse. Abschließend wird im **Fazit** eine Handlungsempfehlung formuliert und die Ergebnisse auf den gesamten Campus der UTN übertragen. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen als Leitfaden für Planende und Bauherr:innen.

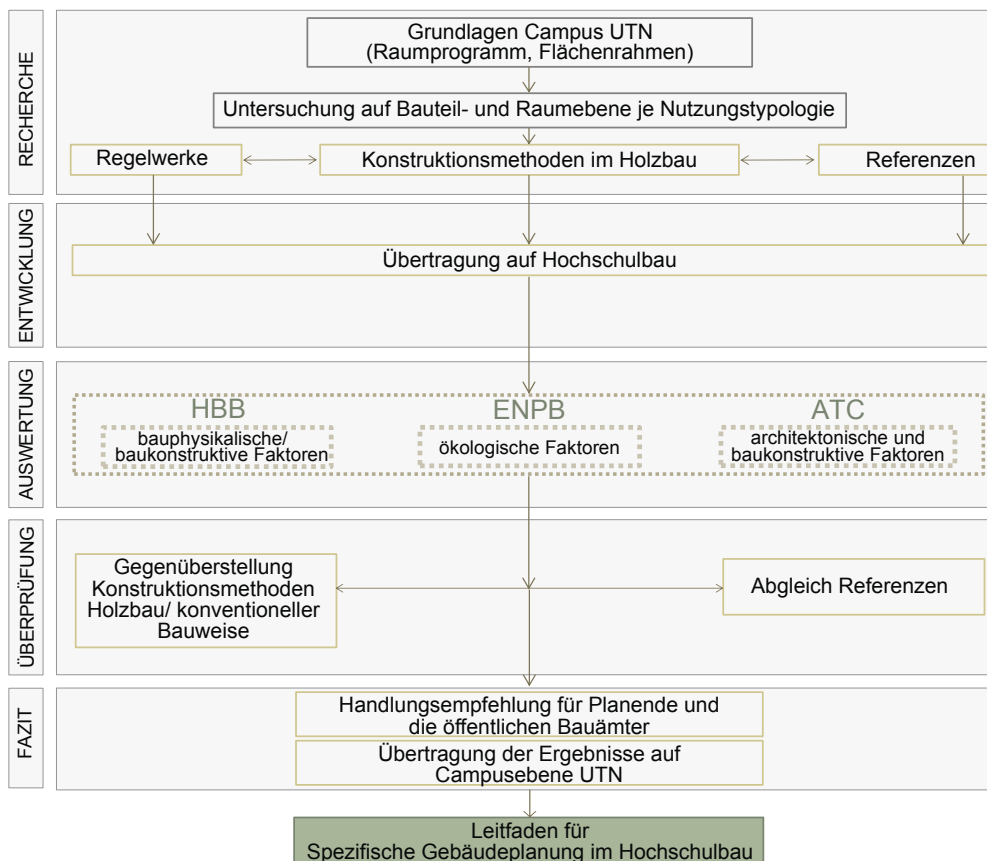


Abbildung 2: Methodisches Vorgehen Forschungsprojekt EDUwood (eigene Darstellung)

In einem ersten Schritt der **Recherche** wird basierend auf den Planungsgrundlagen und Dokumenten der Technischen Universität Nürnberg (UTN) (siehe Kapitel 2.1) eine Untersuchung zum Stand der Technik von Konstruktionsmethoden im Holzbau sowie zur realisierten Praxis von Hochschulbauten auf Basis einer Literaturrecherche durchgeführt. Innerhalb der analysierten Gebäudetypologie „Hochschulbau“ wird der Fokus dabei auf die Bauteil- und Raumebene je Nutzungs- und Raumtypologie gelegt.

Im Rahmen des Seminars „Forschungsthemen des Holzbaus im Sommersemester 2023“, das am Lehrstuhl für Architektur und Holzbau für Studierende der Architektur stattfand, wurden umfangreiche Recherchen durchgeführt. Die Auswahl der analysierten Projekte erfolgte anhand qualitativer Kriterien im Bereich Architektur und Baukonstruktion. Dabei wurden sowohl Projekte in Holzbauweise als auch die mineralische (konventionelle) Bauweise berücksichtigt. Durch eine strukturierte Untersuchung der bestehenden Regelwerke und deren Fortschreibung hinsichtlich relevanter Vorgaben für den Hochschulbau lässt sich der Stand der Technik auch in der tatsächlich realisierten Umsetzung erkennen.

In der **Entwicklung** werden die fünf Raumtypologien definiert. Die Bauteilaufbauten werden entsprechend den spezifischen Anforderungen im Hochschulbau konzipiert. Die Auswahl der Bauteilaufbauten erfolgt mit dem Fokus, sämtliche baurechtlichen Vorgaben hinsichtlich Brandschutz, Wärmeschutz und Schallschutz zu erfüllen sowie wirtschaftlich sinnvolle Konstruktionshöhen einzuhalten und die architektonischen Vorgaben umzusetzen.

Im Rahmen der **Auswertung** werden die Bauteile hinsichtlich ihres Klimaschutzpotenzials sowie baukonstruktiver, bauphysikalischer, ökologischer und architektonischer Faktoren überprüft und in einer Matrix zusammengefasst. Anschließend erfolgt eine Bewertung mittels einer Nutzwertanalyse.

Die Anwendung thermischer Simulationen ermöglicht auf der jeweiligen Raumebene die Darstellung der Auswirkungen der Baustoffwahl auf den thermischen Komfort sowie den Energiebedarf für Heizung und Kühlung.

Im abschließenden **Fazit** des Forschungsprojekts wird eine Handlungsempfehlung ausgesprochen. Diese zeigt die Konstruktionsmethoden auf, die im Bezug auf das angestrebte Klimaschutzpotenzial für die Neuplanung von Hochschulgebäuden in Holzbauweise geeignet sind. Außerdem werden die Ergebnisse auf den gesamten Campus hochgerechnet.

Eine umfassende Zusammenstellung der im Rahmen des Forschungsprojekts entwickelten möglichen Holzbaukonstruktionen stellt eine fundierte Entscheidungsgrundlage für zukünftige Planungen dar. Die allgemeingültigen Prinzipien, welche auf Bauteil- und Raumebene festgelegt wurden, ermöglichen die Ableitung spezifischer Gebäudeplanungen für kommende Projekte.

2. Ausgangssituation an der Technischen Universität Nürnberg

2.1. Ausgangslage und Planungsgrundlage

Die Technische Universität Nürnberg (UTN) wurde im Mai 2017 vom Freistaat Bayern gegründet. Der neue Campus soll auf einem Areal im Süden von Nürnberg entstehen. In den kommenden Jahren plant der Freistaat Bayern den Bau eines Universitätscampus mit einer geschätzten Nutzfläche (NUF) von 90.000 m² (Hasse et al. 2020). In seiner Regierungserklärung „Klimaland Bayern“ im Juli 2021 kündigte Ministerpräsident Dr. Markus Söder eine Holzbauintiative im Staatlichen Bauen unter dem Begriff „Klima-Bauen“ an. Die UTN wurde in diesem Zuge als Leuchtturmprojekt benannt. Das erste Gebäude, ein Büro- und Verwaltungsbau mit etwa 2.500 m² Nutzfläche, wird voraussichtlich im Mai 2024 fertiggestellt (Bayerische Staatskanzlei 2021). Die neu gegründete Hochschule, die verschiedene Disziplinen in den Bereichen Technik, Naturwissenschaften und Humanwissenschaften abdeckt, fungiert als wegweisendes Modell für zukunftsorientierte Universitäten mit einem Fokus auf Nachhaltigkeit. Die UTN strebt danach, eine wegweisende Universität mit einem innovativen Fächerspektrum und einer interdisziplinären Department-Struktur zu sein. Der geplante Campus soll urban, lebendig, nachhaltig und ressourcenschonend gestaltet sein, unter anderem ein klarer Fokus auf dem Bereich Klimaschutz liegt (Hasse et al. 2020).

Dem Forschungsprojekt EDUwood liegt der Masterplan von Ferdinand Heide Architekten zugrunde (siehe Abbildung 3). Dem Masterplan sind unterschiedliche Gebäudetypen zu entnehmen. Der Forschungsarbeit liegen keine konkreten Gebäudeplanungen für die Hochschulgebäude zugrunde, sondern neben dem Masterplan lediglich ein ausgearbeiteter Flächenrahmen- und Raumbedarfsplan, der die Zusammensetzung der Fachrichtungen und Quantität der Nutzungen aufweist (doranth post architekten 2020b). Die räumlichen und baulichen Leitbilder der UTN werden in dem Funktionsmodell bis zur Bedarfsplanung (Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst 2021) vorgegeben.

Die UTN ist als Netzwerk-Universität (siehe Abbildung 4) konzipiert, wobei Departments als zentrale Organisationseinheiten dienen. Die bauliche Struktur soll nutzungsflexible Gebäude für thematische Überlappungen ermöglichen.



Abbildung 3: Technische Rahmenplanung von Ferdinand Heide Architekt (2022)

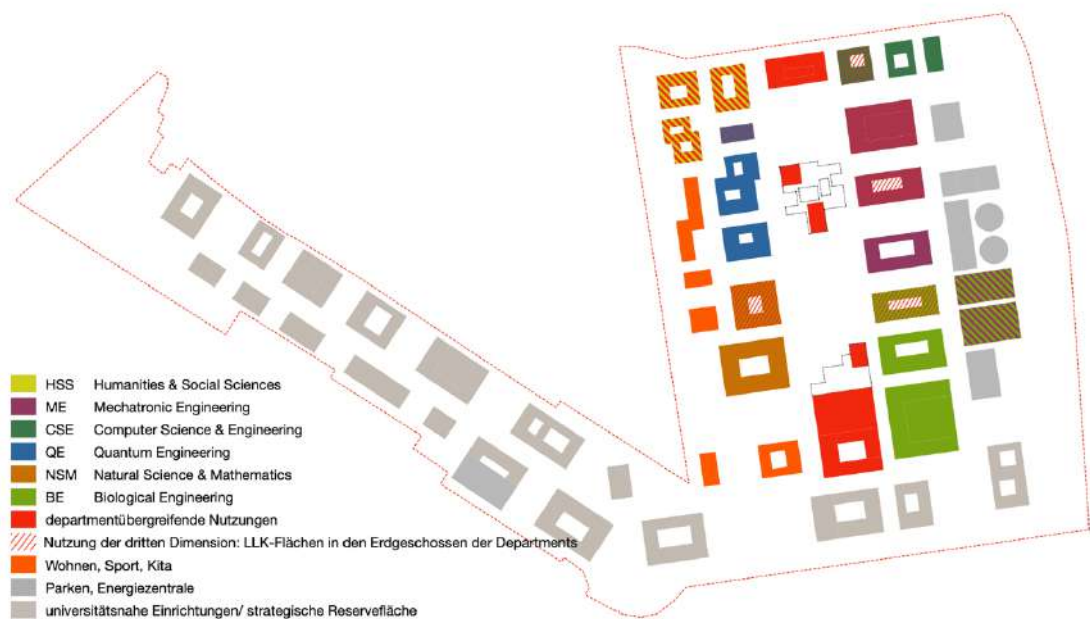


Abbildung 4: Rahmenplan – Lageplan Nutzungsverteilung von Ferdinand Heide Architekt (2022)

Die Universität strebt an, ihren Betrieb möglichst klimaneutral, die Erstellung möglichst klimafreundlich zu gestalten. Der rechtskräftige Bebauungsplan steht dem Forschungsvorhaben nicht zur Verfügung. In den derzeitigen Wettbewerbsausschreibungen und in der Begrünungssatzung (BegrS) der Stadt Nürnberg ist vorgesehen, Dachflächen extensiv zu begrünen, möglicherweise als Retentionsdach (Stadt Nürnberg 2022). Es wird empfohlen, die begrünten Dachflächen

mit Photovoltaikanlagen zu kombinieren (Stadt Nürnberg 2022). Bei der Konzeption von Fassadenbegrünungen ist darauf zu achten, dass sie weder die Tageslichtversorgung noch den Sonnenschutz beeinträchtigen

Die umweltfreundliche Realisierung neuer Gebäude bietet die einmalige Gelegenheit durch den konsequenten Einsatz von Holz in der Baukonstruktion nicht nur nachhaltiger, sondern auch energie- und kohlenstoffeffizienter zu agieren. Holz und Holzwerkstoffe spielen dabei eine entscheidende Rolle, da sie mit ihrer positiven Kohlenstoffbilanz verantwortungsvolle Qualitäten aufweisen. Aufgrund der derzeit fehlenden, wirtschaftlich darstellbaren Alternativen zu Stahlbeton, Bitumen und extrudierter Polystyrol-Dämmung (XPS) bei erdberührten Bauteilen, werden in dieser Forschungsarbeit die erforderlichen Untergeschosse, insbesondere Technikräume oder KFZ-Stellplätze, nicht näher betrachtet.

2.2. Energiekonzept und Technische Gebäudeausstattung

Das Energiekonzept für den Campus der UTN wurde vom Ingenieurbüro Hausladen in Abstimmung mit den Nutzenden und Projektbeteiligten entwickelt. Die Wärmeerzeugung erfolgt über Hochtemperatur-Wärmepumpen mit dem Wärmeträgermedium Ammoniak, während die Kälte über hocheffiziente Kältemaschinen bereitgestellt wird. Zur Wärmeverteilung auf dem Gelände wird ein Nahwärme-Netz genutzt. Die zwei saisonalen Wärmespeicher, mit einem Fassungsvermögen von jeweils 25.000 m³, können die Abwärme aus den Kältemaschinen aufnehmen (Ingenieurbüro Hausladen GmbH 2021). Das Energiekonzept für die elektrischen Gewerke wurde von der Ingenieurgemeinschaft Dess+Falk GmbH entwickelt. Sie raten zu einer 100 % Belegung der Dachfläche mit Photovoltaikanlagen (PV). Werden Revisionsflächen, Oberlichter und andere Konstruktionen auf dem Dach mit einbezogen, können circa 70 % der Dachfläche mit PV - Anlagen bestückt werden. Der erzeugte Strom wird bevorzugt selbst genutzt. Überschüssiger Strom wird in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Zusätzlicher Strombedarf wird über durch ökologisch erzeugten Strom abgedeckt (Ingenieurgemeinschaft Dess+Falk GmbH 2022). Abbildung 5 zeigt das energetische Schema. Die Konzepte wurden im Jahr 2021 entwickelt und können sich in der weiteren Projektplanung noch ändern.

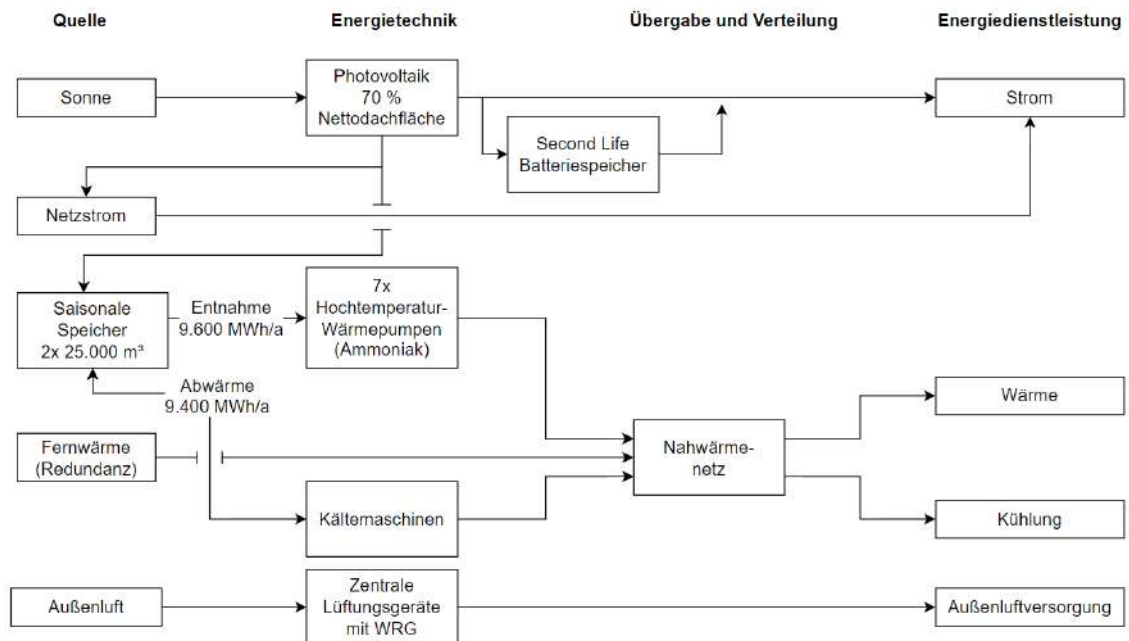


Abbildung 5: Schematischer Energieablaufplan Campus (eigene Darstellung)

Die Technische Gebäudeausrüstung ist von wesentlicher Bedeutung für die Ermittlung der Deckenhöhen und der erforderlichen Geschosshöhen. Die Planung der Leitungsführung wird schematisch dargestellt, da im Rahmen des Forschungsprojekts EDUwood eine Untersuchung auf Raumebene erfolgt und keine komplette Gebäudeplanung stattfindet.

Die vertikale Leitungsverteilung erfolgt über Schächte in den Gebäudekernzonen. Von dort aus werden die Haupttrassen horizontal in den Fluren unterhalb der tragenden Deckenelemente geführt. Die Leitungen werden orthogonal von der Haupttrasse im Flur abgezweigt und entlang der Spannrichtung der Deckenelemente verteilt (siehe Abbildung 6). Die Räume werden mit Heiz- und Kühlsegeleln ausgestattet. Die Anforderungen aus dem Raumbuch (Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst 2021) sehen zentrale Lüftungsgeräte in den jeweiligen Raumtypologien für einen Mindestluftwechsel vor. Außerdem soll ein Kabelkanal an der Fassadenseite entlang gelegt werden. Die Beleuchtung erfolgt über abgehängte Deckenleuchten mit LED-Leuchtmitteln.

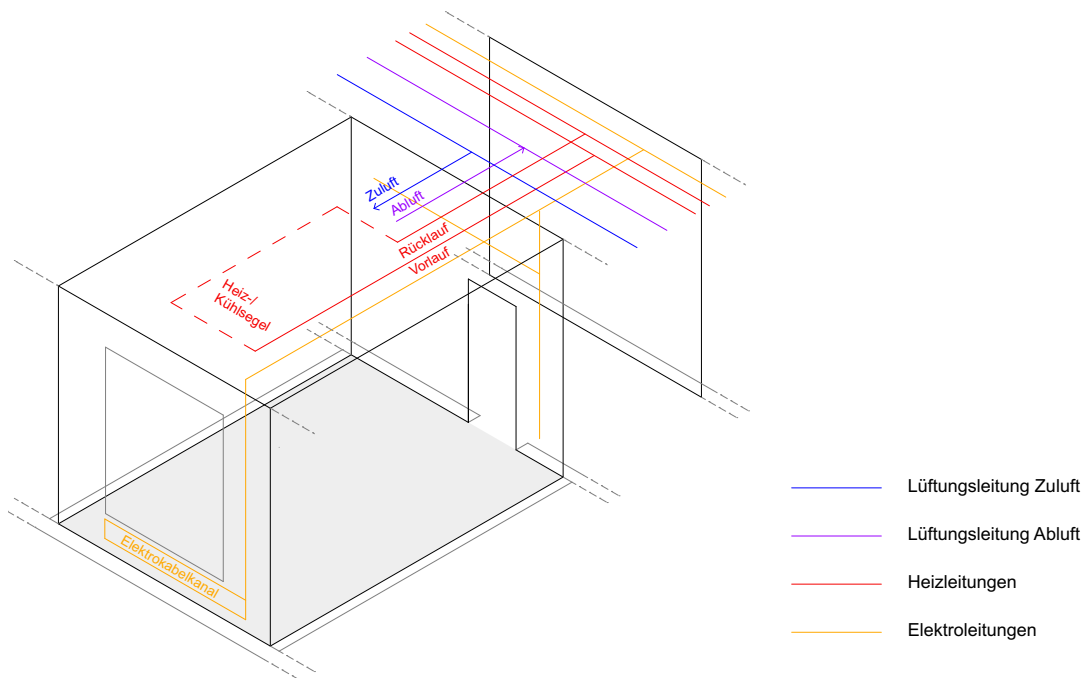


Abbildung 6: Schematische Leitungsführung am Beispiel Büronutzung (eigene Darstellung)

Die Querschnitte der Lüftungsleitungen und ihre Kreuzungen mit Elektro- oder Sanitärtrassen sind für die Installationshöhen innerhalb der Deckenelemente maßgebend. Im Flurbereich wird eine Installationshöhe von 55 cm, in den Büroräumen von 27 cm und im Labor von 1 m angesetzt.

3. Grundlagen

3.1. Referenzen für den Hochschulbau

Im Rahmen des studentischen Seminars Forschungsthemen des Holzbaus im Sommersemester 2023 wurde in Anbindung an das Forschungsprojekt EDUwood eine umfassende Analyse von gebauten Beispielen aus den Bereichen Büro-, Verwaltungs-, Schul- und Hochschulbau, sowie im Hallenbau durchgeführt. Die Referenzen wurden anhand von Funktionen und Raumtypologien ausgewählt, die mit denen im Hochschulbau vergleichbar sind. Bei der Auswahl der Referenzen im Hallenbau wurden neben der Funktion eines Technikums (Versuchshalle) auch die Spannweiten der Hallen als entscheidendes Kriterium berücksichtigt, um eine vielfältigere Auswahl zu gewährleisten. Die Bauteilaufbauten Decke, oberer Gebäudeabschluss (Dach) und Außenwand standen im Fokus der Recherchen und Untersuchungen. Das Ziel war es, mögliche Konstruktionsarten für die Raumtypologien Büro, Seminar, Labor, Versammlung und Technikum zu ermitteln. Für die erste Analyse wurden pro Raumtypologie sechs Gebäude im Hochschulbau ausgewählt, insgesamt wurden 30 Referenzprojekte ermittelt und in einer Datenbank erfasst.

Tabelle 1: Referenzprojekte des Seminars „EDUwood- Forschungsthemen des Holzbaus im Sommersemester 2023“ mit Zuordnung der Poster Referenzprojekte in der Datenauswertung (siehe 3.1.1)

Büro

Neubau Büro- und Verwaltungsgebäude Ziegler Group Brückner & Brückner Architekten GmbH, DE, Plößberg, Holzbau	B1
Holztechnikum Kuchl LP architektur, Altenmarkt im Pongau, AT, Kuchl, Holzbau	B2
Europäische Schule, Frankfurt NKBAK Architekten, DE, Frankfurt a. Main, Holzbau	B3
Illwerke Zentrum Montafon Hermann Kaufmann + Partner, AT, Vandans, Holzbau	B4
Bundesgeschäftsstelle DAV, Aufstockung und Erweiterung eines Bürogebäudes Element A Architekten, hiendl_schneis architektenpartnerschaft, DE, München, Holzbau-Bestand	B5
Ilse Wallentin Haus SWAP Architekten, AT, Tulln, Holzbau	B6

Seminar

Gemeindezentrum Ludesch Hermann Kaufmann + Partner ZT GmbH, AT, Ludesch, Holzbau	S1
Holztechnikum Kuchl LP architektur, Altenmarkt im Pongau, AT, Kuchl, Holzbau	B2
Illwerke Zentrum Hermann Kaufmann + Partner, AT, Vandans, Holzbau	B4
Ilse Wallentin Haus SWAP Architekten, AT, Tulln, Holzbau	B6

Labor

Zentrum für leichte und umweltgerechte Bauten Zeluba Arge ZELUBA: DGI Bauwerk und schneider+schumacher, DE, Braunschweig, Holz-Hybrid	L1
Landesanstalt für Bienenkunde Lanz Schwager Architekten BDA, DE, Stuttgart, Holzbau	L2

Versammlung

Interims Audimax der TU München in Garching, Hörsaal Büro Deubzer König + Rimmel Architekten, DE, München, Holzbau	V1
Hörsaalpavillon Hochschule RheinMain Müller & Münch Architekten Designer, DE, Wiesbaden, Mischbauweise	V2
Ausbildungszentrum Holzbau in Buchs Peter Moor Architekten, Zürich, CH, Buchs, Holzbau	V3

Technikum

Neubau Regionales Innovationszentrum Birk, Heilmeyer + Frenzel Architekten, DE, Offenburg, Holz-Hybrid	T1
Salzlagerrhalle vautz mang architekten bda, DE, Stuttgart, Holz-Hybrid	T2
Turn & Mehrzweckhalle Klaus Dietrich Untertrifaller Architekten, AT, Klaus, Holzbau	T3

Die gebauten Objekte stammen aus Deutschland, Österreich und ein Beispiel aus der Schweiz. Idealerweise sollten die Gebäude der Gebäudeklasse 5 (GK 5) entsprechen. Das Technikum wurde separat betrachtet, da es in eine andere Gebäudeklasse fallen kann. Von Auftraggebern, Architekt:innen, Tragwerks- und Brandschutzplaner:innen, Bauphysiker:innen und ausführenden Firmen wurden relevante Informationen eingeholt. Die erhobenen Daten wurden in einer projektübergreifenden Matrix gesammelt, um eine Vergleichbarkeit der Konstruktionen zu ermöglichen. Von den 30

identifizierten gebauten Beispielprojekten wurden 14 Projekte (siehe Tabelle 1) eingehend untersucht und analysiert, da für diese umfassende Daten und relevante Informationen für eine Analyse zur Verfügung standen.

Im Rahmen des Seminars wurden grundlegende Fragen des Holzbaus gemeinsam mit den Studierenden erörtert und anhand verschiedener Parameter eingehend untersucht und bewertet. Bauphysikalische und baukonstruktive Aspekte wurden erfasst und in einer Matrix festgehalten. Dabei lag der Fokus auf dem Klimaschutzpotenzial, welches intensiv betrachtet und weiter ausgewertet wurde. Besondere Aufmerksamkeit galt den Bauteilaufbauten. Für jedes Projekt wurden die Standard-Bauteilaufbauten von Wand, Decke und oberem Gebäudeabschluss unter Verwendung der ÖKOBAUDAT-Datenbank des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen analysiert (BMWSB 2023). Um einen Vergleich der Bauteile innerhalb der Referenzgebäude zu ermöglichen, wurde für die konventionellen Bauweisen ebenfalls eine Ökobilanz der genannten Bauteile erstellt.

3.1.1. Datenauswertung

Für die Auswertung der Seminarrecherchen wurde eine interaktive Datenbank aus den ermittelten Daten der einzelnen Projekte erstellt. Sie enthält eine Matrix mit Beispielgebäuden pro Raumtypologie im Hochschulbau und bietet Filtermöglichkeiten. Derzeit sind 14 Projekte in der Datenbank erfasst, wobei drei davon sowohl der Büro- als auch der Seminartypologie angehören. Diese Daten sind in der Datenbank doppelt erfasst, wurden in der Auswertung aber ausschließlich als Bürogebäude betrachtet. Sie verteilen sich auf fünf Bürogebäude, ein Seminargebäude, zwei Laborgebäude, drei Versammlungsgebäude und drei Technikum-Gebäude.

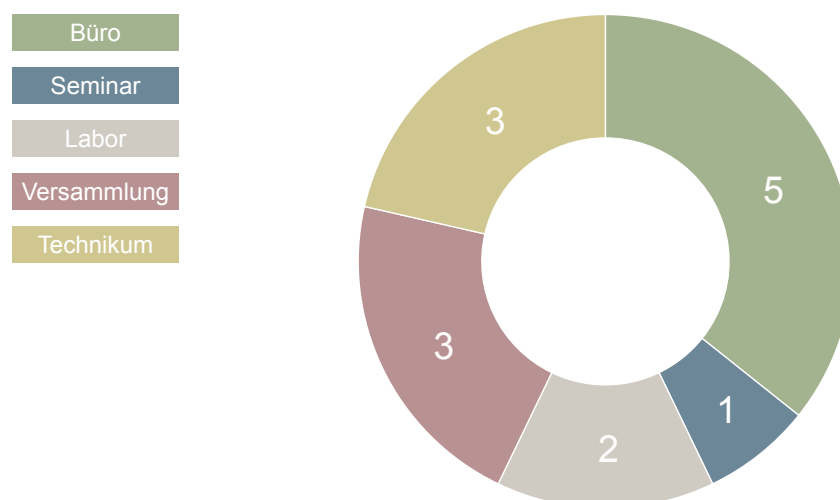


Abbildung 7: Anzahl der untersuchten Gebäude nach Raumtypologien (eigene Darstellung)

Aufgrund der zeitlich begrenzten Laufzeit des Projekts wurden lediglich 14 Projekte analysiert (siehe Tabelle 1). Daher beschränken sich diese Angaben auf

projektspezifische Informationen. Eine quantitative und allgemeingültige Aussage ist aufgrund fehlender statistischer Mittelwerte nicht möglich.

Die Recherche beinhaltet folgende Daten:

- Architekt:innen / Ort / Baujahr
- Gebäudeklasse / Anzahl Geschosse
- Anforderungen Brandschutz / Schallschutz / Akustik
- Statisches System
- Spannweiten
- Bauteilstärke
- Tragende Schicht und Bodenaufbauten mit Schüttung / Trittschalldämmung / Estrich
- Unterdecke direkt beplankt / abgehängt / Akustik Ergebnisse der Ökobilanzierung für die jeweils ermittelten Bauteile.

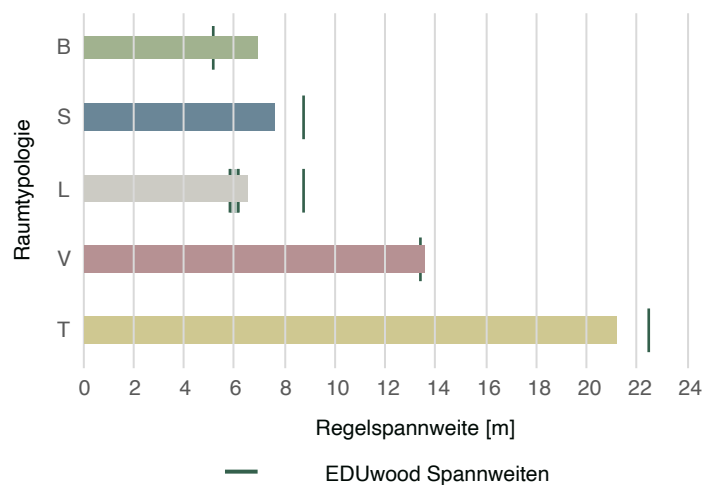


Abbildung 8: Regelspanweiten nach Raumtypologie (Büro (B), Seminar(S), Labor(L), Versammlung(V), Technikum(T) (mit Annahme EDUwood Spannweiten - Recherche Seminar gebaute Referenzen (eigene Darstellung)

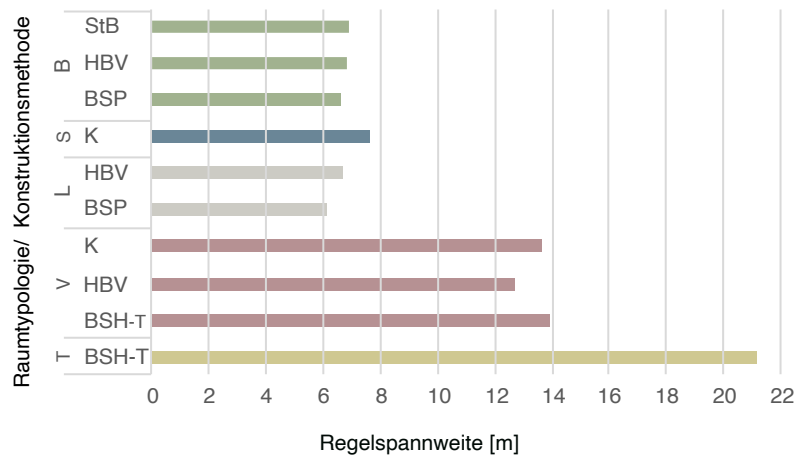


Abbildung 9: Regelspanweiten und Konstruktionsmethode nach Raumtypologie Büro (B), Seminar(S), Labor(L), Versammlung(V), Technikum(T) - Recherche Seminar gebaute Referenzen (eigene Darstellung)

In einer exemplarischen Analyse wurden die regulären Spannweiten nach Raumtypologie ermittelt und mit den Regelspanweiten von EDUwood verglichen (siehe Abbildung 8). Die angenommenen Spannweiten zeigen eine Übereinstimmung mit den recherchierten Ergebnissen.

Bei der Überprüfung der angenommenen Bauteilschichten in Abbildung 10, aufgeteilt in tragende Schicht und Bauteilstärke, zeigt sich eine Annäherung der Bauteilaufbauten von EDUwood. Der Vergleich mit der gebauten Praxis dient der Überprüfung der ausgewählten Bauteile im Projekt EDUwood.

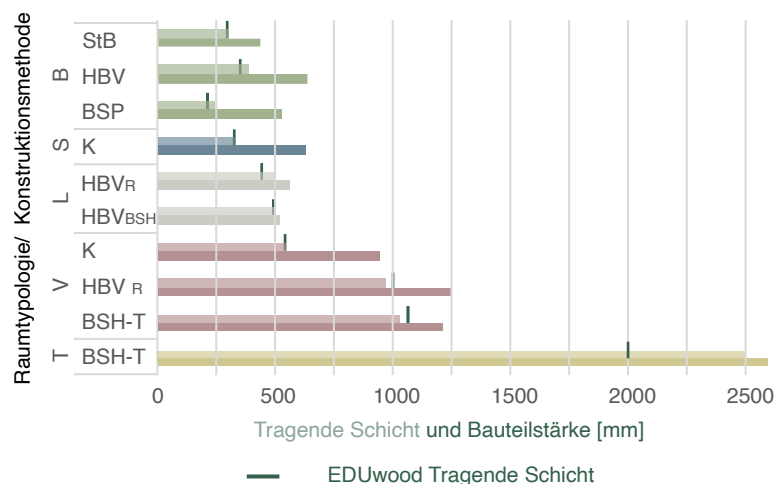


Abbildung 10: Raumtypologie (Büro (B), Seminar(S), Labor(L), Versammlung(V), Technikum(T)) und Konstruktionsmethoden nach Tragende Schicht und Bauteilstärke, zusätzlich Annahme EDUwood tragende Schicht - Recherche Seminar gebaute Referenzen (eigene Darstellung)

Für die Lebenszyklusanalyse der Regel-Bauteilaufbauten wurden dieselben ÖKOBAUDAT-Datensätze wie bei den EDUwood Bauteilaufbauten verwendet.

Allerdings weichen die Bauteilschichten der realisierten Projekte von den EDUwood Bauteilschichten ab, zum Beispiel durch zusätzliche Schichten oder andere Spannweiten. Ein direkter Vergleich ist daher nicht möglich. Trotzdem lassen sich starke Ähnlichkeiten zu den EDUwood Bauteilaufbauten erkennen.

3.2. Baukonstruktive und bauphysikalische Grundlagen

3.2.1. Brandschutz

Allgemein

Nach BayBO 2007 Art. 3 sind Anlagen so zu errichten, *„dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben, und Gesundheit und die natürliche Lebensgrundlage, nicht gefährdet werden“*.

Aus dem Grundziel ergibt sich, dass bei der Planung eines Gebäudes baukonstruktive und bauphysikalische Anforderungen zu berücksichtigen sind. Diese umfassen Anforderungen an die Standsicherheit, die Gebrauchstauglichkeit, den Brandschutz, den Schallschutz, die Dauerhaftigkeit und den Wärmeschutz.

Aufgrund unterschiedlicher Gebäudeausmaße ergeben sich unterschiedliche Risiken und dadurch Anforderungen zur Erreichung des grundlegenden Schutzzieles. Auf dieser Basis werden Gebäude Gebäudeklassen (GK) zugeordnet (siehe Abbildung 11).

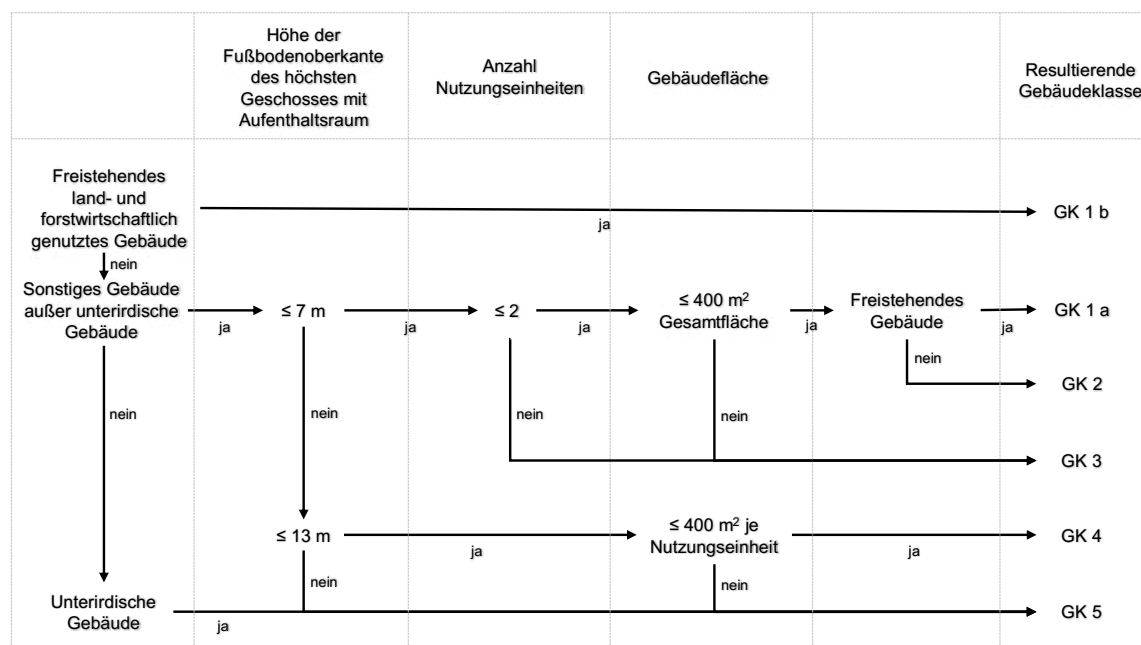


Abbildung 11: Auswahl der Gebäudeklasse nach BayBO 2007 (eigene Darstellung)

Zusätzliche Risiken aus bestimmten (Gebäude-)Nutzungen, sowie großen Gebäudeausdehnungen (Art), werden durch die Sonderbautatbestände abgebildet. Durch das Vorliegen eines Sonderbautatbestandes können zusätzlich Anforderungen entstehen. Die Sonderbautatbestände sind in der BayBO 2007 Art. 2 (4) angegeben.

Für die vorliegende Forschungsarbeit sind ausgewählte Beispiele für Sonderbautatbestände:

- Hochhäuser (Gebäude mit einer Höhe der Fußbodenoberkante eines Aufenthaltsraumes von mehr als 22 m)
- Bauliche Anlagen mit einer Höhe von mehr als 30 m
- Gebäude mit mehr als 1.600 m² Grundfläche des Geschosses mit der größten Ausdehnung, ausgenommen Wohngebäude
- Gebäude mit Räumen, die einer Büro- oder Verwaltungsnutzung dienen und einzeln eine Grundfläche von mehr als 400 m² haben
- Versammlungsstätten, die insgesamt mehr als 200 Personen fassen, wenn diese Versammlungsräume gemeinsame Rettungswege haben
- Schulen, Hochschulen und ähnliche Einrichtungen
- Regallager mit einer Oberkante Lagerguthöhe von mehr als 7,50 m

Auf Grundlage der Einordnung in eine Gebäudeklasse und der Feststellung, ob ein Sonderbautatbestand vorliegt, ergeben sich Anforderungen an die Widerstandsfähigkeit von Bauteilen im Brandfall, sowie an die Brennbarkeit der im Bauteil verwendeten Baustoffe.

Baustoffe werden nach BayTB A2.1.2 in nichtbrennbare, schwerentflammbare und normalentflammbare Baustoffe eingeteilt. Die Widerstandsfähigkeit der Bauteile im Brandfall bezüglich der Standsicherheit (R) und des Raumabschlusses (EI) wird nach BayTB A2.1.3 unterteilt in feuerbeständig (≥ 90 min), hochfeuerhemmend (≥ 60 min) und feuerhemmend (≥ 30 min). Ein tragendes raumabschließendes feuerbeständiges Bauteil wird somit mit dem Kürzel REI90 beschrieben. Weiterführende Unterscheidungen und Kategorisierungen sind der BayTB Abs. A. 2.1 sowie BayTB Anhang 4 zu entnehmen. Bezüglich der Verwendung brennbarer Baustoffe bei Gebäuden der Gebäudeklassen 4 und 5 wird in BayTB Abschnitt A. 2.2 auf die Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise (MHolzBauRL) verwiesen. Diese gilt damit als technisch eingeführte Baubestimmung und ist für die Planung und Errichtung zu beachten.

Anwendung und Regelungen der Muster Holzbau Richtlinie (MHolzBauRL)

Der Anwendungsbereich der MHolzBauRL 2022 ist auf ein Standardgebäude, welches „[...] keine Anlagen oder Räume besonderer Art oder Nutzung nach BayBO 2007 Art. 2 Abs. 4 enthält“, beschränkt. Ein Sonderbautatbestand ist somit ausgeschlossen.

Die MHolzBauRL 2022 regelt die Anwendung von tragenden und/oder raumabschließenden Bauteilen aus Holz, die nach BayBo 2007 Art. 24 Abs. 2 Satz 1 Nr. 2 hochfeuerhemmend bzw. nach BayBo 2007 Art.24 Abs. 2 Satz 4 abweichend hochfeuerhemmend oder abweichend feuerbeständig sind. Ebenfalls regelt die Richtlinie die Anwendung von Außenwandbekleidungen aus Holz und Holzwerkstoffen,

welche nach BayBO 2007 Art 26 Abs 3 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 und 5 aus mindestens schwerentflammenden Baustoffen bestehen müssen.

Die Anwendung der MHolzBauRL 2022 in Bayern ist für tragende feuerbeständige und hochfeuerhemmende Bauteile sowie für Außenwandbekleidungen aus Holz in Abbildung 12 erläutert.

Es wird unterschieden in Holztafelbauweise und Massivholzbauweise. Holz-Beton-Verbunddecken werden in der Richtlinie als Massivholzbauweise betrachtet.

Für eine Anwendung der Holztafelbauweise ist eine brandschutztechnisch wirksame Bekleidung notwendig. Diese muss bei hochfeuerhemmenden tragenden und aussteifenden bzw. raumabschließenden Bauteilen die Entzündung während eines Zeitraums von mindestens 60 Minuten verhindern. Bei der Holzmassivbauweise muss durch die brandschutztechnisch wirksame Bekleidung eine Entzündung von mindestens 30 Minuten verhindert werden. Abweichend ist entweder die Decke oder maximal 25 % aller Wandoberflächen eines Raumes ohne Bekleidung ausführbar. Weitere Informationen bezüglich der Verbindungsmittelüberstände und Plattenrandabstände sind der MHolzBauRL 2022 zu entnehmen.

Bei beiden Bauweisen ist für eine Brandbeanspruchung von oben entweder eine Bekleidung analog zur Unterseite oder ein Fußbodenaufbau aus mindestens 20 mm nichtbrennbarer Dämmung mit einem darüberliegenden schwimmenden Estrich aus nichtbrennbaren Materialien von mindestens 30 mm oder eines mehrschichtigen Trockenestrichs mit einer Mindestgesamtdicke von 25 mm mit entsprechenden umlaufenden nichtbrennbaren Randdämmstreifen notwendig.

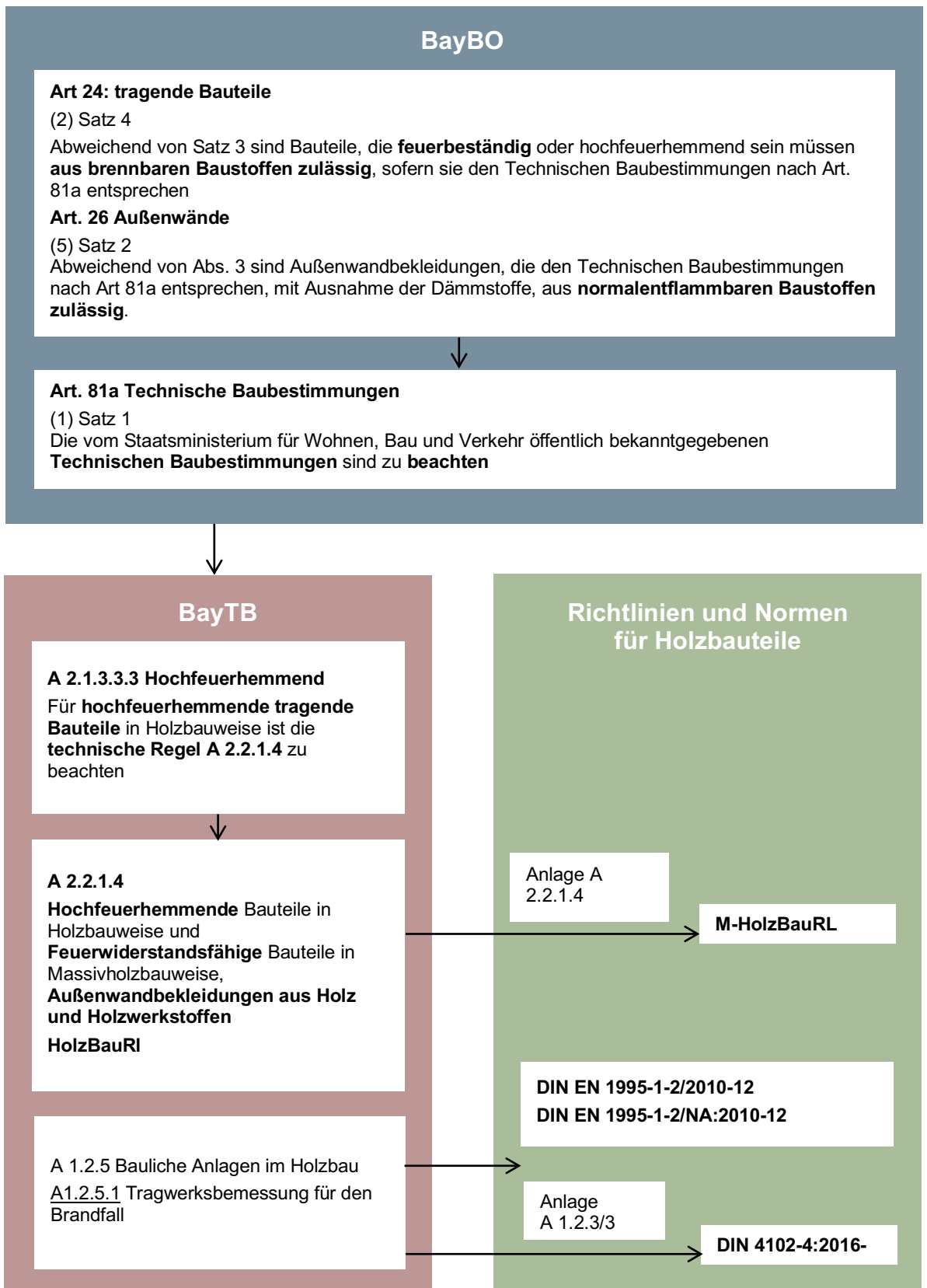


Abbildung 12: Anwendung der Musterholzbau Richtlinie und der relevanten Bemessungsnormen bei tragenden und aussteifenden Bauteilen sowie Außenwandbekleidungen in Bayern (eigene Darstellung)

In Tabelle 2 sind die Anwendungsgrenzen und Bekleidungsempfehlungen nach MHolzBauRL 2022 zusammengefasst dargestellt. In der Fortschreibung MHolzBauRL vsl.2023 werden in Teilen vorhandene Sonderbautatbestände berücksichtigt. Gebäude mit einem Sonderbautatbestand nach BayBO 2007 Art. 2 (4) werden im Folgenden als Sonderbau bezeichnet. Ebenfalls wird die Ausführung der Holztafelbauweise als abweichend feuerbeständiges Bauteil geregelt. Die Änderungen sind in Tabelle 2 grau erkenntlich gemacht.

Zusätzlich zu den Änderungen der MHolzBauRL vsl.2023 wird bereits die Änderung zur Mindestrohddichte der Gipsfaserplatten berücksichtigt. Bisher wird die Mindestrohddichte zu $\rho \geq 1.000 \text{ kg/m}^3$ festgelegt. In der DIN 4102-4:2016-05+A1:2023-04 wird die Mindestrohddichte auf $\rho \geq 1.100 \text{ kg/m}^3$ angehoben.

Tabelle 2: Anwendungsvoraussetzungen und notwendige Bekleidungen von tragenden Bauteilen der in der MHolzBauRL 2022 geregelten Aufbauten. Änderungen der neuen MHolzBauRL vsI.2023 sind in grau dargestellt.

	Holztafelbauweise	Massivholzbauweise	
Gebäudeart	Standardgebäude und Sonderbau	Standardgebäude und Sonderbau	
Gebäudeklasse	GK 4 und GK 5	GK 4 und GK 5	
Feuerwiderstand	Hochfeuerhemmend und feuerbeständig	Hochfeuerhemmend und feuerbeständig	
Nutzungseinheitsgröße	- / (-) ^b	≤ 200 m ² / (-) ^b	
Dämmstoffe	Nichtbrennbar ^c	Nichtbrennbar	
Sonstiges	Umlaufende Verblockung durch Holzprofile		
Bekleidungen nach aktueller MHolzBauRL 2022			
Bekleidung Decke	2x18 mm Gipswerkstoffplatte ^a	25 % Wandoberflächen brennbare Oberfläche	Wandoberflächen nichtbrennbar
		18 mm Gipswerkstoffplatte ^a	keine
Bekleidung Wand	2x18 mm Gipswerkstoffplatte ^a	Deckenoberfläche nichtbrennbar	Deckenoberfläche brennbar
		mind. 75 % der Wandoberfläche: ^d 18 mm Gipswerkstoffplatte ^a	18 mm Gipswerkstoffplatte ^a
Bekleidungen nach MHolzBauRL vsI.2023			
Bekleidung hochfeuerhemmend	2x15 mm Gipswerkstoffplatte ^a		
Bekleidung feuerbeständig	2x18 mm Gipswerkstoffplatte ^a		
Reduzierte Bekleidung hochfeuerhemmend bei Nutzungseinheit ≤ 200 m ²	2x12,5 mm Gipswerkstoffplatte ^a <u>Oder</u> 1x18 mm Gipswerkstoffplatte ^a + 1x12 mm Holzwerkstoffplatte	Wie aktuelle MHolzBauRL; Sonderbau ist bedingungslos zu bekleiden mit 1x18 mm Gipswerkstoffplatte ^a	
Reduzierte Bekleidung feuerbeständig bei Nutzungseinheit ≤ 200 m ²	Keine Reduktion der Bekleidung möglich	Wie aktuelle MHolzBauRL Sonderbau ist bedingungslos zu bekleiden mit 1x18 mm Gipswerkstoffplatte ^a	
^a	Gipsplatte Typ GKF nach DIN 18180 i.V.m DIN EN 520 oder Gipsfaserplatte ($\rho \geq 1.100 \text{ kg/m}^3$) nach europäischer technischer Bewertung		
^b	nach neuer MHolzBauRL vsI.2023 gibt es keine Beschränkungen mehr bezüglich der Nutzungseinheitsgröße. Ausgenommen sind hier Sonderbauten. Diese werden auf eine maximale Nutzungseinheitsgröße von 400 m ² beschränkt		
^c	Hohlraumfüllend flankenformschlüssig zwischen Deckenbalken oder Rippen bzw. Wandständern		
^d	max. 25 % Wandoberflächen sind brennbar		

Zusammenfassung Anforderungen Außenwandbekleidung

Für die Anwendung einer hinterlüfteten Außenwandbekleidung aus Holz und Holzwerkstoffen bei Gebäuden in der Gebäudeklasse 4 und 5 müssen geeignete Maßnahmen nachgewiesen werden, welche die Begrenzung der Brandausbreitung gewährleisten. Diese gilt als erfüllt, wenn die Anforderungen nach MHolzBauRL 2022 Abschnitt 6.2 bis 6.3 in Verbindung mit Abschnitt 10 eingehalten sind. In Tabelle 3 sind die grundlegenden Aussagen sowie die Änderungen zur neuen MHolzBauRL vsI.2023 zusammengefasst. Für eine allumfassende Betrachtung wird auf die Richtlinien verwiesen.

Tabelle 3: Zusammenfassung der Anforderungen für Außenwandbekleidungen nach der MHolzBauRL 2022. Änderungen der neuen MHolzBauRL vsI.2023 sind in grau dargestellt.

Maßnahme	MHolzBauRL 2022 und Änderungen MHolzBauRL vsI.2023
Nichttragende Trägerplatte	<p>≥15 mm nichtbrennbare Trägerplatte</p> <p>≥18 mm Bekleidung Gipswerkstoffplatte^a</p> <p>Oder</p> <p>≥15 mm wenn nichttragende Außenwandkonstruktion mit nichtbrennbaren Dämmstoffen</p> <p>Oder</p> <p>≥60 mm Dämmstoffplatte/matte ($\rho \geq 115\text{kg/m}^3$)</p> <p>Oder</p> <p>≥80 mm Dämmstoffplatte/matte ($\rho \geq 50\text{kg/m}^3$)</p>
Dämmstoffe	nichtbrennbar
Lüftungsspalt	<p>≤ 50 mm (bei einfacher Lattung ≤ 30 mm bei doppelter Lattung ≤ 2x25 mm)</p> <p>≤ 60 mm (bei einfacher Lattung ≤ 30 mm bei doppelter Lattung ≤ 2x30 mm)</p>
Horizontale Brandsperre	<p>Geschossweise, auf Höhe der Geschossdecken. Befestigung auf nichtbrennbarer Trägerplatte mit Befestigungsmittel bis in tragende Konstruktion</p> <p>Variierende Maße je nach Bekleidungsart</p>
Innenecken	<p>An beiden Seiten der Innenecke 1 m breiten Bereich aus nichtbrennbarer Außenwandbekleidung</p> <p>Oder</p> <p>Auskragen der horizontalen Brandsperre ≥ 250 mm (≥ 100 mm bei Kraft und formschlüssigen Schalungen und flächigen Holzwerkstoffplatten) über 1 m auf beiden Seiten der Innenecke</p> <p>Wie MHolzBauRL 2022 mit zusätzlicher Regelung zur Führung von Regenfallrohren</p>
Vertikale Brandsperre	<p>Verblockung Lüftungsspalt bei Außenecken</p> <p>Ausstopfen mit formstabilem Dämmstoff bei Brandwänden, sowie ein 1 m nichtbrennbarer Bereich der Außenwandbekleidung</p>
Wirksame Löscharbeit Feuerwehr	Muss für wirksame Löscharbeiten erreichbar sein
^a	Gipsplatte Typ GKF nach DIN 18180 i.V.m DIN EN 520 oder Gipsfaserplatte ($\rho \geq 1.100\text{ kg/m}^3$) nach europäischer technischer Bewertung

3.2.2. Schallschutz

Eine umfassende Betrachtung des Schallschutzes wird notwendig, da dauerhafte Lärmbelastungen Auswirkungen auf die auditive und nicht auditive Gesundheit haben können (WHO 2018). Um sowohl den Gesundheitsschutz als auch komfortable Umgebungsbedingungen sicherzustellen, werden durch die DIN 4109-1 Mindestanforderungen definiert.

Anforderungen an den Schallschutz

Der Informationsdienst Holz (2019) unterscheidet die Anforderungen zwischen Basis, Basis+ und Komfort. Die Basisanforderungen an den Schallschutz ergeben sich aus der DIN 4109-1 und müssen eingehalten werden. In der Regel ist eine Orientierung an den Basisanforderungen ausreichend. Im Schallschutzniveau Basis+ und Komfort werden die Grenzwerte angehoben. Zudem berücksichtigen die beiden höheren Niveaus auch besonders die tiefen Frequenzen aus Trittschall, die im Holzbau maßgebend sind. Die erhöhten Anforderungen sind im Einzelfall mit dem Bauherrn zu vereinbaren.

Die in der DIN 4109-1 angegebene Mindestanforderungen sind von der Nutzungsart des Gebäudes abhängig. Auszugsweise werden für das Forschungsprojekt relevante Grenzwerte in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Schallschutzanforderungen nach DIN 4109-1

Gebäudeart	Bauteil	Bauteilbeschreibung	Anforderungen	
			R'_w	$L'_{n,w}$
Wohn- und Arbeitsbereiche	Decken	Trenndecke (auch Treppe) zwischen fremden Arbeitsräumen bzw. vergleichbarer Nutzungseinheiten	≥ 54	≤ 53
		Decken unter Hausfluren (Trittschallübertragung in fremde Aufenthaltsräume)	-	≤ 50
	Wände	Wohnungstrennwände und Wände zwischen fremden Arbeitsräumen	≥ 53	-
		Treppenraumwände und Wände neben Hausfluren	≥ 53	-
Schulen und vergleichbare Einrichtungen	Decken	Decke zwischen Unterrichtsräumen oder ähnlichen Räumen/Decken unter Fluren	≥ 55	≤ 53
		Decke zwischen Unterrichtsräumen oder ähnlichen Räumen und „lauten“ Räumen	≥ 55	≤ 46
	Wände	Wände zwischen Unterrichtsräumen oder ähnlichen Räumen untereinander und zu Fluren	≥ 47	-
		Wände zwischen Unterrichtsräumen oder ähnlichen Räumen und z.B. Sporthallen, Werkräumen	≥ 60	-
		Wände zwischen Unterrichtsraum oder ähnlichen Räumen und „lauten“ Räumen	≥ 55	-
Besonders Laute und Schutzbedürftige Räume (75-85 dB)		Räume mit besonders lauten gebäudetechnischen Anlagen oder Anlageteile	≥ 57	≤ 43

Die Anforderungen an Außenbauteile beschränken sich auf den Luftschall. Der maßgebliche Außenlärmpegel für den Straßenverkehr wird nach DIN 4109-2 in

Verbindung mit DIN 18005 ermittelt. Abhängig vom Außenlärmpegel wird ein Lärmpegelbereich nach DIN 4109-1 festgelegt. Je nach Art der Raumnutzung wird ein entsprechender Rechenwert $K_{Raumart}$ subtrahiert, um das erforderliche bewertete Bau-Schalldämm-Maß $R'_{w,erf}$ zu erhalten. Unabhängig von der Berechnung in Gl. 3.1 ist ein Bau-Schalldämm-Maß von mindestens 30 dB für Aufenthaltsräume in Wohnungen, Unterrichtsräumen, Büroräumen und ähnlichen Räumen einzuhalten. Bei besonders schutzbedürftigen Räumen wird der Mindestwert auf 35 dB erhöht.

$$R'_{w,erf} = L_a - K_{Raumart} \quad \text{Gl. 3.1}$$

mit	L_a [dB]	Maßgeblicher Außenlärmpegel nach DIN 4109-2 Absatz 4.4.5
	$K_{Raumart}$ [dB]	Beiwert zur Berücksichtigung unterschiedlicher Raumarten nach DIN 4109-1 Absatz 7.1
	$R'_{w,erf}$ [dB]	Erforderliches bewertetes Bau-Schalldämm-Maß

Nachweisverfahren

Ein Nachweis des Luft- und Trittschallschutzes kann rechnerisch anhand DIN 4109-2 erfolgen. Da im Rahmen des Projektes die Raumtypologien nur vereinzelt betrachtet und Aussagen auf Bauteilebene getroffen werden, wird auf vereinfachte Nachweise zur Vorbemessung zurückgegriffen.

Für den Nachweis des Schalldämm-Maßes für Innenbauteile wird ein pauschales Vorhaltemaß herangezogen, um die Flankenübertragungen zu berücksichtigen. In dem zurückgezogenen DIN 4109 Beiblatt 1 ist eine Abminderung des Bauteil-Schalldämm-Maßes R_w von 5 dB unabhängig von der Einbausituation vorgesehen. Um Unsicherheiten zu berücksichtigen wird ein Korrekturwert von u_{prog} von 2 dB angenommen. (Informationsdienst Holz 2019; DIN 4109-2)

$$R'_w = R_w - 5 \text{ dB} - u_{prog} \geq R'_{w,erf} \quad \text{Gl. 3.2}$$

mit	R'_w [dB]	Bewertetes Bau-Schalldämm-Maß
	R_w [dB]	Bewertetes Schalldämm-Maß
	u_{prog} [dB]	Korrekturwert für die Unsicherheit im Berechnungsverfahren für Luftschallübertragung: $u_{prog} = 2$ dB
	$R'_{w,erf}$ [dB]	Erforderliches bewertetes Bau-Schalldämm-Maß

Beim Nachweis des Schalldämm-Maßes von Außenbauteilen wird vereinfacht davon ausgegangen, dass die Übertragung durch flankierende Bauteile keine Rolle spielt. Neben dem Korrekturwert zur Berücksichtigung von Unsicherheiten wird nach DIN 4109-2 ein Korrekturwert herangezogen, welcher das Verhältnis der Raumgrundfläche zur Fassadenfläche des Raumes berücksichtigt.

$$R'_w = -10 * \lg \left(\sum_{i=1}^m \left(10^{-\frac{R_{ei,w}}{10}} \right) \right) - K_{AL} - u_{prog} \geq R'_{w,erf} \quad \text{Gl. 3.3}$$

mit	R'_{w}	[dB]	Bewertetes Bau-Schalldämm-Maß
	$R_{ei,w}$	[dB]	Bewertetes Schalldämm-Maß der einzelnen Elemente der Fassade bezogen auf die Fassadenfläche nach DIN 4109-2 Gl. (37)
	K_{AL}	[dB]	Korrekturwert zur Berücksichtigung des Verhältnisses Fassade zu Grundfläche des betrachteten Raums nach DIN 4109-2 Gl. (33)
	u_{prog}	[dB]	Korrekturwert für die Unsicherheit im Berechnungsverfahren für Luftschallübertragung: $u_{prog} = 2$ dB
	$R'_{w,erf}$	[dB]	Erforderliches bewertetes Bau-Schalldämm-Maß

Für die Ermittlung des erforderlichen bewerteten Norm-Trittschalpegels im Bau wird für Holzbauteile ein Berechnungsverfahren in der DIN 4109-2 angegeben. Neben Korrekturwerten für die Flankenübertragung wird hierbei ein pauschaler Zuschlag u_{prog} von 3 dB berücksichtigt. (Informationsdienst Holz 2019; DIN 4109-2)

Da die Flankenübertragung einen maßgebenden Beitrag bei der Trittschallübertragung liefert und in dem Forschungsprojekt keine Aussagen zu Lagerungsbedingungen gegeben werden, wird bei der Ermittlung der Korrekturwerte vom ungünstigsten Fall, also einer flächigen ungedämpften Kontaktübertragung, ausgegangen.

$$L'_{n,w} = L_{n,w} + K_1 + K_2 + u_{prog} \leq L'_{n,w,erf} \quad \text{Gl. 3.4}$$

mit	$L'_{n,w}$	[dB]	Bewerteter Norm-Trittschallpegel im Bau
	$L_{n,w}$	[dB]	Bewerteter Norm-Trittschallpegel
	K_1	[dB]	Korrekturwert für den Übertragungspfad Df nach DIN 4109-2 Tabelle 3
	K_2	[dB]	Korrekturwert für den Übertragungspfad DFf nach DIN 4109-2 Tabelle 4
	u_{prog}	[dB]	Korrekturwert für die Unsicherheit im Berechnungsverfahren für Trittschallübertragung: $u_{prog} = 3$ dB
	$L'_{n,w,erf}$	[dB]	Erforderlicher bewerteter Norm-Trittschallpegel im Bau

Die im Holzbau kritischen tiefen Frequenzen unter 100 Hz werden über einen Spektrumanpassungswert $C_{L,50-5000}$ berücksichtigt. Somit sind für den vereinfachten Nachweis des Trittschallpegels zur Berücksichtigung des Niveaus Basis+ und Komfort zwei separate Nachweise zu führen. (Informationsdienst Holz 2019)

$$L_{n,w} + C_{L,50-5000} \leq L'_{n,w,erf} \quad \text{Gl. 3.5}$$

mit	$L_{n,w}$	[dB]	Bewerteter Norm-Trittschallpegel
	$C_{L,50-5000}$	[dB]	Spektrumanpassungswert für Trittschall im Frequenzbereich von 50 bis 5000 Hz
	$L'_{n,w,erf}$	[dB]	Erforderlicher bewerteter Norm-Trittschallpegel im Bau

Aufgrund der komplexen Ermittlung von aussagekräftigen Werten und der starken Variation von Bauteilaufbauten können im Bereich des Luft- und Trittschallschutzes nur anhand von In-situ-Messungen präzisere Aussagen getroffen werden.

3.2.3. Wärmeschutz

Um den Energiebedarf eines Gebäudes zu beschränken und die Räumlichkeiten alljährlich komfortabel nutzen zu können, werden im Gebäudeenergiegesetz (GEG) Mindestanforderungen an die Wärmedurchgangskoeffizienten für Bauteile festgelegt (GEG 2020). Mit einhergehend ist der Feuchteschutz für eine hygienische und bauliche Mängelfreiheit. Damit soll der Gesundheitsschutz der Nutzenden sowie eine langfristige Erhaltung der Bausubstanz sichergestellt werden (Fouad 2013).

Anforderungen

Es wird unterschieden in Wohn- und Nichtwohngebäude. Nichtwohngebäude sind definiert als Gebäude, die „sich hinsichtlich der Art der Nutzung und der gebäudetechnischen Ausstattung wesentlich von der Wohnnutzung unterscheiden“ (GEG 2020 §106). Um der Vorbildfunktion des Bundes gerecht zu werden, wurden für ausgewählte Bundesgebäude strengere Grenzwerte, differenziert nach Neubauten und Sanierungen, festgelegt (BBSR 2021). Für Hochschulgebäude gelten ausschließlich die Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes.

Tabelle 5: Anforderungen an die Wärmedurchgangskoeffizienten von Außenbauteilen mit Raum-Solltemperatur $\geq 19^{\circ}\text{C}$

	Anforderungen an den U-Wert $[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ in Nichtwohngebäude nach GEG 2020	Anforderungen an den U-Wert $[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ an Neubauten nach BBSR 2021
Außenwand (einschließlich Einbauten wie Rollladenkästen), Geschossdecke gegen Außenluft	$\leq 0,28$	$\leq 0,18$
Oberste Geschossdecke, Wände zu Abseiten	$\leq 0,20$	$\leq 0,18$
Fenster, Fenstertüren	$\leq 1,3$	$\leq 1,0$
Wand gegen Erdreich, Bodenplatte	$\leq 0,35$	Keine Angabe

Nachweisverfahren

Der Nachweis des Wärmeschutzes eines Bauteils kann vereinfacht stationär mithilfe der DIN EN ISO 6946 in Verbindung mit DIN 4108-2 erfolgen. Die Berechnung des totalen Wärmedurchgangswiderstandes berücksichtigt die einzelnen Wärmedurchgangswiderstände der Bauteilschichten in Abhängigkeit ihrer jeweiligen Wärmeleitfähigkeit und Dicke, sowie den äußeren und inneren Wärmeübergangswiderstand ebener Bauteile. Bei inhomogenen mehrschichtigen Bauteilen muss bei der Ermittlung des Wärmedurchgangswiderstandes der Bauteilschichten ein oberer und unterer Grenzwert in Abhängigkeit der flächenmäßigen Anteile berücksichtigt werden. Im Rahmen des Forschungsberichtes wird für die genaue Ermittlung des totalen Wärmedurchgangswiderstandes auf die DIN EN ISO 6946 verwiesen.

$$\frac{1}{R_T} + \Delta U \leq U_{erf} \quad \text{Gl. 3.6}$$

mit	R_T [m ² K/W]	Totaler Wärmedurchgangswiderstand nach DIN ISO EN 6496
	ΔU [W/m ² K]	Korrekturwert zur Berücksichtigung von Luftspalten, durchdringenden Befestigungselementen und Umkehrdächern
	U_{erf} [W/m ² K]	Erforderlicher Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils

Bei Umkehrdächern ist nach DIN 4108-2 ein Korrekturwert ΔU zu berücksichtigen. Dieser Wert berücksichtigt die zusätzlichen Wärmeverluste, die aufgrund des Abfließens von Niederschlagswasser entstehen. Der Korrekturwert beträgt bei einem Anteil des Wärmedurchgangswiderstandes raumseitig der Abdichtung am Gesamtwärmedurchlasswiderstand von unter 10 Prozent 0,05 W/m²K und zwischen 10–50 Prozent 0,03 W/m²K. Bei einem Anteil über 50 Prozent ist keine Korrektur notwendig.

Der Nachweis des Feuchteschutzes erfolgt entweder durch die Verwendung von geregelten Bauteilaufbauten, durch das Periodenbilanzverfahren (vereinfachtes Nachweisverfahren) oder in speziellen Fällen durch eine hygrothermische Simulation (DIN 4108-3). Für Holzbauten sind geregelte, ohne expliziten Nachweis anwendbare Bauteilaufbauten in der DIN 68800-2 Anhang A angegeben.

3.2.4. Normative Nachweise/ Baukonstruktive Anforderungen

Durch das Einhalten der Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit und der Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, wird eine sichere und komfortable Nutzung gewährleistet. Für Holzbauteile sind die zu führenden Nachweise der DIN EN 1995-1-1 zu entnehmen. Für die Bemessung im Brandfall ist die DIN EN 1995-1-2 zu berücksichtigen. Im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind die Spannungsnachweise für Biegung, Querkraft, Normalkraft, sowie holzspezifische Nachweise wie die Auflagerpressung und Verbindungsmittelnachweise zu führen. Gesondert berücksichtigt werden Stabilitätsprobleme wie Knicken und Biegedrillknicken. Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sind Grenzwerte an die Durchbiegungen, sowie Anforderungen an das Schwingungsverhalten beschrieben. Auf Nachweise im Anschlussbereich (Auflagerpressung, Verbindungsmittel) wird aufgrund der Vielfalt an möglichen Ausführungen und des begrenzten Zeitrahmens verzichtet.

Auf eine detaillierte Erläuterung der statischen Nachweise wird mit Ausnahme des Schwingungsnachweises verzichtet. Die detaillierte Betrachtung des Schwingungsnachweises erfolgt aufgrund der maßgebenden Rolle des Nachweises im Holzbau. Die Schwingungsnachweise werden bei einer Holzbalkendecke unter der Annahme eines geringen Lastverhältnisses von Nutzlast zu Eigengewicht, bereits ab einer Spannweite von 2–3 Metern maßgebend. (Hamm 2017)

Nachweiskonzept Schwingungsverhalten

Es existieren unterschiedliche Nachweiskonzepte für den Schwingungsnachweise. In der aktuellen DIN EN 1995-1-1 erfolgt der Nachweis über eine Grenzfrequenz von 8 Hz.

Bei einer tieferen Eigenfrequenz müssen genauere Untersuchungen geführt werden. Neben dem Einhalten der Grenzfrequenz sind Grenzwerte für die Steifigkeit und die Schwinggeschwindigkeit angegeben.

Ein ähnliches Nachweiskonzept ist in der alten DIN 1052 und den zugehörigen Erläuterungen zu finden (Erläuterung DIN 1052). Hierbei erfolgt der Nachweis im ersten Schritt über eine Grenzdurchbiegung im quasi-ständigen Lastfall. Ist die Grenzdurchbiegung nicht eingehalten können besondere Untersuchungen entsprechend den Erläuterungen bezüglich einer minimalen Eigenfrequenz, einer minimalen Steifigkeit, einer Schwinggeschwindigkeit und einer maximalen Schwingbeschleunigung geführt werden.

Ein aktuelles Nachweisverfahren ist der von Winter et al. (2010) entwickelte Nachweis, an welchem sich der Schwingungsnachweis im neuen Eurocode (prEN 1995-1-1) orientiert. Das schematische Vorgehen des Verfahrens ist in Abbildung 13 dargestellt. Es umfasst, neben einem rechnerischen Nachweis des Steifigkeits- und Frequenzkriteriums, Anforderungen an die konstruktive Ausführung. Zudem ermöglicht das Nachweisverfahren durch die Berücksichtigung einer Grenzbeschleunigung den Nachweis von Decken mit einer Eigenfrequenz zwischen 4,5 – 8 Hz. Der Nachweis über das Beschleunigungskriterium ist nur bei verhältnismäßig schweren Decken, wie zum Beispiel Holz-Beton-Verbunddecken zielführend.

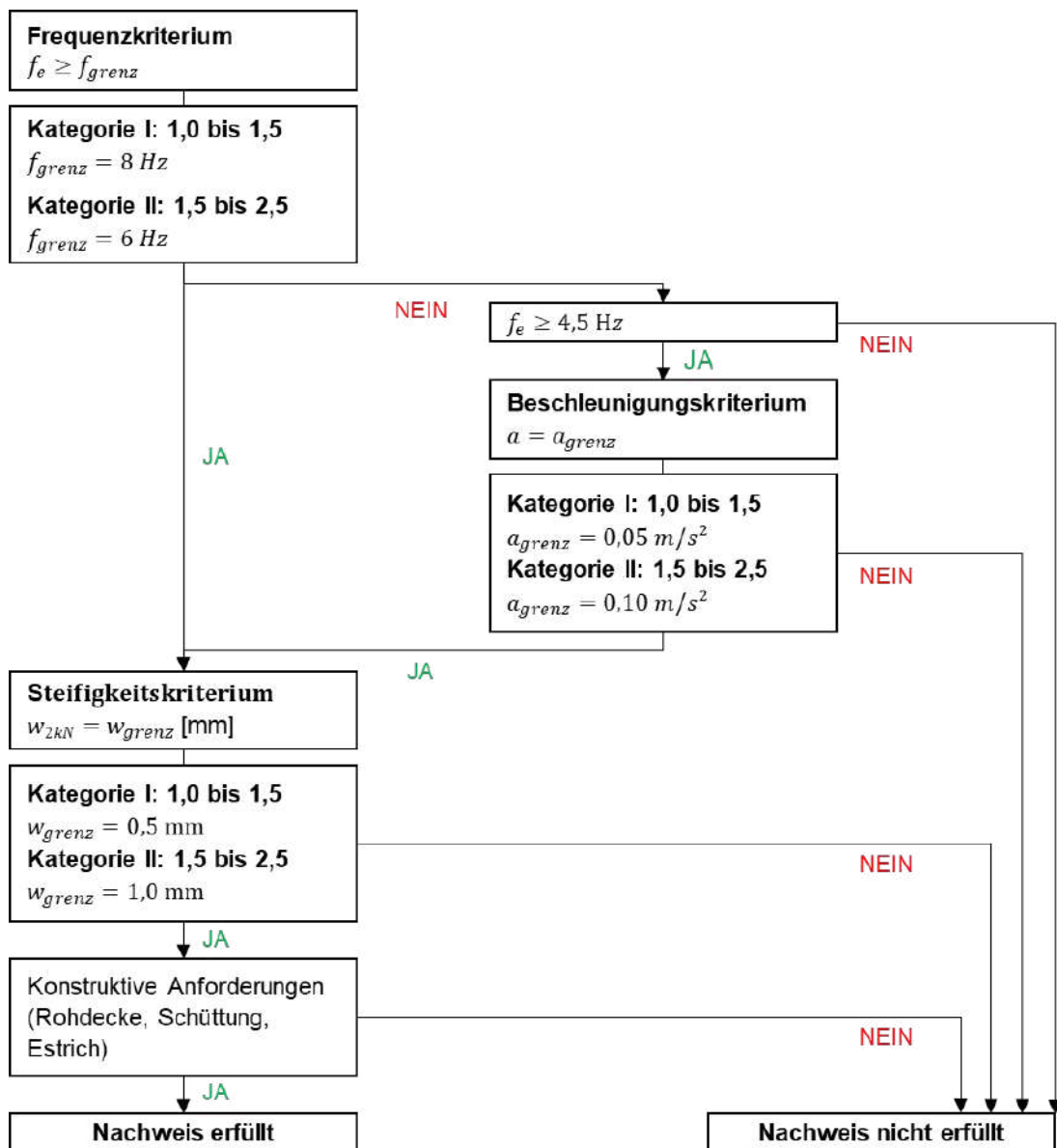


Abbildung 13: Ablaufdiagramm für den Schwingungsnachweis nach Winter et al. (2010)

Die in Abbildung 13 angegebenen Grenzwerte sind abhängig von der Nutzung. Hierbei wird unterschieden in Decken zwischen unterschiedlichen Nutzungseinheiten (Kategorie I), Decken innerhalb einer Nutzungseinheit (Kategorie II) und Decken ohne Anforderungen an das Schwingungsverhalten (Kategorie III). Die konstruktiven Anforderungen der Kategorie I und II sind in Tabelle 6 zusammengefasst. Konstruktionen mit Trockenestrichen benötigen aufgrund des geringen Eigengewichtes des Trockenestrichs zusätzliche schwere Schüttungen, um eine komfortable Nutzung des Gebäudes zu ermöglichen.

Tabelle 6: Grenzwerte und konstruktive Anforderung für den Schwingungsnachweis nach Winter et al. (2010)

Decken Kategorie	Konstruktive Anforderungen			
	Massivholzdecke		Holzbalkendecke/Holztafelbau	
	Nassestrich	Trockenestrich	Nassestrich	Trockenestrich

Kategorie I	Schwimmend auf schwerer oder leichter Schüttung ^a	Schwimmend auf schwerer Schüttung ^a	Schwimmend auf schwerer Schüttung ^a	Nicht möglich
Kategorie II	Schwimmend (Auch ohne Schüttung)	Schwimmend auf schwerer Schüttung ^a	Schwimmend (auch ohne Schüttung)	Schwimmend auf schwerer Schüttung
^a Eine Schüttung gilt ab einem Flächengewicht von > 60 kg/m ² als schwer				

Das Nachweisverfahren des neuen Eurocodes ist in Abbildung 14 schematisch dargestellt. Die generelle Struktur ist ähnlich zu dem Nachweis nach Winter et al. (2010). Der Nachweis besteht ebenfalls aus einem Frequenzkriterium, einem optimalem Beschleunigungskriterium und einem Steifigkeitskriterium. Zusätzlich wird ein Geschwindigkeitskriterium berücksichtigt. Anhand der Nutzung und einer Komfortwahl ergibt sich die in eine Qualitätsklasse, welche die Grenzwerte vorgibt (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Zuordnung der Qualitätsklassen je nach Nutzung und Komfortwahl

Komfort	Qualität	Basis	Economy
Nutzung			
Mehrfamilienhaus Bürogebäude	Qualitätsklassen I, II, III	Qualitätsklassen IV	Qualitätsklassen V
Einfamilienhaus	Qualitätsklassen I, II, III, IV	Qualitätsklassen V	Qualitätsklassen VI

Im Frequenzkriterium wird die Gehfrequenz f_w eingeführt. Die Grenzfrequenz ist abhängig von der Nutzungsart und der Spannweite des Tragwerkes. Die Formel zur Ermittlung der Eigenfrequenz ist analog zu der von Winter et al. (2010). Jedoch wird im Nachweis nach prEN 1995-1-1 bei der berücksichtigten Masse, welche in die Berechnung einfließt, der Trennwandzuschlag, sowie 10 % der charakteristischen Nutzlast angesetzt. Daraus resultiert eine langsamere Eigenfrequenzzunahme mit steigender Steifigkeit. Für das Steifigkeitskriterium variieren die Grenzverformungen unter einer Einzellast von 1 kN in Trägermitte je nach Qualitätsklasse zwischen 0,25 und 2,00 mm. Die Berechnung erfolgt hierbei analog zu Winter et al. (2010), jedoch mit 1 kN anstatt 2 kN. Somit entspricht, hinsichtlich des Steifigkeitskriteriums, die Qualitätsklasse I-II der Kategorie I und die Qualitätsklasse III der Kategorie II. Die Grenzwerte der Beschleunigung und der Geschwindigkeit sind abhängig von dem Antwortfaktor R, der je nach Qualitätsklasse variiert.

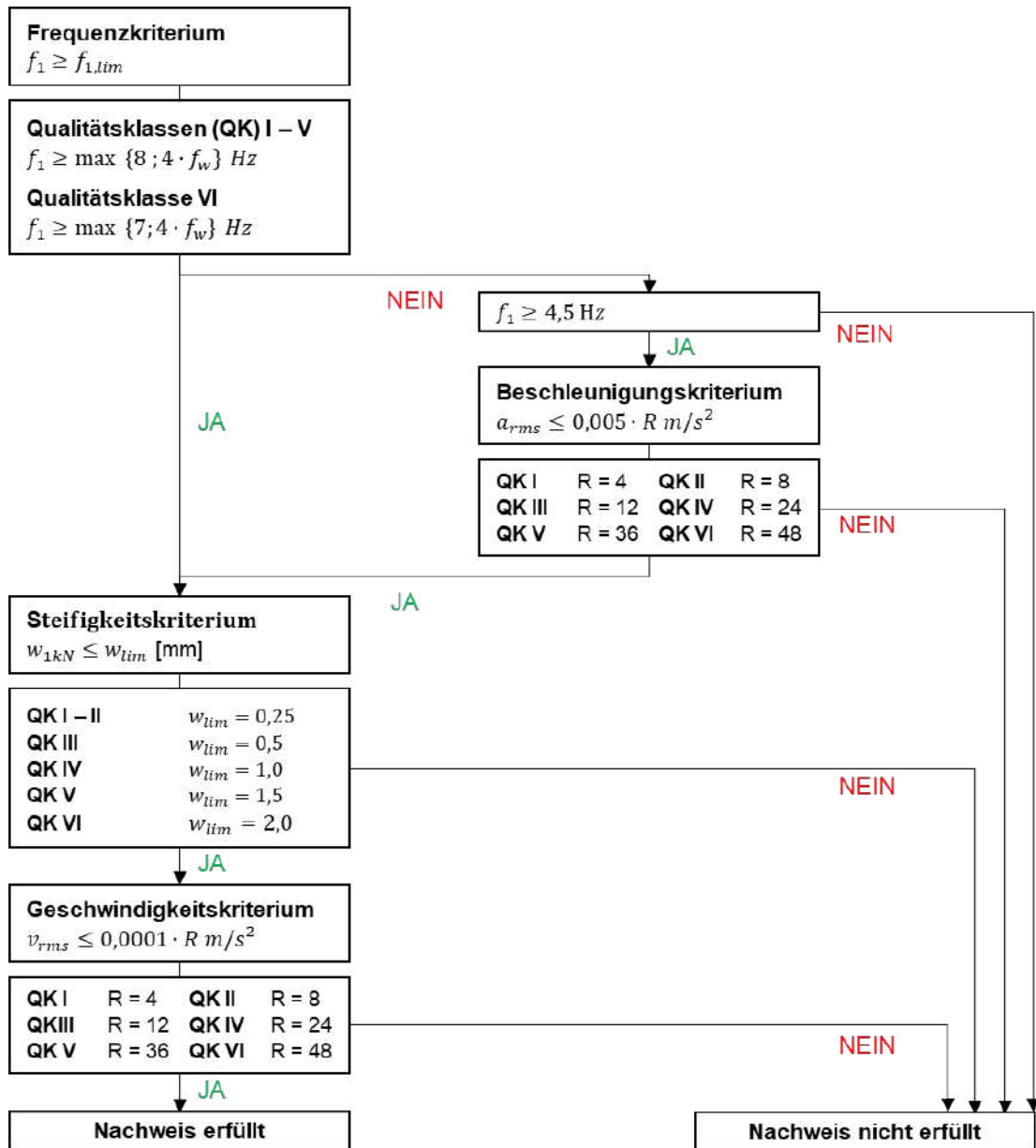


Abbildung 14: Ablaufdiagramm des Schwingungsnachweis nach prEN 1995-1-1

3.3. Lebenszyklusbetrachtung

Für die Ermittlung der grauen Emissionen und Energie der Baukonstruktionen und Komponenten der Gebäudetechnik werden Lebenszyklusanalysen (Ökobilanz, LCA) durchgeführt. Die Ökobilanzen werden nach DIN EN ISO 14040 und DIN EN ISO 14044 berechnet. Folgende Umweltindikatoren werden betrachtet:

- Treibhauspotenzial (GWP)
- Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT)
- Anteil Primärenergie erneuerbar (PERT)

In den genannten Normen werden die Grundsätze, Rahmenbedingungen, Anforderungen und Anleitungen für die Erstellung von Lebenszyklusanalysen geregelt. Die Berechnung erfolgt auf Basis der Datenbank ÖKOBAUDAT, Version 2021-II-A1 (BMWSB 2023); die Datensätze sind konform zur DIN EN 15804+A1.

Der Gebäude-Lebenszyklus lässt sich nach DIN EN 15978 in die vier übergeordneten Module A, B, C und D einteilen. Eine detaillierte Darstellung der einzelnen Lebenszyklusphasen zeigt Abbildung 15. Im Rahmen des Forschungsprojekts werden folgende Module auf Bauteilebene für einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren berücksichtigt:

- Herstellung (A1–A3)
- Austausch (B4): Die Nutzungsdauern von Materialien und Bauteilen werden basierend auf den Nutzungsdauern von Bauteilen nach Bundesinstitut für Bau-, Stadt und Raumforschung (BBSR) (2017) angenommen. Für Materialien von tragenden Bauteilen wird davon abweichend eine Nutzungsdauer von 100 Jahren angesetzt. Dies begründet sich in der Annahme, dass tragende Bauteile das Gebäude bilden und bei einer angesetzten Nutzungsdauer von 100 Jahren auch so lange bestehen bleiben. Nach Brand (1994) weisen im Vergleich dazu Komponenten der Gebäudehülle, der Gebäudetechnik, des Innenausbaus und Einrichtungsgegenstände geringere Lebensdauern auf (siehe Abbildung 16).
- Entsorgung (C3, C4)

Auf Raumbene wird zudem der Energieverbrauch im Betrieb (B6) berücksichtigt. Der Gesamtwert für GWP und PENRT ermittelt sich aus der Summe der Module A1–A3, B4, B6 (nur Raumbene), C3 und C4. Modul D befindet sich außerhalb der Systemgrenze des Gebäudes und wird nicht berücksichtigt; die Werte werden rein informativ ausgewiesen.

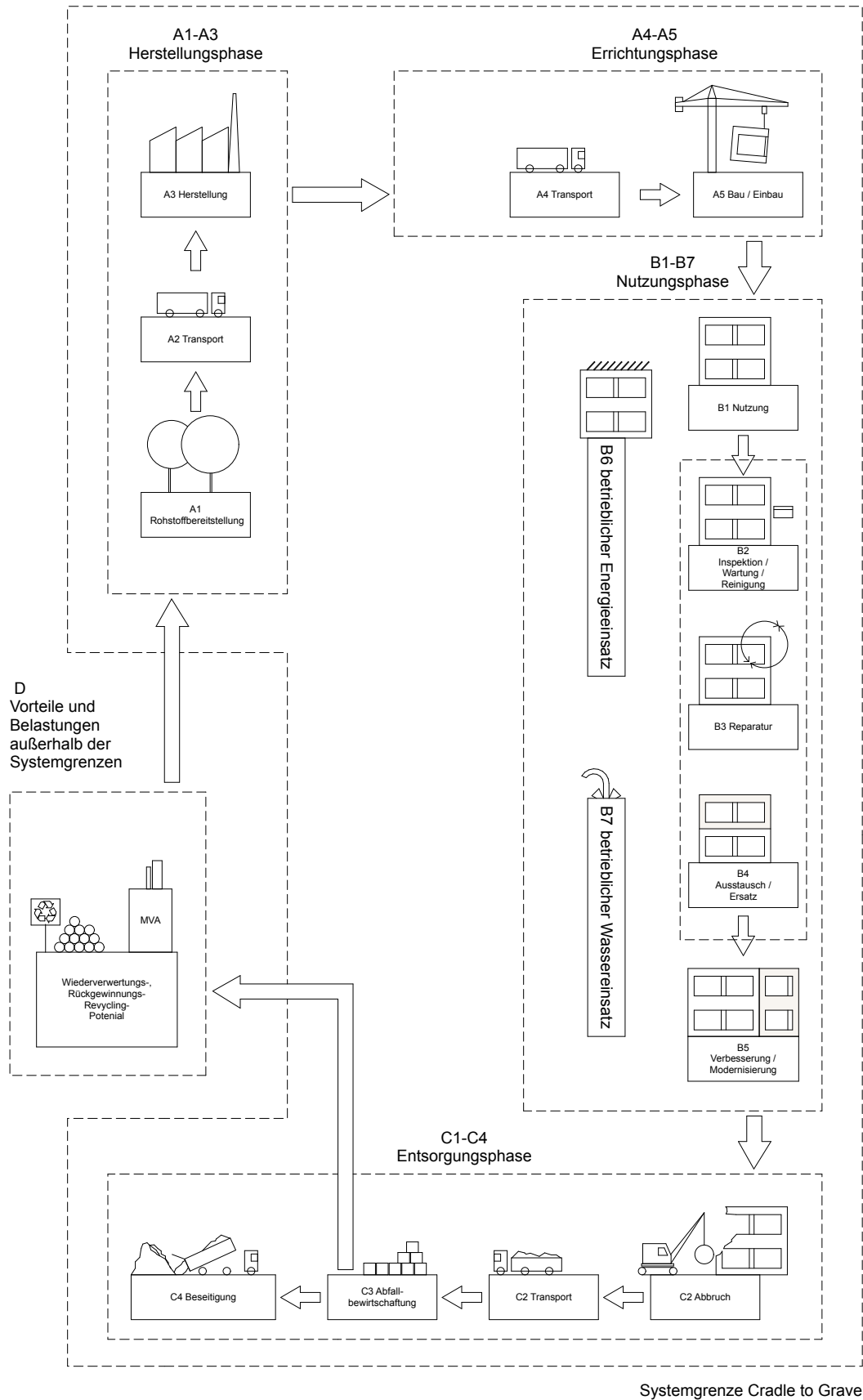


Abbildung 15: Phasen im Lebenszyklus eines Gebäudes (eigene Darstellung nach DIN EN 15978)

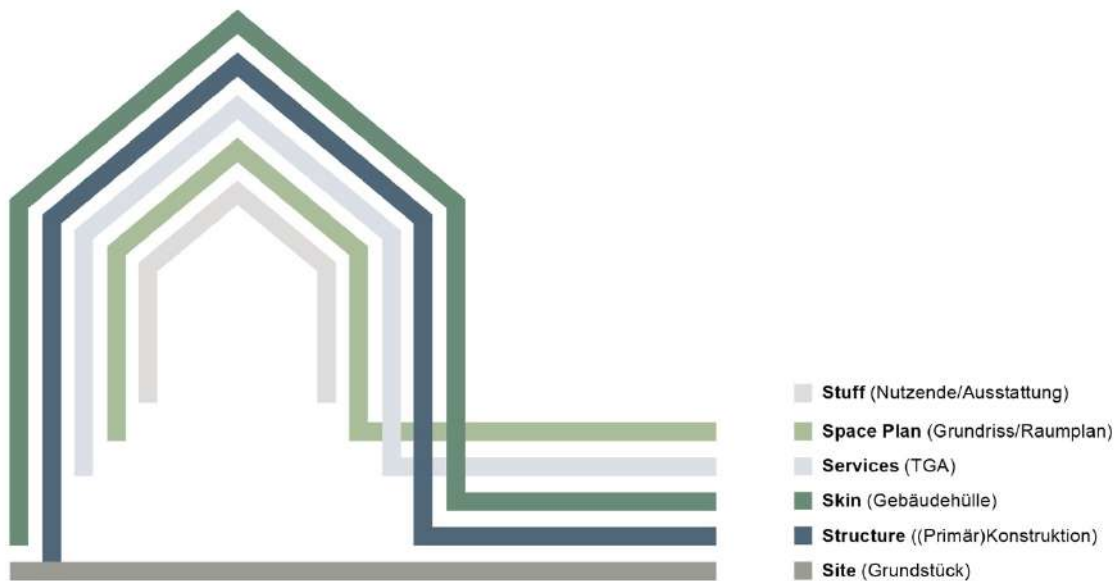


Abbildung 16: Konzept der Scherschichten in Anlehnung an Brand, Shering layers of change (Schuster und Geier 2023, S.60 in Anlehnung an Brand 1994)

Die Bewertung der Kreislaufkonsistenz erfolgt mittels Urban Mining Index (UMI)-Systematik (Rosen 2021). Über einen durchschnittlichen Lebenszyklus von 50 Jahren werden die eingehenden Materialien (Pre-Use) sowie die daraus entstehenden Wert- und Abfallstoffe (Post-Use) berechnet und anhand von Qualitätsstufen ihrer Nachnutzung bewertet. Für die Berechnung des UMI wird das von Anja Rosen entwickelte und für das Forschungsprojekt bereitgestellte Excel-Tool verwendet, welches auf der UMI-Systematik basiert.

Gemäß Rosen (2021) sind auf der Materialebene folgende Parameter entscheidend für das Berechnungsergebnis:

- Pre-Use:
 - Wiederverwendung
 - Material-Recycling-Content (MRC) nach Qualitätsstufen
- Post-Use:
 - End of Life Qualitätsstufen
 - Schadstofffreiheit
 - Material-Loop-Potenzial (MLP)-Wert

3.4. Multikriterielle Bewertung

3.4.1. Nutzwertanalyse

In den voranstehenden Abschnitten sind verschiedene Kriterien beschrieben, anhand derer die entwickelten Baukonstruktionen bewertet werden. Für die Ermittlung der besten Bauteil-Alternative wird daher eine Methode zur multikriteriellen Entscheidungsfindung erforderlich. Bereits in vielen Bereichen bewährt hat sich dabei die Nutzwertanalyse (NWA) (Kranefeld und Stausberg 2009; Kühnapfel 2019, 2021; Bundesministerium des Innern und für Heimat (BMI) 2023). Das allgemeine methodische Vorgehen ist in Abbildung 17 dargestellt.

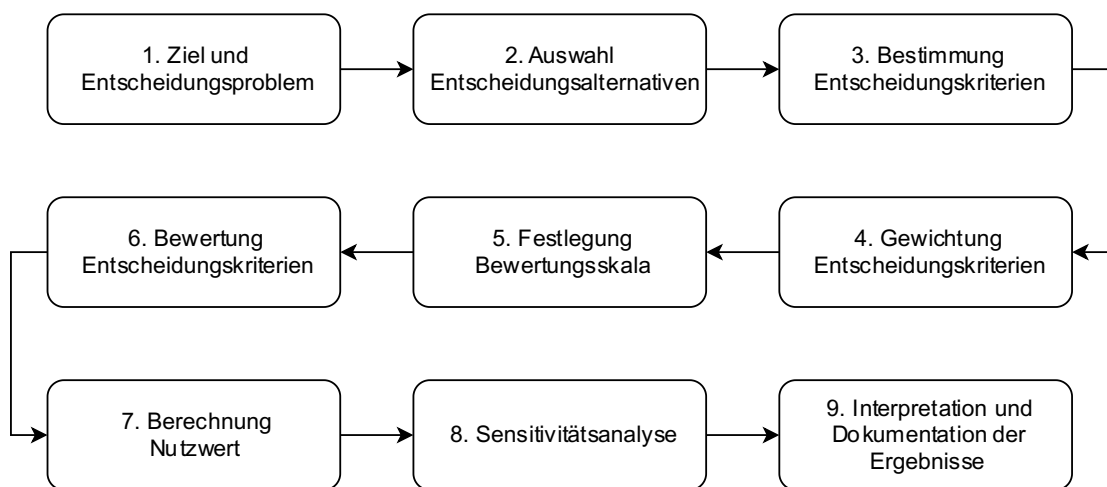


Abbildung 17: Allgemeines Vorgehen der Nutzwertanalyse (eigene Darstellung basierend auf (Kranefeld und Stausberg 2009; Kühnapfel 2021))

Die einzelnen Schritte werden im Folgenden projektspezifisch beschrieben.

1. Als Ziel und Entscheidungsproblem ist die Auswahl eines Bauteilaufbaus je Bauteilgruppe definiert, die im Vergleich zu allen Alternativen die geringsten Umweltwirkungen in Bezug auf Klima und Ressourcen aufweist.
2. Die Entscheidungsalternativen umfassen die jeweiligen Bauteilgruppen je Raumtypologie. Diese werden basierend auf den Konstruktionsgrundlagen (siehe Kapitel 3.2) definiert. Vorausgesetzt wird, dass jede Alternative, die in Bayern geltenden baurechtlichen und baupraktischen Standards erfüllt.
3. Folgende Kategorien und Kriterien werden im Projekt EDUwood betrachtet:

Kategorie	Kriterium
<ul style="list-style-type: none"> • Ressourceneinsatz 	<ul style="list-style-type: none"> • Holzvolumen • Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) • Anteil Primärenergie erneuerbar (PERT) • Urban Mining Index (UMI)
<ul style="list-style-type: none"> • Klimaschutz 	<ul style="list-style-type: none"> • Treibhauspotenzial (GWP)
<ul style="list-style-type: none"> • Bauphysik 	<ul style="list-style-type: none"> • Schalldämm-Maß • Trittschalldämm-Maß • Anforderung Brandschutz • Wärmeschutz (<i>nur Außenwände und Dächer</i>)
<ul style="list-style-type: none"> • Baukonstruktive Aspekte 	<ul style="list-style-type: none"> • Schwingungskriterien • Maximaler Ausnutzungsgrad (GZT) • Maximaler Ausnutzungsgrad (GZG)-Durchbiegung • Flächengewicht • Bauteilhöhe/-dicke
<ul style="list-style-type: none"> • Wirtschaftlichkeit^a 	<ul style="list-style-type: none"> • Lebenszykluskosten

^a Die Kosten (monetäre Werte) werden nicht in der Nutzwertanalyse berücksichtigt, sondern im Rahmen der Kosten-Nutzen-Analyse den Nutzwerten separat gegenübergestellt.

- Die Gewichtung der Entscheidungskriterien erfolgt zunächst mittels unabhängiger und anonymer Expert:innen-Befragung. Hierzu werden die Kriterien der Kategorien Ressourceneinsatz und Klimaschutz von zehn wissenschaftlichen Mitarbeiter:innen des Lehrstuhls ENPB gewichtet; die Gewichtung der bauphysikalischen und baukonstruktiven Kriterien wird von acht wissenschaftlichen Mitarbeiter:innen des Lehrstuhls HBB durchgeführt. Für die Grobgewichtung der Kategorien sowie die Feingewichtung der Kriterien werden die Gewichtungen der einzelnen Expert:innen gemittelt (Gewichtung *basis*). Im Hinblick auf die Handlungsempfehlung von EDUwood wird die Grobgewichtung so angepasst, dass die Klima- und Ressourcenkriterien im Vordergrund stehen (Gewichtung *eco*). Die Gewichtungen sind in Tabelle 8 dargestellt. Die Summe der Grobgewichtungen sowie die Summe der Kriteriengewichtung je Kategorie ergibt jeweils 100 %.
- Für die Bewertung der einzelnen Kriterien wird eine Skala von 1 bis 10 festgelegt. Bei den folgenden Kriterien werden niedrige Werte besser bewertet als hohe: Holzvolumen, PENRT, GWP, Trittschalldämm-Maß, Wärmeschutz, Schwingungskriterien, Flächengewicht, und Bauteilhöhe. Für die übrigen Kriterien gilt, je höher die Werte, desto besser deren Bewertung.
- Die Bewertung der Entscheidungskriterien erfolgt gemäß der in Kapitel 3.2 und 3.3 beschriebenen Methoden. Die Ergebnisse werden kriterienspezifisch und bauteilspezifisch auf eine Skala von 1 (schlechtester Wert) bis 10 (bester Wert) umgerechnet.

Tabelle 8: Grob- und Feingewichtung der Entscheidungskriterien

Kategorie	Grobgewichtung [%]		Kriterium	Feingewichtung ^a [%]		
	basis	eco		Innenwand	Dach	Decke
Ressourceneinsatz	25	40	Holzvolumen	18		
			Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT)	32		
			Anteil Primärenergie erneuerbar (PERT)	22		
			Urban Mining Indicator (UMI)	28		
Klimaschutz	25	40	Treibhauspotenzial (GWP)	100		
Bauphysik	25	10	Schalldämm-Maß	69	29	41
			Trittschalldämm-Maß	0	4	39
			Anforderung Brandschutz	28	8	20
			Wärmeschutz	4	59	0
Baukonstruktive Aspekte	25	10	Schwingungskriterien	0	8	43
			Maximaler Ausnutzungsgrad (GZT)	22	28	8
			Maximaler Ausnutzungsgrad (GZG)-Durchbiegung	0	15	17
			Flächengewicht	37	32	16
			Bauteilhöhe/-dicke	42	17	16

^a Die Gewichtung der Kriterien in den Kategorien Ressourceneinsatz und Klimaschutz ist für alle Bauteile gleich.

7. Der Nutzwert wird durch Bestimmung der Teilnutzwerte und des Gesamtnutzwertes je Bauteil und Raumtypologie berechnet. Je höher der Nutzwert einer Alternative, desto besser schneidet diese Alternative unter Berücksichtigung aller Kriterien im Vergleich zu den anderen ab; es ist maximal ein Wert von 10 erreichbar.
8. Ziel der Sensitivitätsanalyse ist zu zeigen, wie robust die Rangfolge der Alternativen ist. Dazu werden folgende Varianten in Anlehnung an Kühnapfel (2021) untersucht:
 - Gleichsetzung der Kriteriengewichtungen (*equal*): Die Feingewichtungen werden für alle Kriterien gleichgesetzt.
 - Glättung von Gewichtungsspitzen (*smooth*): Es wird der Durchschnittswert der zwei wichtigsten und der zwei unwichtigsten Kriterien gebildet, das verbleibende Gewicht wird auf die übrigen Kriterien gleichmäßig verteilt.

- Spreizung der Gewichtung (*spread*): (Un)Wichtige Kriterien werden (un)wichtiger; Gewichte der 20 % wichtigsten Kriterien werden um 25 % erhöht, die Gewichtung aller anderen entsprechend reduziert.
9. Für die Handlungsempfehlung werden im letzten Schritt die Ergebnisse der NWA interpretiert und dokumentiert.

3.4.2. Wirtschaftliche Betrachtung

Die wirtschaftliche Betrachtung aller ermittelten Bauteile erfolgt ausschließlich über die reinen Materialkosten der Bauteilschichten unter Berücksichtigung des Austauschzyklus in Bezug auf die Nutzungsdauer (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), 2017). Die reinen Materialkosten stellen nur einen Teilbereich der Baukosten einer Lebenszykluskostenrechnung (Life Cycle Costing, LCC) dar und bilden den Anteil für die Bereitstellung der eingesetzten Baustoffe ab. Eine gesamtheitliche LCC kann aufgrund von vielen Annahmen nicht erstellt werden. Es werden nur die reinen Materialkosten betrachtet, ohne Berücksichtigung von Gemeinkosten wie Baustelleneinrichtung und allgemeinen Baukosten sowie Einzelkosten wie Löhne und Geräte. Die Kosten für Planung, Erstellung, Unterhalt, Betrieb, Abbruch und Entsorgung bzw. Recycling werden ebenfalls nicht berücksichtigt. Der Betrachtungszeitraum für den Vergleich der Materialkosten beträgt 100 Jahre, ohne Berücksichtigung von Änderungen der Inflations- oder Zinsraten.

Die Berechnungsmethode basiert auf der Kostendatenbank SIRADOS Stand 04/23. Es wurde keine Preissteigerungsrate für die ermittelten Kosten berücksichtigt. Für die Kosten der einzelnen Materialien der Bauteilschichten wurden SIRADOS-Mittelwerte verwendet. Im Anhang sind die Kosten für die EDUwood-Bauteile dargestellt. Zusätzlich wurde der Regionalfaktor von 1,1 für den Raum Nürnberg verwendet. Dieser Faktor ermöglicht eine differenzierte Anpassung der Baukosten an das spezifische Baupreisniveau einer bestimmten geografischen Region.

3.4.3. Kosten-Nutzen-Analyse

Die reine Betrachtung der Nutzwerte vernachlässigt eine ökonomische Einordnung der Varianten. Daher werden die Nutzwerte den entstehenden Kosten gegenübergestellt, wofür unterschiedliche Analyseformen möglich sind. Beispielsweise können über den Quotienten aus dem Nutzwert und den Kosten verschiedene Varianten in eine Rangfolge gebracht werden. Eine weitere Möglichkeit ist eine Analyse der Differenzen zu den aus den Einzelwerten ergebenden Mittelwerten (Durchschnittsverhältnisse). (Rinza und Schmitz 1992)

In diesem Forschungsprojekt werden aufgrund der übersichtlichen Darstellungsform die Nutzwerte den Kosten in einem Punktwolkendiagramm gegenübergestellt. Die x-Achse beschreibt hierbei den ermittelten Nutzwert und die y-Achse ordnet die dazugehörigen Kosten ein. In Abbildung 18 ist ein Diagramm mit vier Quadranten skizziert. Liegt eine Variante nun beispielsweise im oberen rechten Quadranten, so besitzt die Variante einen hohen Nutzen bei hohen Kosten. Zu berücksichtigen ist, dass eine Entscheidung immer individuell und situationsabhängig getroffen wird. Die in dieser Arbeit

entstandenen Kosten-Nutzen Diagramme sollen bei der situationsabhängigen Entscheidungsfindung als Unterstützung dienen.

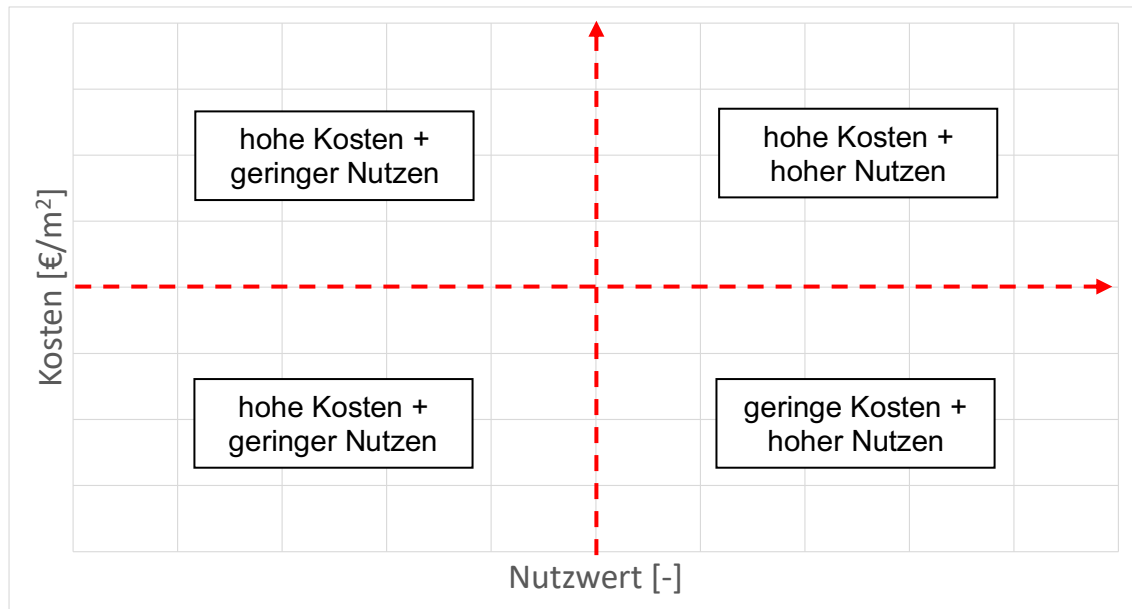


Abbildung 18: Vereinfachte Zuordnung der Quadranten zum Verständnis der Kosten-Nutzen-Analyse (eigene Darstellung)

Ein beispielhaftes Vorgehen ist in Abbildung 19 dargestellt. Als erstes wird eine Kostenobergrenze bei 350 €/m² festgelegt. Dadurch werden die Varianten A und C ausgeschlossen. Als nächstes wird ein minimaler Nutzwert von 5 festgelegt. Im nun festgelegten Bereich befindet sich ausschließlich die Variante B, welche somit ausgewählt werden sollte.

Die Wahl von Extremwerten ist auch möglich, sprich die Wahl der Variante mit dem größten Nutzen (Variante C) beziehungsweise mit den geringsten Kosten (Variante D). Die Wahl der Extremwerte vernachlässigt jedoch die jeweils andere Betrachtung und führt zu keiner ganzheitlichen Entscheidung. (Rinza und Schmitz 1992)

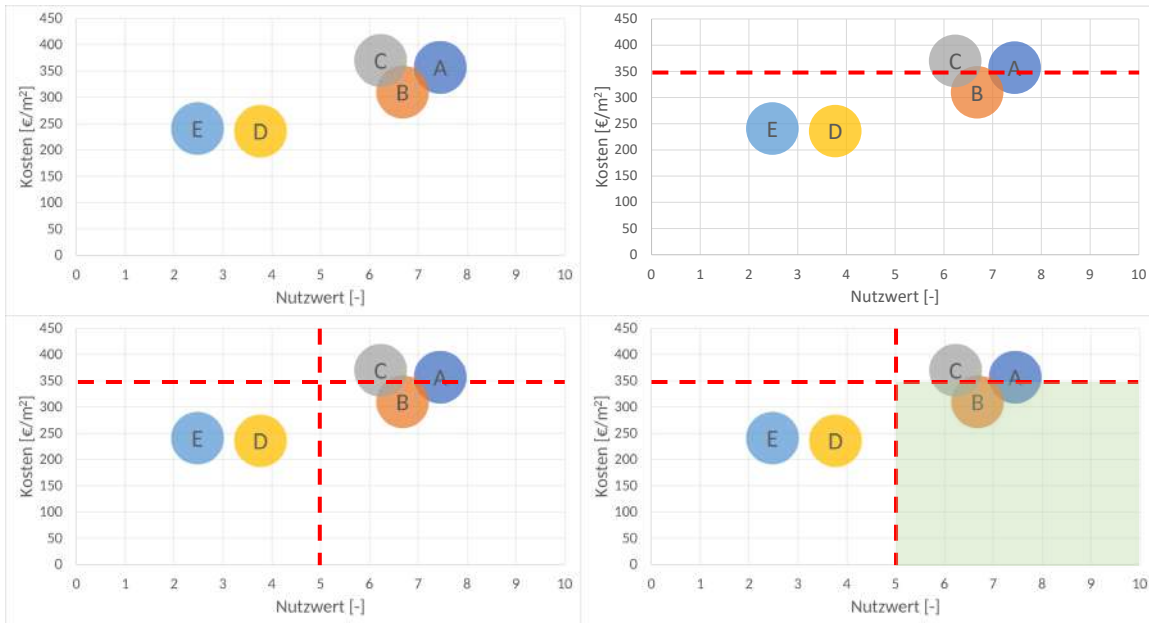


Abbildung 19: Exemplarisches Vorgehen bei einer Kosten-Nutzen-Analyse

3.5. Thermische Simulationen

3.5.1. Allgemeines

In dieser Arbeit wird die thermische Gebäudesimulation als Werkzeug genutzt, um den Einfluss der Baustoffwahl auf den Energiebedarf der Heizung und Kühlung sowie den thermischen Komfort zu untersuchen. Es werden passive Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz in unterschiedlichen Kombinationen simuliert. In diesem Kapitel werden einführende Informationen zu den energetischen Maßnahmen und der Komfortbewertung gegeben.

3.5.2. Maßnahmen zum Sommerlichen Wärmeschutz

Gebäude dienen bei sommerlichen Temperaturen auch als Schutz vor Hitze. Daher wird nachfolgend eine Übersicht über Maßnahmen gegeben, die beitragen, eine zu hohe Erwärmung von Räumen bei hohen sommerlichen Außentemperaturen zu vermeiden.

Thermische Massen

Die thermische Masse ist ein wesentlicher Aspekt der Gebäudeplanung, der sich auf den Energiebedarf für Heizung und Kühlung auswirkt. Durch den Einsatz von Speichermassen werden Temperaturschwankungen ausgeglichen, in dem eine Wärmeübertragung von der Raumluft in das Bauteil erfolgt oder umgekehrt. Die wirksame Wärmekapazität kann zur Beurteilung der thermischen Massen genutzt werden. In die Berechnung fließt nach der Norm EN ISO 13786 die spezifische Wärmekapazität c_p , die Rohdichte ρ sowie die wirksame Bauteildicke d_{wirk} ein. Es werden dabei nur Speichermassen berücksichtigt, die als Puffer im Raum verfügbar sind und nicht zum Beispiel durch eine Abhangdecke oder einen Teppichboden abgeschirmt werden (DIN EN ISO 13786). Ein Nachteil dieser Methode ist, dass sie nur auf Bauteile

mit homogenen Schichten angewendet werden kann. Die Berechnung ist für Hohlkastenbauelemente nur bedingt geeignet. (Geyer et al. 2019)

Natürliche Nachtauskühlung

Die Nachtauskühlung macht sich die physikalischen Eigenschaften der thermischen Massen zu nutze. Dabei werden im Sommer und den Übergangszeiten die kühleren Temperaturen der Außenluft während der Nacht und am frühen Morgen genutzt. Diese Luft wird natürlich, über geöffnete Fassadenelemente oder maschinell über Ventilatoren in den Raum gebracht. So können die Speichermassen im Gebäude abgekühlt werden, um über den Tag Wärme aus dem Raum aufzunehmen und die operative Temperatur geringer halten. Für Nichtwohngebäude gibt es einbruchsichere und witterungsgeschützte Fassadenöffnungen, deren Sicherungsmechanismen motorisch betrieben werden können. Das zugeführte Luftvolumen in der Nacht bei einer natürlichen Lüftung kann durch Querlüftung oder durch die Nutzung vom thermischen Auftrieb durch Atrien erhöht werden. Ab einem zweifachen Luftwechsel gilt eine erhöhte Nachtlüftung (DIN 4108-2). 2-fach bedeutet, dass das Raumvolumen zweimal in einer Stunde ausgetauscht wird. Die Luftwechselrate kann auch mechanisch über Abluftventilatoren oder über eine Lüftungsanlage vergrößert werden.

Sonnenschutz

Im Winter können solare Einträge genutzt werden, um den Heizenergiebedarf zu reduzieren. Bei wärmeren Temperaturen trägt die Einstrahlung maßgeblich zur Überhitzung in Räumen bei und sollte durch einen konstruktiven oder steuerbaren Sonnenschutz reduziert werden. Zu konstruktiven Elementen zählen bauliche Einrichtungen, wie zum Beispiel Balkone, Laubengänge oder Dachüberstände. Der steuerbare Sonnenschutz umfasst unter anderem Jalousien, Screens und Rollläden. Die DIN 4108-2 gibt für Nord-, Nordost- und Nordwestorientierte Fenster eine Grenzbestrahlungsstärke von 200 W/m^2 (Wohngebäude) bzw. 150 W/m^2 (Nichtwohngebäude) und für alle anderen Orientierungen eine Grenzbestrahlungsstärke von 300 W/m^2 (Wohngebäude) bzw. 200 W/m^2 (Nichtwohngebäude) (Summe aus Direkt- und Diffusstrahlung, außen vor dem Fenster) pro Quadratmeter Fensterfläche vor. Diese können für die Steuerung der Sonnenschutzvorrichtung genutzt werden. Ein innenliegender Sonnenschutz kann auch zur Reduktion der Einstrahlung beitragen, ist aber in der Regel weitaus weniger wirksam als ein außenliegender. Die DIN 4108-2 gibt Auskünfte über die Abminderungsfaktoren eines Sonnenschutzes. Der F_c -Wert liegt für eine außenliegende Jalousie beispielsweise bei 0,25 und bei einer Innenliegenden Jalousie bei 0,65.

3.5.3. Bewertung des thermischen Komforts

Das Gebäudeenergiegesetz gibt vor, dass als Nachweis zur Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes ein Verfahren der DIN 4108-2 genutzt werden soll. Die DIN 4108-2 erlaubt ein Kennwertverfahren oder ein Nachweisverfahren über thermische Simulationen. Bei den Simulationen werden die kritischen Räume, die untersucht werden sollen, in einem Modell abgebildet und die Übertemperaturgradstunden (Kh/a) ermittelt. Berechnet werden diese über die Differenz der stündlichen operativen

Innenraumtemperatur und der angesetzten Grenztemperatur, abhängig von der Klimaregion. Nürnberg liegt in der Klimaregion C und hat somit einen Grenzwert von 27°C. Für Wohngebäude liegt der Anforderungswert bei 1.200 Kh/a und für Nichtwohngebäude bei 500 Kh/a. Die Übertemperaturgradstunden werden während der Nutzungszeit gezählt. Kritikpunkte an dieser Bewertung sind, dass die statische Grenze der Innenraumtemperatur die Nutzenden nicht berücksichtigt. Zudem ist über das Zählen der Übertemperaturgradstunden keine detaillierte Auswertung möglich. (DIN 4108-2)

Die Norm (DIN EN ISO 7730) enthält wesentliche Grundlagen für die Bewertung des menschlichen Komforts. Sie berücksichtigt Parameter, wie die körperliche Aktivität und das Umgebungsklima (Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit, Luftfeuchte), die das Wärmeempfinden beeinflussen. Die DIN EN 16798-1:2022-03 macht Vorgaben zur Bewertung des thermischen Komforts, wobei die Parameter aus der DIN EN ISO 7730 die Grundlagen bilden. Sie unterscheidet vier Kategorien. In der Kategorie I werden Grenzwerte für Gebäude mit einem hohen Maß an Erwartungen vorgegeben. Die Kategorie wird zum Beispiel für Krankenhäuser und Altersheime empfohlen. Die Kategorie II wird als Basis für Planung und Auslegung für Räume in Neubauten und sanierten Bestandsgebäuden empfohlen und hat, wie der Abbildung 20 zu entnehmen, mehr Toleranz bei der operativen Innenraumtemperatur. Die Kategorie I, III (annehmbares Maß an Erwartungen) und IV (geringes Maß an Erwartungen) werden in dieser Forschungsarbeit nicht berücksichtigt. Die DIN EN 16798-1 unterscheidet zudem zwischen Räumen mit und ohne maschinelle Kühlung, da sich durch die Art der Kühlung die Erwartungshaltung der Nutzenden ändert. Maschinelle Kühlung wird als „Maschinelle Kühlung eines Raumes oder eines Gebäudes zur Kühlung der Zuluft“ definiert (DIN EN 16798). Ventilator-konvektoren, gekühlte Oberflächen und ähnliches gehört dazu, wenn das Kühlmedium aktiv abgekühlt wird. Eine Kühlung durch Fensteröffnungen bei Tag oder Nacht zählt nicht zur maschinellen Kühlung, unabhängig davon, ob die Nachtauskühlung ventilatorgestützt ist. Abbildung 20 zeigt die Anforderungen der Kategorien in der Sommer- und Übergangsperiode ohne maschinelle Kühlung sowie der Heizperiode. Die operative Temperatur der Komfortbänder der Kategorie 2 sollte nicht überschritten werden. Die operative Temperatur ist ein Maß für die tatsächliche thermische Umgebung, die die Menschen in einem Raum erfahren. Sie berücksichtigt die Raumtemperatur sowie die Oberflächentemperaturen der Umschließungsflächen. Die Bänder weisen für die Sommer- und Übergangszeit eine Steigung auf, da sie dem adaptiven Modell entsprechen. Das adaptive Behaglichkeitsmodell basiert auf der Idee, dass Menschen in der Lage sind, sich an Veränderungen in ihrer Umgebung anzupassen, um ein optimales Behaglichkeitsniveau zu erreichen. Dabei ist wichtig, dass Personen sich typischerweise entsprechend der Außentemperatur kleiden und sich dadurch auch an die Innentemperaturen anpassen. Daher ist dieses Behaglichkeitsmodell entscheidend von der „mittleren“ Außentemperatur abhängig. Als Außentemperatur wird ein gleitender Mittelwert verwendet. Dieser ergibt sich aus dem exponentiell gewichteten gleitenden Mittelwert des Tagesmittelwerts der Außentemperatur. Dadurch werden die

Tagesmitteltemperaturen der vorangegangenen Tage in der Komfortbewertung berücksichtigt.

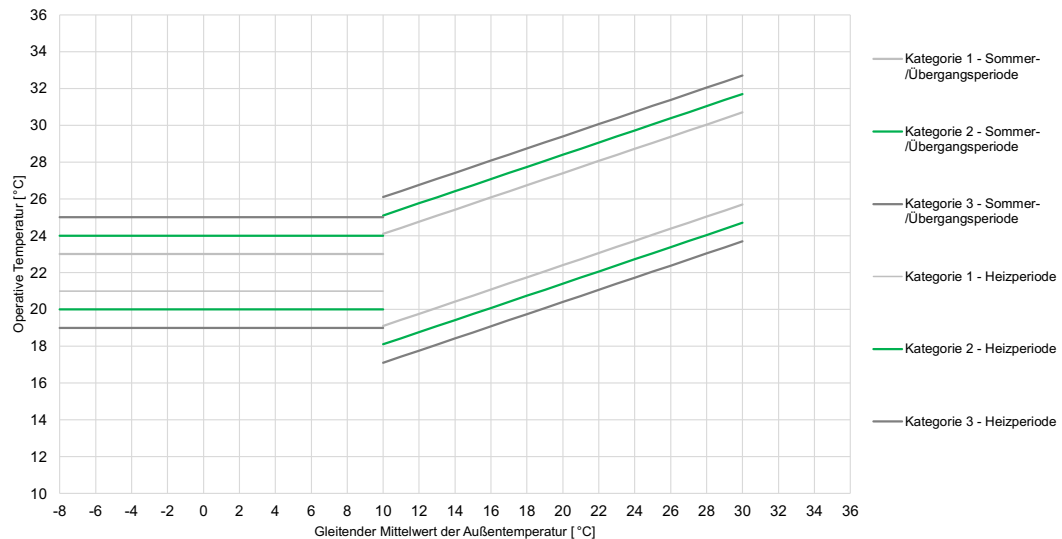


Abbildung 20: Komfortbänder der Sommer- und Übergangsperiode ohne maschinelle Kühlung sowie der Heizperiode der DIN EN 16798

Die DIN EN 15251 wurde mit der Einführung der DIN EN 16798 zurückgezogen. Im Gegensatz zur neuen Norm werden in der DIN EN 15251 Kriterien für die zulässige Abweichungen der Übertemperaturgradstunden definiert. Es werden in Summe Überschreitungen von 3 % oder 5 % der jährlichen Nutzungszeit zugelassen. Die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) hat diese Bewertung aufgegriffen und vergibt Punkte, wenn der Grenzwert von 5 % nicht überschritten wird (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen 2023). Die DIN EN 16798 und der Nationale Anhang dieser Norm wurden bauaufsichtlich nicht eingeführt und sind rechtlich nicht bindend. Im Nationalen Anhang steht jedoch: „Für den Neubau und sanierte Bestandsgebäude wird die Kategorie II als Basis für die Planung und Auslegung empfohlen. Abweichende Einstufungen müssen mit dem Bauherrn vereinbart werden.“ (DIN EN 16798) Das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) verweist beim thermischen Komfort auf das adaptive Komfortmodell der zurückgezogenen DIN EN 15251.

In der vorliegenden Forschungsarbeit wird die Bewertung der DIN EN 4108-2 und die der DIN EN 16798 genutzt. Zum einen sind so die rechtlichen Vorgaben aus dem GEG erfüllt. Zum anderen erfolgt ein Ausgleich der Schwäche der DIN EN 4108-2, dass keine Nutzenden berücksichtigt werden und keine detaillierte Auswertung der Übertemperaturgradstunden möglich ist. Bei der Bestimmung der zulässigen Abweichung der Übertemperaturgradstunden werden die Grenzwerte der DGNB genutzt.

4. Methodik

4.1. Festlegen der betrachteten Raumtypologien und Konstruktionsmethoden im Holzbau

4.1.1. Festlegen der betrachteten Raumtypologien

Für die UTN liegt eine Bedarfsplanung vor, die einen Flächenrahmen und alle notwendigen Flächenarten je Department aufzeigt. Neben dem Flächenrahmen wurde ein Raumprogramm für die ersten Hochschulgebäude auf dem Campus aufgestellt (Hasse et al. 2020). Aus diesen Grundlagen lässt sich ableiten, welche Raumtypologien für die neuen Hochschulbauten auf dem Campus der UTN wesentlich sind. Maßgeblich für die Auswahl der Raumtypologien ist neben der Flächenquantität im Bedarfsplan auch die Raumgröße, da die Spannweite der Deckenelemente entscheidend für mögliche Konstruktionsweisen im Holzbau ist. Um eine Bandbreite unterschiedlicher Konstruktionsweisen aufzuzeigen, repräsentiert jede Raumtypologie stellvertretend eine Deckenspannweite und damit verbundene geeignete Konstruktionssysteme. In der Forschungsarbeit wird die Untersuchung auf fünf Raumtypologien (siehe Abbildung 21) beschränkt, um einen Großteil der zukünftigen Nutzflächen in Hochschulgebäuden abzudecken.

Büros und Labore nehmen den größten Flächenanteil ein, während Seminar-, Hörsaal, Speisesaal- und Bibliotheksflächen sowie das Technikum einen kleineren Anteil ausmachen. Aufgrund gemeinsamer Merkmale wie geforderter Raumgröße und bauphysikalischer Anforderungen werden diese Räumlichkeiten in übergeordneten Kategorien zusammengefasst. Büros decken demnach auch Nebenräume mit geringeren Spannweiten ab. Die Kategorie Seminar umfasst alle kleineren Hörsäle, Lehrsäle, Konferenzräume und Seminarräume mit einer Raumgröße von 90 bis 150 m². In der Kategorie Versammlung sind alle großen Hörsäle und Lernflächen zusammengefasst, die eine Raumgröße von 240–500 m² aufweisen und Platz für über 200 Personen bieten. Die flächenmäßig größte Typologie ist das Technikum, das als eingeschossiges eigenständiges Gebäude angeordnet ist.

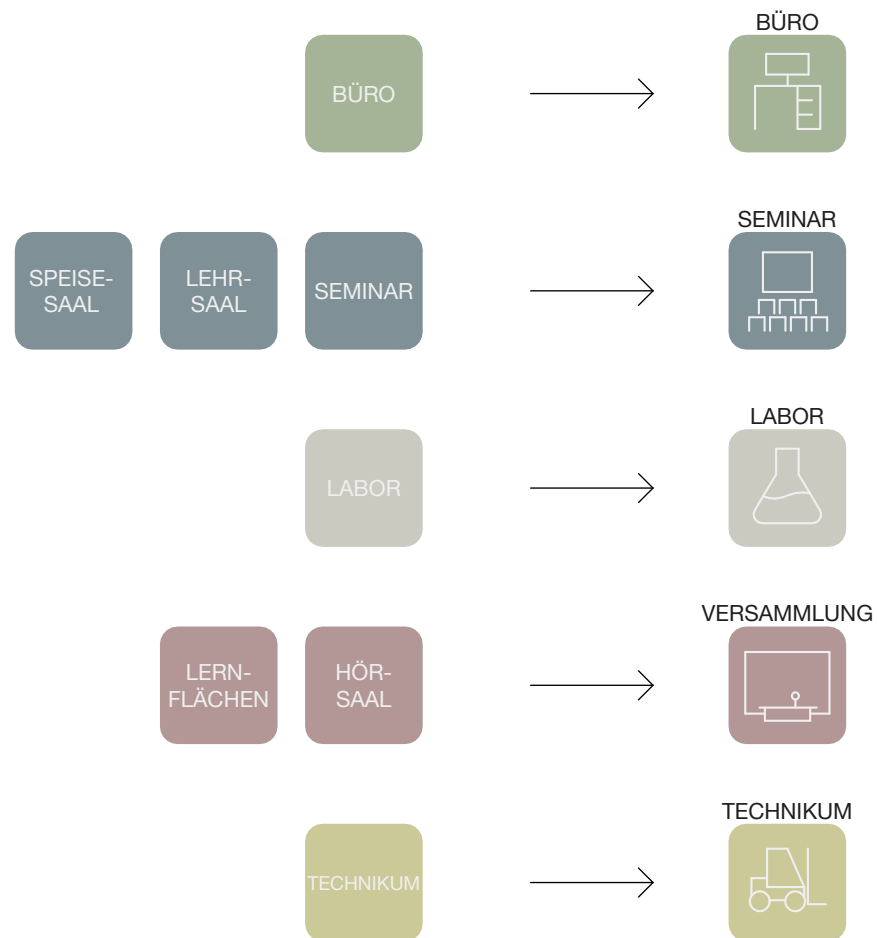


Abbildung 21: Festlegung der Raumtypologien aus dem Bedarfsplan (eigene Darstellung)

4.1.2. Festlegen der Konstruktionsmethoden im Holzbau

Für ein langlebiges nachhaltiges Gebäude sind flexible Grundrisse und Bauweisen essenziell. Dies ist besonders wichtig im Hinblick darauf, dass 36 % der in Deutschland abgerissenen Gebäude auf Nutzungsänderungen zurückzuführen sind. Im Jahr 2022 wurden insgesamt 5.413 Nichtwohngebäude ohne landwirtschaftliche Nutzung aufgrund von Nutzungsänderungen abgerissen. Dies entspricht 48 % der abgerissenen Nichtwohngebäude ohne landwirtschaftliche Nutzung. Auf der anderen Seite wurden im gleichen Jahr insgesamt 22.000 Nichtwohngebäude und 104.000 Wohngebäude neu errichtet. Unter der hypothetischen Annahme, dass alle Gebäude umnutzbar gewesen wären, hätte eine Einsparung von 4 % der Neubauten erzielt werden können (Destatis 2023). Um ein möglichst flexibles und langlebiges Gebäude zu schaffen, wird in dieser Forschungsarbeit eine Hybridbauweise auf Gebäudeebene mit einer Skelettbauweise als Tragkonstruktion ausgewählt und empfohlen.

Die Hybridbauweise bezeichnet im Allgemeinen die Kombination unterschiedlicher Baumaterialien. Im konkreten Fall wird von aussteifenden Treppenkernen in Stahlbetonbauweise und einem daran anschließenden Holzskelettbau ausgegangen. Durch den Skelettbau wird eine variable Grundrissgestaltung ermöglicht, da lediglich die

Positionierung der Stützen und der aussteifenden Betonkerne als Einschränkungen für eine potenzielle Umnutzung entstehen. Nachteilig bei der Hybridbauweise ist der erhöhte Aufwand bei der Aussteifungsberechnung, welche gebäudespezifisch betrachtet werden muss. Eine ausreichende Weiterleitung der aussteifenden Lasten zu den aussteifenden Stahlbetonkernen muss gegeben sein. (Fischer et al. 2019; Graf et al. 2022)

Bei der Planung eines Holzskelettbaus ist ein besonderes Augenmerk auf die Vermeidung von Querdruckspannungen zu legen. Einerseits aufgrund der geringen Festigkeiten und andererseits zur Reduzierung von Setzungen. (Graf et al. 2022) Durch zusätzliche großzügige lichte Raumhöhen von mindestens 3,10 m können unterschiedliche Raumnutzungen umgesetzt werden.

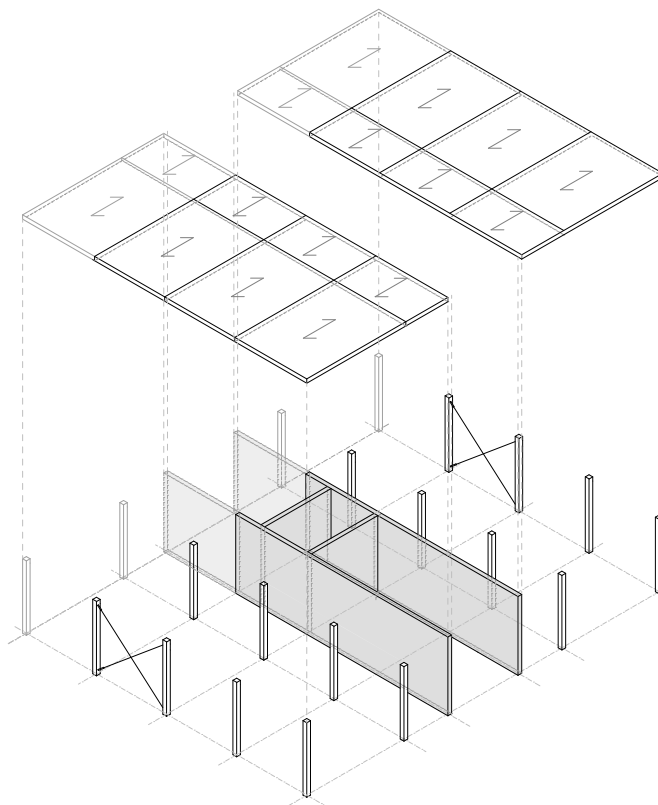


Abbildung 22: Holzskelettbau mit aussteifenden Betonkern (eigene Darstellung)

Durch die Struktur des Holzskelettbaus und den Einsatz wirtschaftlicher Raumhöhen, Achsmaße und Raumtiefen wird eine hohe Flexibilität in der Nutzung ermöglicht. Tragende Innenwände oder Raumtrennwände werden soweit möglich vermieden. Ausnahmen bilden die unverzichtbaren Elemente wie Brandwände, Schächte und Erschließungskerne. Im Vergleich zum Massivbau zeichnet sich der Skelettbau durch eine vergleichbare Leistungsfähigkeit aus, jedoch mit deutlich reduziertem Materialeinsatz und zusätzlichem Potenzial für ressourcenschonendes Bauen. Neben der Primärkonstruktion der Holzskelettbauweise, ist eine Kombination von horizontalen Bauelementen denkbar. Die Zusammensetzung verschiedener Bauelemente zu Mischkonstruktionen entspricht dem Stand der Technik. Dabei werden unterschiedliche Bauelemente im Gesamtsystem so kombiniert, dass ihre jeweiligen Eigenschaften den

spezifischen Anforderungen an das Bauteil und der Raumtypologie optimal entsprechen.

Hochschulgebäude erfordern häufig individuelle Planungen und Konstruktionen, um den komplexen Anforderungen und besonderen Rahmenbedingungen gerecht zu werden. Die Vielfalt der Nutzungsszenarien erfordert eine flexible Gestaltung. Die besten Voraussetzungen für Hochschulgebäude werden durch stabile Strukturen und klare Grundraster geschaffen. Die Gebäudetypologien werden entwickelt, um den sich wandelnden Anforderungen der Forschungslandschaft gerecht zu werden. Bei komplexeren und anspruchsvolleren Anforderungen, wie beispielsweise bei den Raumtypologien Labor, Versammlung und Technikum, erscheint die Verwendung eines einheitlichen Bausystems für die gesamte Konstruktion umständlich und aufwendig. Die Anordnung der Raumtypologien in der Gesamtstruktur der Neubauten der UTN beschreibt die Aufgabe und Herausforderung der Planenden.

4.1.3. Anordnung der Raumtypologien im Gebäude

Abgeleitet von organisatorischen und bautechnischen Anforderungen an die Raumtypologien ergeben sich folgende spezifische Lagen im Gebäude, bzw. der Geschossigkeit, die in dieser Arbeit empfohlen werden. (siehe Abbildung 23)

Die Typologie Versammlung wird erdgeschossig angeordnet. Bei einer größeren Geschosshöhe, wie Hörsälen mit ansteigender Bestuhlung, kann das darunter oder darüberliegende Geschoss angeschnitten werden. Die Zugänglichkeit erfolgt über das Erdgeschoss und zusätzlich über das darüberliegende Stockwerk.

Räume der Typologie Labore befinden sich im unteren Geschoss (UG-1.OG) des Gebäudes aufgrund der Schwingungsanforderungen. Laborräume mit erhöhten Schwingungsanforderungen sollten im Erdgeschoss oder Untergeschoss angeordnet werden. Die baukonstruktiven Anforderungen stellen eine Hürde für die Anordnung in den Oberschossen dar und müssen im Einzelfall geprüft werden.

Büro- und Seminarräume können aufgrund ihrer geringeren baukonstruktiven Anforderungen flexibel in allen Geschossen angeordnet und kombiniert werden.

Die Typologie Technikum wird eingeschossig mit einer überhohen Raumhöhe gedacht, so dass eine notwendige Kranbahn mit untergebracht werden kann. Auf Grund der hohen Spannweiten der Decke bzw. des Dachs werden in dieser Arbeit keine weiteren Räume über dem Technikum empfohlen.

Bei einer zeichnerischen Überprüfung wurden verschiedene Anordnungsmöglichkeiten der Raumtypologien untersucht. Gemäß dem Masterplan (Ferdinand Heide Architekt 2022; Hasse et al. 2020) wird für die Gebäude der Departments eine Annahme von fünf bis maximal sechs Vollgeschossen bei einer Gebäudehöhe von 22 m getroffen. Die obengenannten Anforderungen und erforderlichen lichten Raumhöhen zeigen, dass innerhalb eines Gebäudes die Raumtypologie Labor sich maximal auf zwei Geschosse erstrecken darf und die Raumtypologie Versammlung nur in einem Geschoss angeordnet werden sollte. Dadurch können flexibleren Nutzungen wie Seminar und Büro so verteilt werden, dass sie eine optimale Flächenausnutzung gewährleisten.

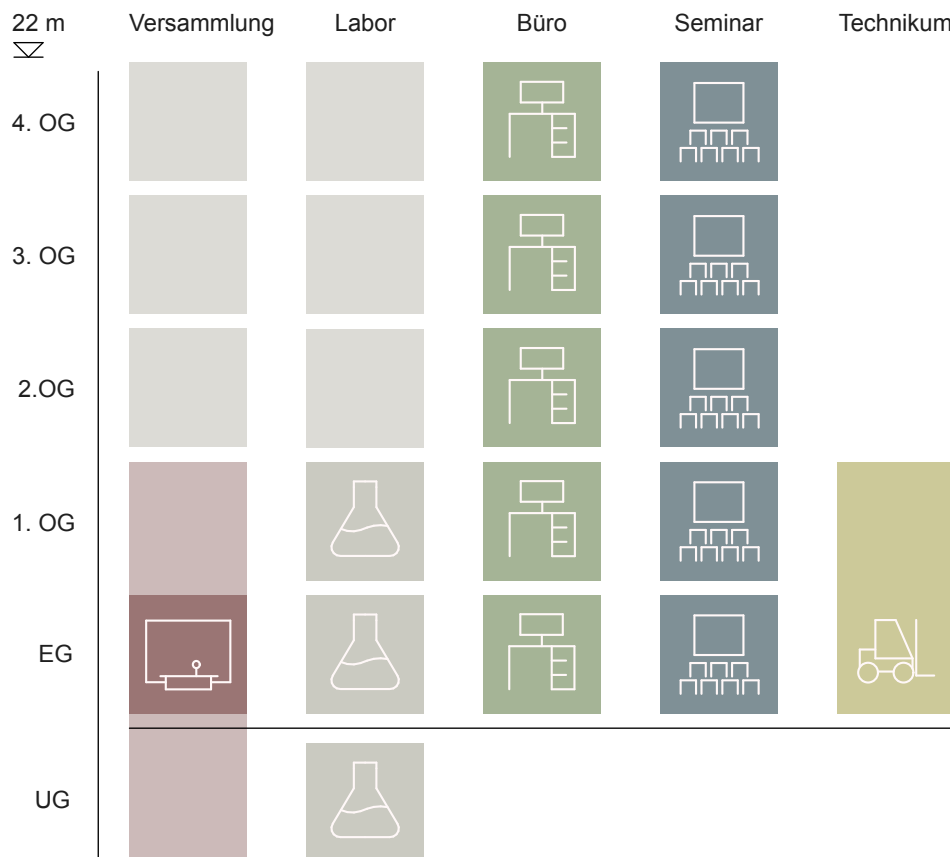


Abbildung 23: Anordnung der Raumtypologien im Gebäude (eigene Darstellung)

4.1.4. Vergleich mit konventioneller Bauweise

Ein Blick in die 1960er Jahre zeigt, dass der Hochschulbau in Deutschland aufgrund steigender Studierendenzahlen und des exponentiell gestiegenen Bedarfs an Akademikern einen signifikanten Aufschwung erlebte (Heinle et al. 2001). Eine Systembauweise, wie beispielsweise die der Ruhr-Universität Bochum oder der Stahlbetonskelettbau, hat sich als primäres Tragsystem, im Bereich des Hochschulbaus bewährt.

Für den aktuellen Vergleich der Holzbauweise mit der konventionellen Bauweise werden für jede Raumtypologie vergleichbare Konstruktionen aus Stahlbeton, Spannbeton und Stahl ausgewählt. Diese werden entsprechend ihrer baukonstruktiven und bauphysikalischen Eigenschaften analog eingeordnet. Den Bauteilaufbauten in Holzbauweise stehen folgenden Bauteilaufbauten und Konstruktionsweisen gegenüber: Die Außenwände bestehen aus Stahlbeton und sind mit einer vorgehängten, hinterlüfteten Metallfassade verkleidet. Als Standarddämmung wird Mineralwolle verwendet, während im Sockelbereich und bei der erdberührten Außenwand eine XPS Dämmung zum Einsatz kommt. Die Fenster sind entweder als Aluminiumfenster mit 3-fach Verglasung oder als Aluminium-Pfosten-Riegel-Fassade gestaltet. Bei den Decken handelt es sich um Stahlbetondecken, die mit zusätzlicher Trittschall- und

Wärmedämmung, Zementestrich und Linoleum Bodenbelag ausgestattet sind. Als Trennwände sind nichttragende Gipskarton-Metallständerwände bilanziert.

Für den Brandschutznachweis wird das vereinfachte Verfahren nach DIN EN 1992-1-2 verwendet. Die baukonstruktiven Nachweise (Biegung, Querkraft, Durchbiegung, Mindestbewehrung) werden nach DIN EN 1992-1-1 geführt. Die Schallschutznachweise werden nach DIN 4109-2 in Verbindung mit DIN 4109-34 geführt.

Bei den Schwingungsnachweisen werden „Hivoss“ Diagramme verwendet. Hierbei wird je nach modularer Masse und Eigenfrequenz die Decke eine Deckenkategorie (A–F) zugeordnet. Mit Hilfe der Deckenkategorie kann ermittelt werden, ob die Decke sich für die vorgeschriebene Funktion eignet. (Hivoss 2008)

Während der ökobilanziellen Betrachtungen, der thermischen Simulation, sowie der Hochrechnung auf Campusebene wird die konventionelle Konstruktionsweise immer als Vergleichsgrundlage herangezogen.

4.2. Bauteilebene

4.2.1. Variantenuntersuchung Materialien

Auswahl Dämmstoff

Für die Auswahl des Dämmstoffs für Dächer und Außenwände wird das Treibhauspotenzial (Global Warming Potenzial; GWP) für verschiedene Materialien untersucht. Hierbei sind die Module nach DIN 15978 Herstellung (A1–A3) und Entsorgung (C3, C4) für einen m² Dämmstoff berücksichtigt. Aufgrund unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeiten sind für einen U -Wert von 0,15 W/m²K folgende Dämmstoffdicken erforderlich:

- Holzfaserdämmplatte: 26 cm ($\lambda = 0,039$ W/mK) bis 48 cm ($\lambda = 0,073$ W/mK)
- Extrudiertes Polystyrol (XPS): 20 cm ($\lambda = 0,031$ W/mK) bis 36 cm ($\lambda = 0,054$ W/mK)
- Schaumglas: 40 cm ($\lambda = 0,060$ W/mK) bis 78 cm ($\lambda = 0,120$ W/mK)
- Expandiertes Polystyrol (EPS): 24 cm ($\lambda = 0,036$ W/mK) bis 40 cm ($\lambda = 0,060$ W/mK)
- Mineralwolle (Dach/Fassade): 24 cm ($\lambda = 0,036$ W/mK) bis 40 cm ($\lambda = 0,060$ W/mK)
- Zellulose Einblasdämmung (Fassade): 26 cm ($\lambda = 0,040$ W/mK)

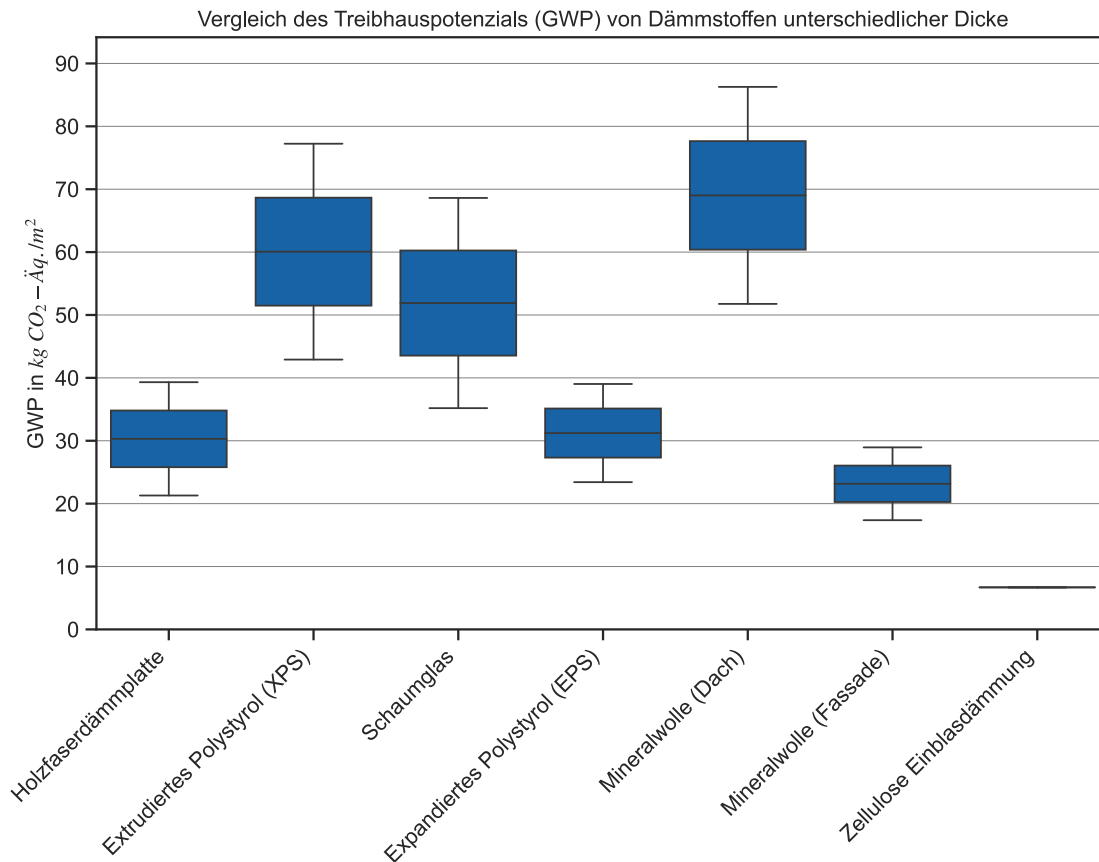


Abbildung 24: Vergleich des Treibhauspotenzials (GWP) je m² Dämmstoff; berücksichtigt werden die Module A1–A3, C3 und C4 nach DIN 15978

Wie in Abbildung 24 dargestellt, weisen Holzfaserdämmplatten für die Anwendung als Dachdämmung das geringste GWP auf. XPS-, Schaumglas- und Mineralwolle - Dämmplatten (Dach und Wand), weisen eine große Bandbreite an Wärmeleitfähigkeiten auf, weshalb auch die Streuung des GWP groß ist. Im Vergleich zu Holzfaserdämmplatten verursachen XPS-Dämmplatten im Mittel 50 % höhere Treibhausgasemissionen, Schaumglasplatten 42 %, EPS-Dämmplatten 3 % und Mineralwolle 56 %.

Als Alternative zu Mineralwolle wird als Fassadendämmung Zellulose-Einblasdämmung untersucht. Dieses Material weist im Dämmstoff-Vergleich das geringste GWP auf. Im direkten Vergleich mit Mineralwolle (Fassaden)-Dämmplatten kann mehr als das 3-fache an Treibhausgasemissionen eingespart werden. In Anlehnung an geprüfte Bauteilaufbauten aus dataholz.eu werden für den EDUwood-Außenwandaufbau jedoch Mineralwolle-Dämmplatten berücksichtigt. Projektspezifisch ist die Ausführung mit Zellulose Einblasdämmung zu prüfen.

Vergleich Treibhauspotenzial Gipskarton- und Lehmbauplatten

Für die Beplankung der Innenwände werden herkömmliche Gipskartonplatten verwendet. Zunehmend diskutiert wird der Einbau von Lehmbauplatten, denen ein größeres Klimaschutzpotenzial zugesprochen wird. Abbildung 25 zeigt das

Treibhauspotenzial (GWP) für einen Quadratmeter Ständerwand mit beidseitig doppelter Beplankung mit den verschiedenen Materialitäten. Baukonstruktiv sind unterschiedliche Plattendicken erforderlich. Das Ständerwerk sowie die Gefachdämmung werden für beide Varianten als identisch angenommen, weshalb die Ergebnisse nur für die jeweiligen Bauplatten angegeben sind.

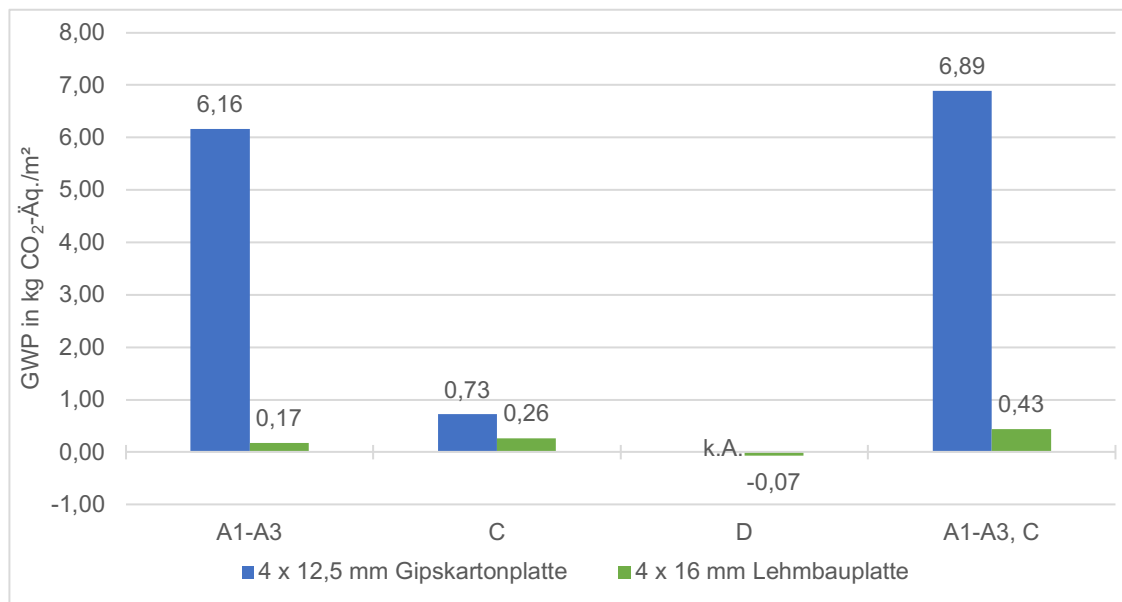


Abbildung 25: Vergleich des Treibhauspotenzials (GWP) für Innenwand-Beplankungen aus Gipskarton- und Lehmbauplatten; berücksichtigt werden die Module A1–A3, C3 und C4

Abbildung 25 zeigt, dass Lehmbauplatten insbesondere in der Herstellung ein weitaus geringeres GWP aufweisen als Gipskartonplatten; hier können 97 % der Treibhausgasemissionen eingespart werden. Für Modul D sind im verwendeten ÖKOBAUDAT-Datensatz keine Werte verfügbar. Wird der gesamte Lebenszyklus berücksichtigt (Module A1–A3, C3 und C4), weisen Innenwände mit einer beidseitig doppelten Beplankung aus Lehmbauplatten im Vergleich zu einer Gipskarton-Beplankung ein um 94 % geringeres GWP auf.

Lehmbauplatten Brandschutz

In der prEN 1995-1-1 wird es möglich sein, die Schutzzeit von Lehmbauplatten zu berechnen. Auf Basis der ermittelten Schutzzeiten ist es dann möglich, den Raumabschluss (Kriterium E und I) und den Tragwiderstand zu berechnen. Aufgrund der geringen Schutzzeiten der Lehmbauplatten ist es derzeit nicht möglich, tragende und aussteifende Holzbauteile mit hochfeuerhemmenden oder feuerbeständigen Anforderungen an das Bauteil mit Lehmbauplatten sinnvoller Dimensionen zu bekleiden. Diese müssen, wie in Kapitel 3.2.1 erläutert, einer Entzündung des Bauteils von 60 bzw. 30 Minuten standhalten. Die berechnete Schutzzeit von unterschiedlichen Lehmbauplatten nach prEN 1995-1-2 ist in Tabelle 9 dargestellt. Es wird von einer Eindringtiefe der Verbindungsmittel von 30 mm ausgegangen. Die damit ermittelten Schutzzeiten liegen für gängige Plattendicken unter den angegebenen Grenzwerten von 30 und 60 Minuten.

Tabelle 9: Schutzzeiten von Lehmbauplatten

Lehmbauplattendicke d [mm]	Schutzzeit Σt_{prot} [min]
16	6,95
2x16	12,7
2x22	18,5
2x25	21,6

Der Raumabschluss (EI) ist in der Kombination einer hohlraumfüllenden flankenschlüssigen nichtbrennbaren Dämmung nachweisbar. Die Ergebnisse sind stark abhängig von der Rohdichte und Dicke der Dämmung. Eine Variation der Dicke und Rohdichte(ρ) ist in Abbildung 26 für eine zweischalige Bekleidung mit Lehmbauplatten dargestellt.

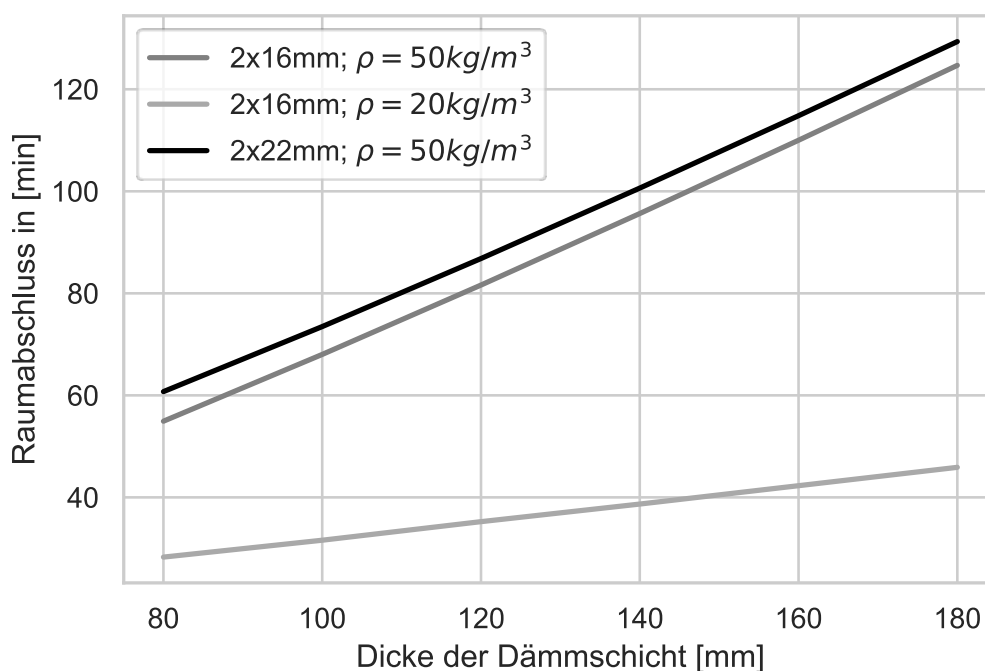


Abbildung 26: Raumabschlusszeiten abhängig von Rohdichte(ρ) und Bauteildicke einer Trennwand mit zweischaliger Lehmbauplattenbekleidung mit einer Eindringtiefe der Verbindungsmittel von 30 mm

4.2.2. Rahmenbedingungen

Allgemein

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens werden Raumtypologien ohne die konkrete Planung eines gesamten Gebäudes betrachtet. Die bauphysikalischen Anforderungen, besonders die des Brandschutzes, beziehen sich deshalb auf die allgemeine Nutzung und ein fiktives Hochschulgebäude. Hierbei wird davon ausgegangen, dass eine Nutzung in Form von Versammlungen (Vorlesungen, Tagungen) und einer klassischen Büronutzung (wissenschaftliche Angestellte, Verwaltung) vorliegt.

Auf Basis des Masterplans und den Anwendungsgrenzen der MHolzBauRL 2022 werden folgende Randbedingungen festgelegt:

- Die Fußbodenoberkante des obersten Geschosses (FOK) liegt zwischen 13 und 22 m
- Die Nutzungseinheiten bzw. brandschutztechnisch voneinander abgetrennte Raumgruppen sind kleiner gleich 200 m² (BGF)
- Jede Nutzungseinheit verfügt über zwei bauliche Rettungswege

Auf Basis der aufgelisteten Randparameter werden die Gebäude der GK 5 zugeordnet. Für die betrachteten Nutzungen und Raumtypologien wird die Klassifizierung in Tabelle 10 vorgenommen. Bei den betrachteten Gebäuden handelt es sich um Universitätsbauten, welche eine gemischte Nutzung aus Hörsälen, Foyers, Laboren, Seminarräumen und Büros aufweisen. Aus der Nutzung als Hochschulgebäude ergibt sich ein Sonderbautatbestand (BayBO 2007 Art. 2 (4)). Aufgrund des universitären Charakters, der überwiegend der Unterrichtung Erwachsener dient, wird eine Zuordnung in die Musterschulbaurichtlinie (MSchulbauR) ausgeschlossen. Um eine möglichst umfassende Betrachtung zu ermöglichen, wird von gesondert zu betrachteten Räumen, wie zum Beispiel Bibliotheken und Lagerräumen abgesehen. Diese werden der Raumtypologie Versammlung zugeordnet, da hier ebenfalls erhöhte Anforderungen gelten.

Tabelle 10: Klassifizierung der Gebäude abhängig von der Nutzung/Raumtypologie

Nutzung	Ausführung	Klassifizierung	Quelle
Hochschule	FOK < 22 m	Sonderbau, kein Hochhaus	BayBO Art. 2 (4) Nr. 13
Büro	Nutzungseinheit < 400 m ²	Kein Sonderbau	BayBO Art. 2 (4) Nr. 5
	FOK < 22 m	GK 5, kein Hochhaus	BayBO Art. 2 (4) Nr. 1
Seminar	Nutzungseinheit < 400 m ²	Kein Sonderbau	BayBO Art. 2 (4) Nr. 5
	<100 Besucher	Kein Sonderbau	BayBO Art. 2 (4) Nr. 6
	FOK < 22 m	GK 5, kein Hochhaus	BayBO Art. 2 (4) Nr. 1
Labor	Nutzungseinheit < 400 m ²	Kein Sonderbau	BayBO Art. 2 (4) Nr. 5
Technikum	Nutzungseinheit < 1600 m ²	Kein Sonderbau	BayBO Art. 2 (4) Nr. 3
Versammlung	> 200 Besucher	Versammlungsstädte	VStättV §1 (1) Nr. 1
	FOK < 22 m	Sonderbau, kein Hochhaus	BayBO Art. 2 (4) Nr. 1

Für die möglichst allgemeine Betrachtung eines Universitätsbaus wird angenommen, dass keine besonderen Gefährdungen vorliegen. Bei den zu errichtenden Laboren der Technischen Universität Nürnberg handelt es sich überwiegend um mechanische Prüfmaschinen und Versuchsstände. Werden hierbei im Einzelfall Güter mit erhöhter Brandgefahr verwendet, müssen diese von den Planenden im Einzelfall berücksichtigt werden.

Brandschutz

In Tabelle 11 sind die Anforderungen an die Bauteile in der GK 5 nach BayBO 2007 und VStättV sowie in Verbindung mit der MHolzBauRL 2022 zusammengefasst. Die in der

Tabelle blau umrandeten Bauteile stellen die in diesem Forschungsvorhaben untersuchten Bauteile dar. Grün hinterlegte Felder signalisieren, dass eine Verwendung von Holzbauteilen möglich ist.

Tabelle 11: Anforderungen an Bauteile im betrachteten Forschungsprojekt

	GK 5 nach BayBO	VStättV		GK 5 nach BayBO und VStättV i.V. m. MHolzbauRL 2022
Tragende Bauteile	R 90 [nb]	R 90 [nb]		R 90
Trennwände	EI 90	EI 90		EI 90
Nichttragende Außenwände	EI 30	EI 30 [nb]	EI 30	EI 30
Decken	REI 90 [nb]	REI 90 [nb]		REI 90
Wände notw. Flure	EI 30	EI 30		EI 30
Dächer	-	-		-
Tragende Teile notw. Treppen	R 30 [nb]	R 30 [nb]		R 30 [nb]
Wände notw. Treppenträume	EI 90-M [nb]	EI 90-M [nb]		EI 90-M [nb]
Aufzugschachtwände	EI 90 [nb]	EI 90 [nb]		EI 90 [nb]
Brandwände	REI 90-m [nb]	REI 90-m [nb]		REI 90-m [nb]
Kellerdecke	REI 90 [nb]	REI 90 [nb]		REI 90
Wände notwendiger Flure im Keller	EI 90	EI 90		EI 90

Wie bereits erwähnt wird davon ausgegangen, dass jeder brandschutztechnisch abgetrennter Bereich im Sinne einer Nutzungseinheit kleiner als 200 m² ist und über zwei bauliche Rettungswege verfügt. Es wird zudem angenommen, dass die Räume, die gemäß Versammlungsstättenverordnung betrachtet werden müssen, konsequent nur im Erdgeschoss angeordnet werden. Somit kann das Schutzziel nach BayBO 2007 Art. 3 Satz 1 mit den Bauteilausführungen der MHolzBauRL 2022 erreicht werden.

Die VStättV schreibt vor, dass tragende aussteifende Bauteile feuerbeständig sein müssen. Die Außenwände müssen in mehrgeschossigen Versammlungsstätten aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen (VStättV §4 Abs.3) Da im Forschungsprojekt angenommen wird, dass die Räume der Raumtypologie Versammlung ebenerdig und für sich eingeschossig sind, können diese in diesem Anwendungsfall im Rahmen eines Abweichungsantrages nach Art. 63 BayBO 2007 auch aus brennbaren Baustoffen bestehen

Die im Rahmen des Bauteilkataloges entwickelten Bauteilaufbauten orientieren sich grundsätzlich an der MHolzBauRL 2022. Holztafelbauelemente werden ersatzweise nach VwV TB BW Anlage A2.2/BW2 Abschnitt 4.1/ E DIN 4102-2/A1 behandelt. Biogene Dämmstoffe werden weder in tragenden und aussteifenden bzw. raumabschließenden Bauteilen noch als Dämmung von Außenwandbekleidungen verwendet. Nichttragende Außenwände nach BayBO 2007 Art. 26 Abs. (2) Satz 1 bleiben davon unberührt.

Schallschutz

Die Anforderungen an die in dem Forschungsprojekt betrachteten Bauteile ergeben sich aus der DIN 4109-1. Diese Anforderungen stellen die grundlegenden Mindestanforderungen sicher, um einen angemessenen Schallschutz zu gewährleisten. Dies bedeutet, dass Sprache in normaler Lautstärke im benachbarten Raum im Allgemeinen nicht verstehbar, jedoch noch hörbar ist. Gehgeräusche sind im Allgemeinen störend wahrzunehmen. Durch die Berücksichtigung eines Spektrumwertes für tiefe Frequenzen im Nachweisverfahren werden Gehgeräusche als nicht mehr störend wahrgenommen (Informationsdienst Holz 2019).

Eine weiterführende Unterscheidung in unterschiedlichen Schallschutzniveaus (Basis, Basis+ und Komfort) und weiterführende Empfehlungen zu Grenzwerten der Anforderungen an den Schallschutz sind der Publikation des Informationsdienst Holz (2019) zu entnehmen. Bei der Angabe der Bauteilaufbauten wird eine Klassifizierung in ein Schallschutzniveau nach Informationsdienst Holz (2019) mit angegeben.

In Hinblick auf den Außenlärm gelten die Anforderungen nach DIN 4109-1. Der maßgebende Lärmpegel ist hierbei von der Orientierung und Form der Fassade zu Außenlärmquellen abhängig. Aufgrund fehlender Daten zur Lärmbelastung durch die nahegelegene Münchner Straße wird äquivalent die Regensburger Straße mit einem Verkehrsaufkommen zwischen 17.000 bis 20.000 Autos pro Tag angenommen (Verkehrsplanungsamt 2023). Bei einer Entfernung von 40–70 m entsteht ein Außenlärmpegel von 65–70 dB. Somit werden die Gebäude dem Lärmpegelbereich IV zugeordnet (DIN 18005). Da viele Gebäude und deren Fassaden eine Innenhofausrichtung aufweisen, handelt es sich um eine konservative Annahme.

Die erforderlichen Schalldämmmaße der betrachteten Decken und Wände nach DIN 4109-1 sind in Tabelle 12 den Raumtypologien zugeordnet.

Tabelle 12: Schallschutzanforderungen nach DIN 4109-1 für die betrachteten Bauteilen differenziert nach Raumtypologie

Decken	Geschossdecke		Oberer Gebäudeabschluss	
	R' _{w,erf} [dB]	L' _{n,w,erf} [dB]	R' _{w,erf} [dB]	L' _{n,w,erf} [dB]
Büro/Seminar	≥ 54	≤ 53	≥ 35	-
Flur	≥ 52 ^a	≤ 53	≥ 35	-
Labor	≥ 54	≤ 53	≥ 40	-
Veranstaltung	≥ 55	≤ 46	≥ 40	-
Technikum	-	-	≥ 35	-
Wände	Trennwand zwischen fremden Arbeitsräumen	Außenwand	Wand zum Flur	Bürowand zwischen benachbarten Räumen gleicher Nutzungseinheit
	R' _{w,erf} [dB]	R' _{w,erf} [dB]	R' _{w,erf} [dB]	R' _{w,erf} [dB]
Büro/Seminar/ Flur/Technikum	≥ 53	≥ 35	≥ 53	-

Labor/Versammlung	≥ 55	≥ 40	≥ 47	-
^a in Schulen oder vergleichbaren Einrichtungen gilt $R'_{w,erf} \geq 55$. In den Bereichen der Veranstaltungsräumen sollte die erhöhte Anforderung berücksichtigt werden.				

Wärmeschutz

Im Projekt wird für alle betrachteten Außenbauteile ein Wärmedurchgangskoeffizient von $U \leq 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ festgelegt und gemäß in den Kapitel 3.2.3 beschriebenen Normen stationär nachgewiesen. Bei den Holztafelbauelementen wird auf bekannte Konstruktionsweisen nach DIN 68800-2, Anhang A zurückgegriffen, um Feuchteschäden zu vermeiden. Ebenfalls werden die Anforderungen an nachweisfreie Konstruktionen nach DIN 4108-3 berücksichtigt. Soweit vorhanden, werden Referenzaufbauten von dataholz.eu angegeben.

Baukonstruktiv

Die Nachweise sind auf Bauteilnachweise und Vordimensionierungsansätze beschränkt. Die Optimierung erfolgt in Microsoft Excel und eine Verifikation durch die Software RFEM 5 von Dlubal Software GmbH und FRILO von FRILO Software GmbH.

Aufgrund der Reduktion auf Raumtypologien, ohne eine komplette Gebäudeplanung durchzuführen, wird davon ausgegangen, dass die Aussteifung des Gebäudes über konventionelle Stahlbetonkerne erfolgt. Da die Betrachtung der Aussteifung stark von der Gebäudegeometrie abhängt und ein Katalog auf Bauteilebene erstellt wird, wird auf Aussteifungsnachweise verzichtet. Auch Verbindungsmittelnachweise werden aufgrund der Vielzahl an Ausführungsmöglichkeiten vernachlässigt.

Die in Tabelle 13 gelisteten Nachweise werden für die betrachteten Bauteile geführt. Bei den Schwingungsnachweisen wird vereinfacht im Rahmen der Vorbemessung von einer steifen Lagerung der Decken ausgegangen. Durch die geführten Nachweise können die Bauteile vordimensioniert und dimensionsgerecht verglichen werden, um als Planungsgrundlage zu dienen. Im Planungsfall sind explizite Nachweise und weiterführende Nachweise bezüglich Aussteifung und Verbindungsmitteln, sowie Gesamtverformungen des Gebäudes zu führen.

Tabelle 13: Geführte baukonstruktive Nachweise auf Bauteilebene

	GZT	GZG
Geschossdecke	Spannungsnachweise (warm/kalt) Auflagerpressung Biegedrillknicken	Durchbiegungen Schwingungen
Oberer Gebäudeabschluss	Spannungsnachweise (warm/kalt) Auflagerpressung Biegedrillknicken	Durchbiegungen
Stützen	Spannungsnachweise (warm/kalt) Biegeknicken (warm/kalt)	

4.2.3. Konstruktionsraster

Bei zahlreichen Holzbaukonstruktionen kommen Plattenwerkstoffe mit genormten Abmessungen zum Einsatz. Um unwirtschaftliche Plattenverschnitte zu vermeiden, werden Konstruktionsraster verwendet, die sich auf Vielfache der Plattenabmessungen von 1,25 m beziehen. Der Holztafelbau orientiert sich mit seinem Ständerwerk im Abstand von 0,625 m, an dem die Plattenwerkstoffe befestigt werden, an diesen Abmessungen. Auch in der Massivholzbauweise werden Plattenwerkstoffe, beispielsweise für Vorsatzschalen, verwendet. Da in frühen Projektphasen die spätere Konstruktionsart noch nicht feststeht, ist es sinnvoll den Entwurf auf dieses Konstruktionsraster aufzubauen. Dennoch sind die Wand- und Öffnungsmaße frei wählbar, da sich die Konstruktion aus Ständer und Beplankung leicht anpassen lässt (Kaufmann et al. 2021).

Das Konstruktionsraster der tragenden Stützen beruht in der Konsequenz auf einem Vielfachen von 1,25 m. Je kleiner die Spannweite gewählt wird, desto geringer können die Bauteilstärken der tragenden Elemente dimensioniert werden. Zusätzlich ist es sinnvoll, das Konstruktionsraster an die spezifische Nutzung anzupassen. Insbesondere bei Bürogebäude ist dies notwendig, da die Ausbaumaße abhängig vom Konstruktionsraster festgelegt werden. Diese Ausbaumaße sind wiederum ausschlaggebend für eine wirtschaftliche Nutzung und Umnutzung. Gängige Raster liegen zwischen 1,20 m und 1,50 m (Jocher 2010, S. 389 ff). Das Konstruktionsraster von 1,25 m, welches auch die Anforderungen der Konstruktionsmethoden im Holzbau abspiegelt, ist die Vorgabe aus der Baubeschreibung Neubau Verfügungsgebäude des Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst, dadurch wird das gesamte Raumprogramm der neugeplanten Gebäude modular und möglichst nutzungsflexibel aufgebaut (Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst 2019).

4.2.4. Spannweiten und Deckensysteme

Die Spannweite in einem Gebäude variiert je nach Raumtyp und architektonischen Anforderungen. In großen Versammlungsräumen sind größere Spannweiten erforderlich, um eine freie Sichtlinie und Flexibilität im Raum zu gewährleisten. Bei Büro-, Labor- oder Seminarräumen kann die Spannweite kleiner ausfallen, abhängig von der notwendigen Belichtungstiefe nach Arbeitsstättenrichtlinien (ASR), der gewünschten Raumgestaltung und Funktionalität. Bei der Festlegung der Spannweiten werden Einflussfaktoren wie flexible Raumnutzung, Belichtungstiefe, funktions- und nutzungsgerechte Aspekte sowie die Förderung einer effizienten Raumnutzung und natürlichen Belüftung berücksichtigt.

Basierend auf dem vorliegenden Raumprogramm (vgl. Kapitel 2.1 Ausgangslage) und dem 1,25 m Achsraster in Querrichtung ergeben sich für die verschiedenen Raumtypologien folgende Spannweiten:

Büro	5,2 m
Seminar	8,75 m
Labor	5,90–8,75 m

Veranstaltung	13,40 m
Technikum	22,50 m

Die Auswahl der Holzbausysteme für jede Raumtypologie orientiert sich an den ermittelten Spannweiteinordnungen (siehe Abbildung 27). Im Bereich der stabförmigen Deckenbauteile werden die Balken-, die Rippen- und die Kastendecke betrachtet. Für die Massivholzbauweise werden die Brettstapel- und die Brettsperrholzdecke und für die Holz-Beton-Verbundbauweise die HBV-Rippendecke und die HBV-Brettstapeldecke untersucht. Das Tragsystem und die Spannweiten dienen als Grundlage für die Raumgeometrie der einzelnen Nutzungen.

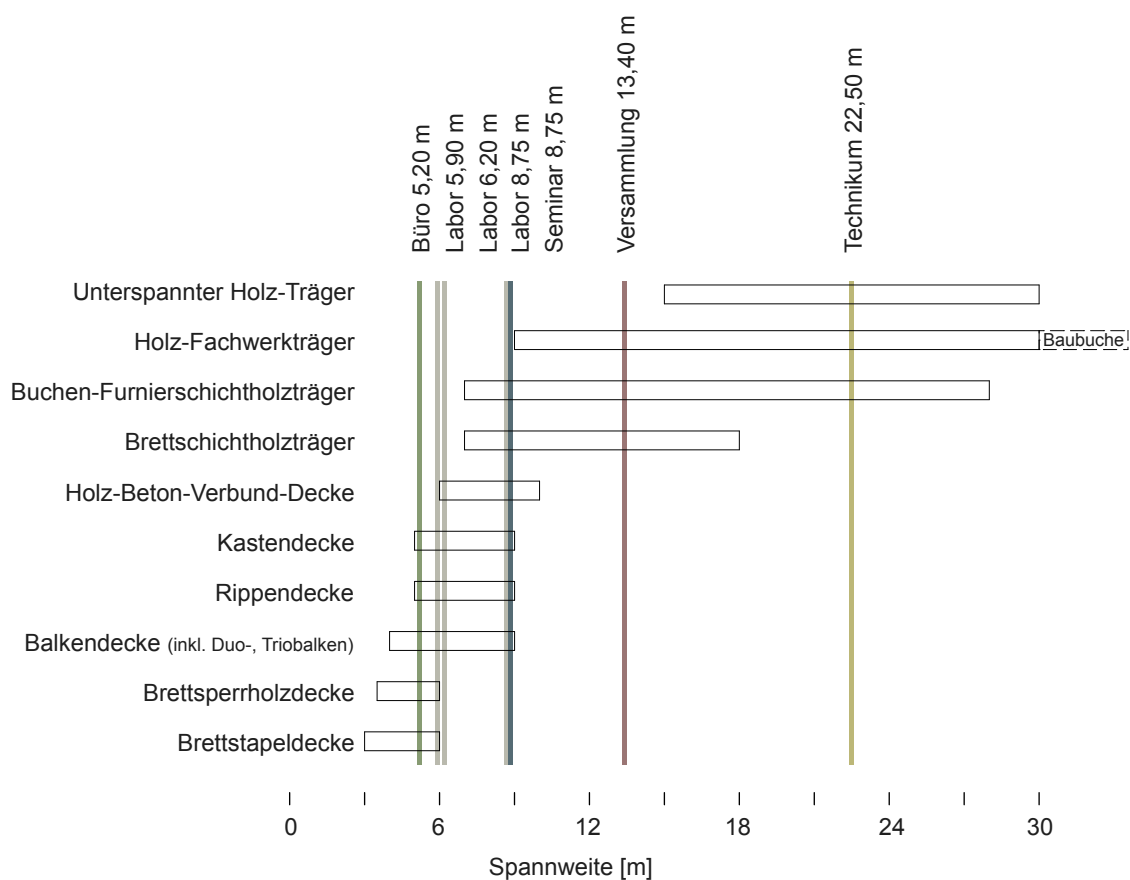


Abbildung 27: Deckenelemente und Trägersysteme in Bezug zu Spannweite und Raumtypologie (eigene Darstellung)

Für die Bauteilaufbauten der Raumtypologien Büro, Seminar und Labor werden im Bereich der stabförmigen Decken- und Dachelemente die Balken-, die Rippen- und die Kastendecke, für die Massivholzbauweise, die Brettstapel- und die Brettsperrholzdecke und für die Holz-Beton-Verbundbauweise die HBV-Rippendecke und die HBV-Brettstapeldecke untersucht. Die genannten Deckenelemente mit einer Spannweite über 10 m sind aus baukonstruktiven Aspekten nicht realisierbar. Zusätzlich ist eine Konstruktionshöhe von über 70 cm sowohl architektonisch als auch ökonomisch nicht sinnvoll. Für die Raumtypologie Versammlung werden HBV-Rippendecke, sowie Brettschichtholzträger und Buchenfurnierschichtholz-Träger betrachtet. Im Technikum

werden folgende Trägersysteme untersucht: Brettschichtholzträger, Buchen-Furnierschichtholz-Träger, Holzfachwerkträger und einem unterspannten Holzträger. Geprüfte Aufbauten aus dem Bauteilkatalog Informationsdienst Holz, der DIN 4102-33 sowie dataholz.eu werden als Grundlage für die Boden- und Dachaufbauten herangezogen.

4.2.5. Lastermittlung

Lastannahmen

Die Lastannahmen je Raumtypologie sind für die horizontalen Bauteile in Tabelle 14 zusammengefasst. Hierbei werden die Lastannahmen der bemessungsrelevanten Normen berücksichtigt. Das Eigengewicht variiert je nach Bauteilaufbau. Im Eigengewicht sind notwendige Dämmungen und Estrichschichten bereits berücksichtigt. Für Büro, Seminar und Flur wird beim oberen Gebäudeabschluss ein verhältnismäßig schweres Gründach mit Photovoltaik angenommen, während für das Technikum von einem leichten Gründach ausgegangen wird. Diese Abstufung erfolgt aufgrund der weiten Spannweite im Technikum, bei der sonst keine sinnvollen Konstruktionshöhen erreicht werden können. Aufgrund des hohen Gewichts der Dachbegrünung und des geringen Modifikationsbeiwertes (k_{mod}) für Eigenlasten aufgrund der Lasteinwirkungsdauer ist primär der ständige Lastfall für die Dächer maßgebend.

Tabelle 14: Zusammenstellung der aufgetragenen Lasten differenziert nach Raumtypologien

Raumtypologie	Bauteil	Lastfall	Lastwert [kN/m ²]	Orientierung an DIN EN 1991-1-4; DIN EN 1991-1-1; DIN EN 1991-1-3
Büro/ Seminar/ Flur	Gebäudeabschluss	Eigengewicht g_{k1} =	var	je nach Bauteilaufbau
		Ausbaulast g_{k2} =	2,50	Solaranlage + extensive Dachbegrünung
		Schnee s_k =	0,60	DIN EN 1991-1-3
		Wind w_k =	0,20	DIN EN 1991-1-4
	Geschossdecke	Eigengewicht g_{k1} =	var.	je nach Bauteilaufbau
		Ausbaulast g_{k2} =	1,00	pauschale Berücksichtigung
		Nutzlast q_{k1} =	2,00	DIN EN 1991-1-1/NA, Tab. 6.1 DE B1
		Trennwandzuschlag q_{k2} =	0,80	DIN EN 1991-1-1/NA, 6.3.1.2
Labor	Geschossdecke	Eigengewicht g_{k1} =	var	je nach Bauteilaufbau
		Ausbaulast g_{k2} =	1,00	pauschale Berücksichtigung
		Nutzlast q_{k1} =	7,50	DIN EN 1991-1-1/NA, Tab. 6.1 DE E2.1
		Trennwandzuschlag q_{k2} =	0,80	DIN EN 1991-1-1/NA, 6.3.1.2
Versammlung	Geschossdecke ^a	Eigengewicht g_{k1} =	var.	je nach Bauteilaufbau
		Ausbaulast g_{k2} =	1,00	pauschale Berücksichtigung
		Nutzlast q_{k1} =	2,00	DIN EN 1991-1-1/NA, Tab. 6.1 DE B1
		Trennwandzuschlag q_{k2} =	0,80	DIN EN 1991-1-1/NA, 6.3.1.2
Technikum	Gebäudeabschluss	Eigengewicht g_{k1} =	var	je nach Bauteilaufbau
		Ausbaulast g_{k2} =	1,60	Solaranlage + extensive Dachbegrünung

		Schnee $s_k=$	0,60	DIN EN 1991-1-3
		Wind $w_k=$	0,20	DIN EN 1991-1-4
a Hinzu kommen Lasten aus der Lastweiterleitung				

Für die Berechnung der vertikalen Außenbauteile, wird eine horizontale Windlast von $0,66 \text{ kN/m}^2$ angenommen. Diese entspricht der maximalen Last für ein quadratisches Gebäude mit einer Grundfläche von $44 \text{ m} \times 44 \text{ m}$ und einer Höhe von 22 m .

Systeme

Bei den horizontalen Bauteilen wird für jede Raumtypologie ein Einfeldträger angenommen, welcher auf zwei Unterzügen aufliegt. Die statischen Systeme mit den jeweiligen Lasten sind in Abbildung 28 dargestellt.

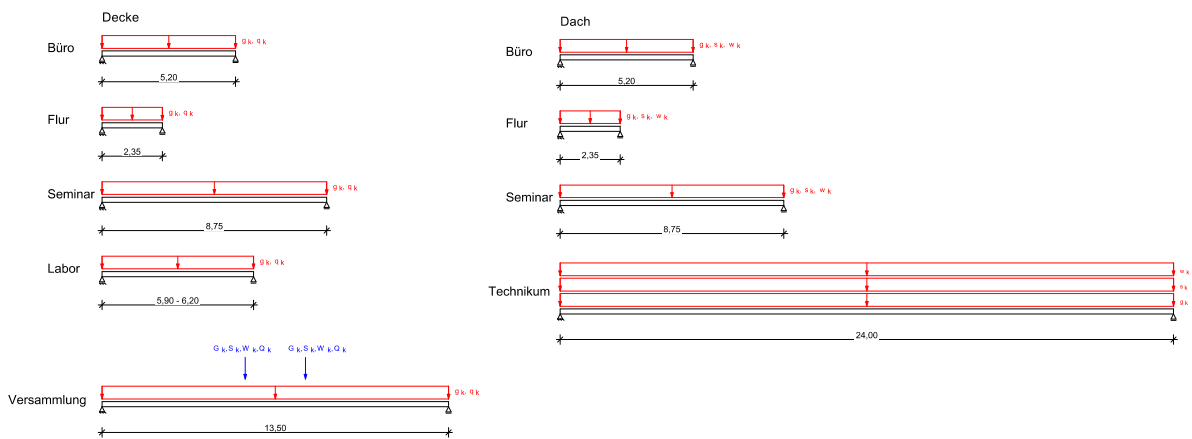


Abbildung 28: Darstellung der statischen Systeme und einwirkende Lasten der Raumtypologien

Zu beachten ist, dass bei dem Veranstaltungsraum Einzellasten aus der Lastweiterleitung berücksichtigt werden. Hierbei wird angenommen, dass sich über einem Veranstaltungsraum drei Stockwerke mit Büro- und Verwaltungsräumen befinden (siehe Abbildung 29). Anhand vereinfachter Lastweiterleitungsannahmen werden die Stützen für das maßgebende Stockwerk dimensioniert. Hierbei werden überschlägig die Stützen mit zusätzlicher horizontaler Belastung und Schiefstellung aus je einem Stockwerk betrachtet.

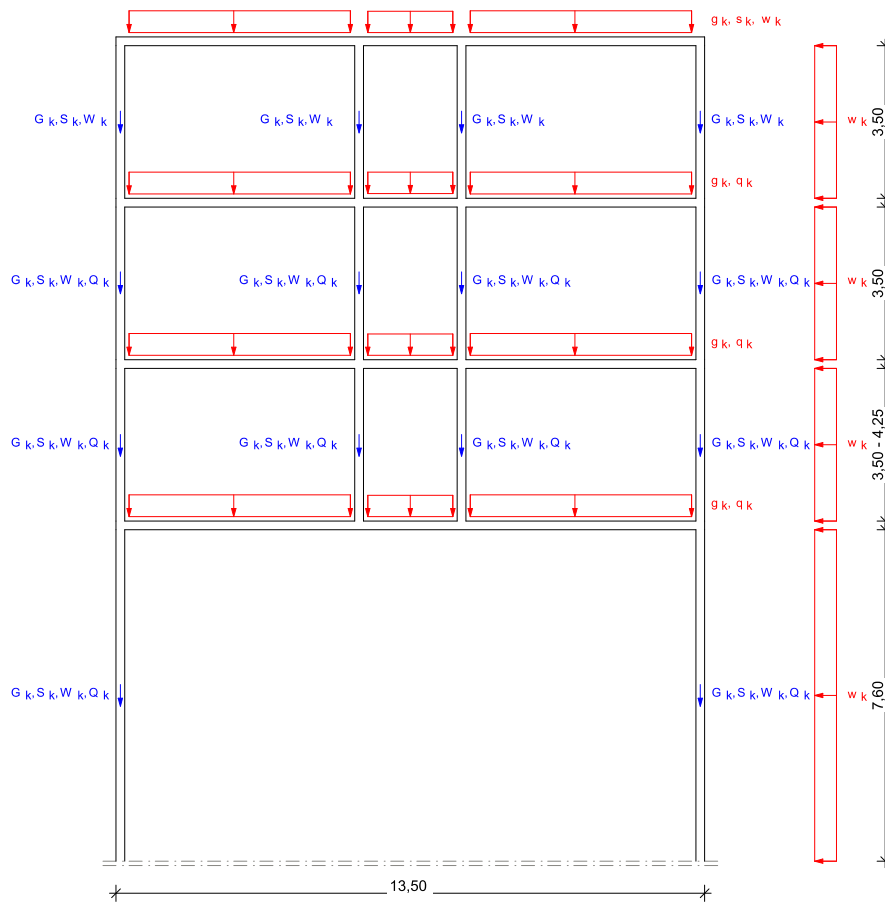


Abbildung 29: Beispielhafte Lastweiterleitung für die Raumtypologie Versammlung

Die angenommenen Berechnungen sind für eine Vorbemessung und für das Forschungsziel der Gegenüberstellung der Varianten ausreichend. Da aufgrund der allgemeinen Betrachtung keine Aussagen zu Aussteifungs- und Auflagersituationen getroffen werden, sind individuelle Berechnungen je nach Gegebenheiten zu führen. Eine mögliche Ausführung eines hybriden Skelettbaus ist im Projekt Graf et al. (2022) ausgearbeitet

4.3. Raumebene

4.3.1. Thermische Simulationen

Über die thermischen Simulationen wird der Heiz- und Kühlenergiebedarf der Raumtypologien unter Berücksichtigung der jeweiligen Konstruktionsweisen ermittelt und der thermische Komfort berücksichtigt. Der Fokus liegt auf dem Vergleich der konventionellen Konstruktionsart und der ermittelten ökologischen Konstruktionsart 'eco' aus der Nutzwertanalyse (NWA).

Das methodische Vorgehen wird in Abbildung 30 dargestellt und im Folgenden beschrieben: (1) Die Simulationsmodelle werden entsprechend der Nutzung und der konventionellen Bauweise sowie der *eco* Bauweise aus der NWA aufgebaut. (2) Für jedes Modell wird eine Parameterstudie durchgeführt. Die Parameter lassen sich in energetische und standortbezogene Parameter unterteilen. (3) Zuerst werden die Ergebnisse der energetischen Parameter isoliert betrachtet. Dies ermöglicht eine Auswahl von energetischen Maßnahmen für jede Nutzungsart. Das Auswahlkriterium ist ein möglichst niedriger Heiz- und Kühlenergiebedarf. Dabei wird eine (4) Abschätzung zur Relevanz des Kühlenergiebedarfs durchgeführt. Nach dem Festlegen der Maßnahmen, werden die Ergebnisse der Simulationen mit den variierenden Standortparametern genutzt, um (5) durchschnittliche Nutzenergiebedarfe für jede Raumtypologie zu ermitteln. (6) Der thermische Komfort wird parallel untersucht. Im Folgenden werden die Schritte detailliert erläutert. Nach der Umwandlung in den Endenergiebedarf fließen die (7) Ergebnisse in die Lebenszyklusanalyse.

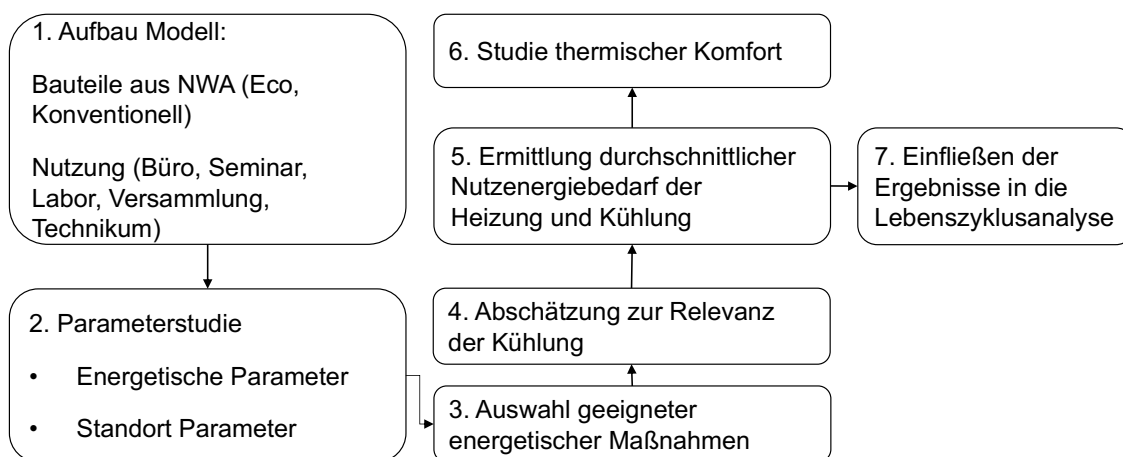


Abbildung 30: Methodisches Vorgehen thermische Simulation auf Raumebene (eigene Darstellung)

1. Beim Modellaufbau werden die ausgewählten Bauteile um ihre bauphysikalischen Kennwerte der Wärmeleitfähigkeit, Dichte und spezifische Wärmekapazität erweitert und zugeordnet. Als Grundlage dienen die „Bautabellen für Ingenieure“ sowie Herstellerangaben. (Schneider 2022)

Für die Nutzungsarten Büro, Seminar, Labor, Versammlung und Technikum werden zonale thermische Modelle erstellt. Die Maße richten sich nach den Vorgaben aus der Architektur. Die thermischen Lasten von Personen, Maschinen und Beleuchtung

sowie die Anwesenheitszeiten und die Steuerung der technischen Anlagen werden gemäß normativen Richtlinien, den Vorgaben aus dem Raumbuch und der Architektur festgelegt. Die Parameter für jede Zone sind im Anhang B: Simulationsrandbedingungen aufgelistet.

2. Die variierenden Parameter der Studie können in zwei Kategorien unterteilt werden. Energetische Parameter beinhalten die Variablen:

- Steuerung außenliegender Jalousien – ein / aus
- Natürliche Nachtauskühlung – ein / aus
- Abhangdecke – ein / aus
- Aktive Kühlung – ein / aus

In den Standortparameter sind die Variablen:

- Lage – Adiabate Flächen
 - Raum Bodenplatte diabat / adiabat
 - Raum Dach diabat / adiabat
- Orientierung – 0–315° in 45°-Schritten
- Beschattung durch Umgebungsobjekte
- Orientierung – 0–315° in 45°-Schritten
- Beschattung
 - Leichte Beschattung (Abminderungsfaktor 0,2)
 - Keine Beschattung (Abminderungsfaktor 0,0)

Jede mögliche Kombination der Parameter wird in der konventionellen und ökologischen Bauweise simuliert. Aus den Variablen ergibt sich eine Gesamtzahl von 2048 Simulationen pro Nutzungsart.

3. Bei den Heiz- und Kühlenergiebedarfssimulationen für die Auswahl der energetischen Maßnahmen werden statische Standortparameter bestimmt (Orientierung Süd, keine Beschattung durch Bäume oder Gebäude, Flächen adiabat). Die Auswahl erfolgt nach dem geringsten Heiz- und Kühlenergiebedarf.
4. Im Anschluss wird untersucht, ob eine aktive Kühlung in der jeweiligen Nutzungsart benötigt wird. Die Simulationen werden in diesem Fall ohne aktive Kühlung durchgeführt, es werden also nur die Simulationsergebnisse mit Heizung und ohne Kühlung betrachtet. Hinsichtlich der Fassadenorientierung erfolgt eine Komfortbewertung nach der DIN 4108-2. Dabei werden die jährlichen Übertemperaturgradstunden während der Anwesenheit ermittelt. Der Anforderungswert liegt für Nichtwohngebäude bei 500 Kh/a. Wenn der Mittelwert der Übertemperaturgradstunden den Anforderungswert um weniger als 15 % übersteigt, erfolgt eine detaillierte Komfortuntersuchung in Schritt 6. Des Weiteren wird im Schritt 5 angenommen, dass keine Kühlung benötigt wird. Eine Grenzwertüberschreitung wird erlaubt, da es passive Maßnahmen zur weiteren

Steigerung des thermischen Komforts gibt, die in der Simulation nicht berücksichtigt werden.

5. Mit den ausgewählten energetischen Parametern werden anschließend die standortbezogenen Energiebedarfe untersucht. Abhängig nach der Nutzung ergeben sich 124 Simulationen, aus denen ein Mittelwert für den spezifischen jährlichen Nutzenergiebedarf für Heizung und Kühlung gebildet wird.
6. Sind die in der Simulation ermittelten Übertemperaturgradstunden kleiner gleich 15 % der Nutzungsstunden, wird eine Studie zum thermischen Komfort nach DIN EN ISO 16798-1 durchgeführt. Die operative Innenraumtemperatur wird über den gleitenden Mittelwert der Außentemperatur gelegt und in Form einer Punktwolke dargestellt. Die Überschreitungen der Kategorie II während der Heiz-, Übergangs- und Sommerperiode während der Anwesenheitszeit wird gezählt und mit dem 5 % Richtwert der DGNB verglichen. Zusätzlich wird überprüft in welchen Monaten die Übertemperaturen auftraten.
7. Für jede Nutzung und Konstruktionsart wird der Heizenergiebedarf und, abhängig vom Überhitzungsrisiko, der Kühlenergiebedarf ermittelt. Die Ergebnisse werden in einen Endenergiebedarf umgewandelt und können dann in die Lebenszyklusanalyse einfließen. Bei einer zonalen energetischen Betrachtung über Simulationen ist es nur bedingt möglich das vorhandene Energiekonzept auf Campusebene des Ingenieurbüros Hausladen zu berücksichtigen. Zum einen, weil die Stromproduktion der Photovoltaikanlage auf den Dächern zur Deckung des Endenergiebedarf der Wärmepumpe genutzt wird und die Produktion bei den Simulationen nicht berücksichtigt wird. Zum anderen, weil die Effizienz der WP von der Vorlauftemperatur des Nahwärmenetzes abhängt. Das Netz wird von einem saisonalen Pufferspeicher gespeist, dessen Temperatur von der eingespeisten Abwärme der vergangenen Monate abhängt. (Ingenieurbüro Hausladen GmbH 2021) Bei den Simulationen wird nur ein Raum untersucht. Das thermische Verhalten von anderen Nutzungen wird dabei nicht betrachtet. Somit wird auch keine Abwärme bilanziert. Passend zum Energiekonzept an der UNT (siehe Kapitel 2.2) wird eine Versorgung über eine Wasser-Wasser Wärmepumpe mit einer Vorlauftemperatur von 35°C und einer Rücklauftemperatur von 10°C angenommen. Die Kälteversorgung erfolgt über einen Kaltwassersatz. Die Deckung des Strombedarfs erfolgt über erneuerbare Energien. Die Wärmepumpe hat eine jahreszeitbedingte Heizleistungszahl (Seasonal Coefficient of Performance (SCOP)) von 5,5, was der Leistungszahl einer modernen WP entspricht. Die Kältemaschine weist eine jahreszeitbedingte Arbeitszahl (Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER)) von 8,5 auf, was der höchsten Energieklasse A+++ entspricht. Mit diesen Informationen kann das GWP und PENRT in die Lebenszyklusanalyse übernommen werden.

Durch die energetischen Parameter kann der Einfluss der Maßnahmen auf die Baustoffe untersucht werden. Es werden Simulationen mit und ohne aktiven Außenjalousien durchgeführt, um den Einfluss der aktiven Beschattung auf den Heiz- und Kühlenergieverbrauch zu zeigen. Die Nachtauskühlung ist besonders effektiv, wenn thermische Massen vorhanden sind und diese durch kühle Außenluft gekühlt werden

können. Die Nachtauskühlung wird berücksichtigt, um den Nutzen der Nachtauskühlung bei Bauteilen mit einer geringeren thermischen Wirksamkeit zu zeigen. Die variable Abhangdecke soll die Exposition der Bauteile simulieren. Ist der Parameter aktiv, wird eine Abhangdecke im Raum angenommen. Dadurch kann die Frischluft die thermische Masse kaum erreichen und die Effektivität der Nachtauskühlung wird reduziert. Die Standortparameter unterteilen sich in Lage, Orientierung und Beschattung durch Umgebungsobjekte. Der Einfluss der angrenzenden Bauteile auf den Energiebedarf und thermischen Komfort wird mit dem Lageparameter gezeigt. Dabei werden der Boden und die Decke bzw. Dach adiabatisch oder diabatisch geschaltet. Adiabatisch bedeutet, dass Zonen mit gleicher Temperatur anliegen und keine Wärmeübertragung stattfindet. Diabatisch bedeutet eine Angrenzung an die Außenluft oder an das Erdreich und damit eine Wärmeübertragung. Eckräume werden nicht betrachtet. Des Weiteren wird der Einfluss der Orientierung der Fassadenseite von 0° (südlich) bis 315° (südwestlich) in 45°-Schritten untersucht. Mit dem Parameter 'Beschattung der Umgebung' kann die Beschattung durch außenliegende Objekte wie Bäume oder andere Gebäude berücksichtigt werden. Hierzu wird eine Fläche mit variierenden Transparenzgraden vor die Fassade gesetzt. Der Transparenzgrad kann 1 (keine Beschattung) oder 0,8 (leichte Beschattung) betragen. Die Einführung der Standortparameter ermöglicht eine detaillierte Betrachtung vom Energiebedarf und thermischen Komfort in unterschiedlichen Umgebungen, zudem kann für die LCA auf Raumebene ein Durchschnittswert gebildet werden, der allgemeine Gültigkeit besitzt. Die Simulationen werden mit dem Programm Grasshopper® durchgeführt, einem Rhinoceros®-Plug-in. EnergyPlus™ bildet den Rechenkern des Plug-Ins. Die thermischen Gebäudesimulationen werden über einen Zeitraum von einem Jahr durchgeführt. Die Wetterdaten werden von Meteonorm bezogen und entsprechen einer Messstation am Flughafen Nürnberg. Der Datensatz wird auf einen Standort in der Stadt angepasst.

4.3.2. Lebenszyklusanalyse auf Raumebene

Für die LCA auf Raumebene werden je Raumtypologie die Baukonstruktion, die für den Raum relevanten Komponenten der technischen Gebäudeausrüstung und der mittels der thermischen Gebäudesimulationen bestimmte Energiebedarf berücksichtigt. Dabei werden jeweils die Bauteile mit dem höchsten Nutzwert der Gewichtung 'eco' sowie die Bauteile der konventionellen Bauweise betrachtet. Darüber hinaus werden Stützen und für das Technikum zudem eine Kranbahn aus Holz berücksichtigt. Für die EDUwood Varianten eco sind die Stützen in Holzbauweise ausgeführt, für die konventionelle Variante in Stahlbeton.

Für die Komponenten der technischen Gebäudeausrüstung liegt die Systemgrenze bei den Umschließungsflächen des Raumes. Die Verteilung und Energieerzeugung auf Gebäudeebene werden nicht berücksichtigt. Datengrundlage bilden die ÖKOBAUDAT (BMWSB 2023) und die Anforderungen aus dem Raumbuch (Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst 2021). Die Massenermittlung der Komponenten je Raumtypologie ist im Anhang A: Bauteilmatrix dargestellt. Folgende Komponenten werden betrachtet:

- Wärme- und Kälteversorgung: Heiz- / Kühlsegel, Anbindeleitungen, Dämmung

- Lüftungstechnische Anlagen: Kanäle, Volumenstromregler, Brandschutzklappen
- Elektrische Anlagen: Kabel, Schalter, Steckdosen, Leuchtmittel

Über die thermische Simulation wird der Nutzenergiebedarf im Raum ermittelt.

Gemäß Energiekonzept von Ingenieurbüro Hausladen GmbH (2021) wird eine Versorgung über eine Wasser-Wasser Wärmepumpe mit einer Vorlauftemperatur von 35°C und einer Rücklauftemperatur von 10°C sowie ein Kaltwassersatz angenommen. Die Deckung des Strombedarfs erfolgt über erneuerbare Energien. Gemäß Umweltbundesamt (UBA) (2023) setzt sich die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2023 wie folgt zusammen: 10 % Windenergie auf See, 39 % Windenergie an Land, 7 % Wasserkraft, 20 % Biomasse, 24 % Photovoltaik. In der ÖKOBAUDAT sind Datensätze für die Stromerzeugung aus Wind und Wasserkraft vorhanden und werden der Bilanzierung für Ökostrom zugrunde gelegt.

4.4. Campusebene

Zur Quantifizierung des Treibhausgaspotenzials (GWP) und der grauen Energie auf Campusebene, werden die Ergebnisse der untersuchten Raumtypologien auf Grundlage der jeweiligen Flächen mit Hilfe des vorliegenden Flächenrahmens und Masterplans skaliert (Ferdinand Heide Architekt 2022; Hasse et al. 2020). Die grauen Energien beinhaltet die benötigte Primärenergie zur Herstellung, Austausch und Entsorgung der Baukonstruktion und Gebäudetechnik, hier angegeben als Primärenergie nicht erneuerbar PENRT.

Die Flächen der Raumtypologien werden in der Nutzfläche 1–6 als Bestandteil der geplanten Institutsgebäude und universitären Einrichtungen abgebildet. Diese stellen 48 % der gesamten Brutto-Grundfläche (BGF) des Campus dar (blaue Gebäudeteile in Abbildung 31).

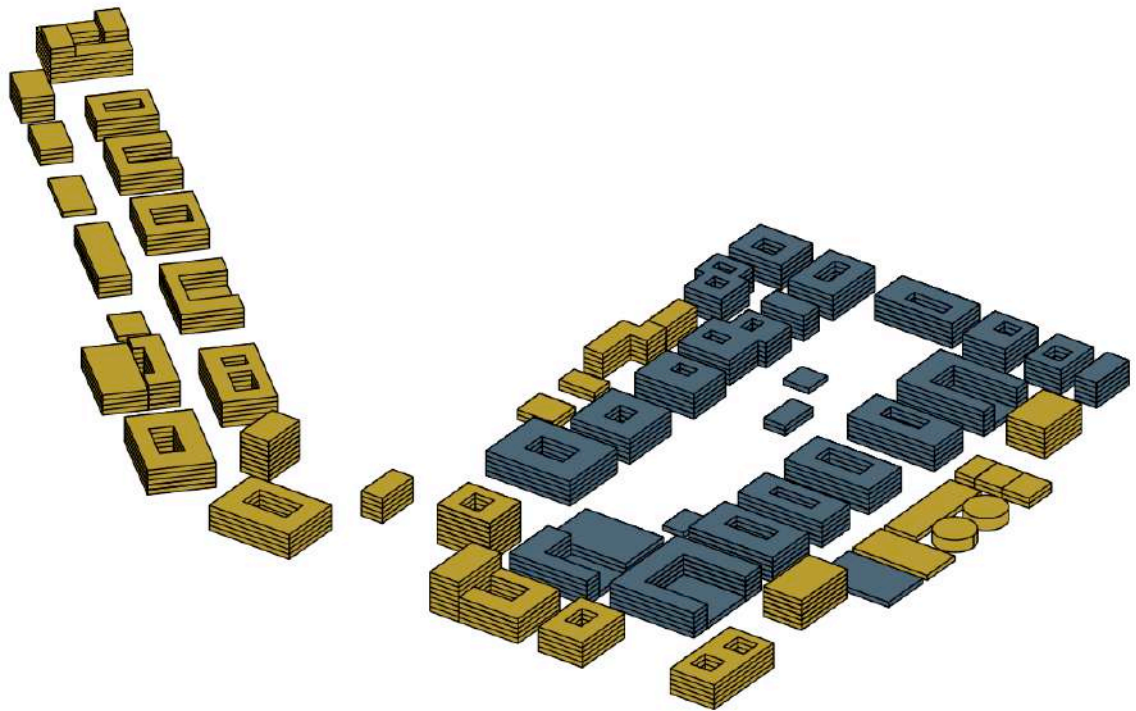


Abbildung 31: Axonometrie des UTN Campus (eigene Darstellung)

Zunächst wird die BGF der Institutsgebäude, universitären Einrichtungen und sonstigen Flächen zeichnerisch ermittelt (blaue u. gelbe Flächen in Abbildung 31). Von den BGF der Institutsgebäude und universitären Einrichtungen werden anschließend die Flächen, die in Stahlbetonbauweise errichtet werden (graue Fläche in Abbildung 32) abgezogen, welche sich auf Verkehrs- und Technikflächen in den Treppenhaukernen beschränken. Für deren Ermittlung wird ein Regelkern festgelegt und auf Grundlage von maximalen Fluchtweglängen verteilt. Als Differenz ergibt sich die Fläche, die in Bauweisen der Variante eco erstellt wird (grüne Fläche in Abbildung 32). Aus den GWP-Werten und den PENRT-Werten der jeweiligen Raumtypologien wird anteilmäßig der Nutzflächen an der Fläche eco ein Durchschnittswert für GWP eco und PENRT eco gebildet. Diese und die Werte für die Flächen in Stahlbetonbauweise werden mit den jeweiligen Flächen multipliziert und ergeben den GWP- und PENRT-Wert Institute und universitäre Einrichtung. Abschließend wird über das Verhältnis zwischen den Flächen der Institute und universitären Einrichtungen zu den sonstigen Flächen die GWP- und PENRT-Werte des Campus errechnet.

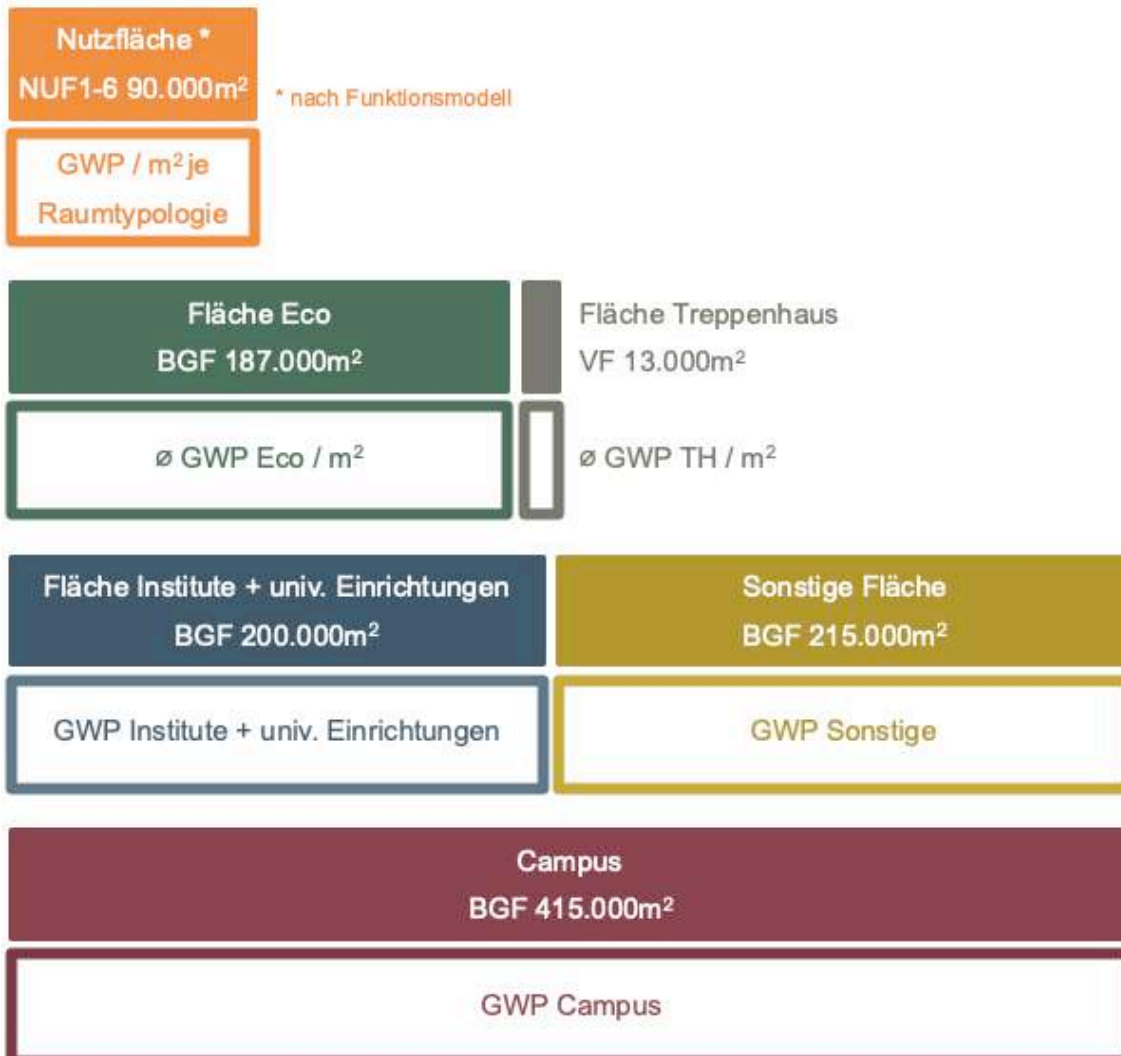


Abbildung 32: Flächenaufteilung des UTN Campus (eigene Darstellung)

Abweichend zu den Berechnungen auf Raumebene wird für die Raumtypologie Seminar im Erdgeschoss eine Pfosten-Riegel-Fassade anstelle von Fenstern angesetzt. Ergänzend zur Gebäudetechnik auf Raumebene werden folgende Komponenten auf Campusebene berücksichtigt:

- Zwei 25.000 m³ saisonale Wärmespeicher
- Photovoltaik-Module auf sämtlichen Dachflächen, Belegungsgrad ca. 75 %
- 7 Hochtemperatur-Wärmepumpen
- Zentrale Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung

Auf Campusebene wird zudem das in der Baukonstruktion potenziell verbaute Holzvolumen und die damit gespeicherte Menge an Kohlenstoff basierend auf den Bauteilen der jeweiligen Handlungsempfehlung ermittelt. Hierfür wird vorausgesetzt, dass die eingesetzten nachwachsenden Baustoffe (Masse des Holzes) aus nachhaltiger Bewirtschaftung stammen. Die Speichermenge biogener Kohlenstoff in Tonnen CO₂ wird mittels CO₂-Tool_Wood, Version 1.0 berechnet (Bayerisches Staatsministerium für

Wohnen, Bau und Verkehr 2022). Demzufolge enthält 1 kg Holz (ohne Zusatzstoffe) 0,5 kg Kohlenstoff (C). Diese Menge an Kohlenstoff ist wiederum in 1,8 kg CO₂ gebunden. Damit bindet 1 kg an nachwachsendem regenerativem Baustoff die Menge an Kohlenstoff, die in 1,8 kg vom Klimagas CO₂ enthalten ist.

5. Wände

5.1. Allgemein

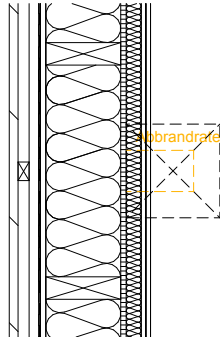
In einem Hochschulgebäude sind unterschiedliche Wandtypen je nach Einbausituation und der damit einhergehenden bauphysikalischen Anforderungen vorzufinden. Für die Raumtypologie Büro, Seminar, Labor und Versammlung werden die Wandtypen Außenwand, Flurwand, Trennwand mit und Trennwand ohne spezifische Anforderungen untersucht. Die Trennwand ohne spezifische Anforderungen wird im Folgenden als Bürowand bezeichnet. Da von einer Holzskelettbauweise ausgegangen wird, sind die Wände größtenteils nichttragend.

5.2. Bauteilaufbauten

5.2.1. Außenwand

In der Fassadenebene sind entsprechend des Skelettbaus tragende Holzstützen angeordnet. Davor beziehungsweise dazwischen werden die Außenwandelemente gehängt, für die das Prinzip des Holztafelbaus, mit der Dämmung in Ständerebene, besonders geeignet ist. Somit kann mit dem schlanken Wandaufbau, eine hohe Dämmwirkung erreicht werden. Der Holzanteil im Holztafelemente ist auf die tragenden und aussteifenden Teile reduziert. Dadurch stellt das Element mit einem niedrigen Materialverbrauch eine kostengünstige und ressourcenschonende Bauweise dar. Für die geplanten Hochschulgebäude wird die Holztafelbauweise als nichttragende Außenwandelemente alternativlos empfohlen.

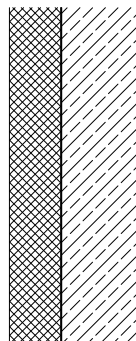
AW_HTB



[mm] Baustoffe

- 24,0 Holz Lärche Aussenwandverkleidung
- 30,0 Holz Fichte Lattung versetzt (30/50; 30/80) - Hinterlüftung
- 30,0 Lattung Hinterlüftung
- Windbremse sd
- 15,0 Gipsfaserplatte Typ F
- 200,0 Konstruktionsholz (60/200; e=0,625)
- 200,0 Mineralwolle, Schmelzpunkt > 1000°C
- 15,0 OSB
- 40,0 Installationsschicht: Holz Fichte Querlattung (a=400)
- 40,0 Naturdämmstoff Holzfasermatte
(alternativ: Zellulosefaser lose, wenn keine Installationen)
- 25,0 Gipsbauplatte Typ A, 2 x 12,5mm
alternativ: Lehmbauplatte schwer, D22

B-konv_AW-erdb



- 140,0 Perimeterdämmung, XPS, WLG 040
- 2,0 KMB Bitumendickbeschichtung
- 200,0 Stahlbeton

Abbildung 33: Bauteilaufbauten der Außenwände

Bauphysikalische Betrachtung

Als nicht tragendes Bauteil aus brennbaren Baustoffen ist die Außenwand nach BayBO 2007 Art. 26 Abs. 2 raumabschließend feuerhemmend auszuführen. Zwischen den Holzständern wird die Dämmung für den Wärmeschutz eingebracht. Diese kann mit brennbaren Baustoffen ausgeführt werden. Außenseitig muss eine 15 mm dicke, nichtbrennbare Trägerplatte nach MHolzBauRL 2022 Abs. 6.2.1 angebracht werden. In der Fortschreibung MHolzBauRL vsI.2023 muss bei brennbaren Gefachdämmstoffen eine 18 mm dicke nichtbrennbare Trägerplatte angebracht werden. Das Holztafelement wird mit einer winddichten Schicht und einer hinterlüfteten Holzfassade bekleidet. Für die Außenwandbekleidung muss durch geeignete Maßnahmen eine Begrenzung der Brandausbreitung erfolgen (siehe Tabelle 3). Innenseitig wird eine Installationsebene für den Leitungsverzug angebracht. Diese kann mit biogenen normalentflammbaren Dämmstoffen verfüllt und mit als nichtbrennbar klassifizierten Bekleidungen zum Beispiel Lehmbauplatten beplankt werden.

Die Ergebnisse für den Schall- und Wärmeschutz sind Tabelle 15 zu entnehmen.

Tabelle 15: Schall- und Wärmeschutz der Außenwand

Schallschutz	Ergebnisse Berechnung [dB]	Schallschutz-technische Einordnung	Orientierung an
	R' _w		
AW_HTB	43	VI	(dataholz.eu) Bauteil awrhii11 a-05
Wärmeschutz	Stationärer Wärmedurchgangswiderstand	Diffusionsverhalten	Nachweis der des Diffusionsverhaltens durch
	U [W/m²K]		
AW_HTB	0,177	Geeignet	(dataholz.eu) Bauteil awrhii11 a-05

Lebenszyklusanalyse

Die Ergebnisse der LCA für die Umweltindikatoren Treibhauspotenzial (GWP) und Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) sind im Folgenden dargestellt. Die Ergebnisse für alle weiteren Kriterien sind im Anhang A Bauteilmatrix angegeben.

Das Treibhauspotenzial für Außenwände und Fenster ist in Abbildung 34 für eine Nutzungsdauer von 100 Jahren dargestellt. Zusammenfassend ergeben sich folgende Ergebnisse:

- Niedrigstes GWP für Alternative AW_HTB (Außenwand in Holzskelettbauweise) mit 77,44 CO₂-Äq./m²
- Höchstes GWP für Festverglasung (AW_FE) mit 285,16 CO₂-Äq./m²
- Vergleich Außenwand AW_HTB mit konventioneller Alternative (Skelettbau mit hinterlüfteter Metallfassade, B-konv_AW_StB; GWP 166,23 CO₂-Äq./m²): Einsparpotenzial 53 %

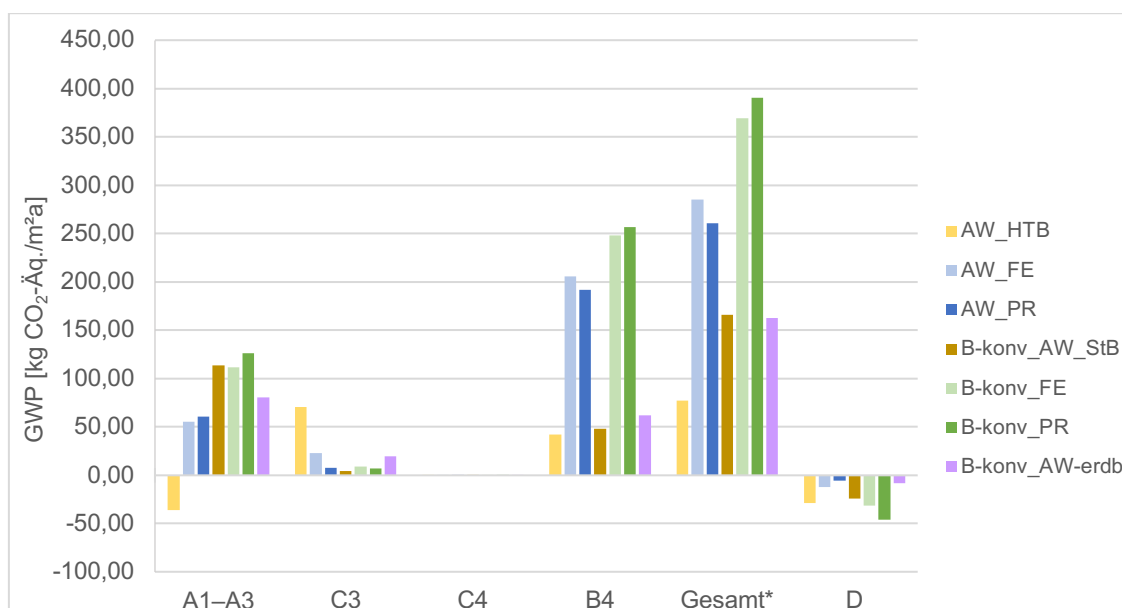


Abbildung 34: Treibhauspotenzial (GWP) für Außenwände und Fenster, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4

Der Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PENRT) für Außenwände und Fenster ist in Abbildung 35 dargestellt und zeigt ähnliche Ergebnisse:

- Niedrigste PENRT für Alternative AW_HTB mit 1.235,30 MJ/m²
- Höchste PENRT für Festverglasung (AW_FE) mit 3.568,39 MJ/m²
- Vergleich Außenwand AW_HTB mit konventioneller Alternative (B-konv_AW_StB, PENRT 1.769,10 MJ/m²): Einsparpotenzial 30 %

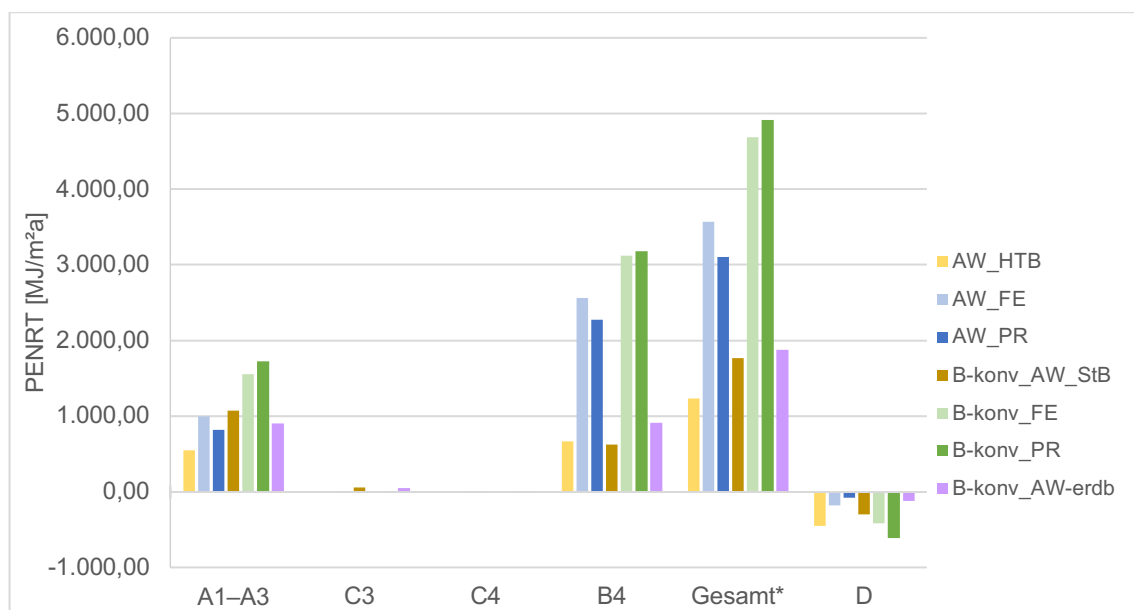


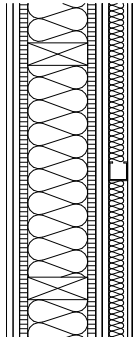
Abbildung 35: Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für Außenwände und Fenster, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4

Je Konstruktionsart (opak, Fenster, Pfosten-Riegel-Verglasung) steht eine Holzbau-Alternative zur Auswahl. Bei Außenwänden wird daher auf eine Nutzwertanalyse verzichtet.

5.2.2. Flurwand

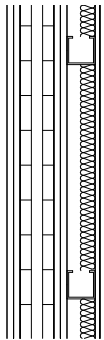
Flurwände können als Holzständer-, Massivholz- und Holztafelbauweise errichtet werden. Die Bepunktung der nichttragenden Holzständer- und Metallständerwänden kann sowohl aus Gipsbauplatten als auch Lehmbauplatten erfolgen.

FW_HTB_GKP_t



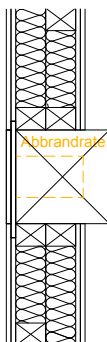
[mm]	Baustoffe
36,0	Gipsbauplatte Typ F, 2 x 18mm
22,0	OSB
160,0	Konstruktionsholz (100/160, e=0,625m)
160,0	Mineralwolle, Schmelzpunkt < 1000°C
22,0	OSB
36,0	Gipsbauplatte Typ F, 2 x 18mm
50,0	Installationsschicht Metallständer CW-Profil
40,0	Naturdämmstoff Holzfasermatte
25,0	Gipsbauplatte Typ A, 2 x 12,5mm
(22,0)	alternativ Lehm- oder Gipsbauplatte D22

FW_BSP_GKP_t



36,0	Gipsbauplatte Typ F, 2 x 18mm
(32,0)	
90,0	Brettsper Holz 3-lagig
36,0	Gipsbauplatte Typ F, 2 x 18mm
(32,0)	
40,0	Naturdämmstoff Holzfasermatte
75,0	Metallständer CW-Profil
25,0	Gipskartonplatte Typ F 2 x 12,5mm

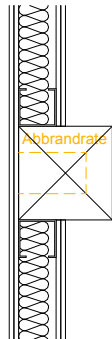
FW_HTB_GKP



25,0	Gipsbauplatte Typ F, 2 x 12,5mm
(32,0)	alternativ Lehm- oder Gipsbauplatte D16 2 x
160,0	Holzständer versetzt, 2 x 60/80 (e=0,625m), entkoppelte Ständer
80,0	Mineralwolle
25,0	Gipsbauplatte Typ F, 2 x 12,5mm
(32,0)	alternativ Lehm- oder Gipsbauplatte D16 2 x
250,0	Holzstütze, e=3,75m

FW_MSt_GKP

[mm] Baustoffe



25,0 (32,0)	Gipsbauplatte Typ F, 2 x 12,5mm alternativ Lehm- oder Lehmbauplatte D16 2 x
100,0	Metallständer CW-Profil
80,0	Mineralwolle
25,0 (32,0)	Gipsbauplatte Typ F, 2 x 12,5mm alternativ Lehm- oder Lehmbauplatte D16 2 x
250,0	Holzstütze, e=3,75m

Abbildung 36: Bauteilaufbauten der Flurwände

Bauphysikalische Betrachtung

Die Holzstützen sind zum Innenraum sichtbar und flurseitig mit einer brandschutzwirksamen Bekleidung ausgeführt. Nach BayBO 2007 Art. 34 Abs. 6 sind in einem notwendigen Flur keine brennbaren Bauteiloberflächen zulässig. Die nichttragende Wand kann als Trockenbau entweder mit einem Holzständer- oder Metallständerwerk konstruiert werden. Sie muss als raumabschließendes Bauteil mindestens feuerhemmend ausgeführt werden.

Um den geforderten Schallschutz einzuhalten, ist eine Konstruktion mit doppelten und zueinander versetzten Holzständern notwendig. Bei einer Ausführung aus Metall ist ein einfaches Ständerwerk ausreichend. Daraus resultieren ein schlankerer Wandaufbau und eine geringere Konstruktionsgrundfläche. Die Dämmung muss hohlraumfüllend eingebracht werden und aus nichtbrennbaren Materialien bestehen. Die Beplankung des Ständerwerks kann, sofern ein Nachweis über die Feuerwiderstandsdauer der Wand von 30 Minuten (notwendiger Flur) geführt werden kann, mit Gipsbauplatten als auch Lehm- oder Lehmbauplatten erfolgen.

Als Alternative wird die Flurwand auch tragend in Brettsperrholz oder als Holztafelbauwand aufgeführt. Die Dimensionierung der tragenden Elemente ist von der Belastung abhängig. Die Alternativen sind als tragende aussteifende und raumabschließende Bauteile in der Gebäudeklasse 5 abweichend feuerbeständig auszuführen. Für die Anwendung der Holztafelbauwand sind wie in Kapitel 4.2.2 beschrieben die Hohlräume mit nichtbrennbaren Dämmstoffen auszufüllen. Ebenfalls ist, wie in Kapitel 3.2.1 beschrieben, eine Anwendung in der Gebäudeklasse 5 nach aktueller MHolzBauRL 2022 nicht geregelt.

Zur Einhaltung des geforderten Luftschallschutzes ist in beiden Varianten das Anbringen einer Vorsatzschale notwendig. Die schallschutztechnische Einordnung ist Tabelle 16 zu entnehmen.

Tabelle 16: Schallschutz der Flurwände

Flurwände	Ergebnisse Berechnung R'_{w} [dB]	Schallschutz-technische Einordnung	Orientierung an
FW_HTB_GKP_t	53	Basis	(Informationsdienst Holz 2019) Tab. 41 Z. 3
FW_BSP_GKP_t	55	Basis	(Informationsdienst Holz 2019) Tab. 42 Z. 1
FW_HTB_GKP	54	Basis	(Knauf Gips KG 2019, S. 7)
FW_HTB_LBP	58	Basis+	(CLAYTEC GmbH & Co. KG 2022) Tab. 13 Art.Nr 09.015
FW_MSt_GKP	47,1	Nicht ausreichend ^a	(Knauf Gips KG 2020, S. 10)
FW_MSt_LBP	48	Nicht ausreichend ^a	(CLAYTEC GmbH & Co. KG 2022) Tab. 13 Art.Nr 09.015
^a nicht ausreichend für Wände neben Hausfluren, jedoch ausreichend für Wände zwischen Unterrichtsräumen oder ähnlichen Räumen untereinander und zu Fluren $R'_{w,erf} = 47$ dB			

Der Raumabschluss der nichttragenden Wände wird mithilfe des Berechnungsverfahrens des Raumabschlusses nach prEN 1995-1-2 nachgewiesen. Die Ergebnisse der Berechnung sind Tabelle 17 zu entnehmen. Zusätzlich werden die Ergebnisse mit Herstellerkatalogen verglichen (Knauf Gips KG 2019, 2020; CLAYTEC GmbH & Co. KG 2022). Bei den tragenden Wänden wurden die Konstruktionsregeln entsprechend Kapitel 3.2.1 eingehalten. Die Tragfähigkeit muss im jeweiligen Anwendungsfall individuell überprüft werden.

Tabelle 17: Raumabschluss der Flurwände

Flurwände	Erforderlicher Raumabschluss [min]	Ergebnisse Berechnung des Raumabschlusses nach prEN 1995-1-2 [min] ^a
FW_HTB_GKP_t	90	165
FW_BSP_GKP_t	90	118
FW_HTB_GKP	30	117
FW_HTB_LBP	30	110
FW_MSt_GKP	30	89
FW_MSt_LBP	30	54
^a für die Rohdichte der Dämmung werden 50 kg/m ³ angenommen		

Lebenszyklusanalyse

Das Treibhauspotenzial für Flurwände ist in Abbildung 37 für eine Nutzungsdauer von 100 Jahren dargestellt. Zusammenfassend ergeben sich folgende Ergebnisse:

- Niedrigstes GWP für Alternative FW_HTB_GKP (Skelettbau: Holzständer und Gipskartonplatten) mit 22,37 CO₂-Äq./m²

- Höchstes GWP für tragende Holztafel-Flurwand (FW_HTB_GKP_t) mit 78,76 CO₂-Äq./m²
- Einsparpotenzial GWP: bis zu 72 %

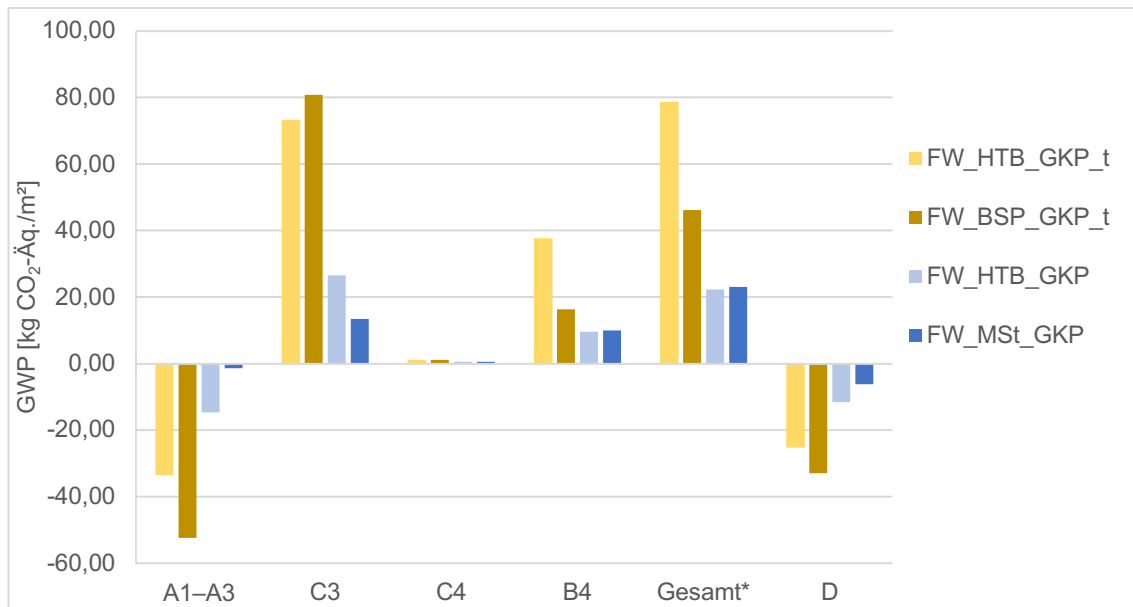


Abbildung 37: Treibhauspotenzial (GWP) für Flurwände, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1-A3, B4, C3, C4

Der Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PENRT) für Flurwände ist in Abbildung 38 dargestellt und zeigt ähnliche Ergebnisse:

- Niedrigste PENRT für Alternative FW_HTB_GKP mit 398,52 MJ/m²
- Höchste PENRT für FW_HTB_GKP_t mit 1.579,10 MJ/m²
- Einsparpotenzial PENRT: bis zu 75 %

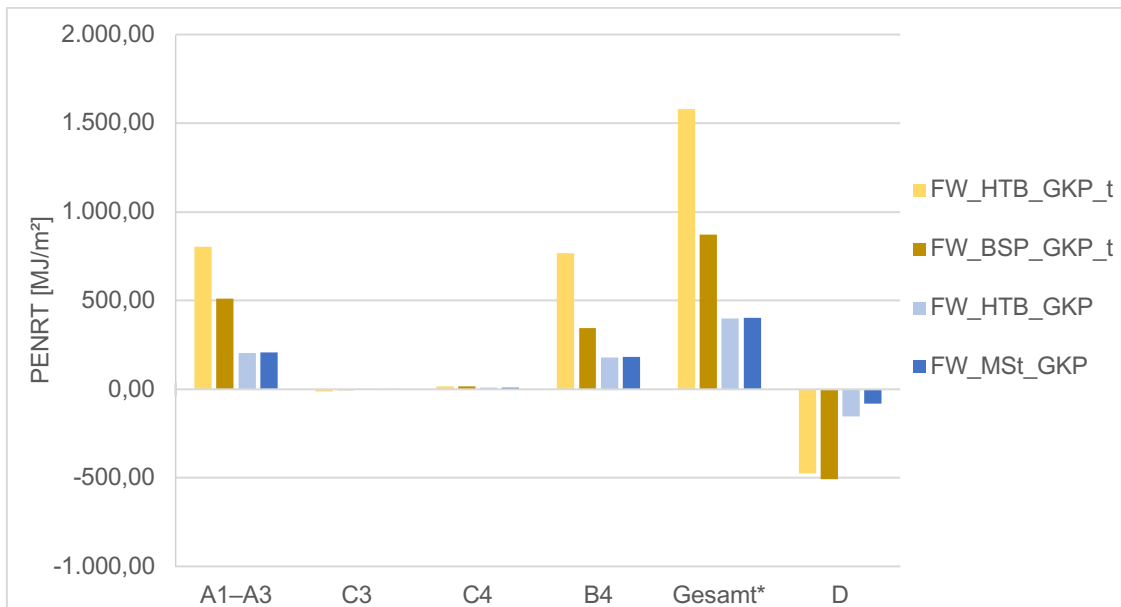


Abbildung 38: Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für Flurwände, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1-A3, B4, C3, C4

Nutzwertanalyse

Die Ergebnisse der Nutzwertanalyse werden für die Gewichtung *basis* (Gleichgewichtung aller Kategorien) und *eco* (Ressourceneinsatz und Klimaschutz werden deutlich höher gewichtet als Bauphysik und baukonstruktive Aspekte, siehe Kapitel 3.4.1) dargestellt. Wie aus Abbildung 39 und Abbildung 40 ersichtlich, ändert sich die Rangfolge der Alternativen zwischen der *basis*- und *eco*-Gewichtung. Die beste Alternative (= höchster Nutzwert) bleibt jedoch gleich und ist in beiden Fällen eine nichttragende Holzständerwand mit Gipskarton-Bepunktung.

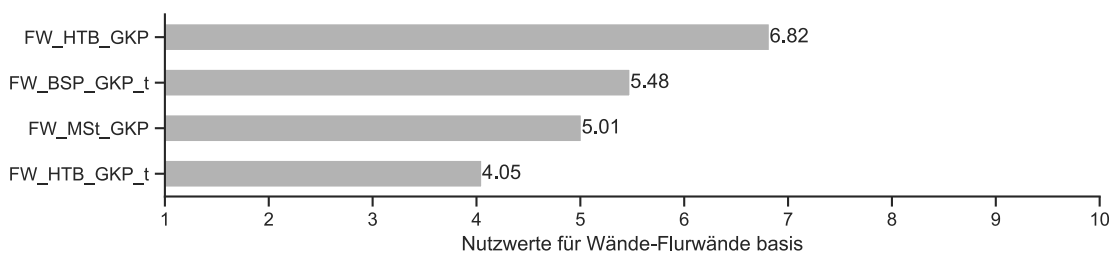


Abbildung 39: Ermittelte Nutzwertwerte für Flurwände, Gewichtung *basis*

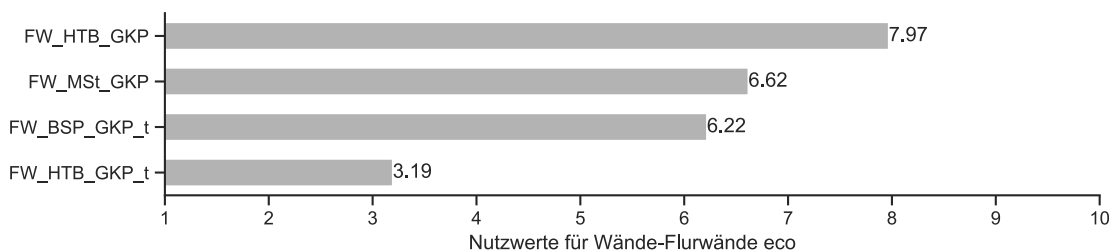


Abbildung 40: Ermittelte Nutzwertwerte für Flurwände, Gewichtung *eco*

Sensitivitätsanalyse Nutzwerte

Wie in Kapitel 3.4.1 beschrieben wird mittels Sensitivitätsanalyse untersucht, inwiefern sich die Rangfolge der Alternativen bei unterschiedlicher Gewichtung der Kriterien ändert. Es werden folgende Kriteriengewichtungen angenommen: Gewichtung *eco* (siehe Tabelle 8), Gleichgewichtung der Kriterien (*equal*), Glättung von Gewichtungsspitzen (*smooth*) und Spreizung der Gewichtung (*spread*). Für diese vier Varianten ist die Rangfolge der Nutzwerte für Flur-Wände in Abbildung 41 dargestellt. Bei allen Varianten ist die Holzständerwand mit Gipskarton-Beplankung (FW_HTB_GKP) die beste und der Wandaufbau FW_HTB_GKP_t die schlechteste Alternative. Unabhängig von der Gewichtung der einzelnen Kriterien ist demnach der Wandaufbau FW_HTB_GKP für Flur-Wände zu empfehlen.

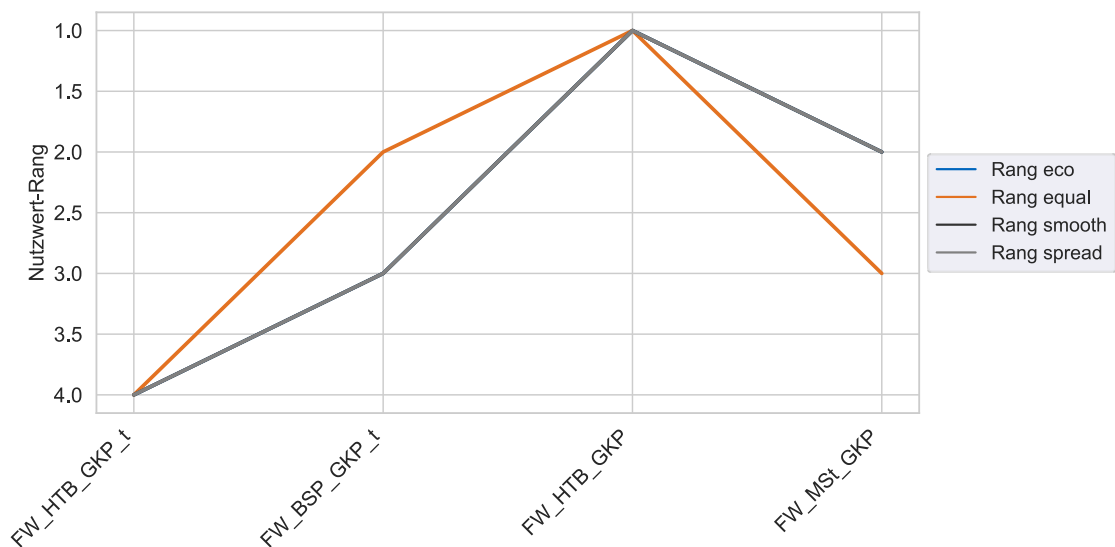


Abbildung 41: Rangfolge der Nutzwerte bei unterschiedlicher Gewichtung der Kriterien für Flur-Wände

Kosten-Nutzen-Analyse

Die Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse für die Flurwände sind Abbildung 42 zu entnehmen. Global gesehen sinken mit steigendem Nutzwert die Kosten. Es ist zu erkennen, dass die tragenden Bauweisen aufgrund des erhöhten Materialverbrauchs in höheren Kosten resultieren. Bei den nichttragenden Flurwänden stellt sich heraus, dass durch die doppelten Holzständer höhere Kosten entstehen, die jedoch auch zu einer signifikanten Nutzwertsteigerung führen. Generell ist aus ökonomischer und ökologischer Sicht ein Holzskelettbau mit nichttragenden Flurwänden zu empfehlen. Ebenfalls sind die einhergehenden geringeren Anforderungen an den Brandschutz und die erhöhte Raumflexibilität von Vorteil.

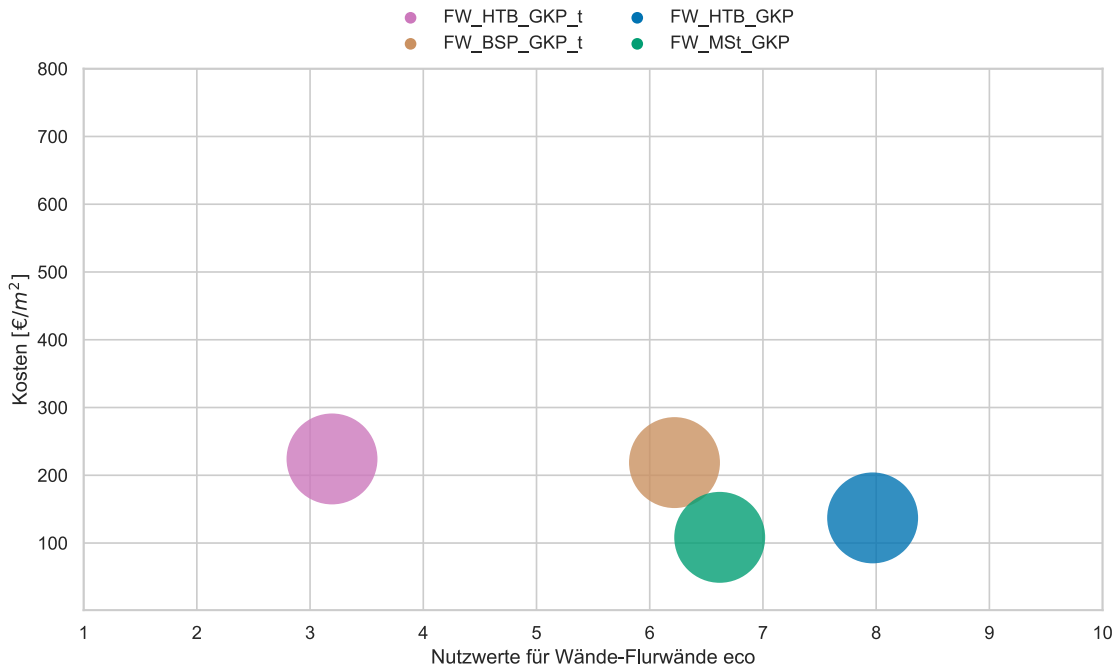
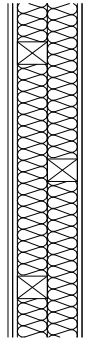


Abbildung 42: Kosten-Nutzen-Analyse der Flurwände

5.2.3. Trennwand

Trennwände sind nicht tragende Bauteile und werden in Trockenbauweise geplant. Diese können sowohl als Holzständer- als auch als Metallständerwand ausgeführt werden. Das Ständerwerk kann sowohl mit Gipsbau- als auch Lehmbauplatten beplankt werden.

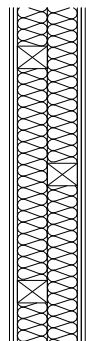
TW_HTB_GKP



[mm] Baustoffe

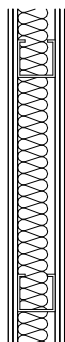
- 25,0 Gipsbauplatte Typ F, 2 x 12,5mm
- 160,0 Holzständer entkoppelt (2 x 60/80, e=0,625m)
- 160,0 Mineralwolle, Schmelzpunkt > 1.000°C
- 25,0 Gipsbauplatte Typ F, 2 x 12,5mm

TW_HTB_LBP



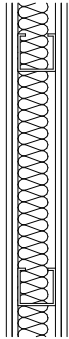
- 44,0 Lehmbauplatte schwer, 2x22 mm
- 160,0 Holzständer entkoppelt (2 x 60/80, e=0,625m)
- 160,0 Mineralwolle, Schmelzpunkt > 1.000°C
- 44,0 Lehmbauplatte schwer, 2x22 mm

TW_MSt_GKP



- 25,0 Gipsbauplatte Typ F, 2 x 12,5mm
- 100,0 Metalständer (CW-Profil, e=0,625m)
- 80,0 Mineralwolle, Schmelzpunkt > 1.000°C
- 25,0 Gipsbauplatte Typ F, 2 x 12,5mm

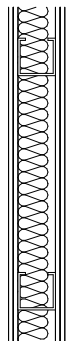
TW_MSt_LBP



[mm] Baustoffe

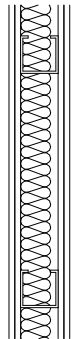
- 32,0 Lehmbauplatte schwer, 2x16 mm
- 100,0 Metallständer (CW-Profil, e=0,625m)
- 80,0 Mineralwolle, Schmelzpunkt > 1.000°C
- 32,0 Lehmbauplatte schwer, 2x16 mm

TW_MSt_GKP



- 25,0 Gipsbauplatte Typ F, 2 x 12,5mm
- 100,0 Metallständer (CW-Profil, e=0,625m)
- 80,0 Mineralwolle, Schmelzpunkt > 1000°C
- 25,0 Gipsbauplatte Typ F, 2 x 12,5mm

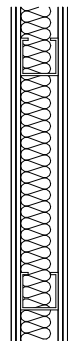
TW_MSt_LBP



[mm] Baustoffe

- 32,0 Lehmbauplatte schwer, 2x16 mm
- 100,0 Metallständer (CW-Profil, e=0,625m)
- 80,0 Mineralwolle, Schmelzpunkt > 1.000°C
- 32,0 Lehmbauplatte schwer, 2x16 mm

TW_MSt_GKP



- 25,0 Gipsbauplatte Typ F, 2 x 12,5mm
- 100,0 Metallständer (CW-Profil, e=0,625m)
- 80,0 Mineralwolle, Schmelzpunkt > 1000°C
- 25,0 Gipsbauplatte Typ F, 2 x 12,5mm

Abbildung 43: Bauteilaufbauten der Trennwände

Bauphysikalische Betrachtung

Nach BayBO 2007 Art. 27 Abs. 3 sind Trennwände in der Gebäudeklasse 5 als raumabschließende Bauteile feuerbeständig auszuführen.

Um den geforderten Schallschutz in Holzbauweise einzuhalten, ist eine Konstruktion mit doppelten und zueinander versetzten Holzständern notwendig. Bei einer Ausführung in Metall ist ein einfaches Ständerwerk ausreichend. Daraus resultieren ein schlankerer Wandaufbau und eine geringere Konstruktionsgrundfläche. Die schallschutztechnische Einordnung ist in Tabelle 18 dargestellt

Tabelle 18: Schallschutz Trennwände

Trennwände	Ergebnisse Berechnung R'_w [dB]	Schallschutz- technische Einordnung	Orientierung an

TW_HTB_GKP	54	Basis	(Knauf Gips KG 2019, S. 7)
TW_HTB_LBP	58	Basis+	(CLAYTEC GmbH & Co. KG 2022) Tab. 13 Art.Nr 09.014
TW_MSt_GKP	53	Basis	(Knauf Gips KG 2020, S. 10)
TW_MSt_LBP	49	Nicht ausreichend ^a	(CLAYTEC GmbH & Co. KG 2022) Tab. 13 Art.Nr 09.015
^a nicht ausreichend für Wände neben Hausfluren, jedoch ausreichend für Wände zwischen Unterrichtsräumen oder ähnlichen Räumen untereinander und zu Fluren $R'_{w,erf} = 47$ dB			

Die Dämmung muss hohlraumfüllend eingebracht werden und aus nichtbrennbaren Materialien bestehen. Die Beplankung des Ständerwerks kann sowohl mit Gipsbauplatten als auch mit Lehmbauplatten erfolgen. Der Raumabschluss der nichttragenden Wände wird mithilfe des Berechnungsverfahrens des Raumabschlusses gemäß prEN 1995-1-2 nachgewiesen. Die Ergebnisse der Berechnung sind Tabelle 19 zu entnehmen. Zusätzlich werden die Ergebnisse mit Herstellerkatalogen verglichen (CLAYTEC GmbH & Co. KG 2022; Knauf Gips KG 2019, 2020).

Tabelle 19: Raumabschluss Trennwände

Flurwände	Erforderlicher Raumabschluss [min]	Ergebnisse Berechnung des Raumabschlusses nach prEN 1995-1-2 [min] ^a
TW_HTB_GKP	90	117
TW_HTB_LBP	90	110
TW_MSt_GKP	90	89
TW_MSt_LBP	90	95
^a als Rohdichte der Dämmung werden 50 kg/m ³ angenommen		

Lebenszyklusanalyse

Das Treibhauspotenzial für Trennwände ist in Abbildung 44 für eine Nutzungsdauer von 100 Jahren dargestellt. Zusammenfassend ergeben sich folgende Ergebnisse:

- Niedrigstes GWP für Alternative TW_MSt_LBP (Metallständerwand mit Beplankung aus Lehmbauplatten) mit 13,73 CO₂-Äq./m²
- Höchstes GWP für Holzständerwand mit Gipskartonbeplankung (TW_HTB_GKP) mit 26,87 CO₂-Äq./m²
- Einsparpotenzial GWP bei Auswahl einer Trennwand: bis zu 49 %

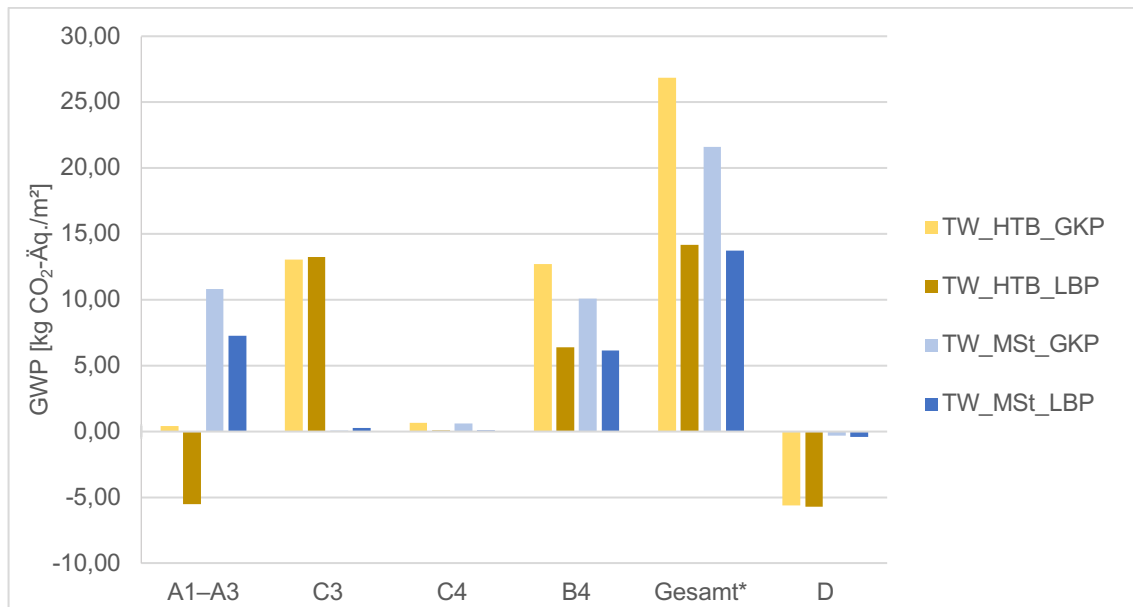


Abbildung 44: Treibhauspotenzial (GWP) für Trennwände, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4

Der Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PENRT) für Trennwände ist in Abbildung 45 dargestellt. Folgende Ergebnisse lassen sich ablesen:

- Niedrigste PENRT für Alternative TW_MSt_GKP mit 383,45 MJ/m²
- Höchste PENRT für TW_HTB_LBP mit 460,78 MJ/m²
- Einsparpotenzial PENRT bei Auswahl einer Flurwand: bis zu 17 %

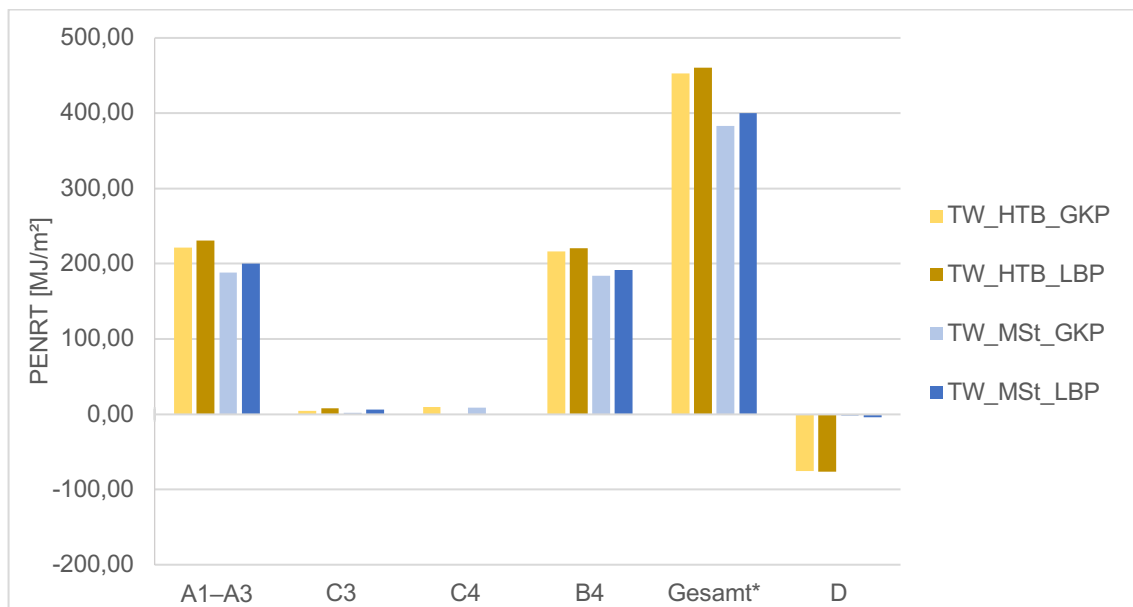


Abbildung 45: Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für Trennwände, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4

Nutzwertanalyse

Für Trennwände ist die Rangfolge der Alternativen für beide Gewichtungen unverändert, siehe Abbildung 46 und Abbildung 47. Damit hat die Gewichtung *basis* oder *eco* keinen Einfluss auf die Rangfolge der Alternativen dieser Wandtypen; in beiden Fällen ist eine Trennwand in Holzständerbauweise mit einer Beplankung aus Lehmbauplatten gegenüber den anderen Konstruktionsaufbauten zu bevorzugen.

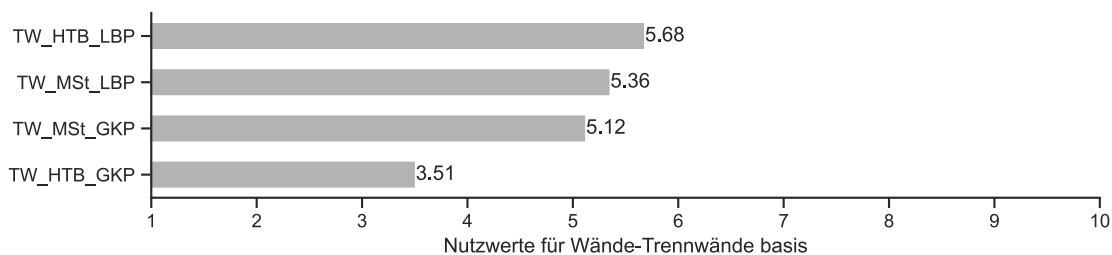


Abbildung 46: Ermittelte Nutzwertwerte für Trennwände, Gewichtung *basis*

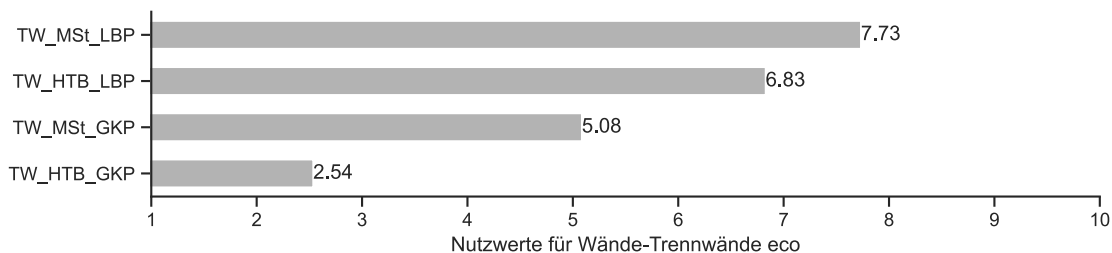


Abbildung 47: Ermittelte Nutzwertwerte für Trennwände, Gewichtung *eco*

Sensitivitätsanalyse Nutzwerte

Für Trennwände sind die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse gemäß Kapitel 3.4.1 für die Kriteriengewichtungen *eco*, *equal*, *smooth* und *spread* in Abbildung 48 dargestellt. Bei allen Varianten ist die Metallständerwand mit Lehmbauplatten-Beplankung (TW_MSt_LBP) die beste und die Holzständerwand mit Gipskarton-Beplankung (TW_HTB_GKP) die schlechteste Alternative. Unabhängig von der Gewichtung der einzelnen Kriterien ist demnach der Wandaufbau TW_MSt_LBP für Trennwände zu empfehlen.

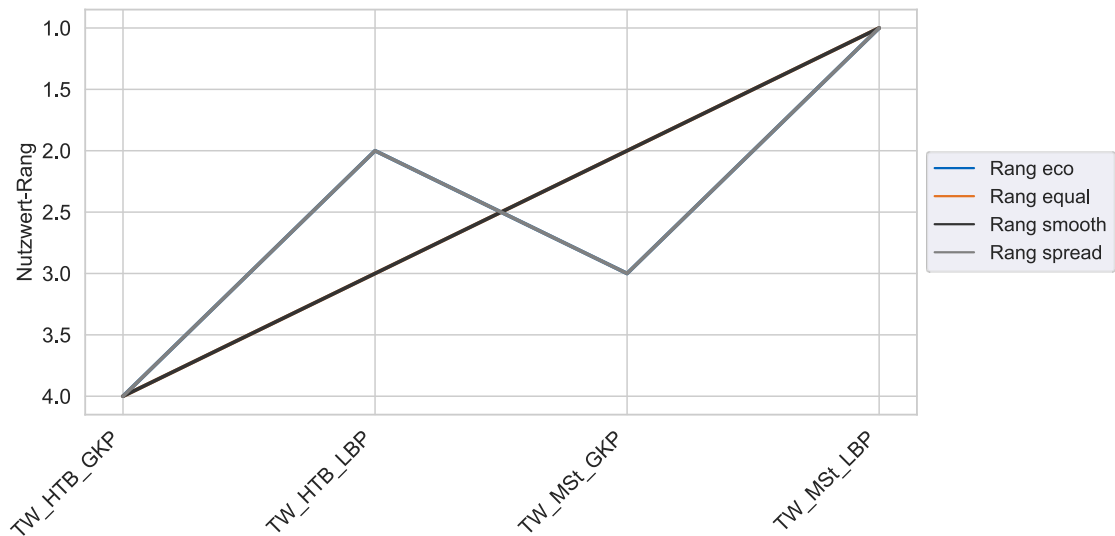


Abbildung 48: Rangfolge der Nutzwerte bei unterschiedlicher Gewichtung der Kriterien für Trennwände

Kosten-Nutzen-Analyse

Das Ergebnis der Kosten-Nutzen-Analyse ist in Abbildung 49 dargestellt. Aufgrund des höheren Nutzwerts und geringeren Preisniveaus bei identischer Bekleidung ist eine Ausführung mit Metallständern zu empfehlen. Über die Bekleidung ist festzustellen, dass die Lehmbauplatten einen höheren Nutzwert bei gleichzeitig höheren Kosten aufweisen.

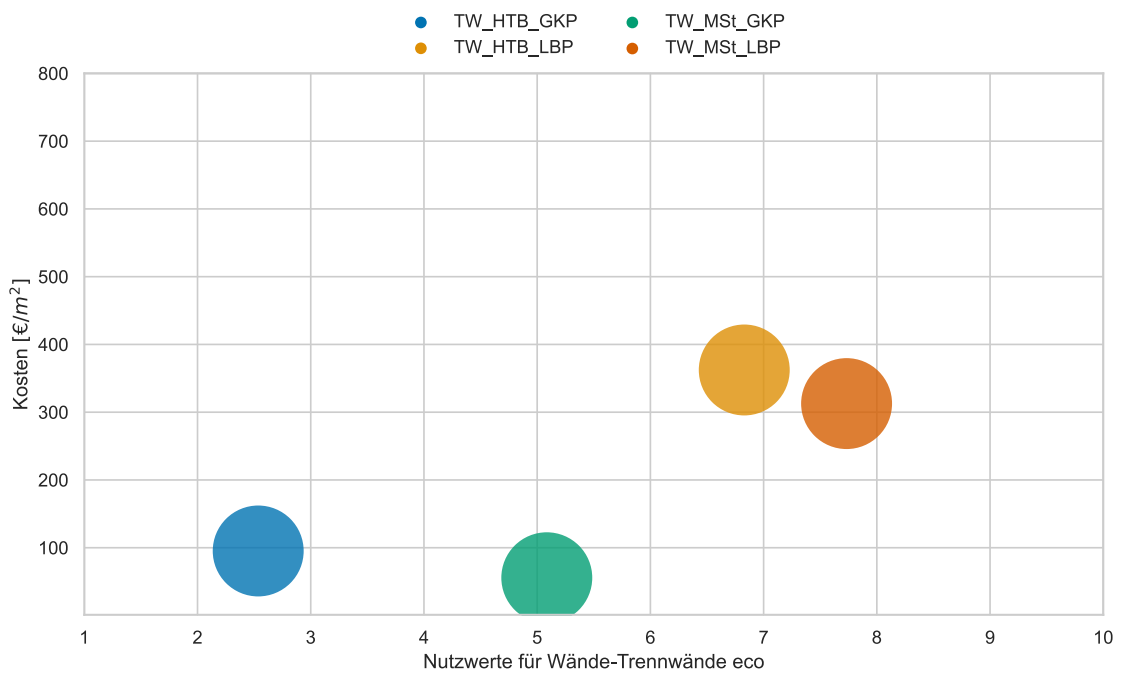
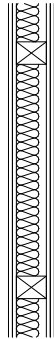


Abbildung 49: Kosten-Nutzen-Analyse der Trennwände

5.2.4. Bürowand (Trennwand ohne Anforderungen)

Bürowände in Trockenbauweise zwischen zwei Büros innerhalb eines brandschutztechnisch abgetrennten Bereichs im Sinne einer Nutzungseinheit können entweder mit einem Holz- oder Metallständerwerk konstruiert werden. Für beide Varianten ist ein Einfachständerwerk ausreichend. Die Hohlräume können mit Naturdämmstoffen bspw. Holzfaserplatten gedämmt werden. Das Ständerwerk kann sowohl mit Gipsbau- als auch Lehm- oder Holzbauplatten beplankt werden.

BW_HTB_LBP



[mm] Baustoffe

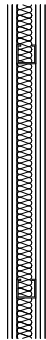
22,0 Lehm- oder Gipsbauplatte schwer, D22

80,0 Holzständer (60/80, e=0,625m)

60,0 Naturdämmstoff Holzfasermatten

22,0 Lehm- oder Gipsbauplatte schwer, D22

BW_MSt_GKP



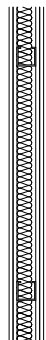
25,0 Gipsbauplatte Typ A, 2 x 12,5mm

50,0 Metallständer (CW-Profil, e=0,625m)

40,0 Naturdämmstoff Holzfasermatte

25,0 Gipsbauplatte Typ A, 2 x 12,5mm

BW_MSt_LBP



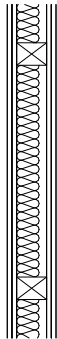
22,0 Lehm- oder Gipsbauplatte schwer, D22

50,0 Metallständer (CW-Profil, e=0,625m)

40,0 Naturdämmstoff Holzfasermatte

22,0 Lehm- oder Gipsbauplatte schwer, D22

BW_HTB_GKP



[mm] Baustoffe

25,0 Gipsbauplatte Typ A, 2 x 12,5mm

80,0 Holzständer (60/80, e=0,625m)

60,0 Naturdämmstoff Holzfasermatte

25,0 Gipsbauplatte Typ A, 2 x 12,5mm

Abbildung 50: Bauteilaufbauten Bürowände

Bauphysikalische Betrachtung

Da es sich um eine nichttragende Innenwand innerhalb eines brandschutztechnisch abgetrennten Bereichs im Sinne einer Nutzungseinheit handelt, ergeben sind keinerlei bauphysikalischen Anforderungen. Je nach Nutzerwunsch können auf Wände mit einem höheren bewerteten Bau-Schalldämmmaß zurückgegriffen werden. Die schallschutztechnische Einordnung ist Tabelle 20 zu entnehmen.

Tabelle 20 Schallschutz Bürowände

Bürowände	Ergebnisse Berechnung R'_w [dB]	Schallschutz-technische Einordnung	Orientierung an
BW_HTB_GKP	35	Keine Anforderung	(Knauf Gips KG 2019, S. 6)
BW_HTB_LBP	45	Keine Anforderung	(CLAYTEC GmbH & Co. KG 2022) Tab. 13 Art.Nr 09.014
BW_MSt_GKP	47,1	Keine Anforderung	(Knauf Gips KG 2020, S. 10)
BW_MSt_LBP	48	Keine Anforderung	(CLAYTEC GmbH & Co. KG 2022) Tab. 13 Art.Nr 09.014

Ebenfalls ergeben sich keine Anforderungen an den Raumabschluss der nichttragenden Wände. Die Ergebnisse der Berechnung nach prEN 1995-1-2 sind der Vollständigkeit halber in Tabelle 21 zusammengefasst. Zusätzlich werden die Ergebnisse mit Herstellerkatalogen verglichen (Knauf Gips KG 2020, 2019; CLAYTEC GmbH & Co. KG 2022).

Tabelle 21 Raumabschluss Bürowände

Flurwände	Erforderlicher Raumabschluss [min]	Ergebnisse Berechnung des Raumabschlusses nach prEN 1995-1-2 [min] ^a
BW_HTB_GKP	Keine Anforderungen	64
BW_HTB_LBP	Keine Anforderungen	42
BW_MSt_GKP	Keine Anforderungen	52
BW_MSt_LBP	Keine Anforderungen	23
^a als Rohdichte der Dämmung werden 40 kg/m ³ angenommen		

Lebenszyklusanalyse

Das Treibhauspotenzial für Bürowände ist in Abbildung 51 für eine Nutzungsdauer von 100 Jahren dargestellt. Zusammenfassend ergeben sich folgende Ergebnisse:

- Niedrigstes GWP für Alternative BW_MSt_LBP (Metallständerwand mit Beplankung aus Lehmbauplatten) mit 8,09 CO₂-Äq./m²
- Höchstes GWP für Holzständerwand mit Gipskartonbeplankung (BW_HTB_GKP) mit 23,08 CO₂-Äq./m²
- Einsparpotenzial GWP bei Auswahl einer Bürowand: bis zu 65 %

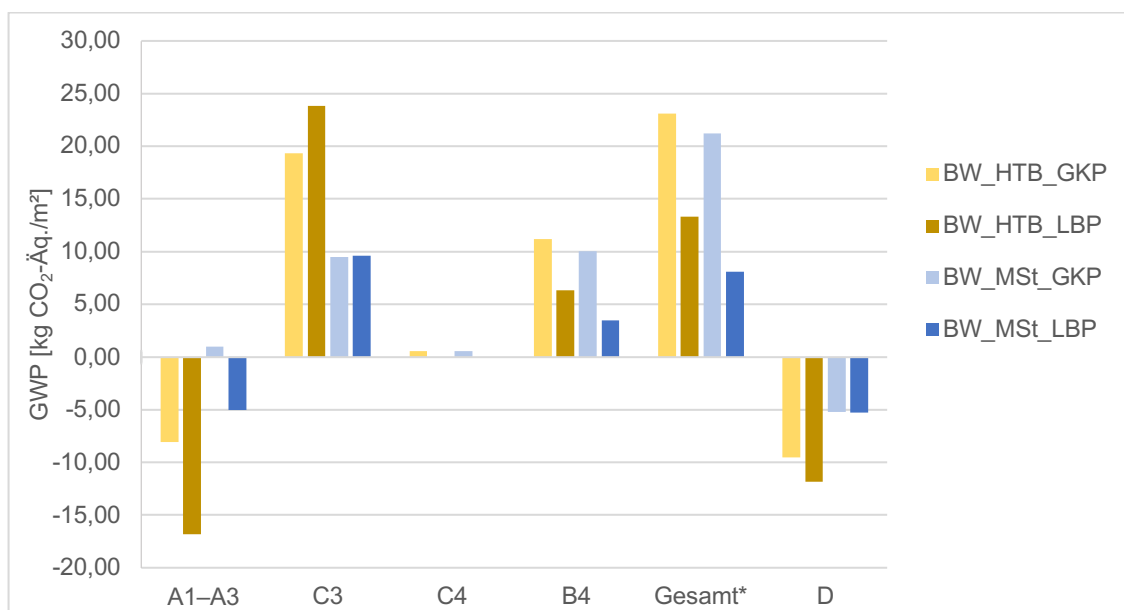


Abbildung 51: Treibhauspotenzial (GWP) für Bürowände, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4

Der Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PENRT) für Bürowände ist in Abbildung 52 dargestellt. Folgende Ergebnisse lassen sich ablesen:

- Niedrigste PENRT für Alternative BW_MSt_LBP mit 297,30 MJ/m²
- Höchste PENRT für BW_HTB_LBP mit 551,92 MJ/m²
- Einsparpotenzial PENRT bei Auswahl einer Bürowand: bis zu 46 %

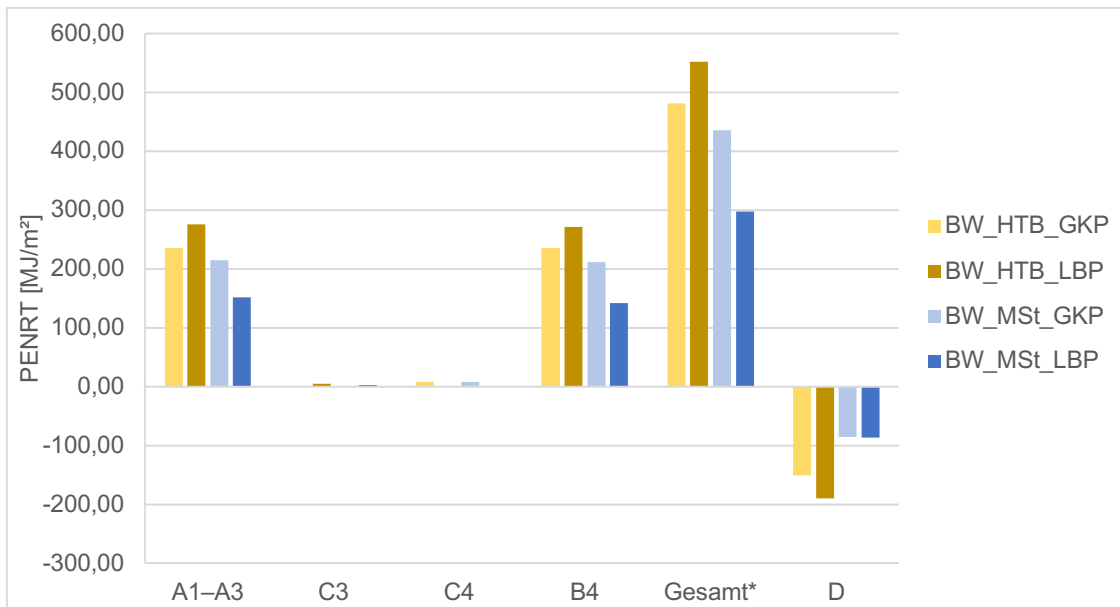


Abbildung 52: Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für Bürowände, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4

Nutzwertanalyse

Für Bürowände ist die Rangfolge der Alternativen für beide Gewichtungen unverändert, siehe Abbildung 53 und Abbildung 54. Damit hat die Gewichtung *basis* oder *eco* keinen Einfluss auf die Rangfolge der Alternativen dieser Wandtypen; in beiden Fällen ist eine Bürowand mit Metallständer und einer Beplankung aus Lehmbauplatten gegenüber den anderen Konstruktionsaufbauten zu bevorzugen.

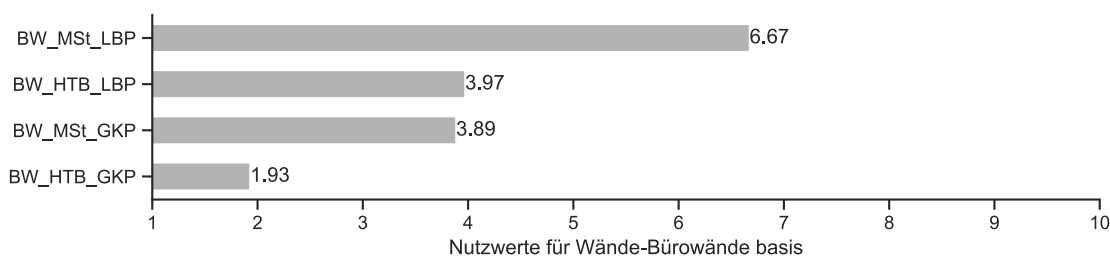


Abbildung 53: Ermittelte Nutzwertwerte für Bürowände, Gewichtung *basis*

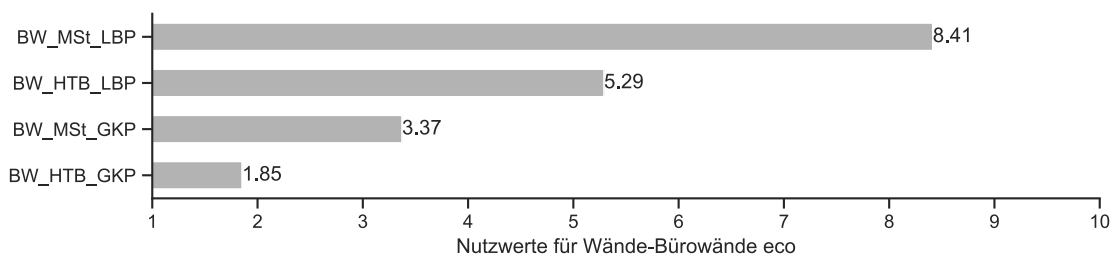


Abbildung 54: Ermittelte Nutzwertwerte für Bürowände, Gewichtung *eco*

Sensitivitätsanalyse Nutzwerte

Für Büro-Wände sind die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse gemäß Kapitel 3.4.1 für die Kriteriengewichtungen *eco*, *equal*, *smooth* und *spread* in Abbildung 55 dargestellt. Wie bei den Trennwänden ist bei allen Varianten die Metallständerwand mit Lehmbauplatten-Beplankung (BW_MSt_LBP) die beste und die Holzständerwand mit Gipskarton-Beplankung (BW_HTB_GKP) die schlechteste Alternative. Unabhängig von der Gewichtung der einzelnen Kriterien ist demnach der Wandaufbau BW_MSt_LBP für Bürotrennwände (Trennwände ohne Schallschutz-/Brandschutz-Anforderungen) zu empfehlen.

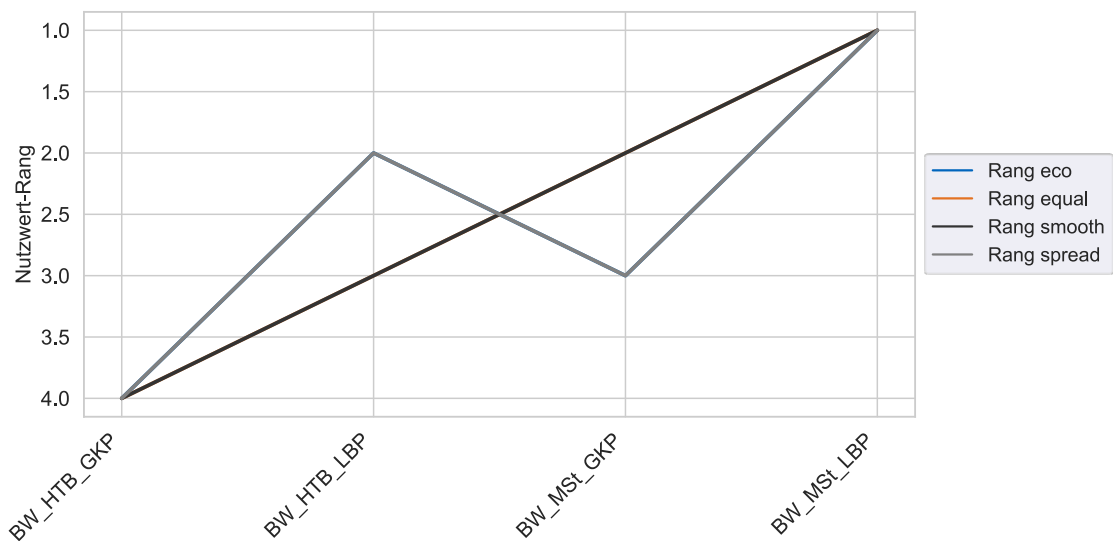


Abbildung 55: Rangfolge der Nutzwerte bei unterschiedlicher Gewichtung der Kriterien für Büro-Wände

Kosten-Nutzen-Analyse

Abbildung 56 zeigt die Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse der Bürowände. Es sind abhängig von der Bekleidungsart zwei Kostenebene zu identifizieren. Es ist festzustellen, dass die Lehmbauplatten einen höheren Nutzwert bei gleichzeitig höheren Kosten aufweisen. Generell ist aufgrund des bei gleichen Preisniveaus höheren Nutzwertes bei identischer Bekleidung eine Ausführung mit Metallständern zu empfehlen.

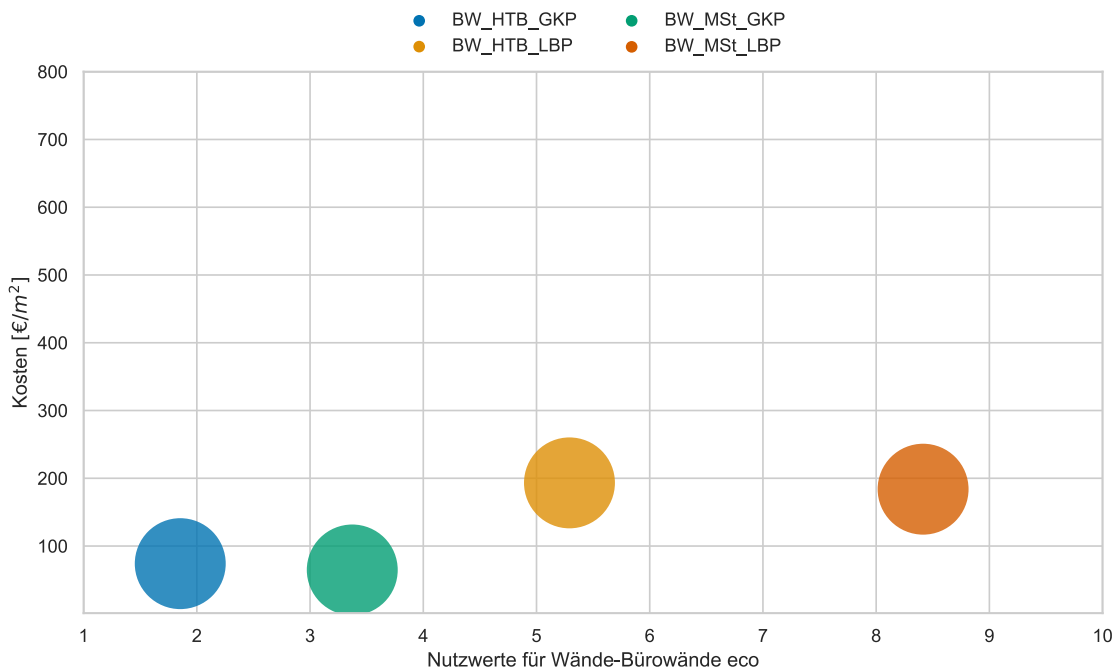


Abbildung 56: Kosten-Nutzen-Analyse der Bürowände

5.3. Handlungsempfehlung

Für die empfohlenen Baukonstruktionen wird die Variante mit dem jeweils höchsten Nutzwert bei der Gewichtung *eco* ausgewählt. Folgende Wände werden im Hinblick auf Ressourcen- und Klimaschutz empfohlen und werden bei der Betrachtung auf Raumebene in den jeweiligen Raumtypologien angewendet:

- Außenwand: Holzskelettbau (AW_HTB)
- Flurwand: Skelettbau mit Holzständerwand und Gipskartonbeplankung (FW_HTB_GKP)
- Trennwand: Metallständerwand mit Beplankung aus Lehmbauplatten (TW_MSt_LBP)
- Bürowand: Metallständerwand mit Beplankung aus Lehmbauplatten (BW_MSt_LBP)

6. Raumtypologie Büro

6.1. Grundriss und Anforderungen

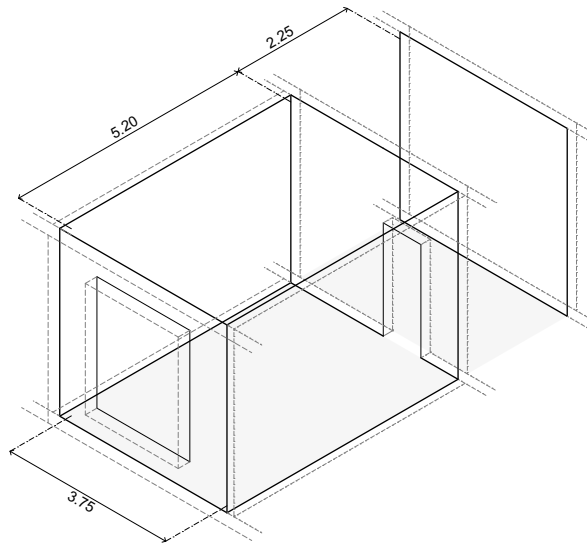


Abbildung 57: Axonometrie Büro (eigene Darstellung)

Die Raumgrößen der Büroeinheiten basieren auf der Baubeschreibung des StMWK für die UTN sowie auf einem Bedarfsplan und der ersten ausgeschriebenen Wettbewerbe (Hasse et al. 2020; doranth post architekten 2020a; Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst 2019, Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst 2021). Dieser fordert drei Raumgrößen für die Büronutzung (siehe Abbildung 58). Der kleinsten Büroeinheit mit 18 m^2 für 1-2 Arbeitsplätze folgt eine Einheit mit 36 m^2 für ca. 1-4 Arbeitsplätze und eine große Einheit mit 48 m^2 für ca. 5 Arbeitsplätze. Die Planung der Büroeinheiten orientiert sich an den Büromodulen aus der Raumbedarfsplanung (Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst 2019).

Ein Achsraster von $3,75 \text{ m}$ ($3 \times 1,25 \text{ m}$) in Fassadenrichtung ermöglicht eine Büromöblierung gemäß der Arbeitsstättenrichtlinie A1.2 (ASR A 1.2), wie in Abbildung 58 dargestellt. Daraus ergibt sich bei einer Raumgröße von 18 m^2 eine Deckenspannweite von $5,20 \text{ m}$. Mit dieser Raumtiefe können alle Raumgrößen der Büronutzung abgedeckt werden. Mit einer Fensterfläche von ca. $3,75 \text{ m}^2$ je Achsraster wird eine ausreichende Belichtung mit Tageslicht nach ASR A 3.4 gewährleistet.

Nach ASR A 1.2 sind für Arbeitsräume bis 50 m^2 eine lichte Raumhöhe von mindestens $2,50 \text{ m}$ gefordert. Für die Planung der Hochschulgebäude wird in Teilbereichen eine geschossweise Nutzungsmischung mit unterschiedlichen Raumgrößen erforderlich sein. Bei einer Nutzungsdauer von 100 Jahren und mehr, ist in diesem Zeitraum auch mit Veränderung des Raumbedarf zu rechnen. Eine ausreichende Nutzungsflexibilität ermöglicht Umbauten und gewährleistet eine längere Lebensdauer der Gebäude. Um

diese Flexibilität zu erreichen, wird daher mit einer lichten Raumhöhe der Büroeinheiten von 3,10 m geplant.

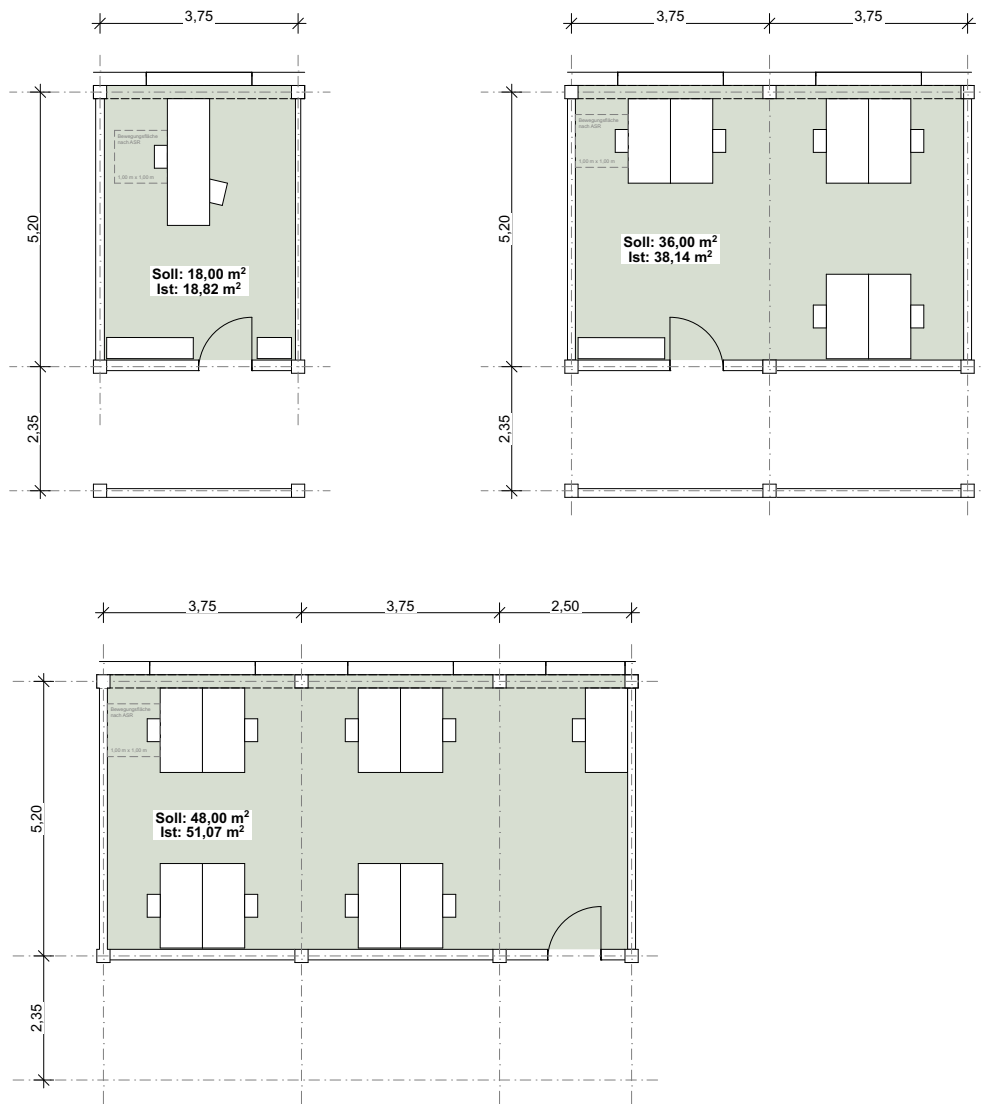


Abbildung 58: Grundrisse Büroeinheiten (eigene Darstellung nach Möblierungsvorschlag nach doranth post architekten (2020a) und Baubeschreibung Neubau StMWK (Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst 2019)

6.2. Bauteilebene

6.2.1. Geschossdecke

Für die Geschossdecke werden die Bauteile in der Holztafel-, Massivholz- und Holz-Beton-Verbundbauweise betrachtet (siehe Kapitel 4.2.4). Die tragenden Bauteile sind nach den bauphysikalischen Anforderungen dimensioniert und in Abbildung 59 dargestellt. Als Grundlage für die Boden- und Dachkonstruktionen wurden geprüfte Konstruktionen aus dem Bauteilkatalog des Informationsdienstes Holz, der DIN 4102-33 sowie dataholz.eu werden als Grundlage für die Boden- und Dachaufbauten ermittelt.

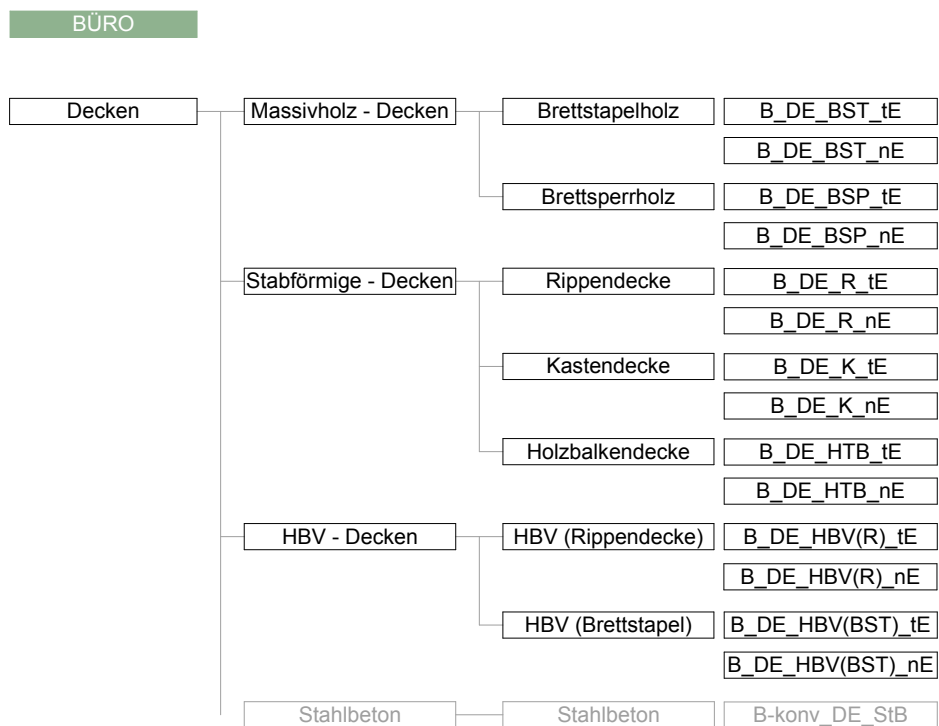
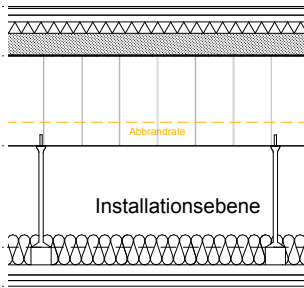


Abbildung 59: Übersicht Betrachtete Bauteile der Büro-Decken

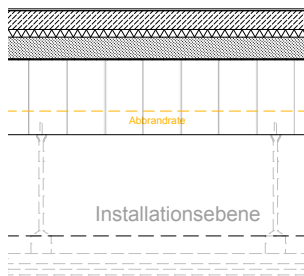
B_DE_BST_tE



[mm] Baustoffe

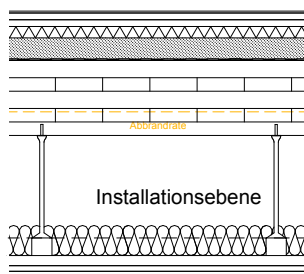
- 5,0 Bodenbelag Linoleum
- 36,0 Trockenestrich aus Gipsfaserplatten 2 x 18mm (EI90, $m' \geq 29 \text{ kg/m}^2$)
- 30,0 Trittschalldämmung MW ($s' \leq 30 \text{ MN/m}^3$)
- 60,0 Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$) auf Rieselschutzvlies (PP)
- 240,0 Brettstapelholz, verleimt, GI24h
- 270,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand $e = 400\text{mm}$)
- 80,0 Naturdämmstoff Holzfaserplatten
- 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

B_DE_BST_nE



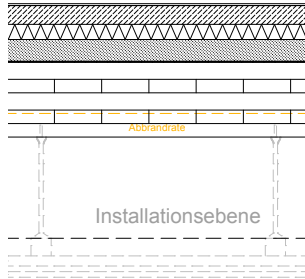
- 5,0 Bodenbelag Linoleum
- 50,0 Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)
- 40,0 Trittschalldämmung MW ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)
- 60,0 Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$) auf Rieselschutzvlies (PP)
- 200,0 Brettstapelholz, verleimt, GI24h
- 270,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand $e = 400\text{mm}$)
- 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

B_DE_BSP_tE



- 5,0 Bodenbelag Linoleum
- 36,0 Trockenestrich aus Gipsfaserplatten 2 x 18mm (EI90, $m' \geq 29 \text{ kg/m}^2$)
- 30,0 Trittschalldämmung MW ($s' \leq 30 \text{ MN/m}^3$)
- 60,0 Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$) auf Rieselschutzvlies (PP)
- 200,0 Brettsperrholz 5-lagig CL24
- 270,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand $e = 400\text{mm}$)
- 80,0 Naturdämmstoff Holzfaserplatten
- 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

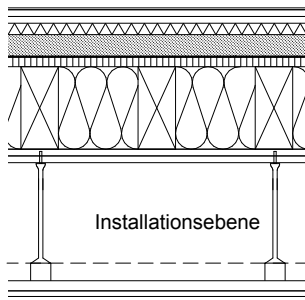
B_DE_BSP_nE



[mm] Baustoffe

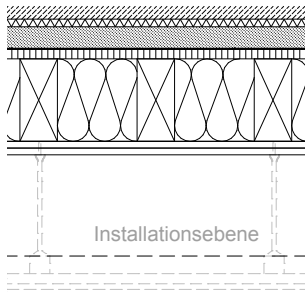
- 5,0 Bodenbelag Linoleum
- 50,0 Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)
- 40,0 Trittschalldämmung MW ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)
- 60,0 Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$)
auf Rieselschutzvlies (PP)
- 200,0 Brettsper Holz 5-lagig CL24
- 270,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius
(Achsabstand $e = 400\text{mm}$)
- 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27)
Gipskartonplatten $2 \times 12,5\text{mm}$ ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

B_DE_R_tE



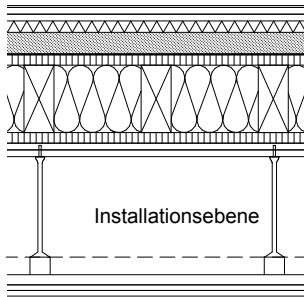
- 5,0 Bodenbelag Linoleum
- 36,0 Trockenestrich aus Gipsfaserplatten $2 \times 18\text{mm}$ (EI90, $m' \geq 25 \text{ kg/m}^2$)
- 30,0 Trittschalldämmung MW ($s' \leq 30 \text{ MN/m}^3$)
- 60,0 Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$) auf Rieselschutzvlies (PP)
- 28,0 Dreischichtplatte, auf Träger geklebt
- 220,0 Brettschichtholz Träger GI24h ($100/220$, $e=0,3125\text{m}$)
- 220,0 Gefachdämmung Mineralwolle
- 36,0 Beplankung Gipskarton Feuerschutzplatten $2 \times 18 \text{ mm}$
- 270,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius
(Achsabstand $e = 400\text{mm}$)
- 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27)
Gipskartonplatten $2 \times 12,5\text{mm}$ ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

B_DE_R_nE



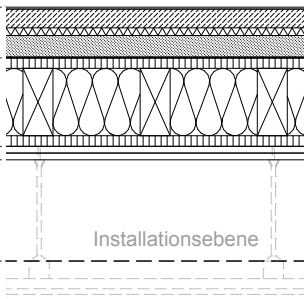
- 5,0 Bodenbelag Linoleum
- 50,0 Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)
- 20,0 Trittschalldämmung MW ($s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$)
- 60,0 Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$)
auf Rieselschutzvlies (PP)
- 28,0 Dreischichtplatte, auf Träger geklebt
- 220,0 Brettschichtholz Träger GI24h ($100/220$, $e=0,3125\text{m}$)
- 220,0 Gefachdämmung Mineralwolle
- 36,0 Beplankung Gipskarton Feuerschutzplatten $2 \times 18 \text{ mm}$
- 270,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius
(Achsabstand $e = 400\text{mm}$)
- 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27)
Gipskartonplatten $2 \times 12,5\text{mm}$ ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

B_DE_K_tE



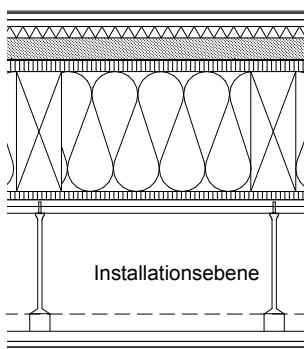
- [mm] Baustoffe
- 5,0 Bodenbelag Linoleum
 - 36,0 Trockenestrich aus Gipsfaserplatten ($m' \geq 25 \text{ kg/m}^2$)
 - 30,0 Trittschalldämmung MW ($s' \leq 30 \text{ MN/m}^3$)
 - 60,0 Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$) auf Rieselschutzvlies (PP)
 - 28,0 Dreischichtplatte, auf Träger geklebt
 - 180,0 Brettschichtholz, GL24h (80/180, $e=0,3125\text{m}$)
 - 180,0 Gefachdämmung Mineralwolle
 - 28,0 Dreischichtplatte auf Träger geklebt
 - 36,0 Beplankung Gipskarton Feuerschutzplatten 2 x 18 mm
 - 270,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil Nonius (Achsabstand $e = 400\text{mm}$)
 - 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

B_DE_K_nE



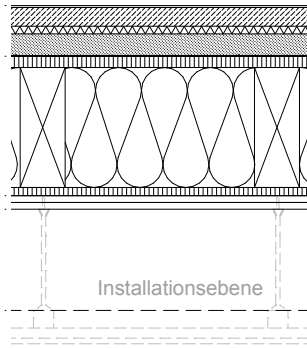
- [mm] Baustoffe
- 5,0 Bodenbelag Linoleum
 - 50,0 Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)
 - 20,0 Trittschalldämmung MW ($s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$)
 - 60,0 Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$) auf Rieselschutzvlies (PP)
 - 28,0 Dreischichtplatte, auf Träger geklebt
 - 180,0 Brettschichtholz, GL24h (80/180, $e=0,3125\text{m}$)
 - 180,0 Gefachdämmung Mineralwolle
 - 28,0 Dreischichtplatte auf Träger geklebt
 - 36,0 Beplankung Gipskarton Feuerschutzplatten 2 x 18 mm
 - 270,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand $e = 400\text{mm}$)
 - 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

B_DE_HTB_tE



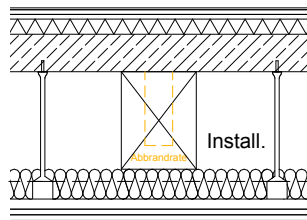
- 5,0 Bodenbelag Linoleum
- 36,0 Trockenestrich aus Gipsfaserplatten ($m' \geq 25 \text{ kg/m}^2$)
- 30,0 Trittschalldämmung MW ($s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$)
- 60,0 Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$) auf Rieselschutzvlies (PP)
- 30,0 OSB-Platte ($m' \geq 15 \text{ kg/m}^2$), lagegesichert auf Balken
- 320,0 Brettschichtholz, GI24h (120/320, $e=0,625\text{m}$)
- 320,0 Gefachdämmung Mineralwolle
- 22,0 OSB-Platte
- 36,0 Beplankung Gipskarton Feuerschutzplatten 2 x 18 mm
- 270,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand $e = 400\text{mm}$)
- 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

B_DE_HTB_nE



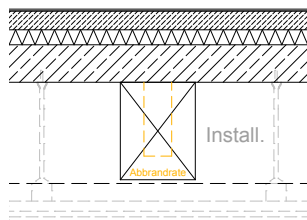
[mm]	Baustoffe
5,0	Bodenbelag Linoleum
50,0	Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)
20,0	Trittschalldämmung MW ($s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$)
60,0	Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$) auf Rieselschutzvlies (PP)
30,0	OSB Platte ($m' \geq 15 \text{ kg/m}^2$), lagegesichert auf Balken
320,0	Brettschichtholz GI24h (120/320, $e=0,625\text{m}$)
320,0	Gefachdämmung Mineralwolle
22,0	OSB Platte
36,0	Beplankung Gipskarton Feuerschutzplatten 2 x 18 mm
270,0	Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand $e = 400\text{mm}$)
100,0	Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

B_DE_HBV(R)_tE



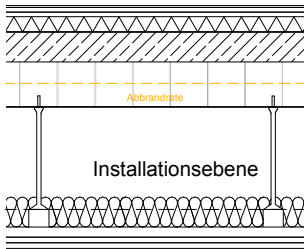
5,0	Bodenbelag Linoleum
25,0	Trockenestrich aus Gipsfaserplatten ($m' \geq 25 \text{ kg/m}^2$)
40,0	Trittschalldämmung MW ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)
100,0	Beton C30/37
260,0	Brettschichtholz, GI24h (200/260, $e=0,94\text{m}$)
270,0	Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand $e = 400\text{mm}$)
80,0	Naturdämmstoff Holzfasermatten

B_DE_HBV(R)_nE



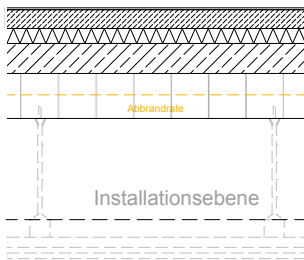
5,0	Bodenbelag Linoleum
50,0	Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)
40,0	Trittschalldämmung MW ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)
100,0	Beton C30/37
260,0	Brettschichtholz, GI24h (200/260, $e=0,94\text{m}$)
270,0	Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand $e = 400\text{mm}$)
100,0	Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

B_DE_HBV(BST)_tE



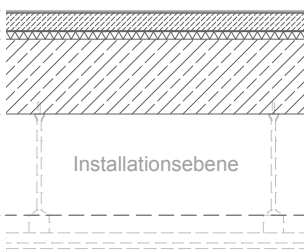
[mm]	Baustoffe
5,0	Bodenbelag Linoleum
25,0	Trockenestrich aus Gipsfaserplatten ($m' \geq 25 \text{ kg/m}^2$)
40,0	Trittschalldämmung ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)
80,0	Beton C30/37
120,0	Brettstapelelement, gedübelt, GI24h
270,0	Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand $e = 400\text{mm}$)
80,0	Naturdämmstoff Holzfasermatten
100,0	Abhangdecke mit UA - Profil (40/50)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten $2 \times 12,5\text{mm}$ ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

B_DE_HBV(BST)_nE



5,0	Bodenbelag Linoleum
50,0	Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)
40,0	Trittschalldämmung MW ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)
80,0	Beton C30/37
120,0	Brettstapelelement, gedübelt, GI24h
270,0	Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand $e = 400\text{mm}$)
100,0	Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten $2 \times 12,5\text{mm}$ ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

B-konv_DE_StB



5,0	Bodenbelag Linoleum
50,0	Zementestrich
0,4	PE - Folie, Trennlage
20,0	Polystyrol - Hartschaum 20-2 (Trittschalldämmung), EPS 040
200,0	Stahlbeton
270,0	Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand $e = 400\text{mm}$)
100,0	Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten $2 \times 12,5\text{mm}$ ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

Abbildung 60: Bauteilaufbauten Geschossdecke Büro

Bauphysikalische Betrachtung

Die Bauweisen müssen die in Kapitel 4.2.2 beschriebenen Anforderungen an den Brandschutz erfüllen. Unter der Annahme, dass die brandschutztechnisch abgetrennten Bereiche im Sinne einer Nutzungseinheit kleiner als 200 m² sind und zwei bauliche Rettungswege vorhanden sind, ist eine Abweichung auf Verzicht der Brandschutzbekleidung für die Massivholzdecken in den Büroräumen denkbar. Die Bekleidung der Wände ist in Tabelle 2 beschrieben auszuführen. Bei der Verwendung einer Installationsebene ist die Massivholzdecke weiterhin als eine Massivholzdecke nach MHolzBauRL 2022 mit brennbaren Bauteiloberflächen zu betrachten. Trotz der baurechtlich möglichen Anwendung wird eine Bekleidung empfohlen, um eine Brandentwicklung und Weiterleitung im Zwischenraum zu reduzieren (nicht kontrollierbare Hohlraumbrände).

Unterhalb des Estrichsystems und der Trittschalldämmung benötigen die Holzdeckensysteme zur Beschwerung der Rohdecke zusätzlich eine Schüttung. Einerseits um für den Luft- und Trittschallschutz ausreichend Masse im Bauteil zu erhalten, andererseits um das Schwingungsverhalten zu verbessern. Bei der Holz-Beton-Verbundbauweise ist keine Schüttung notwendig, da diese bereits aufgrund der des Betons eine ausreichende Masse aufweist. Die schallschutztechnische Einordnung erfolgt in Tabelle 22.

Tabelle 22: Schallschutz Raumtypologie Büro

Raumtypologie Büro	Ergebnisse Berechnung [dB]			Schallschutz- technische Einordnung	Orientierung an
	R' _w	L' _{n,w}	L' _{n,w} ^a		
Geschossdecken					
B_DE_BST_nE	67	51	49	Basis	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 26 Z.6)
B_DE_BST_tE	71	47	59	Basis	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 27 Z.4)
B_DE_BSP_nE	66	51	49	Basis	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 26 Z.8)
B_DE_BSP_tE	71	47	59	Basis	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 27 Z.4)
B_DE_R_nE	67	52	49	Basis	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 24 Z.4)
B_DE_R_tE	73	46	49	Basis +	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 25 Z.29)
B_DE_K_nE	67	52	49	Basis	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 24 Z.4)
B_DE_K_tE	73	46	49	Basis +	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 25 Z.29)
B_DE_HBV(R)_nE	62	51	-	Basis	(DIN 4109-32, 4.8.4.4; DIN 4109-34, 4.5.4.2.1; DIN EN ISO 12354-2, Anhang B; Rabold et al. 2008)
B_DE_HBV(R)_tE	62	59	-	Nicht ausreichend	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 29 Z.1; Müller-BBM GmbH 2018)
B_DE_HBV(BST)_nE	60	50	-	Basis	(DIN 4109-32, 4.8.4.4; DIN 4109-34, 4.5.4.2.1;

					DIN EN ISO 12354-2, Anhang B; Rabold et al. 2008)
B_DE_HBV(BST)_tE	60	58	-	Nicht ausreichend	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 29 Z.1; Müller-BBM GmbH 2018)
B-konv_DE_Stb	55	34	-	Basis	(DIN 4109-32; DIN 4109-34)
^a Ergebnis unter Berücksichtigung der tiefen Frequenzen nach Gleichung Gl. 3.5					

Die Ausnutzungsgrade der Büro Geschosdecke sind in Abbildung 61 dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Aufbauten mit Trockenestrichen aufgrund der fehlenden mitwirkenden Steifigkeit eine Schwingungsproblematik besitzen. Auf die Darstellung der Ausnutzungsgrade der Heißbemessung wird bei der Stahlbetonbauweise aufgrund des durchgeführten vereinfachten Verfahrens verzichtet. Mit Ausnahme der HBV-Rippendecke ist bei allen Holzbaukonstruktionen der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit maßgebend. Bei der Beton Rippendecke werden die GZT(heiß) Nachweise maßgebend. Dies liegt einerseits an der fehlenden Bekleidung im Vergleich zu anderen Konstruktionen und andererseits am angesetzten Ausfällen des Verbundes zwischen Rippen und Stahlbeton im Brandfall. Die Verbundwirkung sollte im Brandfall nur angesetzt werden, wenn beispielsweise durch eine thermische Simulation nachgewiesen wird, dass diese im Brandfall wirksam bleibt oder wenn der Verbundbereich außerhalb der thermisch beanspruchten Zone liegt.

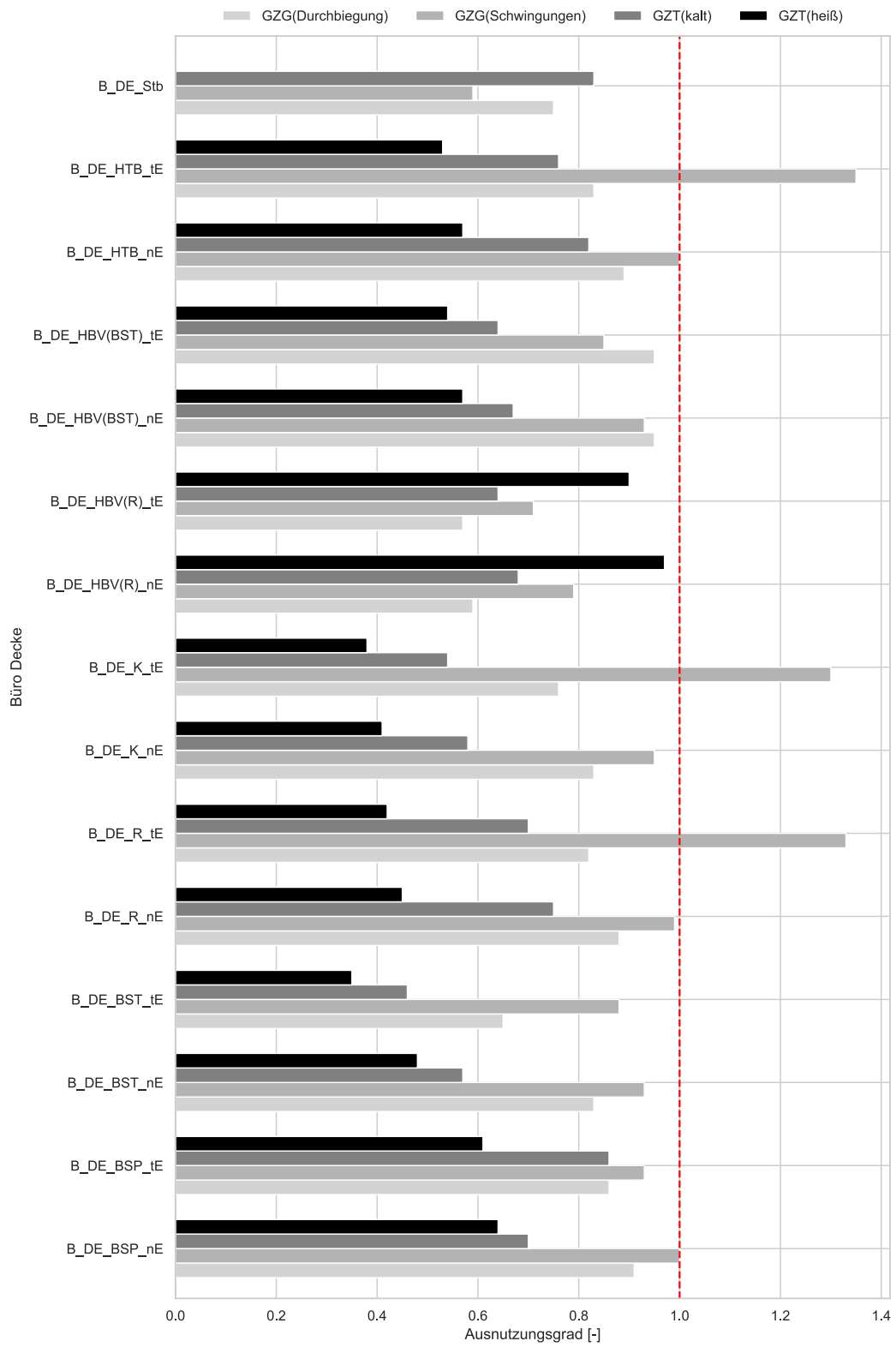


Abbildung 61: Ausnutzungsgrade Büro Geschosdecke

Lebenszyklusanalyse

Die Ergebnisse der LCA für die Umweltindikatoren Treibhauspotenzial (GWP) und Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) sind im Folgenden dargestellt. Die Ergebnisse für alle weiteren Kriterien sind im Anhang A Bauteilmatrix angegeben.

Das Treibhauspotenzial für Büro-Decken ist in Abbildung 62 für eine Nutzungsdauer von 100 Jahren dargestellt. Zusammenfassend ergeben sich folgende Ergebnisse:

- Niedrigstes GWP für Rippendecke mit Trockenestrich (B_DE_R_tE) mit 79,65 CO₂-Äq./m²
- Höchstes GWP für Holz-Beton-Verbund-Decke (Brettstapel) mit Nassestrich, B_DE_HBV(BST)_nE, mit 113,08 CO₂-Äq./m²
- Vergleich beste Alternative EDUwood (B_DE_R_tE) mit konventioneller Alternative (Stahlbetondecke mit Nassestrich, B-konv_DE_StB; GWP 128,78 CO₂-Äq./m²): Einsparpotenzial 38 %

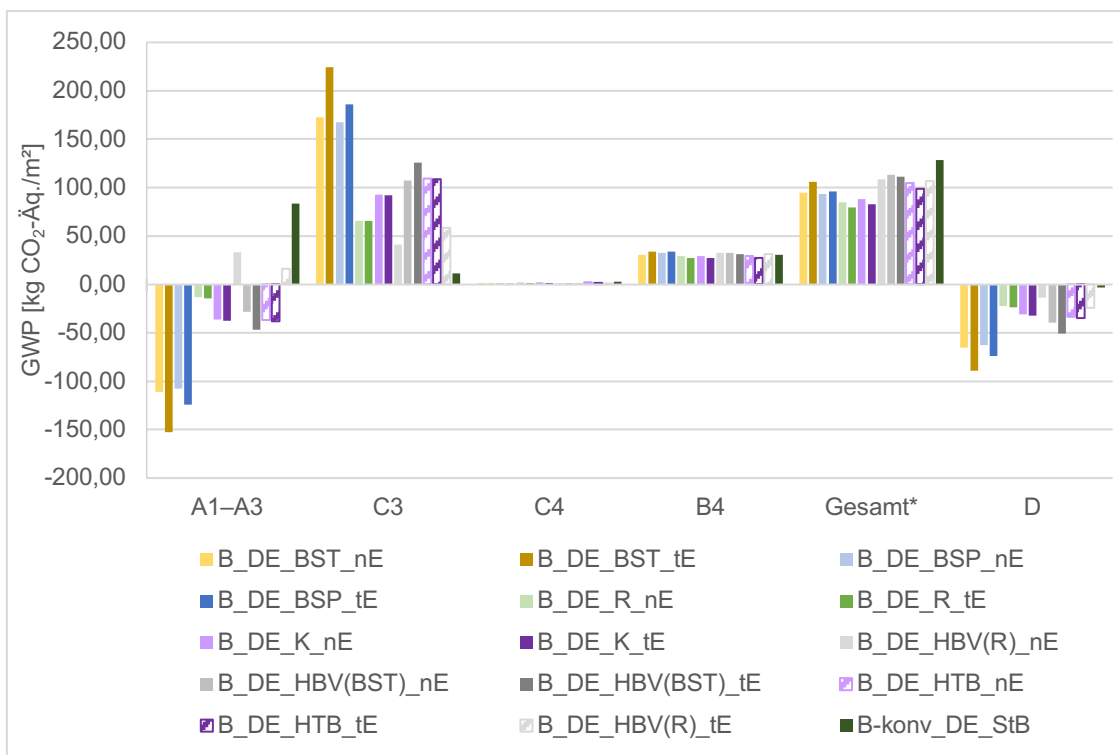


Abbildung 62: Treibhauspotenzial (GWP) für Büro-Decken, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4

Der Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PENRT) für Büro-Decken ist in Abbildung 63 dargestellt. Folgende Ergebnisse lassen sich ablesen:

- Niedrigste PENRT für Alternative B_DE_R_nE mit 1.798,30 MJ/m²
- Höchste PENRT für Brettstapeldecke mit Trockenestrich (B_DE_BST_tE) mit 2.543,00 MJ/m²

- Vergleich beste Alternative EDUwood (B_DE_R_nE) mit konventioneller Alternative (B-konv_DE_StB, PENRT 1.939,70 MJ/m²): Einsparpotenzial 7 %

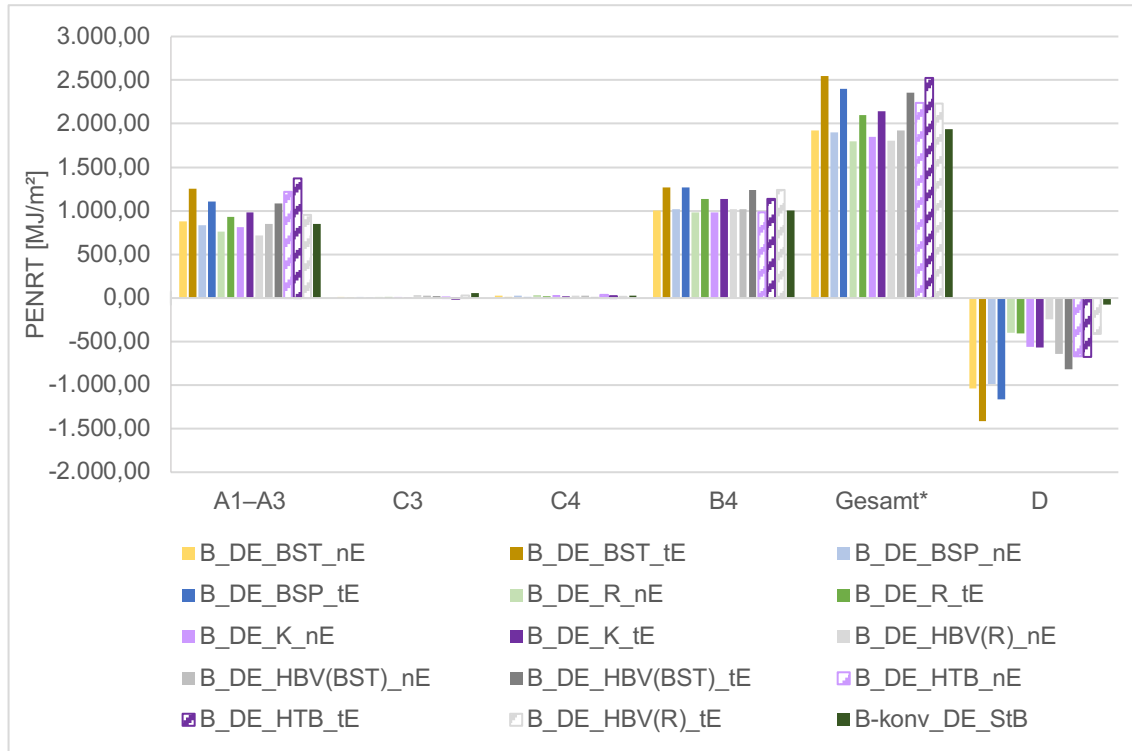


Abbildung 63: Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für Büro-Decken, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4

Nutzwertanalyse

Nachstehend werden die Ergebnisse der Nutzwertanalyse für die Geschossdecken Büro beschrieben. Die Berechnung erfolgt analog zu Kapitel 5.2 für die Gewichtungen *basis* und *eco*.

Wie aus Abbildung 64 und Abbildung 65 ersichtlich, ändert sich die Rangfolge der Alternativen zwischen der basis- und eco-Gewichtung. Die besten zwei Alternativen bleiben jedoch gleich. Diese sind Rippen- und Kastendecke jeweils mit Trockenestrich. Im Hinblick auf das Schwingungsverhalten werden diese Deckenalternativen für die Ausführung beim UTN Campus jedoch nicht empfohlen; hier besteht noch weiterer Forschungsbedarf, wie die ökologisch gut abschneidenden Alternativen auch den bauphysikalischen Anforderungen entsprechen können. Der Fokus für die Auswahl der Decken liegt daher auf den Ausführungsvarianten mit Nassestrich. Hier zeigt sich, dass die Rippendecke B_DE_R_nE die beste Alternative ist, sie belegt den 4. Platz für die Gewichtung *basis* und steigt auf den 3. Platz für die Gewichtung *eco*. Auffällig ist die erhebliche Differenz zwischen dem Nutzwert der besten EDUwood-Alternativen und der konventionellen Stahlbetondecke: Die Holzbauweisen weisen einen mehr als doppelt so hohen Wert auf und bieten somit einen deutlich höheren Nutzen.

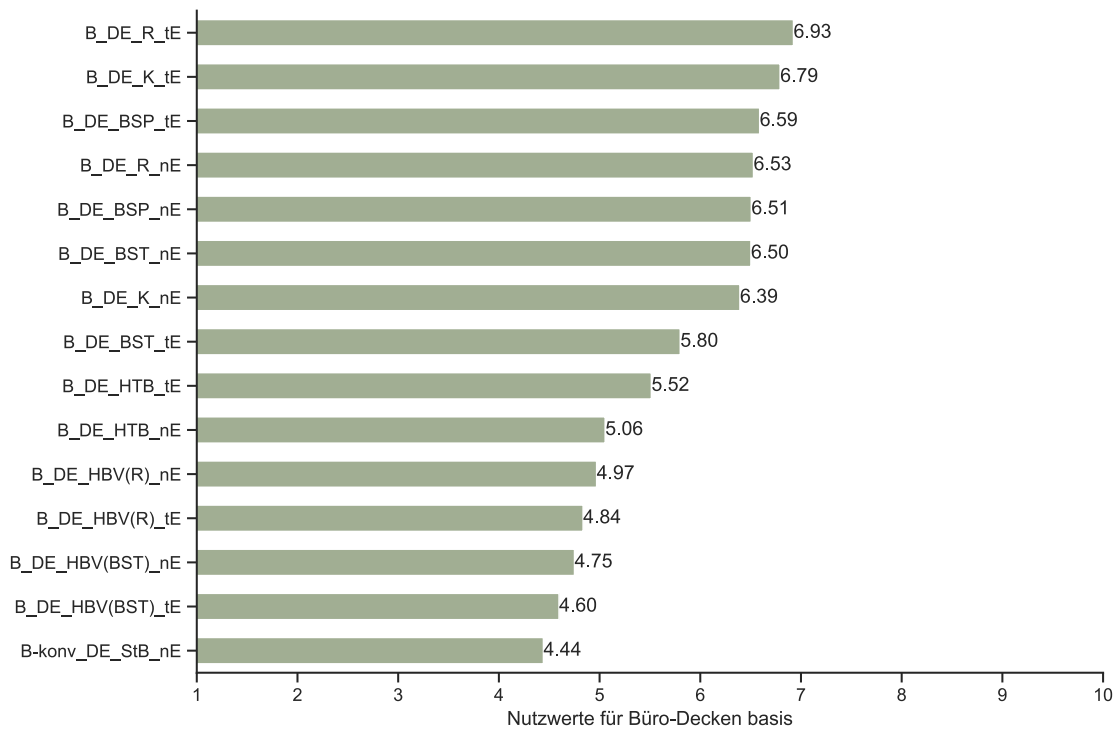


Abbildung 64: Ermittelte Nutzwertwerte für Büro-Decken, Gewichtung basis

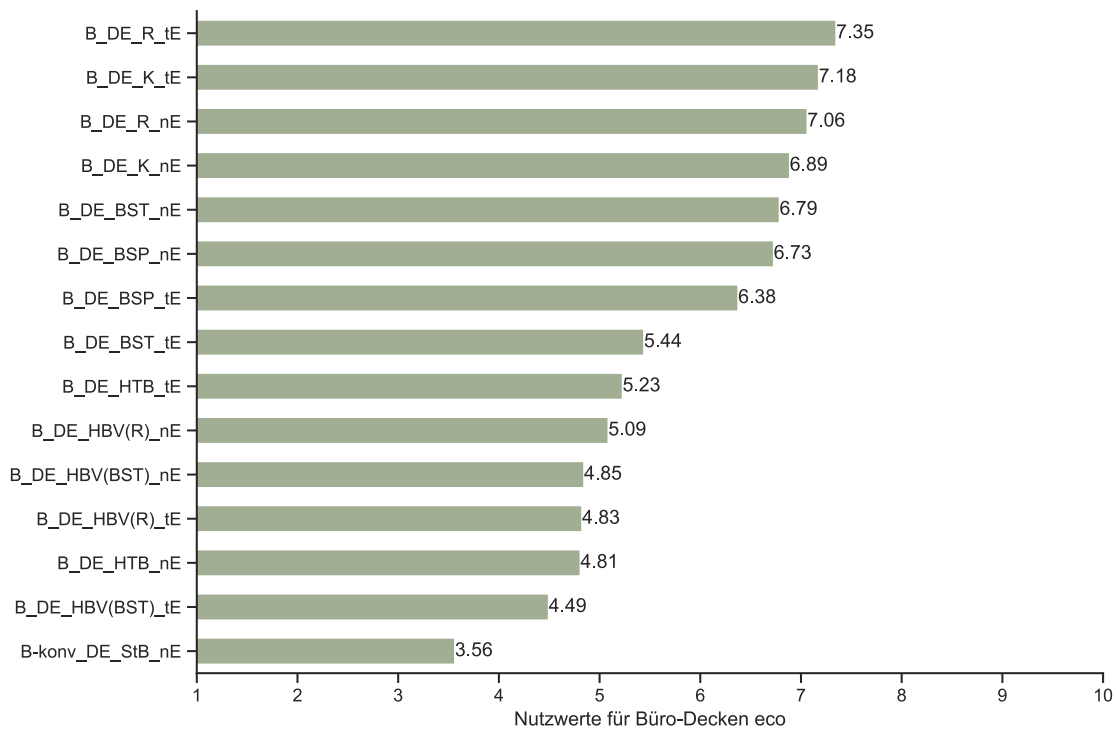


Abbildung 65: Ermittelte Nutzwertwerte für Büro-Decken, Gewichtung eco

Sensitivitätsanalyse Nutzwerte

Für Büro-Decken sind die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse gemäß Kapitel 3.4.1 für die Kriteriengewichtungen *eco*, *equal*, *smooth* und *spread* in Abbildung 66 dargestellt. Die Rangfolge der Nutzwerte variiert je nach Kriteriengewichtung, allerdings lassen sich folgende Rückschlüsse ziehen:

- Bei allen Varianten schneidet die Rippendecke mit Trockenestrich (B_DE_R_tE) sehr gut ab (Ränge 1 bis 4).
- Decken-Alternativen aus Holz-Beton-Verbund und Stahlbeton liegen bei allen Varianten auf den unteren Rängen.
- Die bei der Gewichtung *eco* aus schallschutztechnischen Gründen empfohlene Rippendecke mit Nassestrich (B_DE_R_nE) ist auch bei den anderen Gewichtungen unter den ersten fünf Alternativen. Damit liegt diese Auswahl auch bei geänderter Kriteriengewichtung im oberen Drittel.

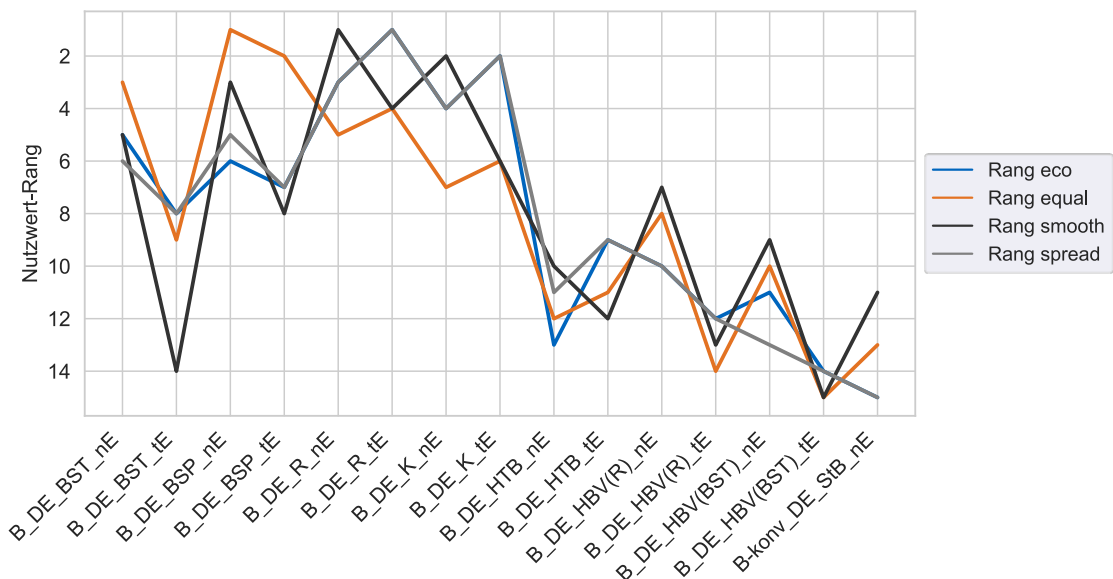


Abbildung 66: Rangfolge der Nutzwerte bei unterschiedlicher Gewichtung der Kriterien für Büro-Decken

Kosten-Nutzen-Analyse

Die Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse sind in Abbildung 67 dargestellt. Es sind drei Gruppierungen zu erkennen. Die Massivholzdecken, sowie die Rippen- und die Kastendecke besitzen ähnliche Nutzwerte bei ähnlichen Kosten. Die linienförmigen Bauweisen liegen hierbei kostentechnisch aufgrund des geringeren Materialeinsatzes unter den Massivholzdecken. Generell ist ein Anstieg der Kosten mit steigendem Nutzwert zu erkennen.

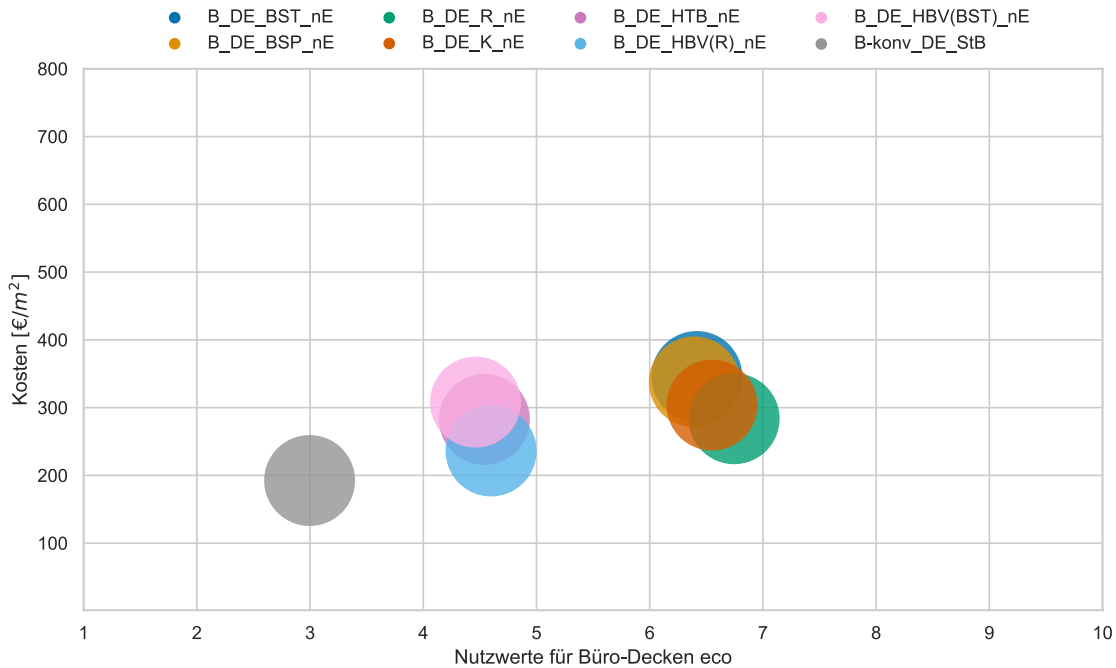


Abbildung 67: Kosten-Nutzen-Analyse der Büro Decken

In Abbildung 68 ist zu erkennen, dass die Varianten mit Trockenestrich bei höheren Kosten geringere Nutzwerte aufzeigen. Somit ist nicht nur aus baukonstruktiven, sondern auch aus ökonomischen, sowie ökologischen Gründen eine Verwendung von Trockenestrich nicht zu empfehlen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass in dem Vergleich lediglich die Varianten gezeigt werden, bei welchen eine Verwendung von Trockenestrich aus schwingungstechnischer Sicht möglich wäre.

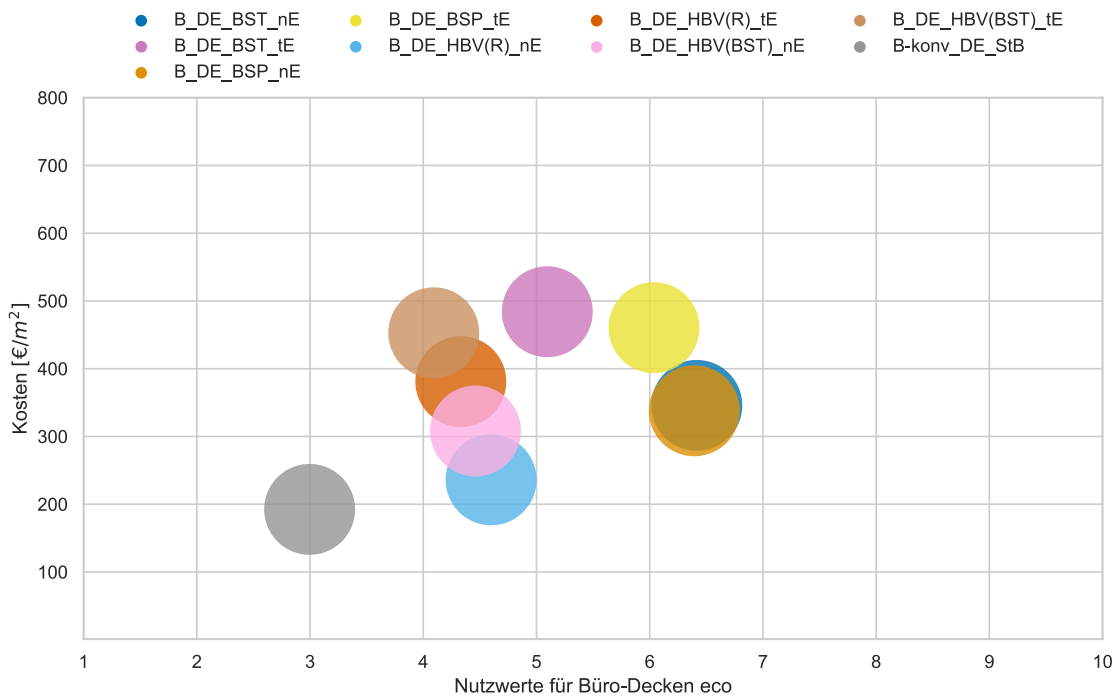


Abbildung 68: Kosten-Nutzen-Analyse der Büro-Decken mit Trocken und Nassestrich

6.2.2. Oberer Gebäudeabschluss (Dach)

Für den oberen Gebäudeabschluss (Dach) werden folgende Konstruktionsweisen vergleichend untersucht: Holztafelbau, Rippendecke, Kastendecke, Brettsperrholzdecke, HBV-Rippendecke und HBV-Brettstapeldecke (siehe Abbildung 69).

Gemäß den Bauvorschriften in Nürnberg wird eine Dachbegrünung mit mindestens 70% Photovoltaik gefordert. Aus diesem Grund wird für die Dachkonstruktionen eine extensive Dachbegrünung geplant. In der Raumtypologie Büro werden neben der extensiven Dachbegrünung auch hinterlüftete und flachgeneigte Dächer mit Metalleindeckung betrachtet und untersucht, um einen direkten Vergleich zu ermöglichen. Bei der weiteren Untersuchung der anderen Raumtypologien werden jedoch nur die extensive Dachbegrünung berücksichtigt, da dies den Anforderungen an Begrünung und Photovoltaik entspricht.

Besonders im Kontext von Dachbegrünungen im Holzbau ist es von großer Bedeutung, bewährte Praktiken zu beachten. Es ist darauf zu achten, dass Durchdringungen der Dachhaut durch Photovoltaikanlagen vermieden werden, um mögliche Undichtigkeiten zu verhindern. Ebenso ist eine ausreichende Entwässerung und die Schaffung von Wartungsmöglichkeiten essenziell, insbesondere unter Berücksichtigung der Empfehlungen in den Dachbegrünungsrichtlinien der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (FLL). In der Praxis zeigt sich, dass geklebte Verbundkonstruktionen im Holzbau bevorzugt werden. Eine problemlose Vermeidung von Anschlüssen mit Flüssigkunststoff sowie verklebten Dachbahnen kann durch eine durchdachte, vorausschauende Planung und die Anwendung etablierter Baukonstruktionstechniken erreicht werden. Dadurch wird auch das Recyclingpotenzial in der Dachhaut unterstützt (Hillebrandt et al. 2021). Durch sorgfältige Planung wird nicht nur die Dichtigkeit und Langlebigkeit der Konstruktion verbessert, sondern es werden auch potenzielle Herausforderungen bei Dachbegrünungen minimiert. Generell ist diese Herangehensweise entscheidend für langfristige Effizienz und Nachhaltigkeit.

BÜRO

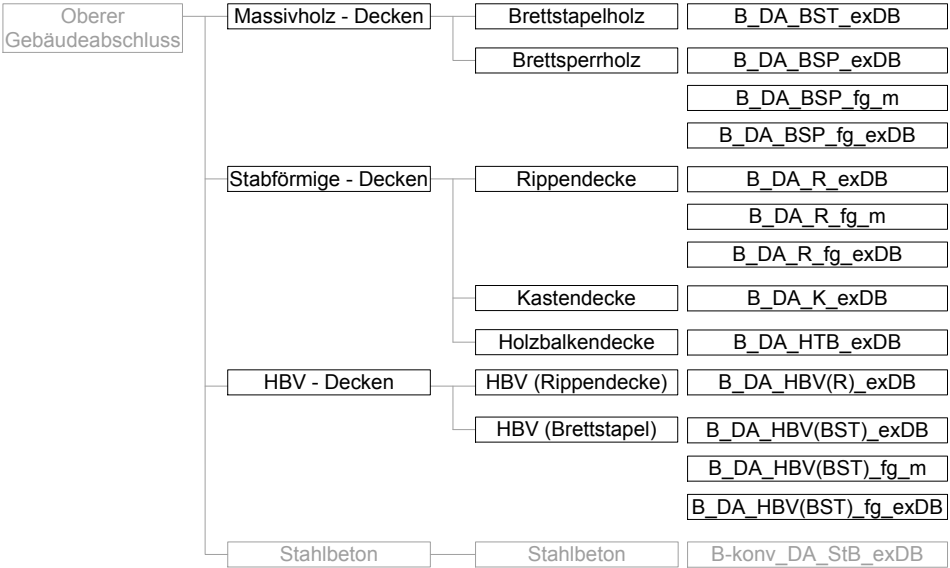
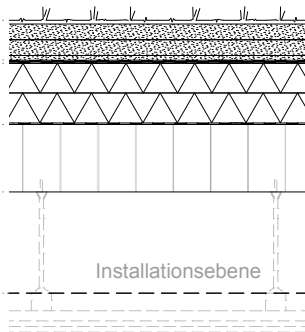


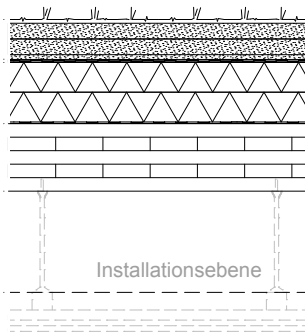
Abbildung 69: Übersicht Bauteile Büro Gebäudeabschluss

B_DA_BST_exDB



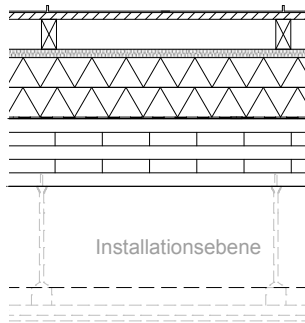
[mm]	Baustoffe
150,0	Extensive Dachbegrünung
3,0	Dachabdichtungsbahn (sd ≥ 100m) (mehrlagig, pflanzliche Basis, bitumen und halogenfrei, sd = 150 m, homogene Verklebung der Stöße untereinander, lose verlegt)
160,0	Holzfaserdämmung (λ = 0,039 W/mK), mehrlagig, mit Gefälledämmung
0,05	Abdichtungsbahn (sd ≥ 500m) Dampfsperre, Aluminium Grobkornfolie, sd > 2500 m, lose verlegt, luftdichte Verklebung der Stöße, an Attika mit Aluminiumprofil mechanisch befestigt)
180,0	Brettstapelholz, verleimt, GI24h
270,0	Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius

B_DA_BSP_exDB



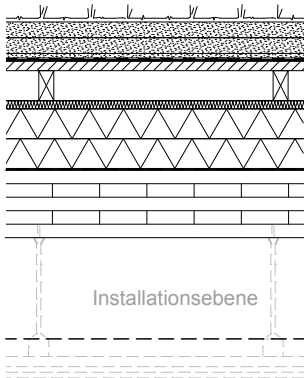
150,0	Extensive Dachbegrünung
3,0	Dachabdichtungsbahn (sd ≥ 100m)
160,0	Holzfaserdämmung (λ = 0,039 W/mK), mehrlagig, mit Gefälledämmung
0,05	Abdichtungsbahn (sd ≥ 500m)
180,0	Brettsperrholz 5-lagig CL24
270,0	Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand e = 400mm)
100,0	Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm (m' ≥ 14,5 kg/m ²)

B_DA_BSP_fg_m



10,0	Blecheindeckung d ≥ 0,4 od.
22,0	Holz Fichte Vollschalung
80,0	Holz Fichte Konterlattung (40/80)
22,0	Unterdeckplatte Holzfaser [047; 250] - Unterdeckbahn
160,0	Holzfaserdämmung (λ = 0,039 W/mK), mehrlagig
0,05	Abdichtungsbahn (sd ≥ 100m), Strömungsdicht
160,0	Brettsperrholz 5-lagig CL24
270,0	Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand e = 400mm)
100,0	Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm (m' ≥ 14,5 kg/m ²)

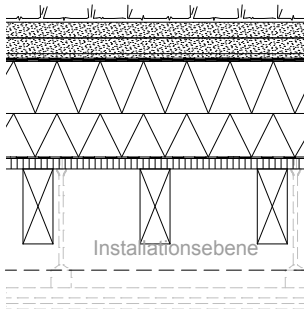
B_DA_BSP_fg_exDB



[mm] Baustoffe

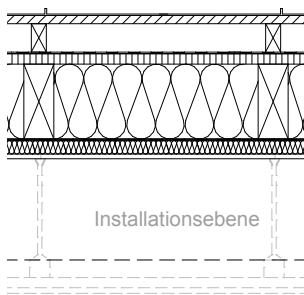
- 150,0 Extensive Dachbegrünung
- 3,0 Dachabdichtungsbahn (sd ≥ 100m)
- 30,0 Holz Fichte Vollschalung
- 80,0 Holz Fichte Konterlattung (40/80)
- 22,0 Unterdeckplatte Holzfaser [047; 250] - Unterdeckbahn
- 160,0 Holzfaserdämmung (λ = 0,039 W/mK), mehrlagig
- 0,05 Abdichtungsbahn (sd ≥ 100m), Strömungsdicht
- 180,0 Brettsperrholz 5-lagig CL24
- 270,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand e = 400mm)
- 100,0 Abhängecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm (m' ≥ 14,5 kg/m²)

B_DA_R_exDB



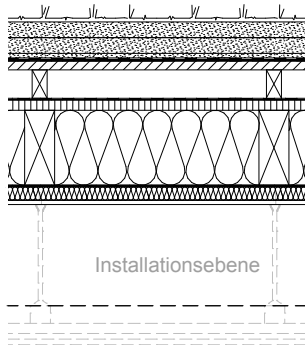
- 150,0 Extensive Dachbegrünung
- 3,0 Dachabdichtungsbahn (sd ≥ 100m)
- 260,0 Holzfaserdämmung (λ = 0,039 W/mK), mehrlagig, mit Gefälledämmung
- 0,05 Abdichtungsbahn (sd ≥ 500m)
- 28,0 Dreischichtplatte auf Trägeplatte geklebt
- 200,0 Brett-schichtholzträger GI24h (80/200) (e=0,3125)
- 270,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand e = 400mm)
- 100,0 Abhängecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm (m' ≥ 14,5 kg/m²)

B_DA_R_fg_m



- 10,0 Blecheindeckung d ≥ 0,4
- 22,0 Holz Fichte Vollschalung
- 80,0 Holz Fichte Konterlattung (Hinterlüftung)
- 0,5 Unterdeckbahn sd ≤ 0,3m
- 28,0 Dreischichtplatte auf Trägeplatte geklebt
- 200,0 Brett-schichtholzträger GI24h (80/200) (e=0,625)
- 200,0 Holzfaserdämmung (λ = 0,039 W/mK)
- 0,05 Dampfbremse sd ≥ 2m
- 40,0 Holz Fichte Querlattung (40/60) mit Holzfasermatte (λ = 0,039 W/mK)
- 12,5 Gipsplatte 1 x 12,5 mm
- 270,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil Nonius (Achsabstand e = 400mm)
- 100,0 Abhängecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm (m' ≥ 14,5 kg/m²)

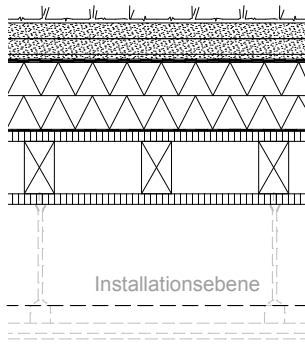
B_DA_R_fg_exDB



[mm] Baustoffe

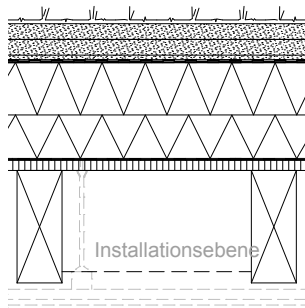
- 150,0 Extensive Dachbegrünung
- 3,0 Dachabdichtungsbahn ($sd \geq 100m$)
- 30,0 Holz Fichte Vollschalung
- 80,0 Holz Fichte Konterlattung (40/80)
- 0,5 Unterdeckbahn $sd \leq 0,3m$
- 28,0 Dreischichtplatte auf Trägerplatte geklebt
- 220,0 Brett-schichtholzträger Gl24h (80/220) ($e=0,625$)
- 220,0 Holzfaserdämmung ($\lambda = 0,039 W/mK$)
- 0,05 Dampfbremse $sd \geq 2m$
- 40,0 Holz Fichte Querlattung (40/60)
mit Holzfasermatte ($\lambda = 0,039 W/mK$)
- 12,5 Gipsplatte 1 x 12,5 mm
- 270,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius
(Achsabstand $e = 400mm$)

B_DA_K_exDB



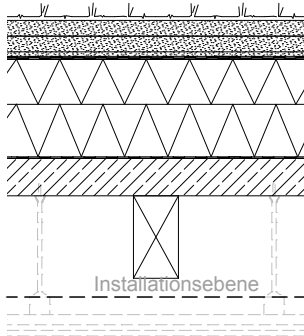
- 150,0 Extensive Dachbegrünung
- 3,0 Dachabdichtungsbahn ($sd \geq 100m$)
- 180,0 Holzfaserdämmung ($\lambda = 0,039 W/mK$), mehrlagig, mit Gefälledämmung
- 0,05 Abdichtungsbahn ($sd \geq 500m$)
- 28,0 Dreischichtplatte auf Träger geklebt
- 140,0 Brett-schichtholzträger Gl24h (80/140) ($e=0,3125$)
- 28,0 Dreischichtplatte auf Träger geklebt
- 270,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius
(Achsabstand $e = 400mm$)
- 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27)
Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 kg/m^2$)

B_DA_HTB_exDB



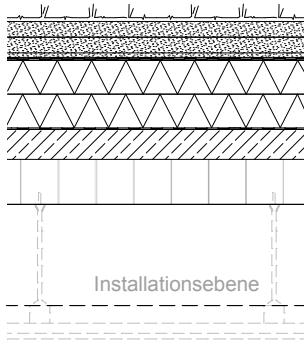
- 150,0 Extensive Dachbegrünung
- 3,0 Dachabdichtungsbahn ($sd \geq 100m$)
- 260,0 Holzfaserdämmung ($\lambda = 0,039 W/mK$), mehrlagig, mit Gefälledämmung
- 0,05 Abdichtungsbahn ($sd \geq 500m$)
- 28,0 OSB
- 300,0 Brett-schichtholzträger Gl24h (120/300) ($e=0,625$)
- 270,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius
(Achsabstand $e = 400mm$)
- 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27)
Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 kg/m^2$)

B_DA_HBV(R)_exDB



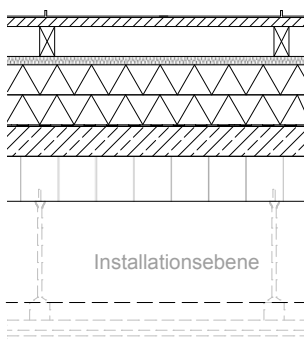
[mm]	Baustoffe
150,0	Extensive Dachbegrünung
3,0	Dachabdichtungsbahn (sd ≥ 100m)
260,0	Holzfaserdämmung (λ = 0,039 W/mK), mehrlagig, mit Gefälledämmung
0,05	Abdichtungsbahn (sd ≥ 500m)
	Beton C30/37
220,0	Brettstapchholz, GI24h (120/220, e=0,94m)
270,0	Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand e = 400mm)
100,0	Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm (m' ≥ 14,5 kg/m2)

B_DA_HBV(BST)_exDB



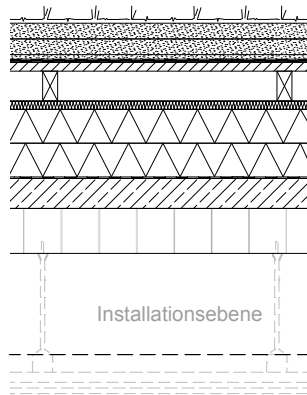
150,0	Extensive Dachbegrünung
3,0	Dachabdichtungsbahn (sd ≥ 100m)
180,0	Holzfaserdämmung (λ = 0,039 W/mK), mehrlagig, mit Gefälledämmung
0,05	Abdichtungsbahn (sd ≥ 500m)
80,0	Beton C30/35
120,0	Brettstapelelement, gedübelt, GI24h
270,0	Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand e = 400mm)
100,0	Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm (m' ≥ 14,5 kg/m2)

B_DA_HBV(BST)_fg_m



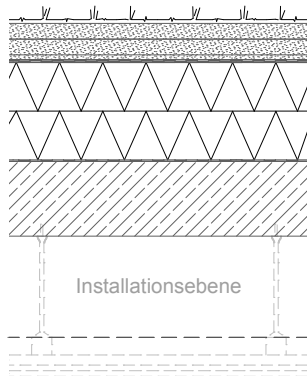
10,0	Blecheindeckung d ≥ 0,4
22,0	Holz Fichte Vollschalung
80,0	Holz Fichte Konterlattung (Hinterlüftung)
22,0	Unterdeckplatte - Holzfaser (λ: 0,047W/mK)
160,0	Holzfaserdämmung (λ = 0,039 W/mK), mit Gefälledämmung
0,05	Abdichtungsbahn (sd ≥ 100m), strömungsdicht
80,0	Beton C30/37
120,0	Brettstapelelement, gedübelt, GI24h
270,0	Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand e = 400mm)

B_DA_HBV(BST)_fg_exDB



[mm]	Baustoffe
150,0	Extensive Dachbegrünung
3,0	Dachabdichtungsbahn ($sd \geq 100m$)
30,0	Holz Fichte Vollschalung
80,0	Holz Fichte Konterlattung (40/80)
22,0	Unterdeckplatte - Holzfaser ($\lambda = 0,047W/mK$)
160,0	Holzfaserdämmung ($\lambda = 0,039 W/mK$), mit Gefälledämmung
0,05	Abdichtungsbahn ($sd \geq 100m$), strömungsdicht
80,0	Beton C30/37
120,0	Brettstapelelement, gedübelt, GI24h
270,0	Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand $e = 400mm$)
100,0	Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten $2 \times 12,5mm$ ($m' \geq 14,5 kg/m^2$)

B-konv_DA_StB_exDB



150,0	Extensive Dachbegrünung
3,0	Dachabdichtungsbahn ($sd \geq 100m$)
260,0	Holzfaserdämmung ($\lambda = 0,039 W/mK$), mehrlagig, mit Gefälledämmung
0,05	Abdichtungsbahn ($sd \geq 500m$)
200	Stahlbeton
270,0	Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand $e = 400mm$)
100,0	Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten $2 \times 12,5mm$ ($m' \geq 14,5 kg/m^2$)

Abbildung 70: Bauteilaufbauten der Büro-Dächer

Bauphysikalische Betrachtung

Gemäß BayBO 2007 Art. 30 Abs. 1 ist eine harte Bedachung gefordert, die ausreichend lang gegen die Beanspruchung durch Flugfeuer von außen resistent ist. Nach Art. 30 Abs. 4 sind begrünte Bedachungen zulässig. Die PV-Anlagen auf den Dächern sind individuell vom Fachplaner einzuordnen und entsprechende Maßnahmen zu treffen. Eine Maßnahme ist zum Beispiel das Anbringen eines Feuerwehrschafters zum Abschalten der PV-Anlagen sein. Ebenfalls müssen zwischen PV-Anlagen und den Dachoberflächen mindestens eine durchgängige nichtbrennbare Schicht angeordnet werden. Dies erfolgt in den vorhandenen Bauteilen durch die Begrünung, welche eine nichtbrennbare Ebene aus Kies und Erde bildet.

Die Ergebnisse der schallschutztechnischen Einordnung sind in Tabelle 23 gelistet. Jedes Dach weist einen bis zum Lärmpegelbereich VI ausreichenden Schallschutz auf.

Tabelle 23: Schallschutz Büro Gebäudeabschluss

Raumtypologie Büro	Ergebnisse Berechnung [dB]	Schallschutz- technische Einordnung	Orientierung an
Gebäudeabschluss	R'_w	Ausreichend bis Lärmpegelbereich	
B_DA_BST_exDB	54	VI	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 33 Z.3)
B_DA_BSP_exDB	54	VI	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 33 Z.3)
B_DA_R_exDB	50	VI	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 33 Z.13)
B_DA_K_exDB	50	VI	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 33 Z.13)
B_DA_HBV(R)_exDB	48	VI	(DIN 4109-32)
B_DA_HBV(BST)_exDB	45	VI	(DIN 4109-32)
B-konv_Da_exDB	55	VI	(DIN 4109-32)

Die gezeichneten Aufbauten zeigen die Stelle mit der geringsten Dicke der Wärmedämmung. Bei der Berechnung des Wärmedurchgangswiderstandes des Bauteils wird die zusätzliche Gefälledämmung berücksichtigt. Der Aufbau mit der geringsten Dicke besitzt in etwa einen Wärmedurchgangswiderstand von $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ für alle Konstruktionen. Hierbei wird ein Zuschlag für Umkehrdächer berücksichtigt. Dieser wäre rein normativ nicht notwendig. Der Zuschlag wird einbezogen, da durchgeführte hygrothermische Simulationen einen sich einpendelnden hohen Wassergehalt in der Dämmebene aufzeigen.

Tabelle 24: Wärmeschutz Büro Gebäudeabschluss

Raumtypologie Büro	Stationärer Wärmedurchgangs- widerstand ^a	Diffusionsverhalten	Nachweis der des Diffusionsverhaltens durch
Gebäudeabschluss	$U \text{ [W/m}^2\text{K]}$		
B_DA_BST_exDB	0,171	geeignet	(dataholz.eu, fdmko01-03)
B_DA_BSP_exDB	0,171	geeignet	(dataholz.eu, fdmko01-03)
B_DA_R_exDB	0,173	geeignet	(DIN 68800-2, Anhang A Bild A.18)
B_DA_K_exDB	0,175	geeignet	(DIN 68800-2, Anhang A Bild A.17)
B_DA_HBV(R)_exDB	0,172	geeignet	(DIN 4108-3, Bild 8)
B_DA_HBV(BST)_exDB	0,170	geeignet	(DIN 4108-3, Bild 8)
B-konv_DA_exDB	0,171	geeignet	(DIN 4108-3, Bild 8)

^a unter Berücksichtigung der Gefälledämmung und eines Umkehrdachzuschlags

Die Ausnutzungsgrade des Gebäudeabschlusses sind in Abbildung 71 gegenübergestellt. Abweichend zu den anderen Holzkonstruktionen, wird wie bei der Stahlbetonkonstruktion bei der HBV-Rippendecke der GZT(kalt) maßgebende. Dies

liegt an den geringen Holzquerschnitten und der hohen Steifigkeit des mit den Holzrippen verbundenen Stahlbetons.

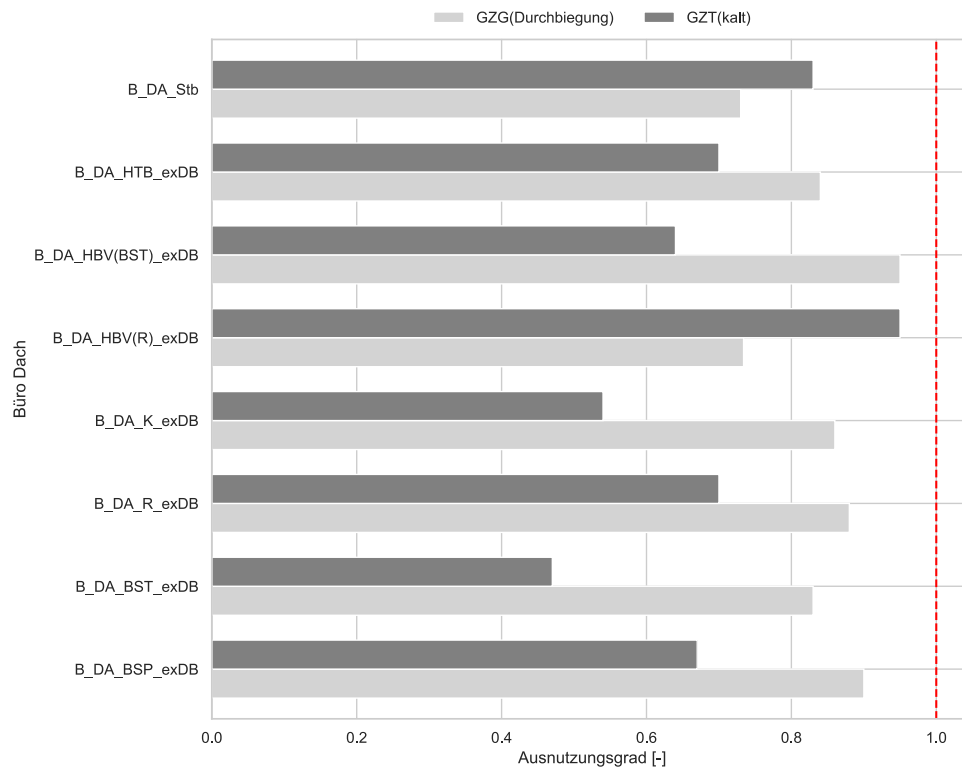


Abbildung 71: Ausnutzungsgrade Büro Gebäudeabschluss

Lebenszyklusanalyse

Die Ergebnisse der LCA für die Umweltindikatoren Treibhauspotenzial (GWP) und Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) sind im Folgenden dargestellt. Die Ergebnisse für alle weiteren Kriterien sind im Anhang A Bauteilmatrix angegeben.

Das Treibhauspotenzial für Büro-Dächer ist in Abbildung 72 für eine Nutzungsdauer von 100 Jahren dargestellt. Zusammenfassend ergeben sich folgende Ergebnisse:

- Niedrigstes GWP für flachgeneigtes Dach aus Rippendecke mit extensiver Dachbegrünung (B_DA_R_fg_exDB) mit 10,80 CO₂-Äq./m²
- Höchstes GWP für flachgeneigte Holz-Beton-Verbund-Decke (Brettstapel) mit Metallabdeckung, B_DA_HBV(BST)_fg_m, mit 133,94 CO₂-Äq./m²
- Vergleich beste Alternative EDUwood (B_DA_R_fg_exDB) mit konventioneller Alternative (begrüntes Stahlbetondach, B-konv_DA_StB_exDB; GWP 140,09 CO₂-Äq./m²): Einsparpotenzial 92 %

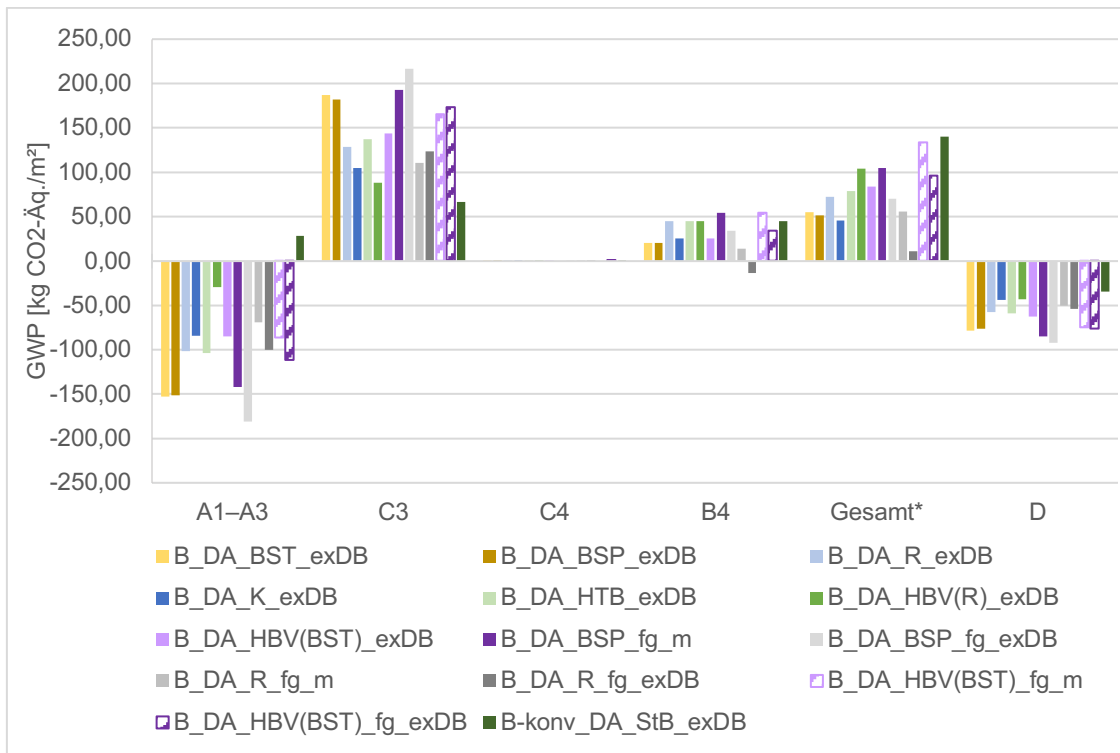


Abbildung 72: Treibhauspotenzial (GWP) für Büro-Dächer, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4

Der Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PENRT) für Büro-Dächer ist in Abbildung 73 dargestellt. Folgende Ergebnisse lassen sich ablesen:

- Niedrigste PENRT für flachgeneigtes Dach aus Rippendecke mit Metallabdeckung (B_DA_R_fg_m) mit 872,38 MJ/m²
- Höchste PENRT für Holzbalkendecke als Flachdach mit Dachbegrünung (B_DA_HTB_exDB) mit 3.619,80 MJ/m²
- Vergleich beste Alternative EDUwood (B_DA_R_fg_m) mit konventioneller Alternative (B-konv_DA_StB_exDB, PENRT 3.785,00 MJ/m²): Einsparpotenzial 77 %

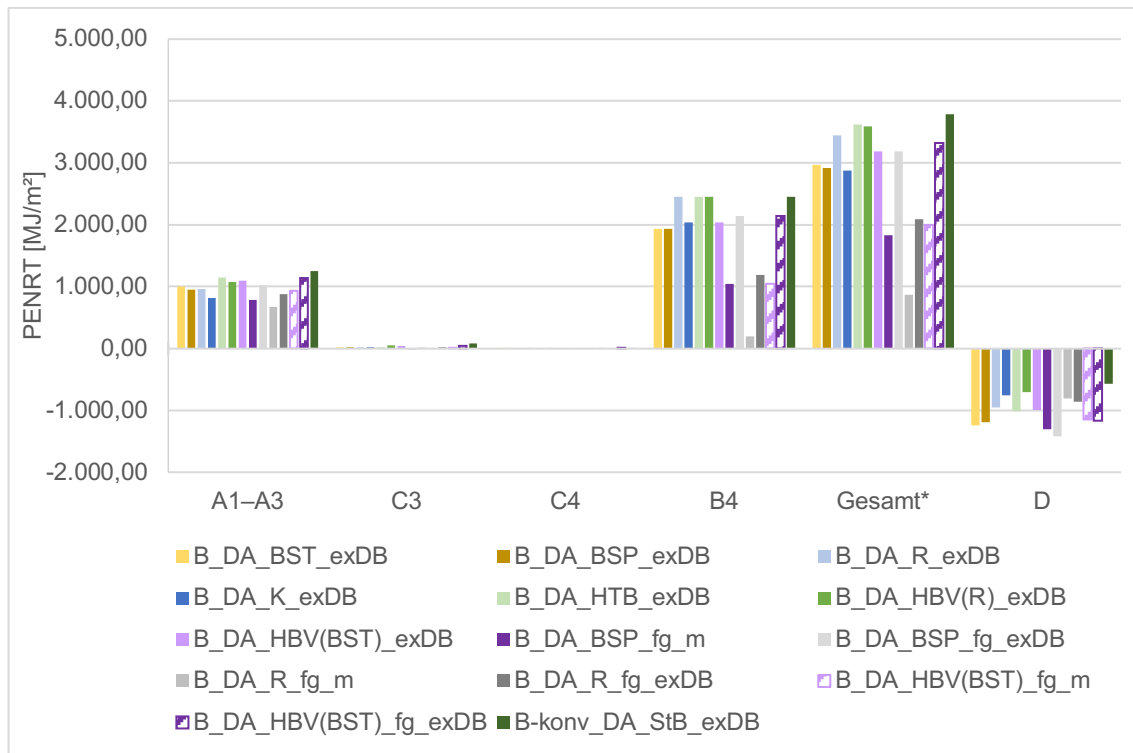


Abbildung 73: Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für Büro-Dächer, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4

Nutzwertanalyse

Nachstehend werden die Ergebnisse der Nutzwertanalyse für die Geschossdecken Büro beschrieben. Die Berechnung erfolgt für die Gewichtungen *basis* und *eco*.

Wie aus Abbildung 74 und Abbildung 75 ersichtlich, ändert sich die Rangfolge der Alternativen zwischen der *basis*- und *eco*-Gewichtung. Die beste Alternative ist in beiden Fällen ein flachgeneigtes Dach aus Rippendecke mit extensiver Dachbegrünung (B_DA_R_fg_exDB). Große Differenzen treten hier zwischen den Nutzwerten der besten Alternative DA_R_fg_exDB und einem Dachaufbau in Stahlbeton- sowie einer Holz-Beton-Verbundbauweise auf; die beste Alternative ist knapp dreimal so gut wie die schlechtesten Alternativen.

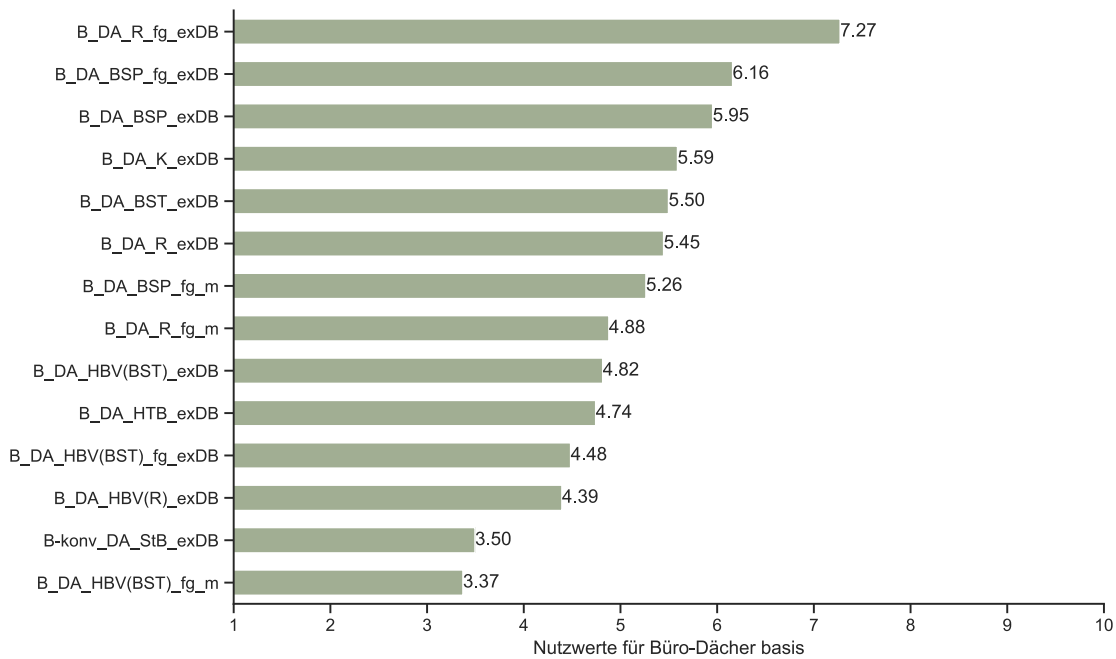


Abbildung 74: Ermittelte Nutzwertwerte für Büro-Dächer, Gewichtung basis

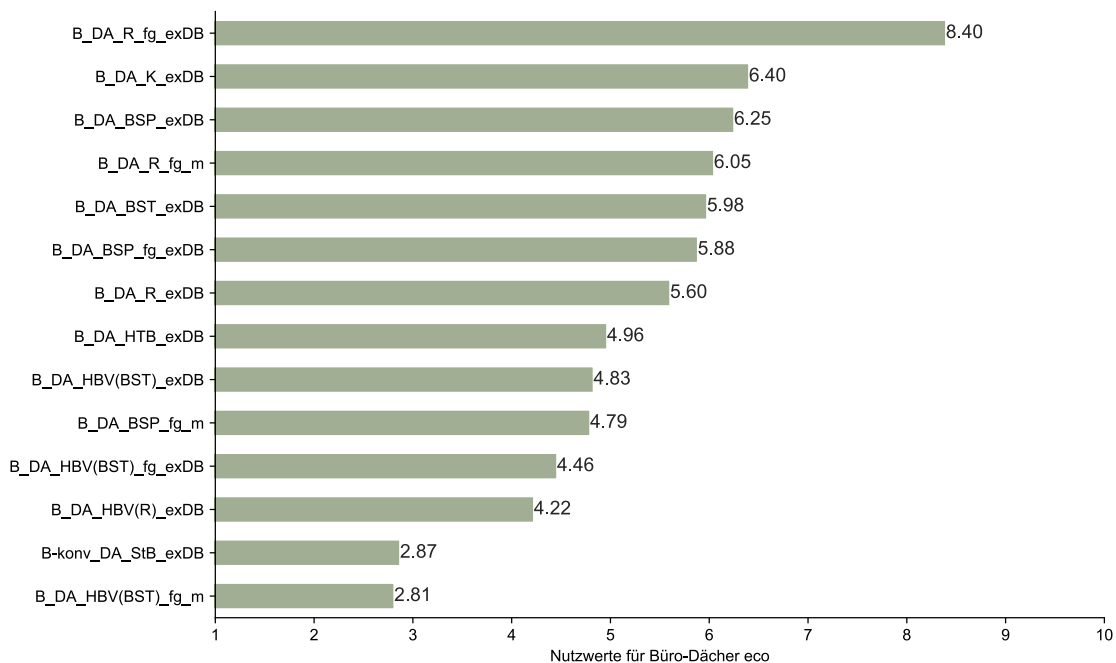


Abbildung 75: Ermittelte Nutzwertwerte für Büro-Dächer, Gewichtung eco

Sensitivitätsanalyse Nutzwerte

Für Büro-Dächer sind die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse gemäß Kapitel 3.4.1 für die Kriteriengewichtungen *eco*, *equal*, *smooth* und *spread* in Abbildung 76 dargestellt. Die Rangfolge der Nutzwerte variiert je nach Kriteriengewichtung. Die Ergebnisse

zeigen jedoch deutliche Tendenzen für die besten und schlechtesten Alternativen, insbesondere:

- Bei allen Varianten liegt ein flachgeneigtes Dach mit Rippendeckung (B_DA_R_fg_exDB) auf Rang 1, sofern kein flachgeneigtes Dach gewünscht wird, ist Rang 2 das Kastendach mit extensiver Dachbegrünung (B_DA_K_exDB) auf dem besten Rang.
- Ein begrüntes Brettsperrholzdach (B_DA_BSP_exDB) schneidet im Vergleich zu den anderen Dachaufbauten ebenfalls gut ab (Ränge 2 bis 4).
- Die schlechtesten Dachaufbauten (= Alternativen mit hohem Rang) sind flachgeneigte Holz-Beton-Verbund- und Stahlbeton-Aufbauten sowie ein begrüntes Holz-Beton-Verbund-Rippendach.

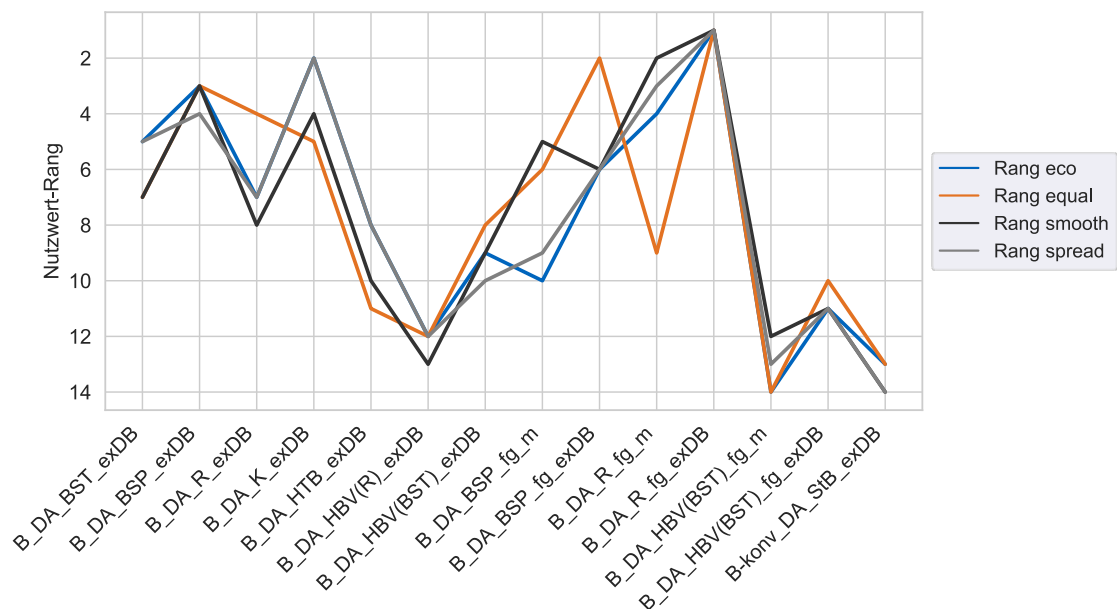


Abbildung 76: Rangfolge der Nutzwerte bei unterschiedlicher Gewichtung der Kriterien für Büro-Dächer

Kosten-Nutzen-Analyse

Abbildung 77 zeigt die Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse der Büro Dächer mit einem begrüntem Flachdach. Es ist ein minimaler Anstieg der Kosten mit steigendem Nutzwert zu beobachten. Somit ist mit einer geringen Kostensteigerung ein deutlich höheres Klimaschutzpotenzial zu erreichen.

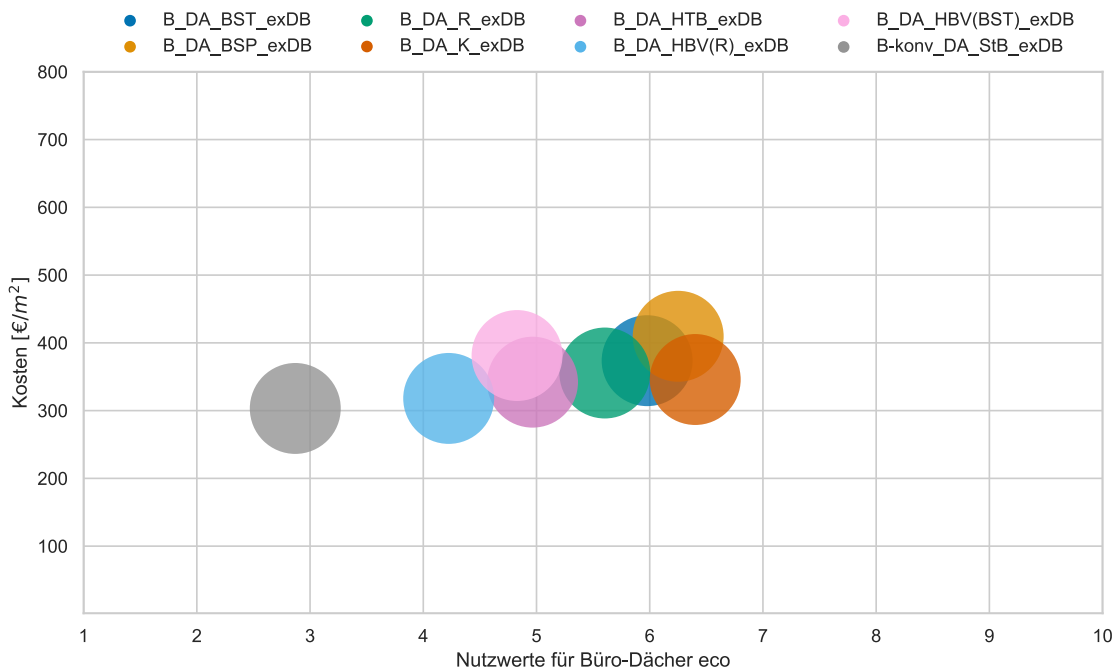


Abbildung 77: Kosten-Nutzen-Analyse der Büro Dächer

Die Kosten-Nutzen-Analyse des Vergleichs der flach geneigten Bauteilaufbauten mit den Flachdachaufbauten ist in Abbildung 78 dargestellt. Die Rippendecke mit einem begrünten, flach geneigten Dachaufbau weist bei vergleichbar niedrigen Kosten den mit Abstand höchsten Nutzwert. Bei Verwendung von Brettsperrholz und Holz-Beton-Verbund zeigt sich hingegen eine deutliche Kostensteigerung im Falle eines flach geneigten Dachaufbaus. Bei der Rippendecke ist kein Kostenanstieg zu erkennen. Dies resultiert aus der variablen Anpassung des Achsabstands von 0,3125 m auf 0,625 m bei den flach geneigten Rippendecken, wobei die Rippenhöhe entsprechend vergrößert wird. Diese Optimierung führt zu einer Einsparung des Holzvolumens und verhindert somit einen Anstieg der Kosten.

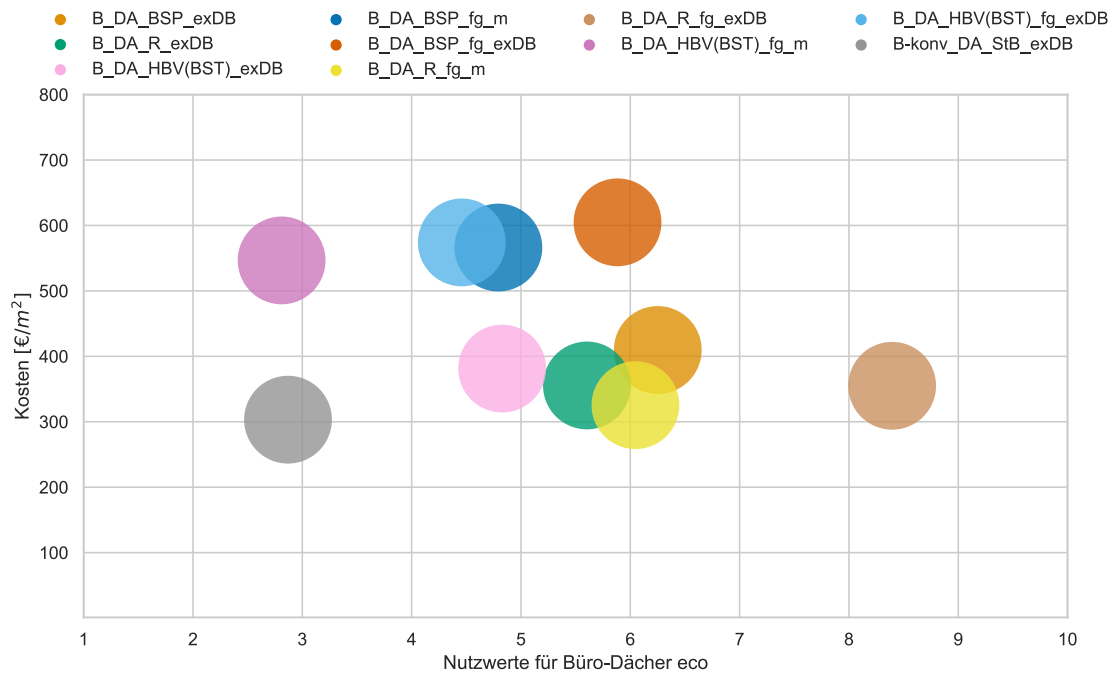


Abbildung 78: Kosten-Nutzen-Analyse der Dächer mit Flachdach und flach geneigtem Dach

6.2.3. Flurdecke

Die Flurbereich der Raumtypologien Büro, Labor und Seminar werden aufgrund der Leitungsverteilung und erhöhter Anforderungen hinsichtlich des Brandschutzes separat betrachtet. Die Hauptleitungen der technischen Gebäudeausrüstung werden über die Flurdecken verteilt, zudem werden Trassenkreuzungen berücksichtigt. Daher ist im Flurbereich eine höhere Installationsebene erforderlich als in den Büro-, Labor- und Seminarräumen (siehe Kapitel Energiekonzept und Technische Gebäudeausstattung).

Der Flurbereich wird mit 2,35 m Spannweite angenommen. Für diesen geringen Abstand der Tragachsen können die Systeme Holztafel- und Holzmassivbauweise eingesetzt werden.

Der Schichtenaufbau folgt dem Prinzip der Geschossdecken (siehe Kapitel Geschossdecke Büro). Die Holzbalken- und Rippendecke können als Holztafelbauweise den Flurbereich überspannen, bei der Massivholzbauweise sind es die Brettstapel- und die Brettsperrholzdecke.

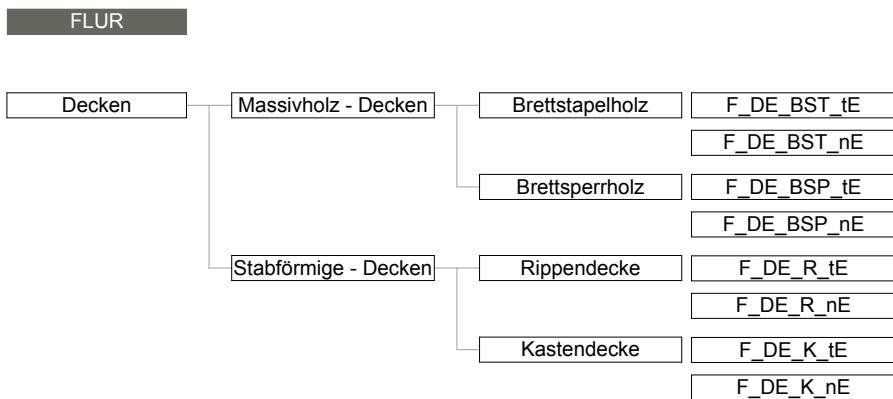
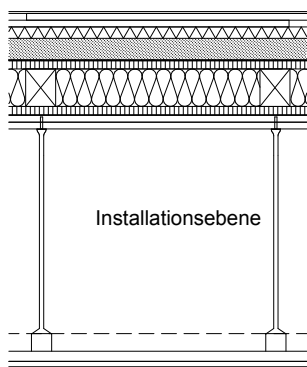


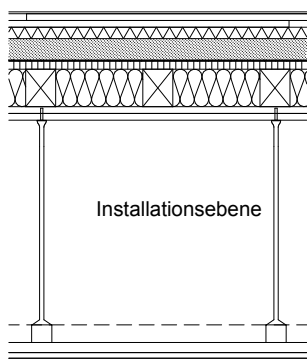
Abbildung 79: Übersicht betrachtete Bauteile der Flurdecken

F_DE_K_tE



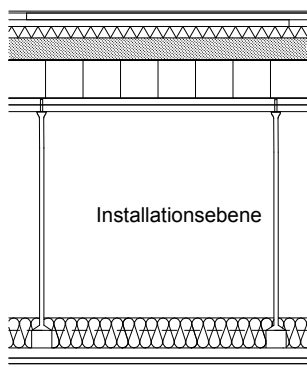
[mm]	Baustoffe
5,0	Bodenbelag Linoleum
36,0	Trockenestrich aus Gipsfaserplatten ($m' \geq 25 \text{ kg/m}^2$)
30,0	Trittschalldämmung MW ($s' \leq 30 \text{ MN/m}^3$)
60,0	Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$) auf Rieselschutzvlies (PP)
22,0	Dreischichtplatte, auf Träger geklebt
100,0	VH C24 (80/100; $e=0,625\text{m}$)
100,0	Gefachdämmung Mineralwolle
22,0	Dreischichtplatte auf Träger geklebt
36,0	Beplankung Gipskarton Feuerschutzplatten 2 x 18 mm
550,0	Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil/ Nonius (Achsabstand $e = 400\text{mm}$)
100,0	Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

F_DE_R_tE



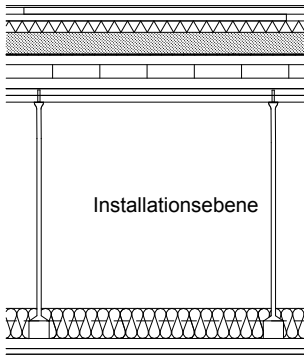
5,0	Bodenbelag Linoleum
36,0	Trockenestrich aus Gipsfaserplatten 2 x 18mm (EI90, $m' \geq 25 \text{ kg/m}^2$)
30,0	Trittschalldämmung MW ($s' \leq 30 \text{ MN/m}^3$)
60,0	Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$) auf Rieselschutzvlies (PP)
22,0	Dreischichtplatte, auf Träger geklebt
100,0	VH Träger (80/100, $e=0,3125\text{m}$)
100,0	Gefachdämmung Mineralwolle
36,0	Beplankung Gipskarton Feuerschutzplatten 2 x 18 mm
550,0	Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil/ Nonius (Achsabstand $e = 400\text{mm}$)
100,0	Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

F_DE_BST_tE



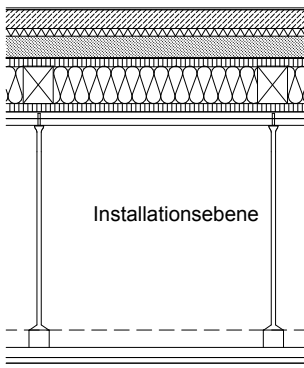
5,0	Bodenbelag Linoleum
36,0	Trockenestrich aus Gipsfaserplatten 2 x 18mm (EI90, $m' \geq 29 \text{ kg/m}^2$)
30,0	Trittschalldämmung MW ($s' \leq 30 \text{ MN/m}^3$)
60,0	Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$) auf Rieselschutzvlies (PP)
100,0	Brettstapelholz, verleimt, GI24h
36,0	Beplankung Gipskarton Feuerschutzplatten 2 x 18 mm
550,0	Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil/ Nonius (Achsabstand $e = 400\text{mm}$)
80,0	Mineralwolle, Schmelzpunkt $> 1000^\circ\text{C}$
100,0	Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

F_DE_BSP_tE



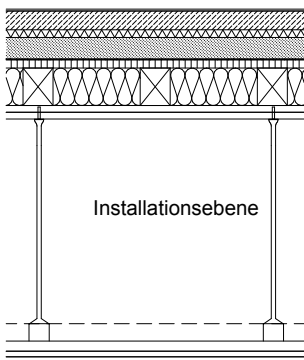
[mm]	Baustoffe
5,0	Bodenbelag Linoleum
36,0	Trockenstrich aus Gipsfaserplatten 2 x 18mm (EI90, m' ≥ 29 kg/m ²)
30,0	Trittschalldämmung MW (s' ≤ 30 MN/m ³)
60,0	Splittschüttung (m' ≥ 90 kg/m ²) auf Rieselschutzvlies (PP)
90,0	Brettsper Holz 3-lagig CL24
36,0	Beplankung Gipskarton Feuerschutzplatten 2 x 18 mm
550,0	Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil/ Nonius (Achsabstand e = 400mm)
80,0	Mineralwolle, Schmelzpunkt > 1000°C
100,0	Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm (m' ≥ 14,5 kg/m ²)

F_DE_K_nE



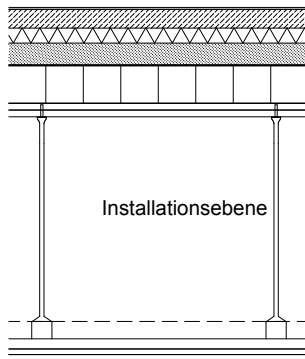
5,0	Bodenbelag Linoleum
50,0	Zementestrich (m' ≥ 120 kg/m ²)
20,0	Trittschalldämmung MW (s' ≤ 8 MN/m ³)
60,0	Splittschüttung (m' ≥ 90 kg/m ²) auf Riese
22,0	Dreischichtplatte auf Träger geklebt
100,0	VH C24 (80/100; e=0,625m)
100,0	Gefachdämmung Mineralwolle
22,0	Dreischichtplatte auf Träger geklebt
36,0	Beplankung Gipskarton Feuerschutzplatte
550,0	Installationsebene: Abhängung mit UA-Pr (Achsabstand e = 400mm)
100,0	Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm (m' ≥ 14,5 kg/m ²)

F_DE_R_nE



5,0	Bodenbelag Linoleum
50,0	Zementestrich (m' ≥ 120 kg/m ²)
20,0	Trittschalldämmung MW (s' ≤ 8 MN/m ³)
60,0	Splittschüttung (m' ≥ 90 kg/m ²) auf Rieselschutzvlies (PP)
22,0	Dreischichtplatte, auf Träger geklebt
100,0	Vollholz Träger (80/100, e=0,3125m)
100,0	Gefachdämmung Mineralwolle
36,0	Beplankung Gipskarton Feuerschutzplatten 2 x 18 mm
550,0	Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil/ Nonius (Achsabstand e = 400mm)
100,0	Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm (m' ≥ 14,5 kg/m ²)

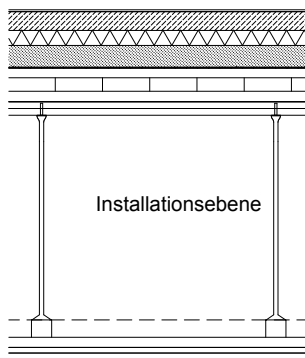
F_DE_BST_nE



[mm] Baustoffe

- 5,0 Bodenbelag Linoleum
- 50,0 Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)
- 40,0 Trittschalldämmung MW ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)
- 60,0 Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$) auf Rieselschutzvlies (PP)
- 100,0 Brettstapelholz, verleimt, GI24h
- 36,0 Beplankung Gipskarton Feuerschutzplatten 2 x 18 mm
- 550,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil/ Nonius (Achsabstand $e = 400\text{mm}$)
- 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

F_DE_BSP_nE



- 5,0 Bodenbelag Linoleum
- 50,0 Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)
- 40,0 Trittschalldämmung MW ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)
- 60,0 Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$) auf Rieselschutzvlies (PP)
- 90,0 Brettsperrholz 3-lagig CL24
- 36,0 Beplankung Gipskarton Feuerschutzplatten 2 x 18 mm
- 550,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil/ Nonius (Achsabstand $e = 400\text{mm}$)
- 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

Abbildung 80: Bauteilaufbauten der Flur Geschossdecken**Bauphysikalische Betrachtung**

Unter der Annahme eines notwendigen Flures müssen nach BayBO 2007 Art. 34 Abs. 6 Wände und Decken aus brennbaren Baustoffen eine Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen in ausreichender Dicke besitzen. Da es sich um tragende aussteifende als auch raumabschließende Bauteile handelt, wird auf die Bekleidungsstärken der MHolzBauRL 2022 zurückgegriffen. Bei den Massivholzkonstruktionen wird eine doppelte Beplankung aufgrund der Berechnung des Tragwiderstandes nach DIN EN 1995-1-2 notwendig. Bei einer ausreichenden Anzahl an notwendigen Treppenträumen innerhalb eines Nutzungsbereiches kann auf einen notwendigen Flur verzichtet werden. Die Bauteile könnten analog zu den Bauteilen der Raumtypologie Büro bekleidet werden.

Die schallschutztechnische Einordnung ist Tabelle 25 zu entnehmen.

Tabelle 25: Schallschutz Flur Geschossdecken

Raumtypologie Flur	Ergebnisse Berechnung [dB]			Schallschutz- technische Einordnung	Orientierung an
	R' _w	L' _{n,w}	L' _{n,w} ^a		
Geschossdecken	R' _w	L' _{n,w}	L' _{n,w} ^a		
F_DE_BST_nE	67	51	49	Basis	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 26 Z.6)
F_DE_BST_tE	71	47	59	Basis	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 27 Z.4)
F_DE_BSP_nE	66	51	49	Basis	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 26 Z.8)
F_DE_BSP_tE	71	47	59	Basis	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 27 Z.4)
F_DE_R_nE	67	52	49	Basis	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 24 Z.4)
F_DE_R_tE	73	46	49	Basis +	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 25 Z.29)
F_DE_K_nE	67	52	49	Basis	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 24 Z.4)
F_DE_K_tE	73	46	49	Basis +	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 25 Z.29)
^a Ergebnis unter Berücksichtigung der tiefen Frequenzen nach Gleichung Gl.3.5					

Lebenszyklusanalyse

Die Ergebnisse der LCA für die Umweltindikatoren Treibhauspotenzial (GWP) und Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) sind im Folgenden dargestellt. Die Ergebnisse für alle weiteren Kriterien sind im Anhang A (Bauteilmatrix) angegeben.

Das Treibhauspotenzial für Flur-Decken ist in Abbildung 81 für eine Nutzungsdauer von 100 Jahren dargestellt. Zusammenfassend ergeben sich folgende Ergebnisse:

- Niedrigstes GWP für Rippendecke mit Trockenestrich (F_DE_R_tE) mit 72,61 CO₂-Äq./m²
- Höchstes GWP für Brettsperrholzdecke mit Nassestrich (F_DE_BSP_nE) mit 104,02 CO₂-Äq./m²
- Vergleich beste Alternative EDUwood (F_DE_R_tE) mit konventioneller Alternative (gleicher Aufbau wie konventionelle Stahlbetondecke Büro, B-konv_DE_StB; GWP 128,78 CO₂-Äq./m²): Einsparpotenzial 44 %

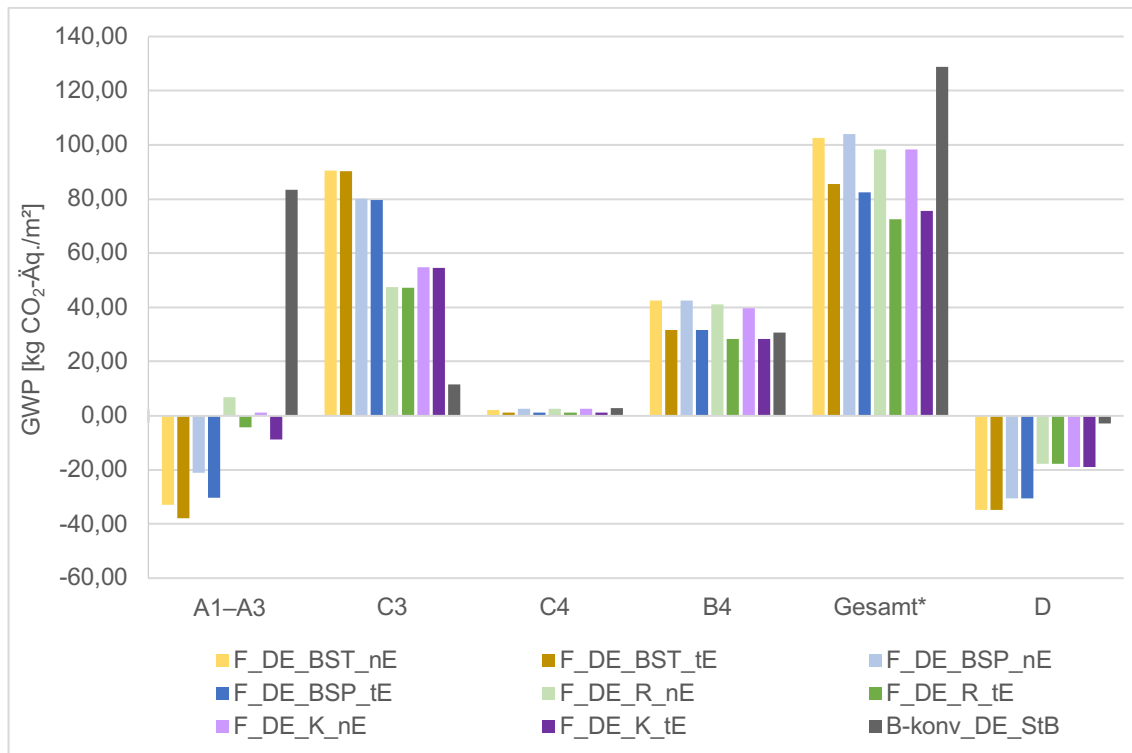


Abbildung 81: Treibhauspotenzial (GWP) für Flur-Decken, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1-A3, B4, C3, C4

Der Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PENRT) für Flur-Decken ist in Abbildung 82 dargestellt. Folgende Ergebnisse lassen sich ablesen:

- Niedrigste PENRT für Rippendecke mit Trockenestrich (F_DE_R_tE) mit 1.998,20 MJ/m²
- Höchste PENRT für Brettstapeldecke mit Trockenestrich (F_DE_BST_tE) mit 2.178,10 MJ/m²
- Kein Einsparpotenzial im Hinblick auf PENRT zwischen Holzbauweise und konventioneller Variante; Einsparpotenzial zwischen bester und schlechtester Holzbau-Alternative: 8 %

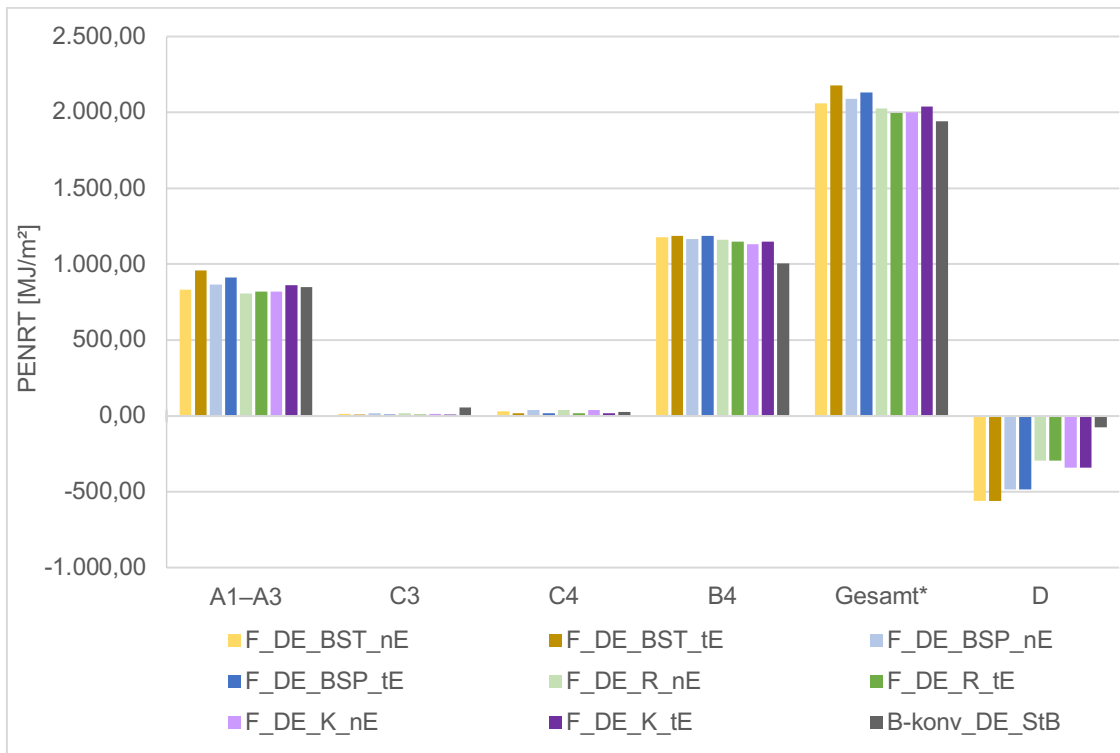


Abbildung 82: Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für Flur-Decken, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4

Nutzwertanalyse

Nachstehend werden die Ergebnisse der Nutzwertanalyse für die Geschossdecken Büro beschrieben. Die Berechnung erfolgt für die Gewichtungen *basis* und *eco*.

Wie aus Abbildung 83 und Abbildung 84 ersichtlich, ändert sich die Rangfolge der Alternativen minimal zwischen der *basis*- und *eco*-Gewichtung. Die fünf besten Alternativen (jeweils in Holzbauweise) sowie die schlechteste (Stahlbeton) sind in beiden Fällen identisch in Bezug auf die Rangfolge der Nutzwerte. Generell sind Konstruktionen mit Trockenestrich im Hinblick auf Ressourceneinsatz und Klimaschutz zu bevorzugen; analog zu den Büro-Decken gilt auch hier, die Gebrauchstauglichkeit sicherzustellen. Daher wird im Weiteren die beste Nassestrich-Alternative (Brettstapeldecke F_DE_BST_nE, Rang 5) ausgewählt.

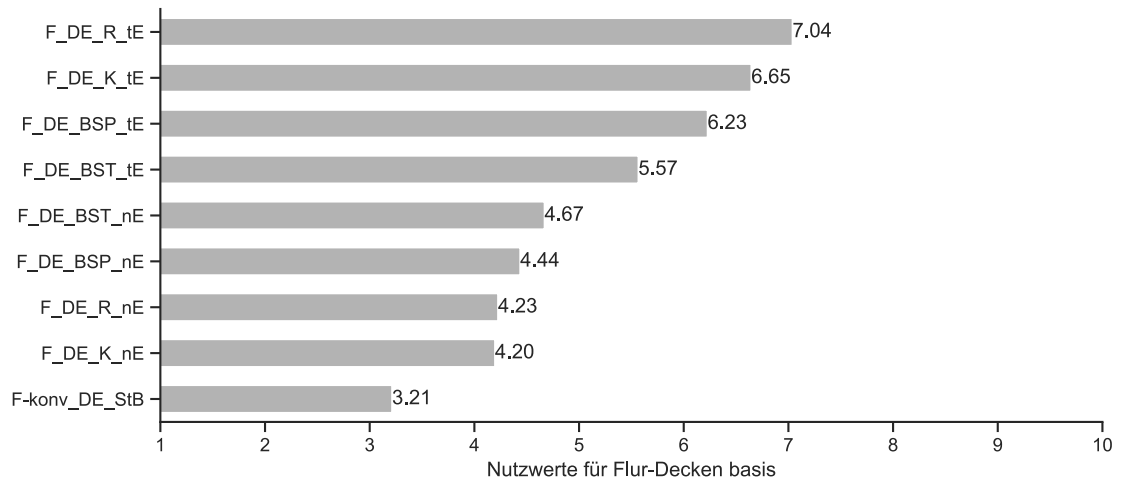


Abbildung 83: Ermittelte Nutzwertwerte für Flurdecken, Gewichtung basis

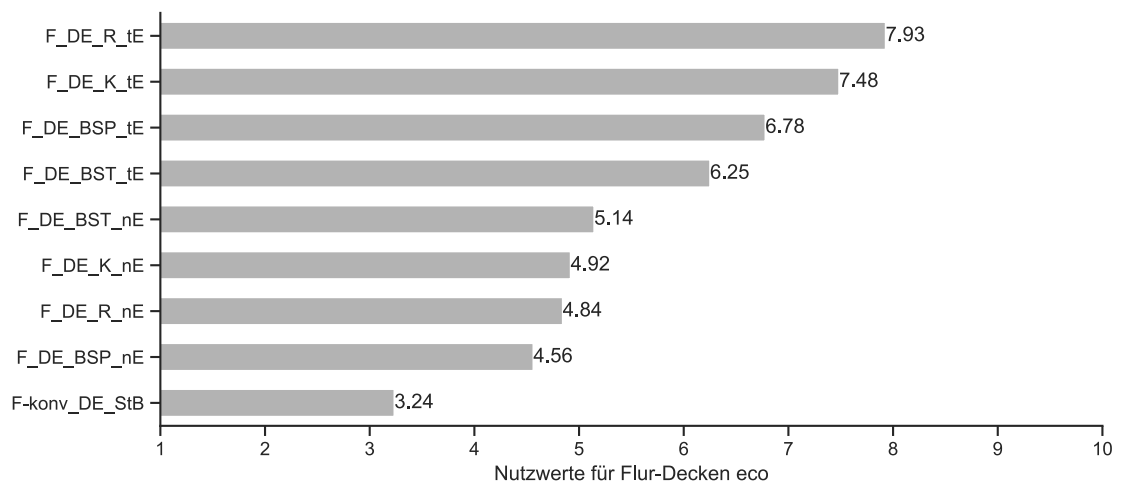


Abbildung 84: Ermittelte Nutzwertwerte für Flurdecken, Gewichtung eco

Sensitivitätsanalyse Nutzwerte

Für Flur-Decken sind die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse gemäß Kapitel 3.4.1 für die Kriteriengewichtungen *eco*, *equal*, *smooth* und *spread* in Abbildung 85 dargestellt. Die Rangfolge der Nutzwerte variiert stark je nach Kriteriengewichtung, allerdings lassen sich folgende Aussagen ableiten:

- Bei allen Varianten schneidet die Rippendecke mit Trockenstrich (F_DE_R_tE) am besten ab (Rang 1); die Kasten- und Brettsperrholzdecke, jeweils mit Trockenstrich, liegen ebenfalls im oberen Drittel (Rang 2 und 3).
- Die bei der Gewichtung *eco* aus schallschutztechnischen Gründen empfohlene Brettstapeldecke mit Nassestrich (B_DE_BST_nE, Rang 5) liegt bei geänderter Kriteriengewichtung ebenfalls im Mittelfeld.

- Die Stahlbetondecke (F-konv_DE_StB) liegt unabhängig von der Kriteriengewichtung auf den untersten Rängen und ist daher nicht zu empfehlen.

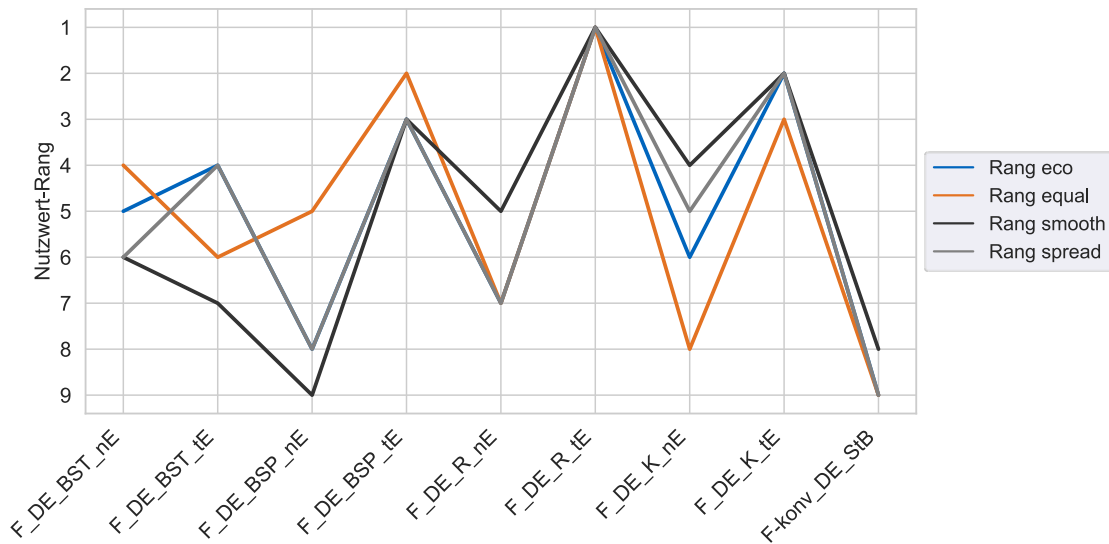


Abbildung 85: Rangfolge der Nutzwerte bei unterschiedlicher Gewichtung der Kriterien für Flur-Decken

Kosten-Nutzen-Analyse

Die Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse zeigen, dass alle Konstruktionen – mit Ausnahme der konventionellen Bauweise – einen ähnlichen Nutzwert bei ähnlichen Kosten aufweisen (siehe Abbildung 86). Die Stahlbetondecke weist geringere Kosten sowie einen geringeren Nutzwert auf.

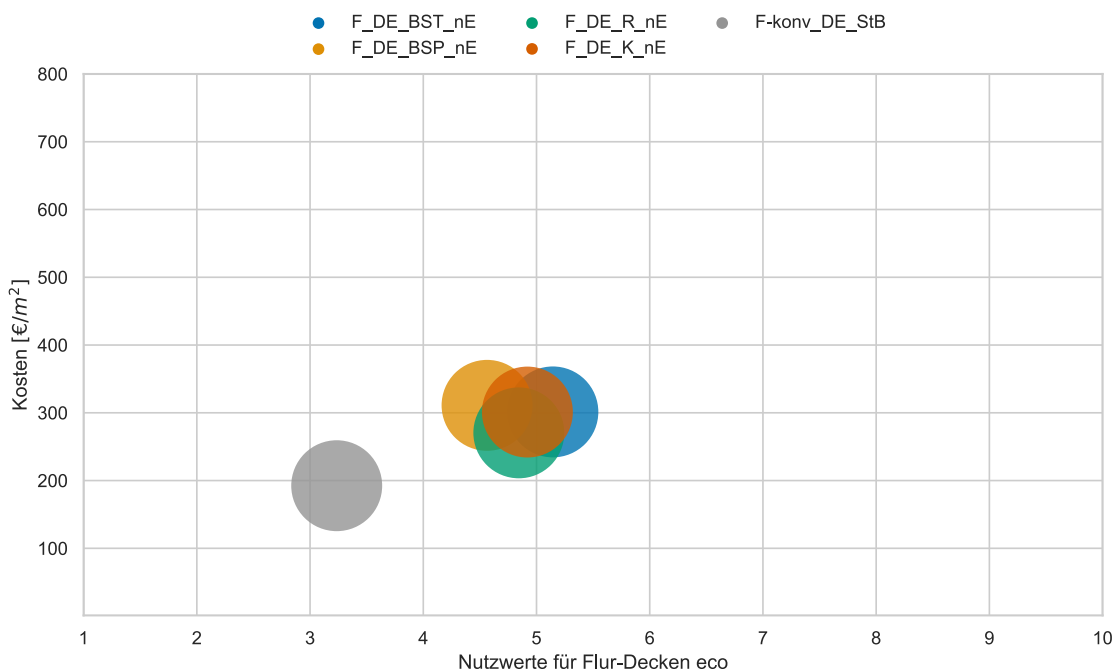


Abbildung 86: Kosten-Nutzen-Analyse der Flur Decken

Bei einem Vergleich der Varianten mit Nass- und Trockenestrichen ist in Abbildung 87 ein Anstieg der Kosten mit steigendem Nutzwert zu erkennen.

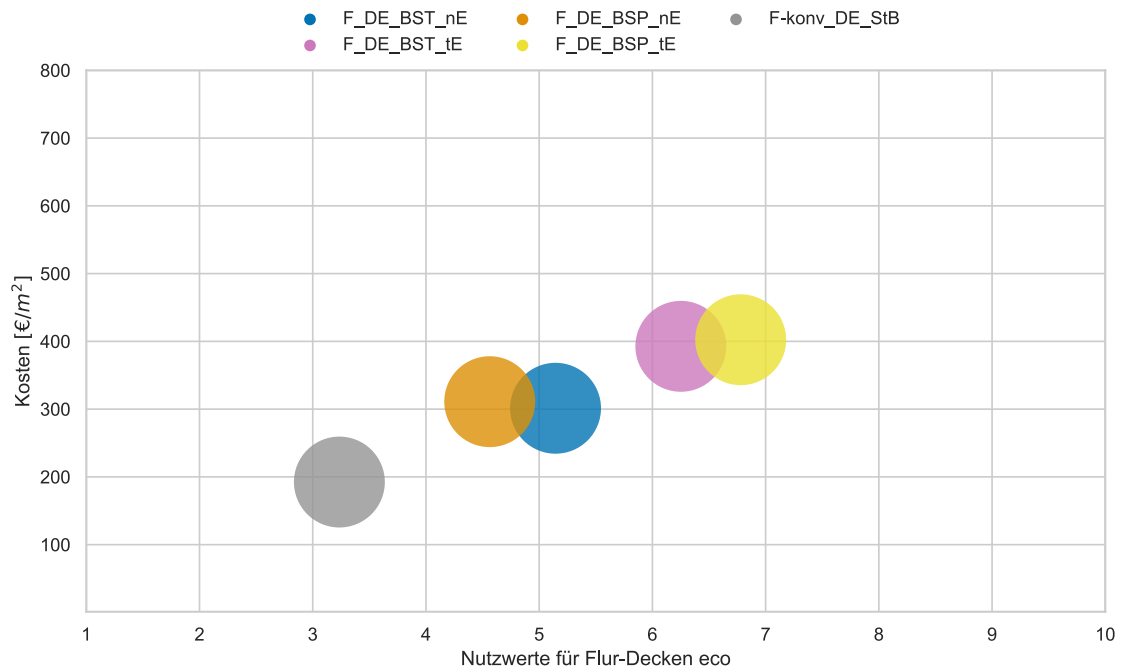


Abbildung 87: Kosten-Nutzen-Analyse der Flur Decken mit Nass- und Trockenestrich

6.3. Raumebene

Folgende Bauteilaufbauten werden für die Raumtypologie Büro basierend auf den Ergebnissen der Nutzwertanalysen im Hinblick auf Ressourcen- und Klimaschutz empfohlen und bei der Betrachtung auf Raumebene berücksichtigt:

- Außenwand: Holzskelettbau (AW_HTB)
- Fenster: Holz-Aluminiumfenster mit Dreischeiben-Isolierverglasung (AW_FE)
- Flurwand: Skelettbau mit Holzständerwand und Gipskartonbeplankung (FW_HTB_GKP)
- Innenwand (Bürowand): Metallständerwand mit Beplankung aus Lehmbauplatten (BW_MSt_LBP)
- Decke: Rippendecke mit Nassestrich (B_DE_R_nE)
- Dach: Flachgeneigte Rippendecke mit extensiver Dachbegrünung (B_DA_R_fg_exDB)

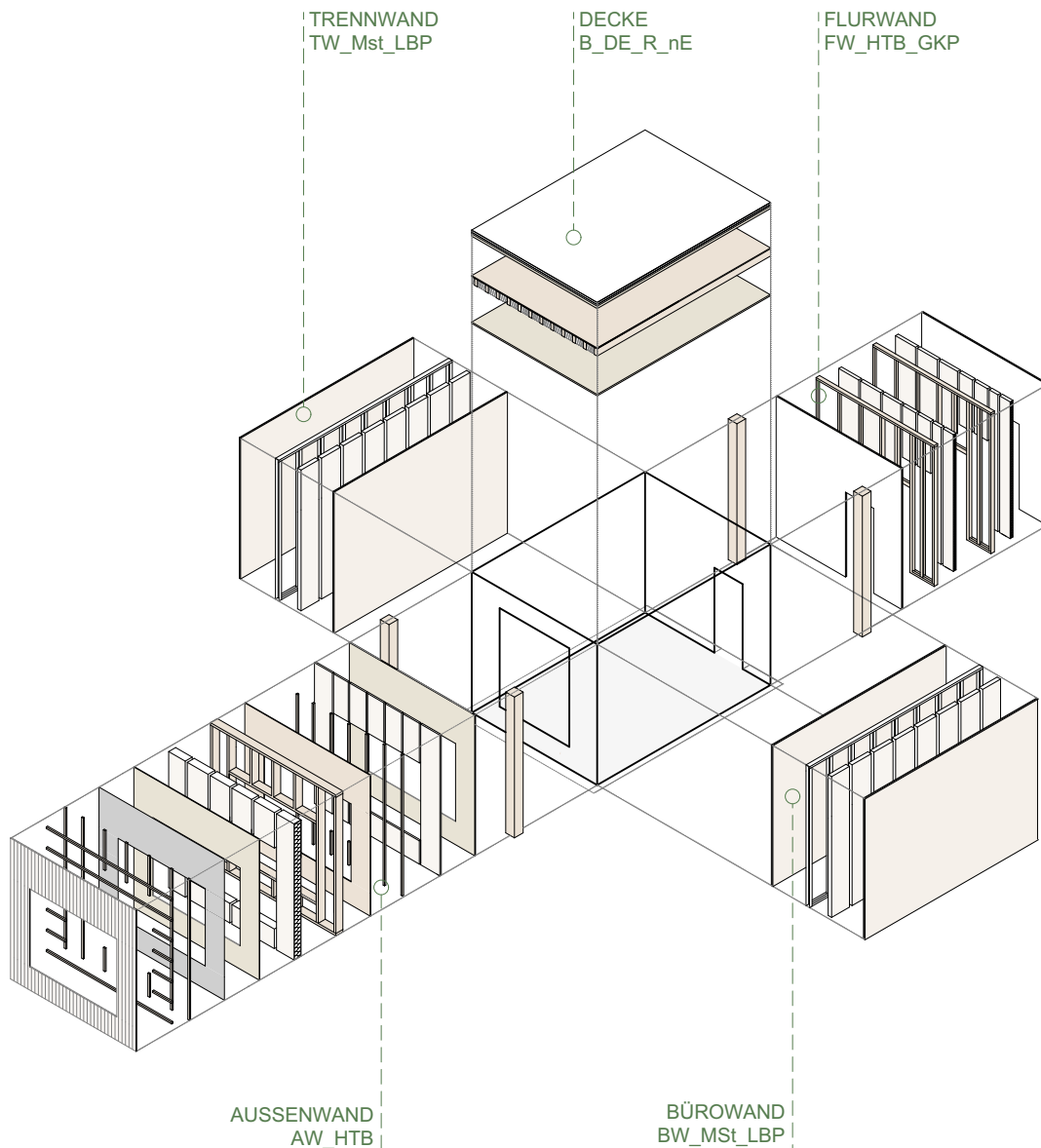


Abbildung 88: Ausgewählte Bauteile für Büro, Gewichtung eco

Thermische Simulation

Die thermischen Untersuchungen erfolgen gemäß der in Kapitel 4.3.1 dargestellten Vorgehensweise. Die Einstellungen und der Modellaufbau können im Anhang B: Simulationsrandbedingungen eingesehen werden. Die Auswahl und Auswirkungen der Veränderung der energetischen Parameter ist in Abbildung 89 gezeigt. Mit Hilfe der Standortparameter werden durchschnittliche Nutzenergiebedarfe ermittelt und die Berechnungen zum thermischen Komfort durchgeführt.

Auswahl energetischer Maßnahmen

Der jährliche spezifische Heizenergiebedarf in kWh/m²a wird in Abbildung 89 in rot dargestellt, der Kühlenergiebedarf in blau. Auf der x-Achse werden die Parameter Abhangdecke, Aktive Beschattung, Nachtauskühlung und Konstruktionsart aufgelistet. Ein X bedeutet, dass der Parameter in der Simulation aktiv ist. Alle gezeigten

Simulationen sind mit statischen Standortparametern ausgeführt: Die Umschließungsflächen sind adiabatisch, die Fassadenseite zeigt Richtung Süden und es liegt keine Beschattung durch Umgebungsobjekte vor.

Die Variante mit dem geringstem Gesamtnutzenergiebedarf (35,9 kWh/m²a) steht links und ist der Konstruktionsart *konventionell* mit aktiver Nachtauskühlung und Beschattung zuzuordnen. An zweiter Stelle steht die *eco* Konstruktion mit gleichen Parametereinstellungen. In beiden Fällen ist mit einer Abhangdecke der Energiebedarf geringer. Zudem weisen Zonen ohne aktive Beschattung einen höheren Kühlenergiebedarf auf, dafür ist der Heizenergiebedarf geringer. Eine natürliche Nachtauskühlung ist bei beiden Konstruktionsarten energetisch sinnvoll; Bevorzugt sollte sie ohne Abhangdecke und mit aktiver Beschattung eingesetzt werden.

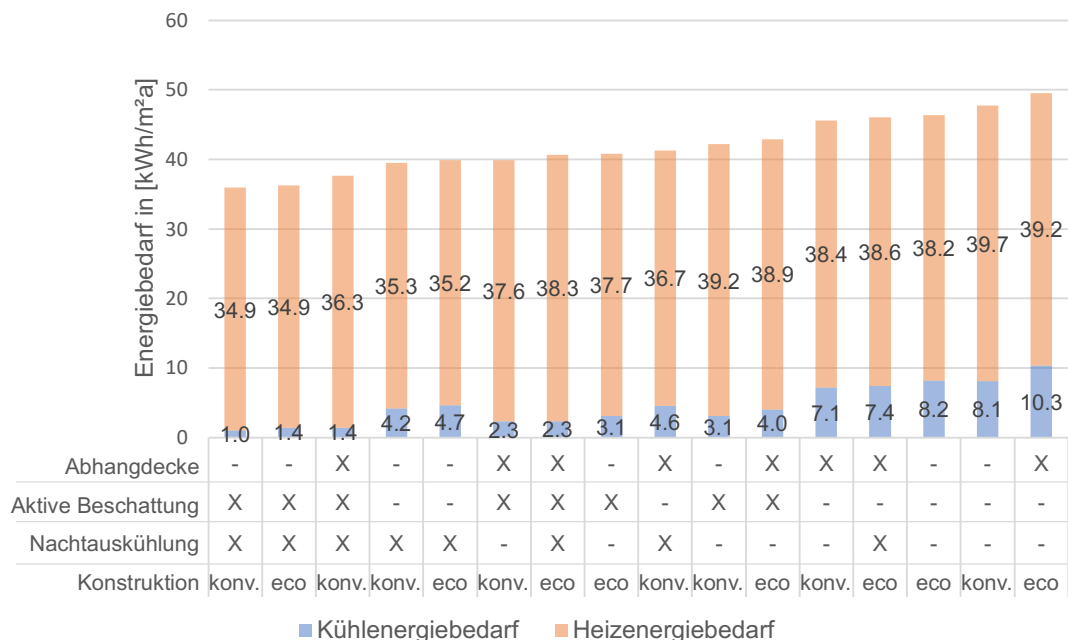


Abbildung 89: Jährlicher spezifischer Heiz- und Kühlenergiebedarf hierarchisch sortiert nach dem Gesamtenergiebedarf – Büro

Die energetisch sinnvollste Parameterkombination für die *eco* Konstruktion ist eine aktive Beschattung, Nachtauskühlung und keine Abhangdecke. Die folgenden Untersuchungen finden in dieser Kombination statt.

Abschätzung zur Relevanz der Kühlung

Die Anforderung nach der DIN 4108-2 kann in der *eco* Bauart in jeder Orientierung eingehalten werden. Tabelle 26 zeigt, dass die zulässigen Übertemperaturgradstunden von 500 Kh/a (siehe Kap. 3.5.3) im Mittel um 39 % unterschritten werden. Es kann also davon ausgegangen werden, dass im Büro kein Überhitzungsrisiko besteht und somit keine aktive Kühlung benötigt wird.

Tabelle 26 :Übertemperaturgradstunden nach der Himmelsrichtung – Büro

Orientierung	Süd	West	Nord	Ost	Mittelwert
Übertemperaturgradstunden in [Kh/a] >26°	233	286	358	341	304
Verhältnis Anforderungswert der DIN 4108-2 (500 Kh/a)	0,47	0,57	0,72	0,68	0,61
Übertemperaturgradstunden nach DIN EN 16798-1	10	30	17	4	15,22

Ermittlung durchschnittlicher Nutz- und Endenergiebedarf

Die Ergebnisse aus den Simulationen mit statischen energetischen und variablen Standortparameter ergeben den Heizwärmebedarf. Tabelle 27 zeigt diesen sortiert nach der Konstruktionsart und abhängig nach der räumlichen Angrenzung im Gebäude. Es wird zwischen oberem Gebäudeabschluss, innenliegenden Bauteilen sowie Angrenzung an Erdreich unterschieden, da auch in der LCA auf Raumebene eine differenzierte Betrachtung vorgenommen wird. Es ist erkennbar, dass die konventionelle Bauweise einen geringeren Nutzenergiebedarf aufweist und Räume mit Dach einen höheren Bedarf haben als innenliegende oder ans Erdreich angrenzende Räume.

Tabelle 27: Nutz- und Endenergiebedarf – Büro

Konstruktion	Heizung / Kühlung	Lage der Zone im Gebäude	Nutzenergie in [kWh/m²a]	Endenergie in [kWh/m²a]
eco	Heizung	Dach, Innenliegend	30,9	5,6
	Heizung	Innenliegend, Erdreich	19,8	3,6
konv.	Heizung	Dach	29,3	5,3
	Heizung	Innenliegend, Erdreich	19,3	3,5

Basierend auf dem Nutzenergiebedarf wird der Endenergiebedarf ermittelt; die berücksichtigten Komponenten der Gebäudetechnik sind in Kapitel 4.3.2 aufgeführt.

Thermischer Komfort

Die Abbildung 90 zeigt, dass zu Zeiten der Anwesenheit (dunkelblaue Punkte) die operative Temperatur selten die Grenzbänder der Kategorie 2 über- oder unterschreitet. In der Gebäudezertifizierung der Deutschen Gesellschaft für nachhaltiges Bauen (DGNB) werden Punkte für die Einhaltung der Kategorie 2 vergeben; dabei muss die Abweichungshäufigkeit kleiner gleich 5 % der Anwesenheitszeit sein. Für eine Nutzungszeit des Büros von 3.744 Stunden im Jahr ergibt sich ein Grenzwert von 187,2 Stunden. Der Tabelle 27 ist zu entnehmen, dass für jede Ausrichtung der Auslegungswert unterschritten wird.

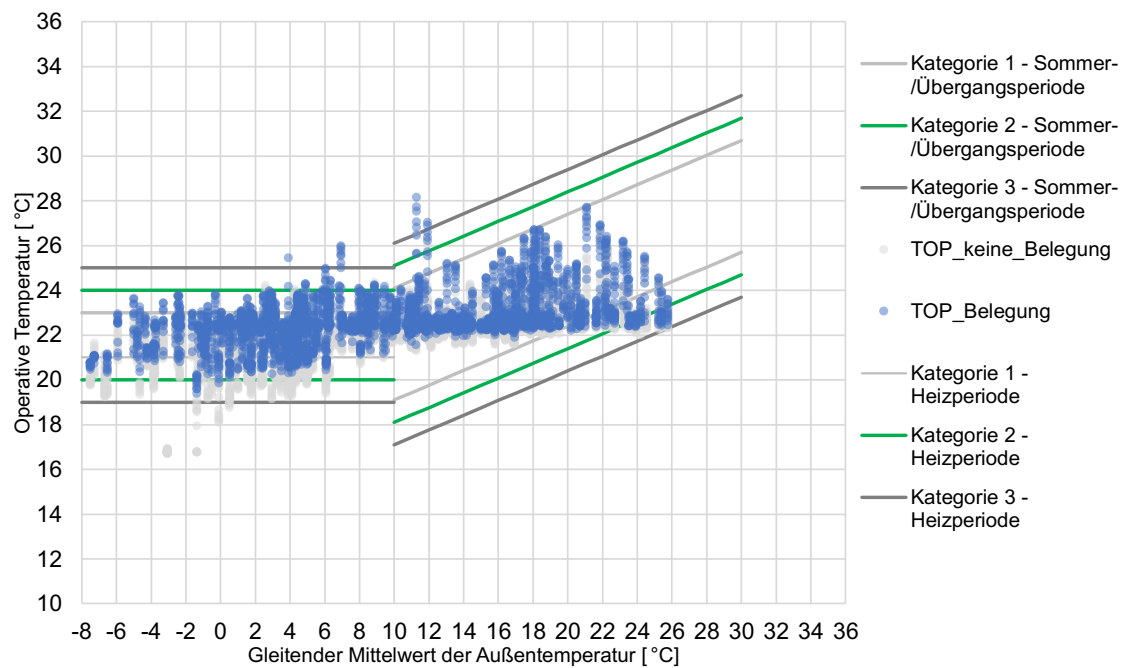


Abbildung 90: Operative Temperaturen – Büro (eigene Darstellung)

Lebenszyklusanalyse

Für die Raumtypologie Büro sind die Ergebnisse der LCA in Abbildung 91 für GWP (links) und PENRT (rechts) dargestellt. Die Ergebnisse beziehen sich auf einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren. Für die Holzbauvariante *eco* werden die oben aufgeführten Bauteilkonstruktionen betrachtet; diese sind die Alternativen mit dem jeweils höchsten Nutzwert. Die Variante *eco* weist ein GWP von 3,01 kg CO₂-Äq./m²a auf und liegt damit rund 30 % unterhalb einer konventionellen Bauweise mit 4,22 kg CO₂-Äq./m²a. Im Vergleich zu einer konventionellen Bauweise können mit 48,99 MJ/m²a zudem 15 % an Primärenergie nicht erneuerbar eingespart werden.

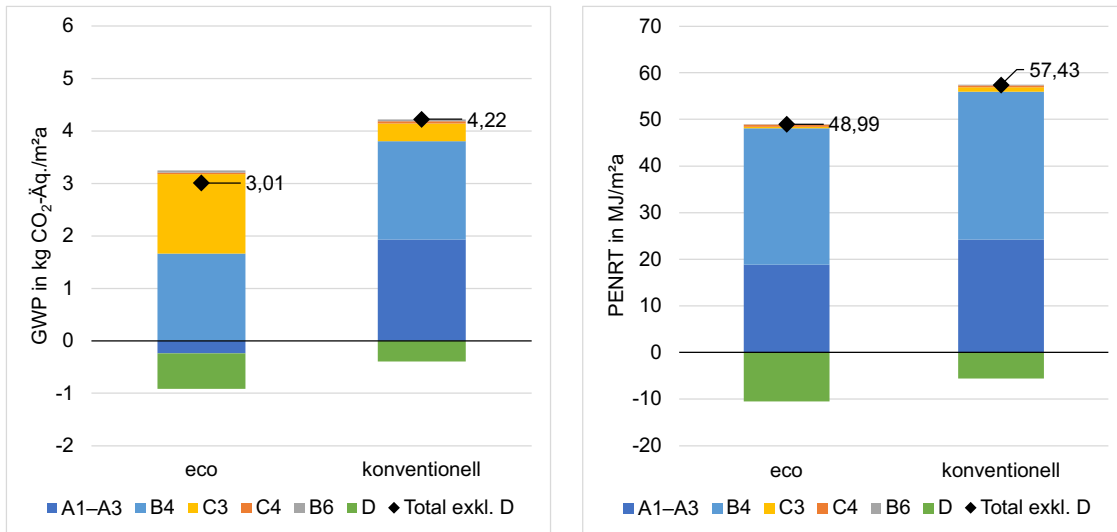


Abbildung 91: Treibhauspotenzial (GWP) und Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für die Raumtypologie Büro; Betrachtungszeitraum 100 Jahre

6.4. Handlungsempfehlung

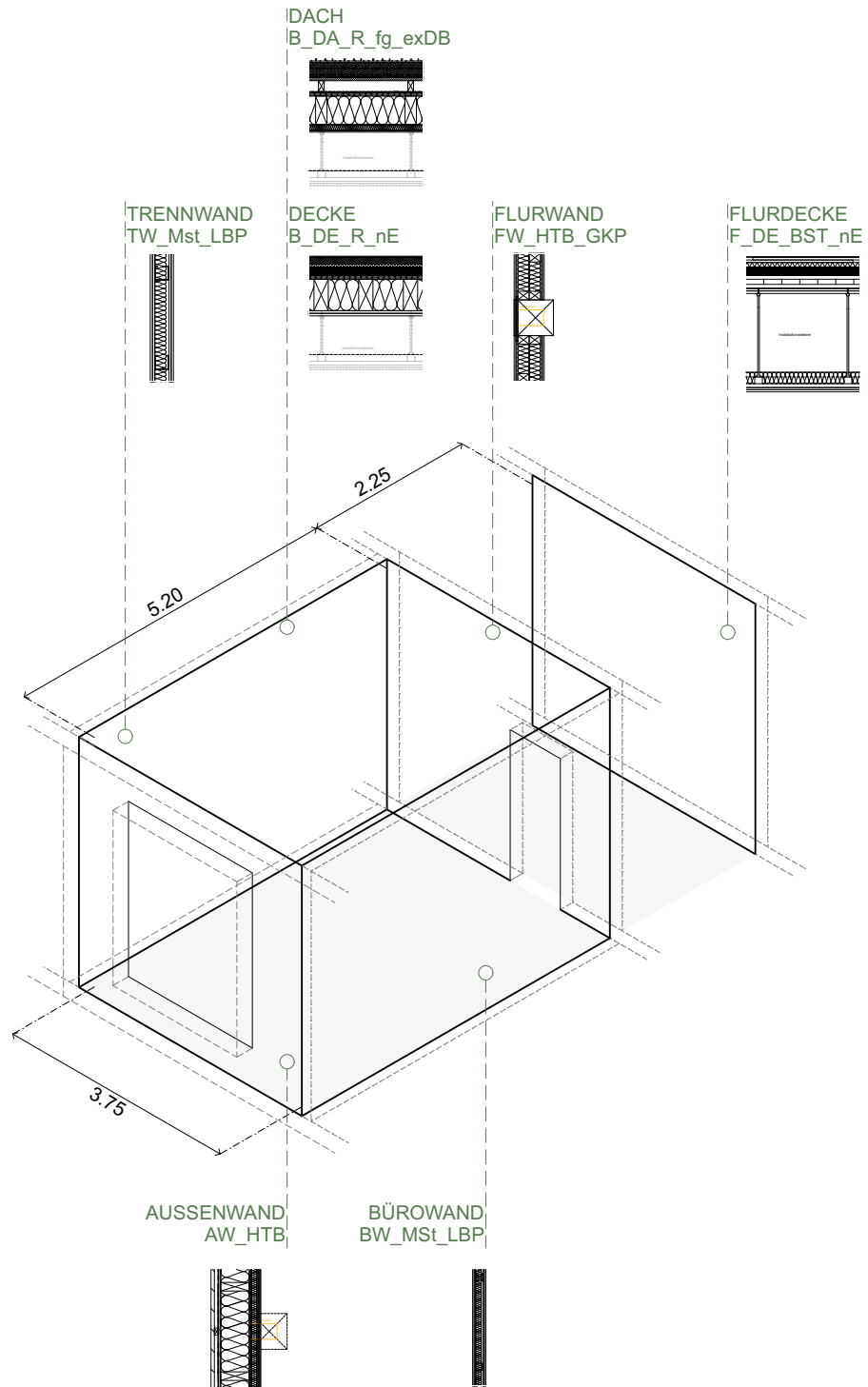


Abbildung 92: Handlungsempfehlung: Ausgewählte Bauteile für Büro, Gewichtung eco

Basierend auf den vorangegangenen Untersuchungen auf Raumebene werden folgenden Empfehlungen ausgesprochen:

- Im Hinblick auf Klimaschutz ist eine Holzbauweise (Variante eco) gegenüber einer mineralischen Bauweise (Variante konventionell) zu bevorzugen, da sie im gesamten Lebenszyklus ein um bis zu 30 % geringeres Treibhauspotenzial aufweist. Dies gilt auch dann, wenn für das Lebensende der Holzbauteile ein Verbrennungsszenario und damit die Freisetzung von CO₂ angenommen wird.
- Für den Büroraum besteht kein Überhitzungsrisiko und daher kein Bedarf für eine aktive Kühlung.
- Eine Nachtauskühlung sollte zur Reduzierung des Überhitzungsrisikos ermöglicht werden und ist auch bei der untersuchten Holzbauweise effektiv. Auf die Ausführung entsprechender Lüftungsflügel mit Witterungs- und Einbruchschutz ist zu achten.
- Ein aktiv gesteuerter außenliegender Sonnenschutz sollte eingesetzt werden.
- Um die wirksame Wärmespeicherkapazität zu erhöhen, sollte keine geschlossene Abhangdecke eingebaut werden.
- Hinweise zur Förderungen der Regionalität der Baustoffe und der lokalen Wertschöpfung sind den derzeitigen Gesetzen zu entnehmen

7. Raumtypologie Seminar

7.1. Grundriss und Anforderungen

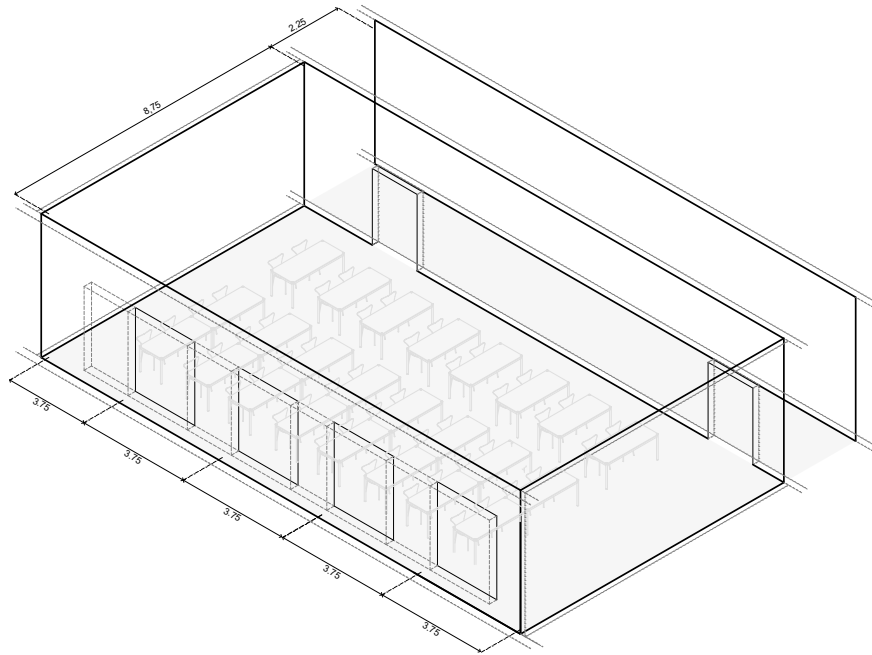


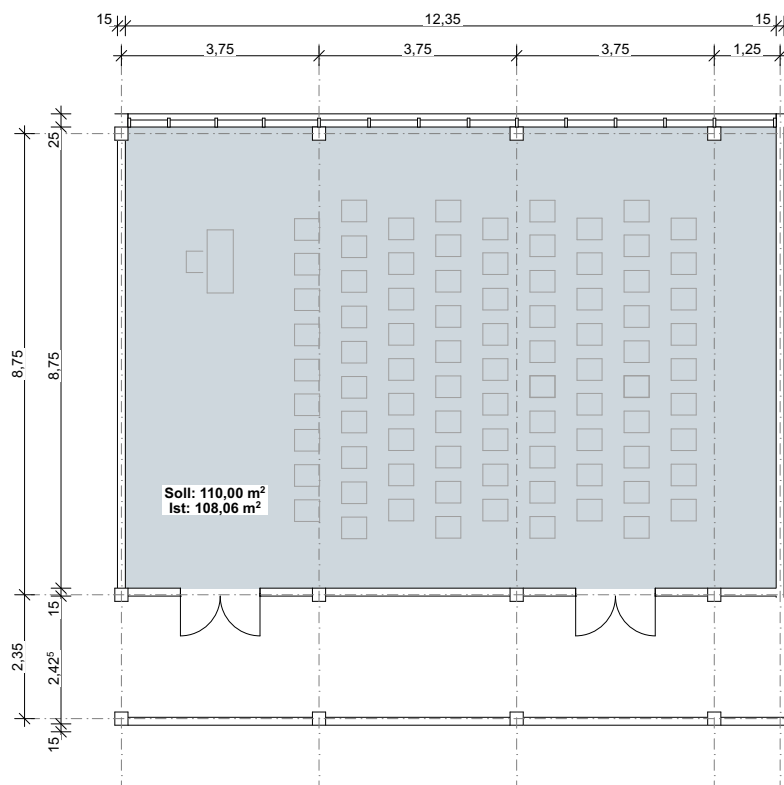
Abbildung 93: Axonometrie Seminar (eigene Darstellung)

Die Raumtypologie *Seminar* fasst mehrere Nutzungen aus dem Raumprogramm der UTN des ersten ausgeschriebenen Wettbewerbs und der Bedarfsplanung zusammen (doranth post architekten 2020b, Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst 2021). Es handelt sich dabei um alle Raumeinheiten mit einer Größe von 110 m² und 150 m², wie Seminarräume, Speisesäle und kleine Hörsäle, die weniger als 200 Personen fassen und nicht als Versammlungsräume im Sinne der BayBO gelten. Beide Raumgrößen der Kategorie Seminar können mit der gleichen Raumtiefe geplant werden und weisen somit die gleiche Spannweite auf. Eine angemessene Raumproportion ergibt sich bei einer Raumtiefe von 8,75 m. Mit dieser Geometrie lassen sich Seminarräume, Speisesäle und kleine Hörsäle möblieren (siehe Abbildung 94 bis Abbildung 95). In Fassadenrichtung bleibt das Achsraster von 3,75 m bestehen. Die Lage der Stützen ist in allen Geschossen identisch.

Nach ASR A 1.2 ist für Arbeitsräume über 100 m² eine lichte Höhe von mindestens 3,00 m gefordert. Gegebenenfalls werden Büroeinheiten mit Seminarräumen im selben Geschoss geplant. Die Differenz zwischen den höheren Deckenaufbauten der weiter gespannten Räume und den Deckenaufbauten der Büroeinheiten wird mit der lichten Raumhöhe ausgeglichen. Für die Seminarräume ergibt sich daraus eine lichte Raumhöhe von ca. 3,10 m. Eine ausreichende Belichtung mit Tageslicht nach ASR A 3.4 wird durch eine Fensterfläche von mindestens 40 % je Achsraster gewährleistet, im

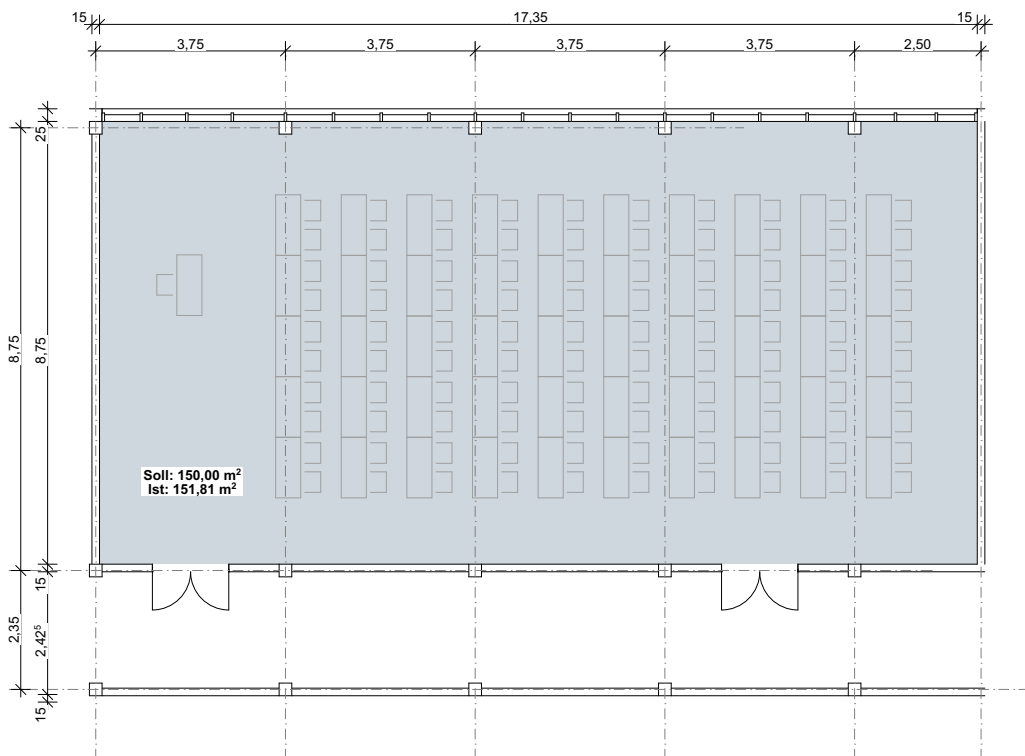
Erdgeschoss und in den übrigen Geschossen kann ein Pfosten-Riegel-System eingesetzt werden.

An jedes Bauteil werden abhängig der Einbausituation entsprechende bauphysikalische Anforderungen gestellt. Für die horizontalen Bauelemente der Raumtypologie Seminar werden die Geschosdecken, sowie der obere Gebäudeabschluss betrachtet.



Seminarraum 110 m²

Abbildung 94: Grundriss kleine Seminareinheit



Lehrsaal, Speisesaal, kleine Hörsaal (ohne Tribüne) 150 m²

Abbildung 95: Grundriss große Seminareinheit

7.2. Bauteilebene

7.2.1. Geschossdecke

Die Räume der Kategorie Seminar werden mit einer Deckenspannweite von 8,75 m angenommen. Für diese Spannweite kommen als Konstruktionen die Kastendecke und die Holz-Beton-Verbundkonstruktion in Frage (siehe Kapitel 4.2.4). Im Bereich der Holz-Beton-Verbundbauweise (HBV) werden die HBV-Rippendecke und die HBV-Brettstapeldecke untersucht (siehe Abbildung 96). Die tragenden Elemente sind nach den bauphysikalischen Anforderungen (siehe Tabelle 28) dimensioniert und in Abbildung 98 dargestellt.

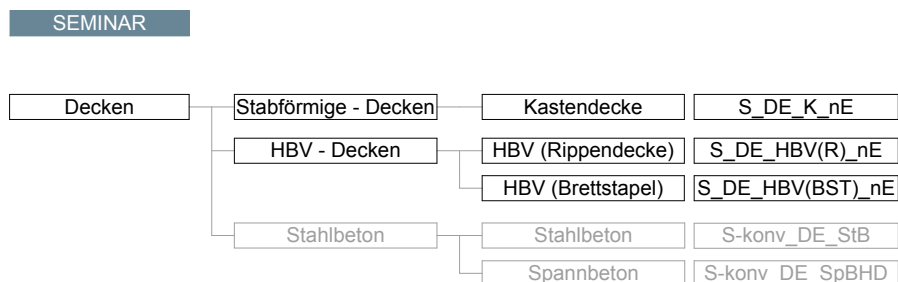
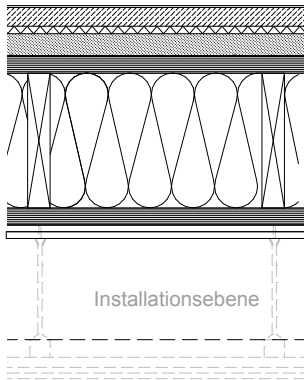


Abbildung 96: Übersicht Betrachtete Bauteile der Seminar-Decken

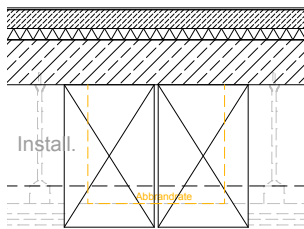
S_DE_K_nE



[mm] Baustoffe

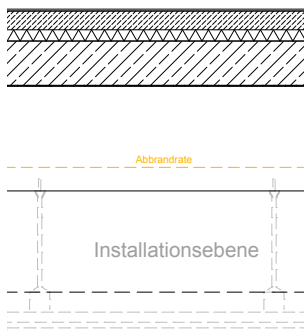
- 5,0 Bodenbelag Linoleum
- 50,0 Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)
- 20,0 Trittschalldämmung MW ($s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$)
- 60,0 Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$) auf Rieselschutzvlies (PP)
- 45,0 Funierschichtholz Kerto Q-Platten
- 360,0 Brettschichtholzträger, GL24h (360/80, $e=0,625\text{m}$)
- 360,0 Gefachdämmung Mineralwolle
- 45,0 Funierschichtholz Kerto Q-Platten
- 36,0 Beplankung Gipskarton Feuerschutzplatten 2 x 18mm
- 270,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand $e = 400\text{mm}$)
- 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

S_DE_HBV(R)_nE



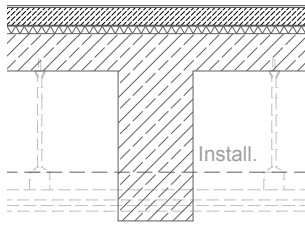
- 5,0 Bodenbelag Linoleum
- 50,0 Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)
- 40,0 Trittschalldämmung MW ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)
- 120,0 Beton C30/37
- 380,0 Brettschichtholzträger GL24h (2 x 240/380) ($e=1,25\text{m}$)
- 270,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand $e = 400\text{mm}$)
- 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

S_DE_HBV(BST)_nE



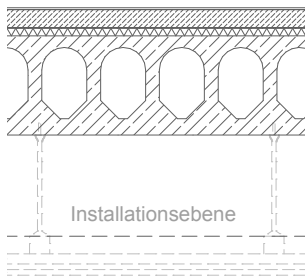
- 5,0 Bodenbelag Linoleum
- 50,0 Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)
- 40,0 Trittschalldämmung MW ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)
- 120,0 Beton C30/37
- 280,0 Brettstapelelement, gedübelt, GL24h
- 270,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand $e = 400\text{mm}$)
- 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

S-konv_DE_StB



[mm]	Baustoffe
5,0	Bodenbelag Linoleum
50,0	Zementestrich
0,4	PE - Folie, Trennlage
20,0	Polystyrol - Hartschaum 20-2 (Trittschalldämmung), EPS 040
100,0	Stahlbeton C30/37
400,0	Stahlbetonrippendecke (Rippen 400/200), e = 0,75m
270,0	Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand e = 400mm)
100,0	Abhängendecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm (m' ≥ 14,5 kg/m ²)

S-konv_DE_SpBHD



5,0	Bodenbelag Linoleum
50,0	Zementestrich
0,4	PE - Folie, Trennlage
20,0	Polystyrol-Hartschaum 20-2 (Trittschalldämmung), EPS 040
265,0	DW-Systemdecke
270,0	Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand e = 400mm)
100,0	Abhängendecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm (m' ≥ 14,5 kg/m ²)

Abbildung 97: Bauteilaufbauten der Seminar-Decken

Bauphysikalische Betrachtung

Für die Geschossdecken des Seminarraums gelten hinsichtlich des Brand- und Schallschutzes dieselben Anforderungen wie für die Geschossdecken der Büroeinheiten (vgl. Kapitel 6.2.1). Die schallschutztechnische Einordnung ist Tabelle 28 zu entnehmen.

Tabelle 28 Schallschutz Seminar Decken

Raumtypologie Seminar	Ergebnisse Berechnung [dB]			Schallschutz- technische Einordnung	Orientierung an
	R'_w	$L'_{n,w}$	$L'_{n,w}$ _a		
Geschossdecken					
S_DE_K_nE	67	52	49	Basis	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 24 Z.5)
S_DE_HBV(R)_nE	62	48	-	Basis	(DIN 4109-32, 4.8.4.4; DIN 4109-34, 4.5.4.2.1; DIN EN ISO 12354-2,

					Anhang B; Rabold et al. 2008)
S_DE_HBV(BST)_nE	60	46	-	Basis	(DIN 4109-32, 4.8.4.4; DIN 4109-34, 4.5.4.2.1; DIN EN ISO 12354-2, Anhang B; Rabold et al. 2008)
S-konv_DE_SpBHD	54	40	-	Basis	(DIN 4109-32; DIN 4109-34)
S-konv_DE_Stb_nE	57	34	-	Basis	(DIN 4109-32; DIN 4109-34)
^a Ergebnis unter Berücksichtigung der tiefen Frequenzen nach Gleichung Gl.3.5					

Die Ausnutzungsgrade der Konstruktionen sind in Abbildung 98 gegenübergestellt. Auf eine Darstellung der Heißausnutzungsgrade wird im Stahlbetonbau aufgrund des durchgeführten vereinfachten Verfahrens verzichtet. Es wird erkenntlich, dass die Schwingungsnachweise bei den Holzbaukonstruktionen maßgebend sind. Im Stahlbetonbau ist der Grenzzustand der Tragfähigkeit maßgebend. Bei den Spannbetonhohldielen ist der Schwingungsnachweis maßgebend. Dies ist auf die durch die Hohlräume resultierende geringere Masse zurückzuführen.

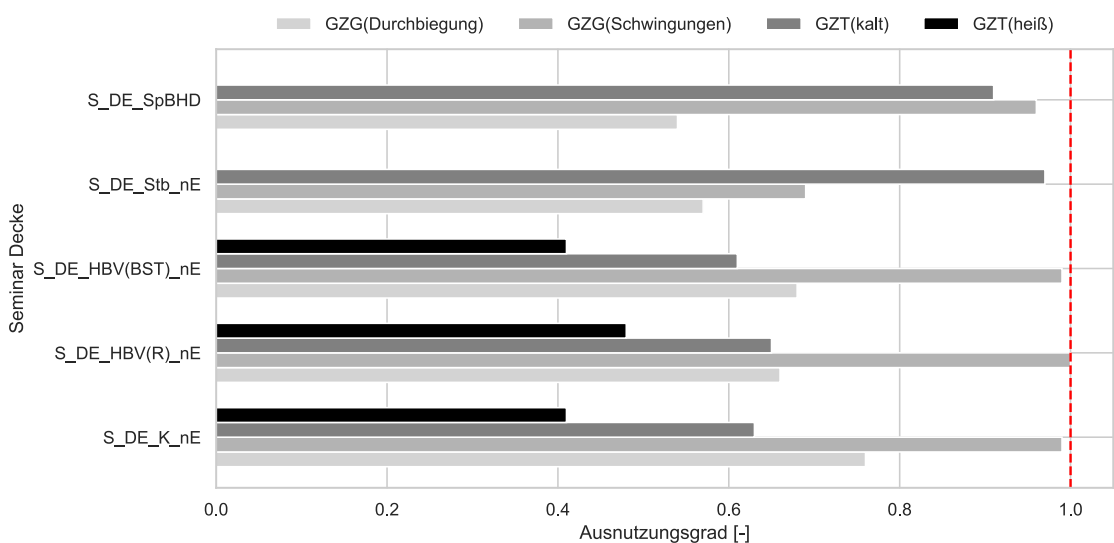


Abbildung 98: Ausnutzungsgrad der Seminar Geschosdecken

Lebenszyklusanalyse

Die Ergebnisse der LCA für die Umweltindikatoren Treibhauspotenzial (GWP) und Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) sind im Folgenden dargestellt. Die Ergebnisse für alle weiteren Kriterien sind im Anhang A Bauteilmatrix angegeben.

Das Treibhauspotenzial für Seminar-Decken ist in Abbildung 99 für eine Nutzungsdauer von 100 Jahren dargestellt. Zusammenfassend ergeben sich folgende Ergebnisse:

- Niedrigstes GWP für Kastendecke mit Nassestrich (S_DE_K_nE) mit 125,16 CO₂-Äq./m²

- Höchstes GWP für Holz-Beton-Verbund-Decke (Brettstapel) mit Nassestrich, (S_DE_HBV(BST)_nE) mit 153,60 CO₂-Äq./m²
- Bei konventioneller Bauweise weist die Spannbetondecke ein um 23 % höheres GWP auf als die Stahlbetonbauweise
- Vergleich beste Alternative EDUwood (S_DE_K_nE) mit Spannbetondecke (S-konv_DE_SpBHD; GWP 170,59 CO₂-Äq./m²): Einsparpotenzial 23 %

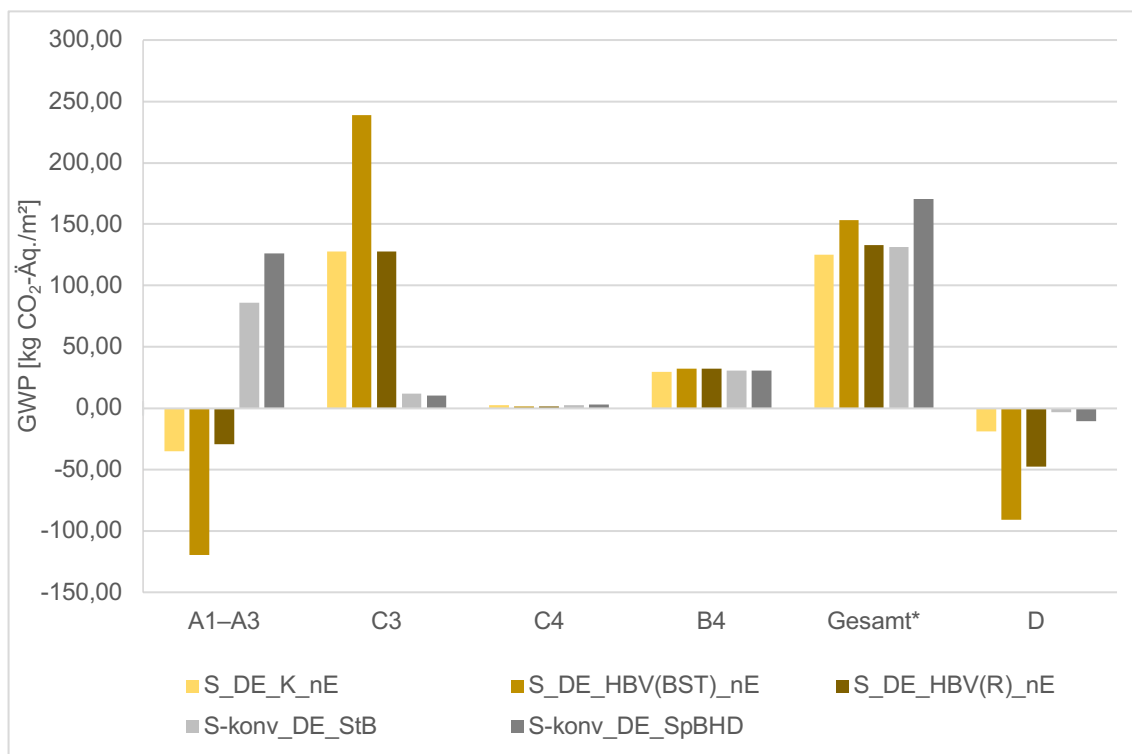


Abbildung 99: Treibhauspotenzial (GWP) für Seminar-Decken, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4

Der Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PENRT) für Büro-Decken ist in Abbildung 100 dargestellt. Folgende Ergebnisse lassen sich ablesen:

- Niedrigste PENRT für Holz-Beton-Verbund-Decke (Rippen) mit Nassestrich (S_DE_HBV(R)_nE) mit 2.080,50 MJ/m²
- Höchste PENRT für Kastendecke mit Nassestrich (B_DE_K_nE) mit 2.543,00 MJ/m²
- Bei konventioneller Bauweise weist die Spannbetondecke eine um 50 % höhere PENRT auf als die Stahlbetonbauweise
- Vergleich beste Alternative EDUwood (S_DE_HBV(R)_nE) mit Spannbetondecke (PENRT 3.909,50 MJ/m²): Einsparpotenzial 47 %

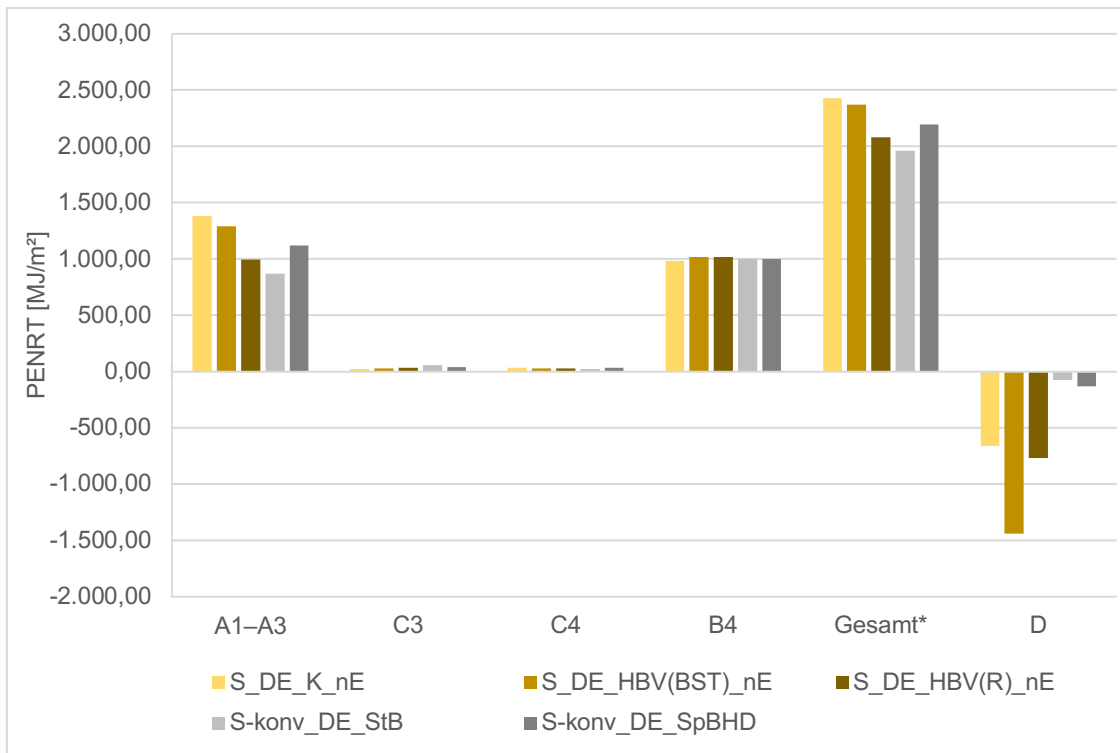


Abbildung 100: Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für Seminar-Decken, Nutzungsdauer 100 Jahre;
* Module A1–A3, B4, C3, C4

Nutzwertanalyse

Nachstehend werden die Ergebnisse der Nutzwertanalyse für die Geschosdecken Seminar beschrieben. Die Berechnung erfolgt für die Gewichtungen *basis* und *eco*.

Wie aus Abbildung 101 und Abbildung 102 ersichtlich, ändert sich die Rangfolge der Alternativen zwischen der *basis*- und *eco*-Gewichtung nicht. Unter Berücksichtigung aller Kriterien ist jeweils die Kastendecke mit Nassestrich die beste Alternative. Die konventionelle Ausführung in Stahlbeton steht an zweiter Stelle, was auf das vergleichsweise gute Verhalten in den baukonstruktiven Aspekten zurückzuführen ist. Die Holz-Beton-Verbund-Decke in der Ausführung mit Brettstapel-Elementen sowie die Decke in Spannbetonbauweise weisen einen deutlich geringen Nutzen im Hinblick auf Ressourceneinsatz und Klimaschutz auf; hier betragen die Nutzwerte fast nur die Hälfte oder weniger als die der besten drei.

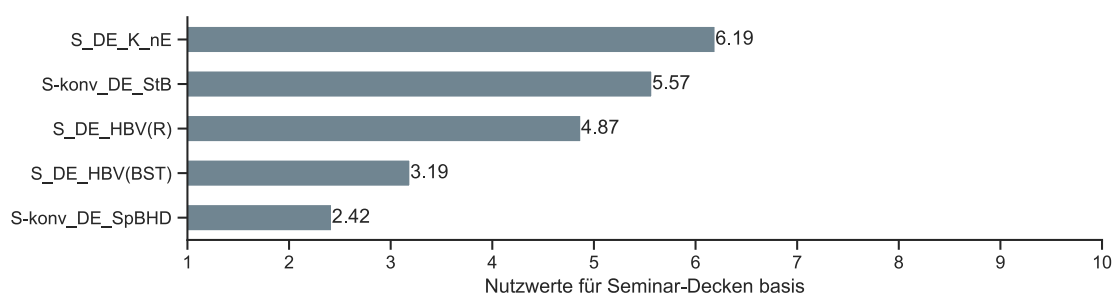


Abbildung 101: Ermittelte Nutzwertwerte für Seminar-Decken, Gewichtung *basis*

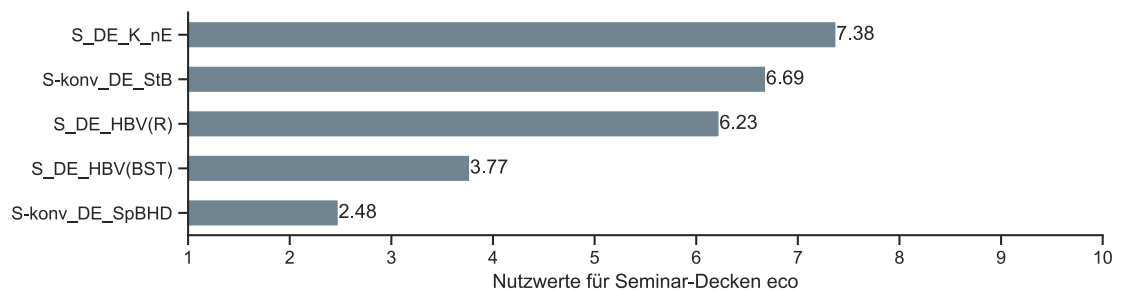


Abbildung 102: Ermittelte Nutzwertwerte für Seminar-Decken, Gewichtung *eco*

Sensitivitätsanalyse Nutzwerte

Für Seminar-Decken sind die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse gemäß Kapitel 3.4.1 für die Kriteriengewichtungen *eco*, *equal*, *smooth* und *spread* in Abbildung 103 dargestellt. Die Rangfolge der Nutzwerte variiert leicht je nach Kriteriengewichtung und es lassen sich folgende Aussagen ableiten:

- Die Kastendecke mit Nassestrich (S_DE_K_nE) schneidet bei allen Varianten am besten ab mit Ausnahme von Variante *smooth*, bei der eine Glättung der Gewichtungsspitzen vorgenommen wird. Hier fällt die Alternative auf Rang 3.
- Die Holz-Beton-Verbund-Brettstapeldecke (S_DE_HBV(BST)_nE) rückt im Vergleich zur Gewichtung *eco* bei den anderen Kriteriengewichtungen vom letzten auf den vorletzten Rang und tauscht damit die Rangfolge mit einer konventionellen Spannbetondecke (S-konv_DE_SpBHD). Unabhängig von der Kriteriengewichtung befinden sich diese beiden Alternativen auf den unteren Rängen und werden nicht empfohlen.

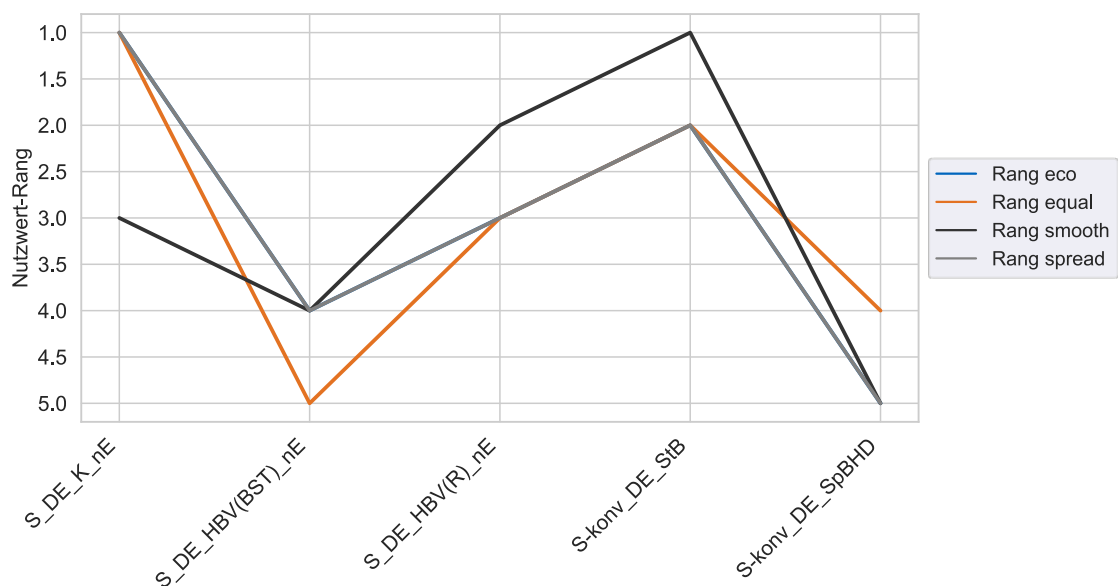


Abbildung 103: Rangfolge der Nutzwerte bei unterschiedlicher Gewichtung der Kriterien für Seminar-Decken

Kosten-Nutzen-Analyse

Die Ergebnisse der Untersuchung der Seminarraum-Decken sind Abbildung 104 zu entnehmen. Es ist kein signifikanter Kostenanstieg mit steigendem Nutzwert zu erkennen. Die HBV-Brettstapeldecke ist die teuerste Bauweise und besitzt den zweitniedrigsten Nutzwert und ist somit aus ökonomischer und ökologischer Sicht nicht zu empfehlen.

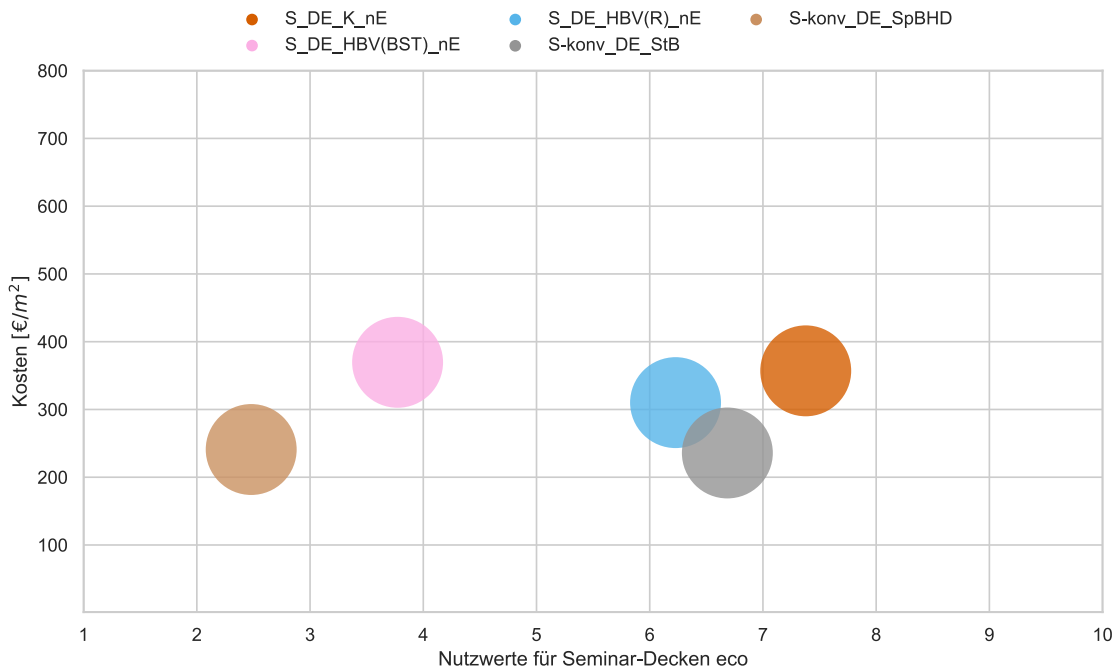


Abbildung 104: Kosten-Nutzen-Analyse der Seminar-Decken

7.2.2. Oberer Gebäudeabschluss (Dach)

Für den oberen Gebäudeabschluss (Dach) werden folgende Konstruktionsweisen herangezogen: Kastendecke, Brettsperrholzdecke, HBV-Rippendecke und HBV-Brettstapeldecke (Abbildung 105)

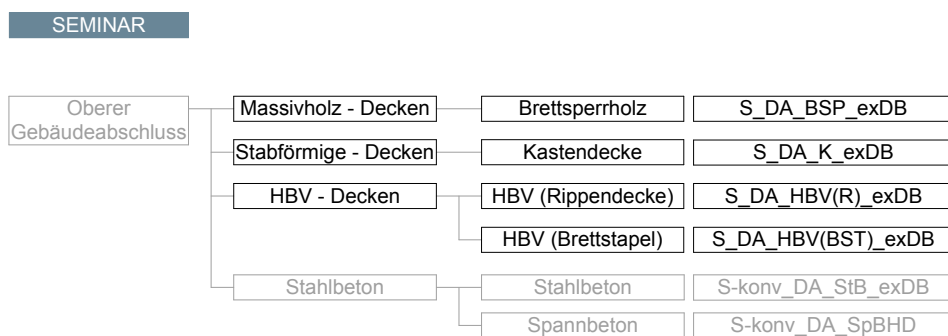
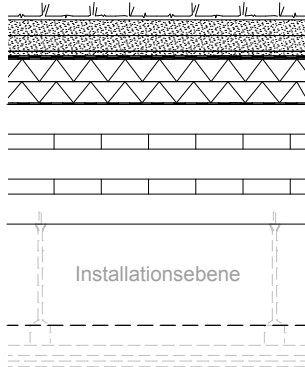


Abbildung 105: Übersicht Betrachtete Bauteile der Seminar-Dächer

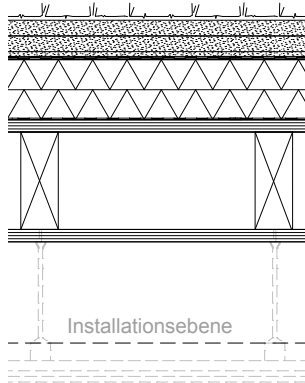
S_DA_BSP_exDB



[mm] Baustoffe

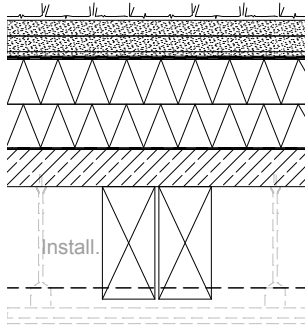
- 150,0 Extensive Dachbegrünung
- 3,0 Dachabdichtungsbahn ($sd \geq 100m$)
- 120,0 Dämmung, Holzfaserdämmung [λ : 0,039 W/mK], mehrlagig, mit Gefälledämmung
- 0,05 Abdichtungsbahn ($sd \geq 500m$)
- 320,0 Brettsperrholz 5-lagig CL24 (80,40,80,40,80)
- 270,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand $e = 400mm$)
- 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

S_DA_K_exDB



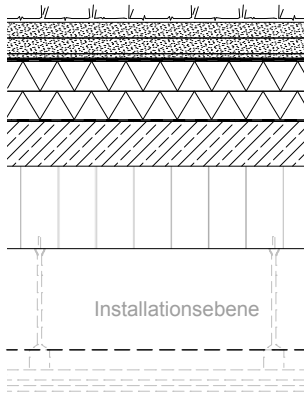
- 150,0 Extensive Dachbegrünung
- 3,0 Dachabdichtungsbahn ($sd \geq 100m$)
- 160,0 Dämmung, Holzfaserdämmung [λ : 0,039 W/mK], mehrlagig, mit Gefälledämmung
- 0,05 Abdichtungsbahn ($sd \geq 500m$)
- 33,0 Funierschichtholz Kerto Q-Platten
- 260,0 Brett-schichtholzträger, GL24h (260/100, $e=0,625m$)
- 33,0 Funierschichtholz Kerto Q-Platten
- 270,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand $e = 400mm$)
- 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

S_DA_HBV(R)_exDB



- 150,0 Extensive Dachbegrünung
- 3,0 Dachabdichtungsbahn ($sd \geq 100m$)
- 240,0 Dämmung, Holzfaserdämmung [λ : 0,039 W/mK], mehrlagig, mit Gefälledämmung
- 0,05 Abdichtungsbahn ($sd \geq 500m$)
- 100,0 Beton C30/37
- 300,0 Brett-schichtholzträger GI24h (2 x 140/300) ($e=0,9375m$)
- 270,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand $e = 400mm$)
- 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

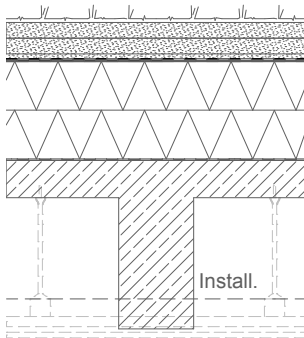
S_DA_HBV(BST)_exDB



[mm] Baustoffe

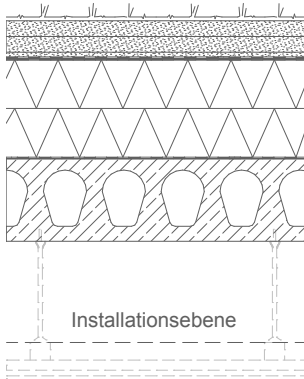
- 150,0 Extensive Dachbegrünung
- 3,0 Dachabdichtungsbahn ($sd \geq 100m$)
- 160,0 Dämmung, Holzfaserdämmung [λ : 0,039 W/mK], mehrlagig, mit Gefälledämmung
- 0,05 Abdichtungsbahn ($sd \geq 500m$)
- Beton C30/37
- 220,0 Brettstapelelement, gedübelt, GI24h
- 270,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand $e = 400mm$)
- 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

S-konv_DA_StB_exDB



- 150,0 Extensive Dachbegrünung
- 3,0 Dachabdichtungsbahn ($sd \geq 100m$)
- 260,0 Holzfaserdämmung ($\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$), mehrlagig, mit Gefälledämmung
- 0,05 Abdichtungsbahn ($sd \geq 500m$)
- 100,0 Stahlbeton C30/37
- 350,0 Stahlbetonrippendecke (Rippen 350/200), $e = 0,75m$
- 270,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand $e = 400mm$)
- 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

S-konv_DA_SpBHD



- 150,0 Extensive Dachbegrünung
- 3,0 Dachabdichtungsbahn ($sd \geq 100m$)
- 260,0 Holzfaserdämmung ($\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$), mehrlagig, mit Gefälledämmung
- 0,05 Abdichtungsbahn ($sd \geq 500m$)
- 220,0 DW-Systemdecke
- 270,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand $e = 400mm$)
- 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

Abbildung 106: Bauteilaufbauten der Seminardächer

Bauphysikalische Betrachtung

Bei der bauphysikalischen Betrachtung des Gebäudeabschlusses der Raumtypologie Seminar gelten die gleichen Anforderungen wie für die Raumtypologie Büro (vgl. Kapitel 6.2.2). Die schallschutztechnische Einordnung ist in Tabelle 29 zusammengefasst. Alle Aufbauten sind ausreichend bis zu einem Lärmpegelbereich VI.

Tabelle 29 Schallschutz Seminar Dach

Raumtypologie Seminar	Ergebnisse Berechnung [dB]	Schallschutz-technische Einordnung	Orientierung an
Gebäudeabschluss	R'_w	Ausreichend bis Lärmpegelbereich	
S_DA_BSP_exDB	54	VI	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 33 Z.3)
S_DA_K_exDB	50	VI	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 33 Z.13)
S_DA_HBV(R)_exDB	48	VI	(DIN 4109-32)
S_DA_HBV(BST)_exDB	45	VI	(DIN 4109-32)
S-konv_DA_StB_exDB	57	VI	(DIN 4109-32)
S-konv_DA_SpBHD	54	VI	(DIN 4109-32)

Die Ergebnisse der Wärmedurchgangswiderstandsberechnung des Diffusionsverhaltens sind in Tabelle 30 dargestellt. Hierbei wird ein Zuschlag für Umkehrdächer berücksichtigt. Dieser wäre rein normativ nicht notwendig. Der Zuschlag wird einbezogen, da durchgeführte hygrothermische Simulationen einen sich einpendelnden hohen Wassergehalt in der Dämmebene aufzeigen.

Tabelle 30 Wärmeschutz Seminar Dach

Raumtypologie Büro	Stationärer Wärmedurchgangswiderstand ^a	Diffusionsverhalten	Nachweis des Diffusionsverhaltens durch
Gebäudeabschluss	U [W/m ² K]		
S_DA_BSP_exDB	0,168	geeignet	(dataholz.eu, fdmko01-03)
S_DA_K_exDB	0,156	geeignet	(DIN 68800-2, Anhang A Bild A.17)
S_DA_HBV(R)_exDB	0,180	geeignet	(DIN 68800-2, Anhang A Bild A.18)
S_DA_HBV(BST)_exDB	0,164	geeignet	(DIN 4108-3, Bild 8)
S-konv_DA_exDB	0,172	geeignet	(DIN 4108-3, Bild 8)
^a unter Berücksichtigung der Gefälledämmung und eines Umkehrdachzuschlags			

Die Ausnutzungsgrade des Gebäudeabschlusses sind in Abbildung 107 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass im Holzbau der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit maßgebend wird, hingegen wird im Stahlbeton- und Spannbetonbau der Grenzzustand der Tragfähigkeit maßgebend.

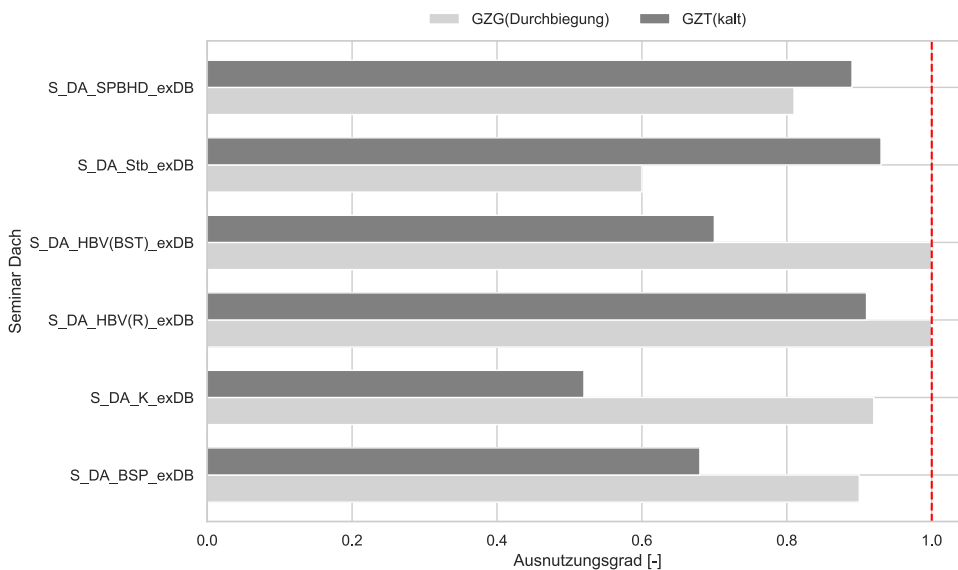


Abbildung 107: Ausnutzungsgrade Seminar Gebäudeabschluss (Dach)

Lebenszyklusanalyse

Die Ergebnisse der LCA für die Umweltindikatoren Treibhauspotenzial (GWP) und Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) sind im Folgenden dargestellt. Die Ergebnisse für alle weiteren Kriterien sind im Anhang A: Bauteilmatrix angegeben.

Das Treibhauspotenzial für Seminarraum-Dächer ist in Abbildung 108 für eine Nutzungsdauer von 100 Jahren dargestellt. Zusammenfassend ergeben sich folgende Ergebnisse:

- Niedrigstes GWP für Brettsperrholzdach mit extensiver Dachbegrünung (S_DA_BSP_exDB) mit 57,21 CO₂-Äq./m²
- Höchstes GWP für begrünte Holz-Beton-Verbund-Decke (Brettstapel), (S_DA_HBV(BST)_exDB) mit 109,01 CO₂-Äq./m²
- Bei konventioneller Bauweise weist das Dach in Spannbetonbauweise ein um 27 % höheres GWP auf als die Stahlbetonbauweise
- Vergleich beste Alternative EDUwood (S_DA_BSP_exDB) mit Spannbeton-Dach (S-konv_DA_SpBHD_exDB; GWP 152,35 CO₂-Äq./m²): Einsparpotenzial 62 %

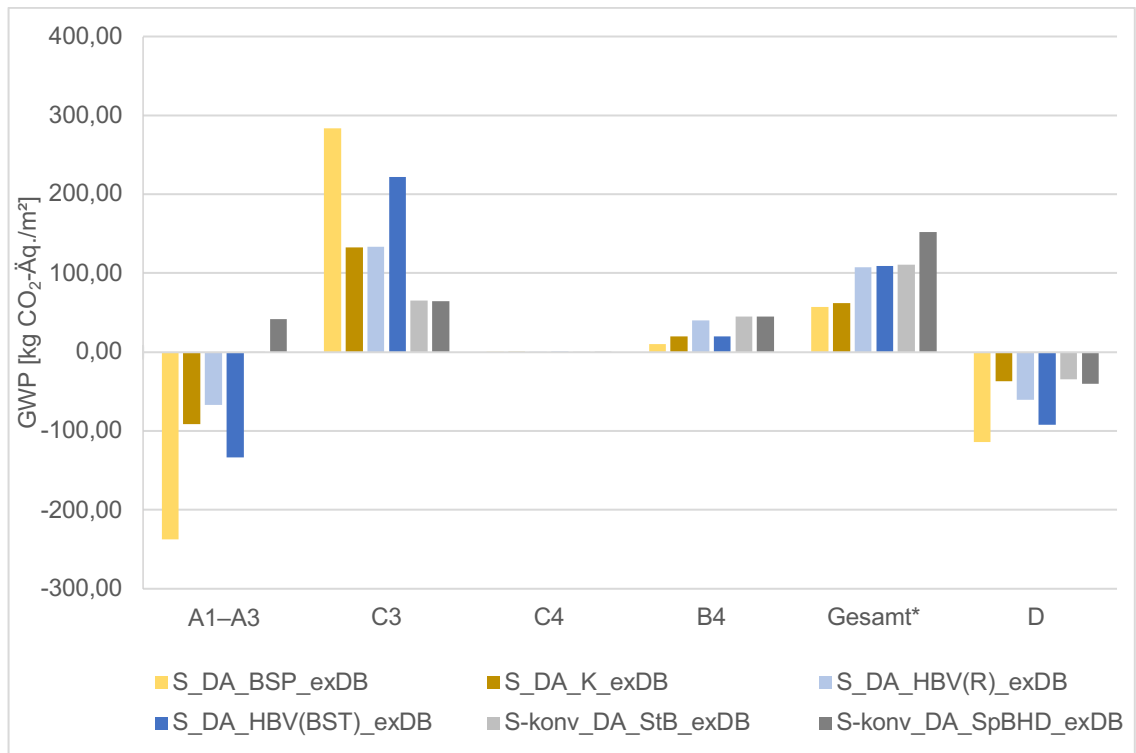


Abbildung 108: Treibhauspotenzial (GWP) für Seminar-Dächer, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4

Der Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PENRT) für Seminarraum-Dächer ist in Abbildung 109 dargestellt. Folgende Ergebnisse lassen sich ablesen:

- Niedrigste PENRT analog zum GWP für Brettsperrholzdach mit extensiver Dachbegrünung (S_DA_BSP_exDB) mit 2.900,10 MJ/m²
- Höchste PENRT für begrünte Holz-Beton-Verbund-Decke (Rippen), (S_DA_HBV(R)_exDB) mit 3.583,60 MJ/m²
- Bei konventioneller Bauweise weist die Spannbetondecke eine um 8 % höhere PENRT auf als die Stahlbetonbauweise
- Vergleich beste Alternative EDUwood (S_DA_BSP_exDB) mit Spannbeton-Decke (PENRT 3.909,50 MJ/m²) zeigt Einsparpotenzial von 26 %

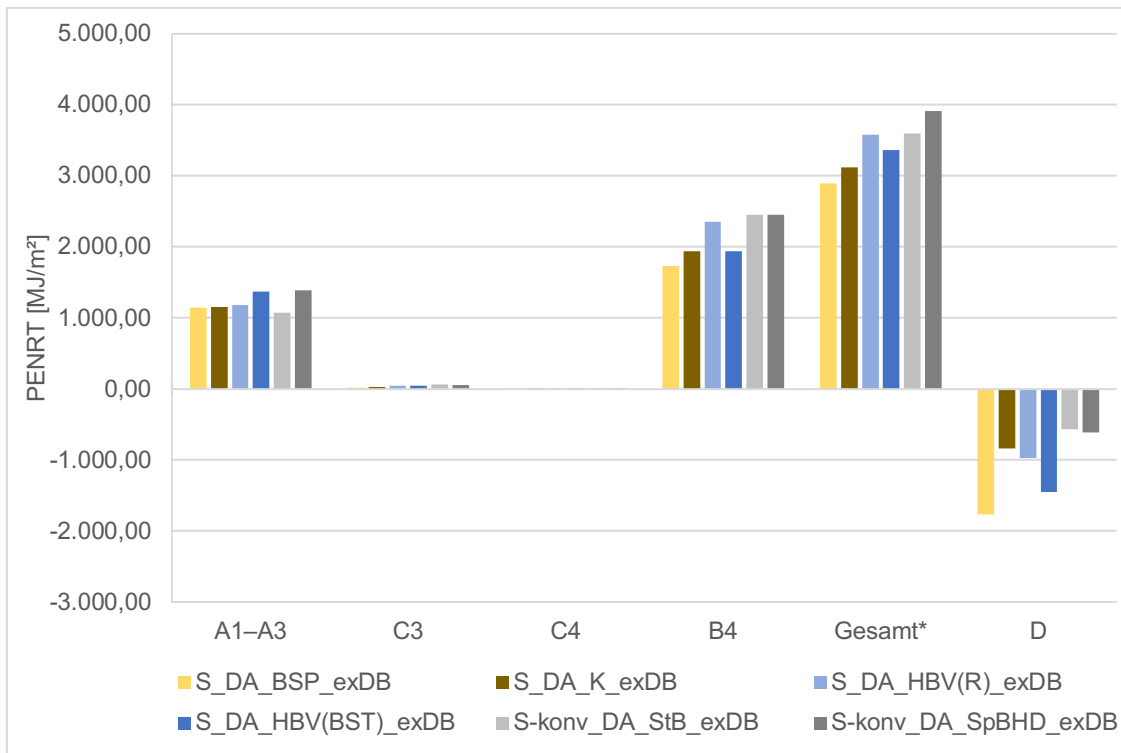


Abbildung 109: Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für Seminar-Dächer, Nutzungsdauer 100 Jahre;
* Module A1–A3, B4, C3, C4

Nutzwertanalyse

Nachstehend werden die Ergebnisse der Nutzwertanalyse für Dächer der Raumtypologie Seminar beschrieben. Die Berechnung erfolgt für die Gewichtungen *basis* und *eco*.

Wie bei den Deckenkonstruktionen und aus Abbildung 110 und Abbildung 111 ersichtlich, ändert sich die Rangfolge der Alternativen zwischen der basis- und eco-Gewichtung nicht. Unter Berücksichtigung aller Kriterien ist jeweils die begrünte Kastendecke die beste Dach-Alternative, gefolgt von einem begrünten Brettsperrholzdach. Die Ausführungen in Holz-Beton-Verbund und Stahlbeton weisen deutlich geringere Nutzwerte auf. Am ungeeignetsten zeigt sich die Spannbeton-Alternative, welche bei der eco-Gewichtung einen Nutzwert von nur 2,52 aufweist im Vergleich zur besten Alternative von 8,43 (Kastendecke).

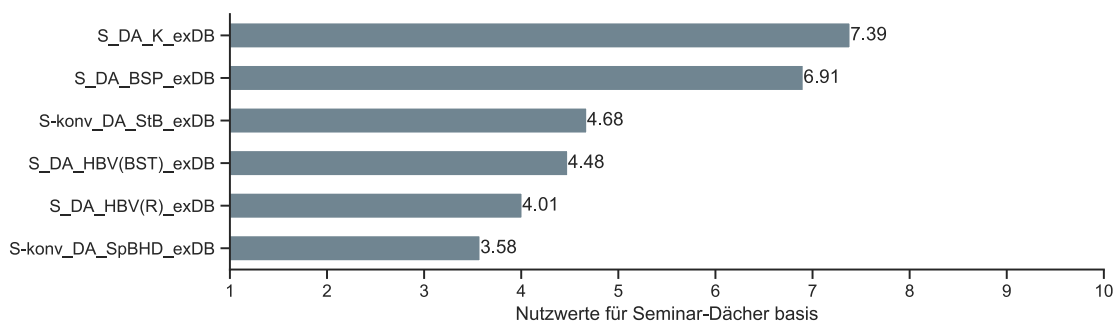


Abbildung 110: Ermittelte Nutzwertwerte für Seminarraum-Dächer, Gewichtung basis

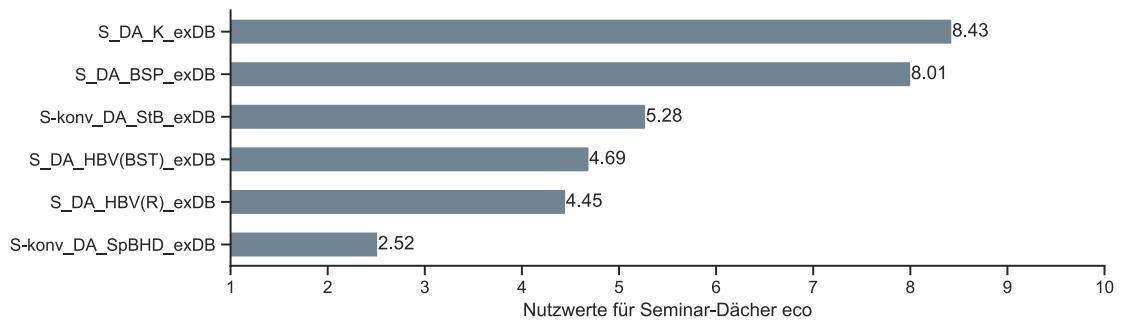


Abbildung 111: Ermittelte Nutzwertwerte für Seminarraum-Dächer, Gewichtung eco

Sensitivitätsanalyse Nutzwerte

Für Seminarraum-Dächer sind die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse gemäß Kapitel 3.4.1 für die Kriteriengewichtungen *eco*, *equal*, *smooth* und *spread* in Abbildung 112 dargestellt. Die Rangfolge der Nutzwerte und damit der Alternativen für Dachaufbauten variiert leicht je nach Kriteriengewichtung. Folgende Rückschlüsse lassen sich ziehen:

- Das begrünte Dach Kastendecke (S_DA_K_exDB) schneidet bei allen Varianten der Sensitivitätsanalyse, außer bei der Variante ‚Glättung von Gewichtungsspitzen (*smooth*)‘ am besten ab. Hier fällt die Alternative auf Rang 2.
- Umgekehrt verhält es sich mit dem begrünten Brettsperrholzdach (S_DA_BSP_exDB); dieses liegt bei *smooth* auf Rang 1, bei den anderen Gewichtungen auf Rang 2.
- Bei allen Gewichtungsvarianten liegt das konventionelle Spannbetondach (S-konv_DA_SpBHD_exDB) auf dem letzten Rang 6. Damit ist diese Alternative unabhängig von der Kriteriengewichtung nicht zu empfehlen.

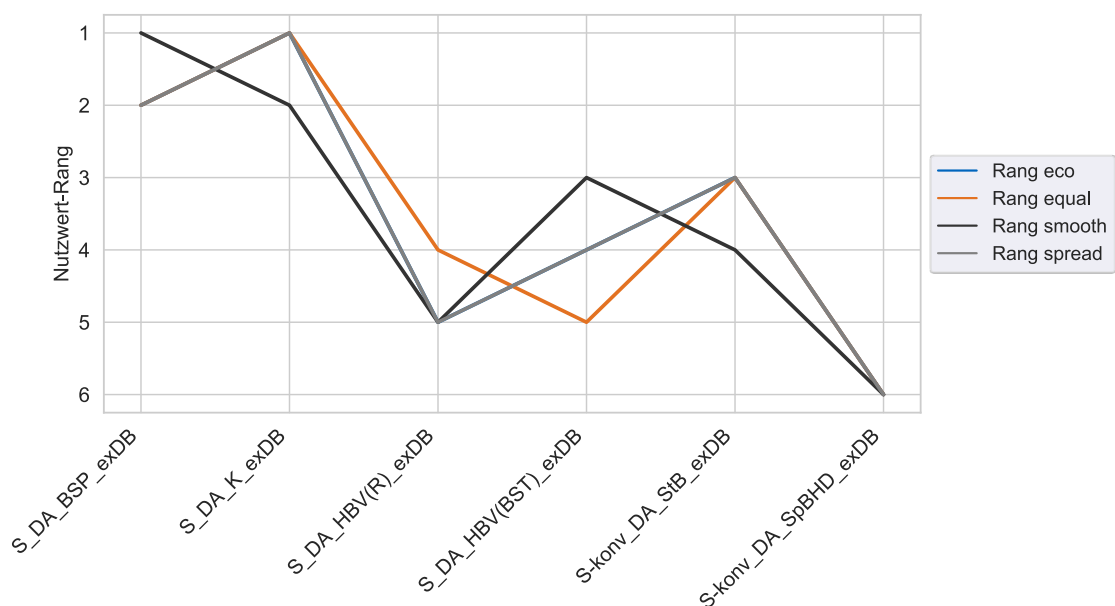


Abbildung 112: Rangfolge der Nutzwerte bei unterschiedlicher Gewichtung der Kriterien für Seminar-Dächer

Kosten-Nutzen-Analyse

Die aus der Kosten-Nutzen-Analyse hervorgehenden Ergebnisse sind in Abbildung 113 dargestellt. Zu erkennen ist, dass mit steigendem Nutzwert – mit Ausnahme der Brettsperrholzdecke – keine signifikante Kostensteigerung entsteht. Somit ist die Kastendecke sowohl aus ökonomischer als auch aus ökologischer Sicht zu empfehlen.

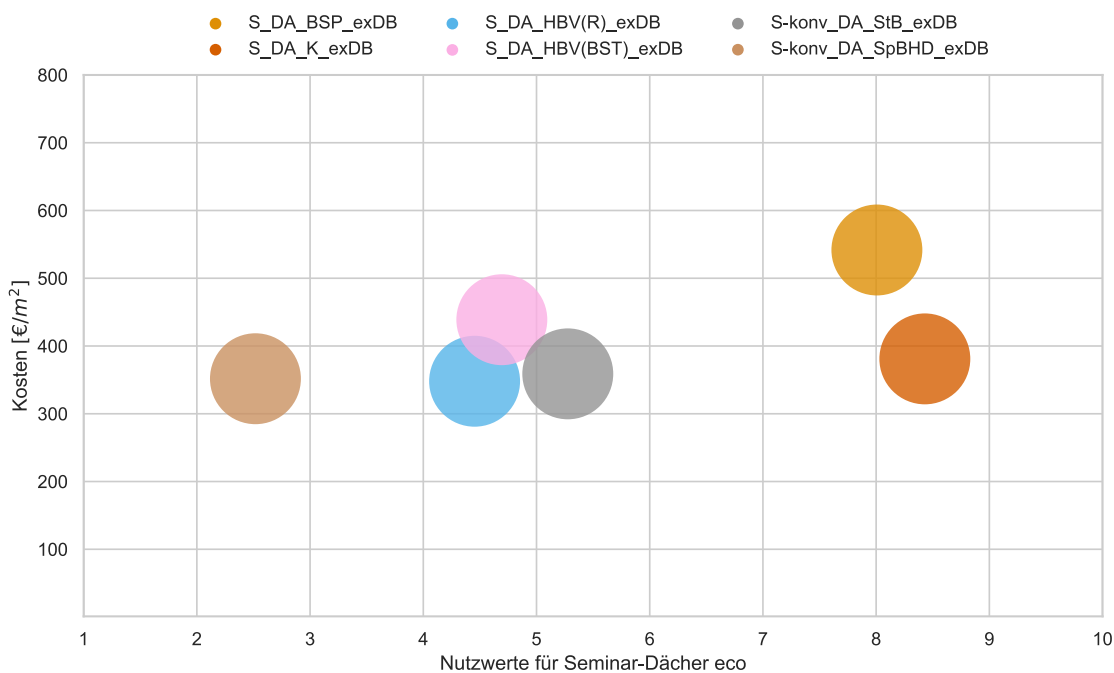


Abbildung 113: Kosten-Nutzen-Analyse für Seminarraum Dächer

7.3. Raumebene

Folgende Bauteilaufbauten werden für die Raumtypologie Seminar basierend auf den Ergebnissen der Nutzwertanalysen im Hinblick auf Ressourcen- und Klimaschutz empfohlen und bei der Betrachtung auf Raumebene berücksichtigt:

- Außenwand: Holzskelettbau (AW_HTB)
- Fenster: Holz-Aluminiumfenster mit Dreischeiben-Isolierverglasung (AW_FE)
- Flurwand: Skelettbau mit Holzständerwand und Gipskartonbeplankung (FW_HTB_GKP)
- Innenwand: Metallständerwand mit Beplankung aus Lehmbauplatten (BW_MSt_LBP)
- Decke: Kastendecke mit Nassestrich (S_DE_K_nE)
- Dach: Kastendecke als Flachdach mit extensiver Dachbegrünung (S_DA_K_exDB)

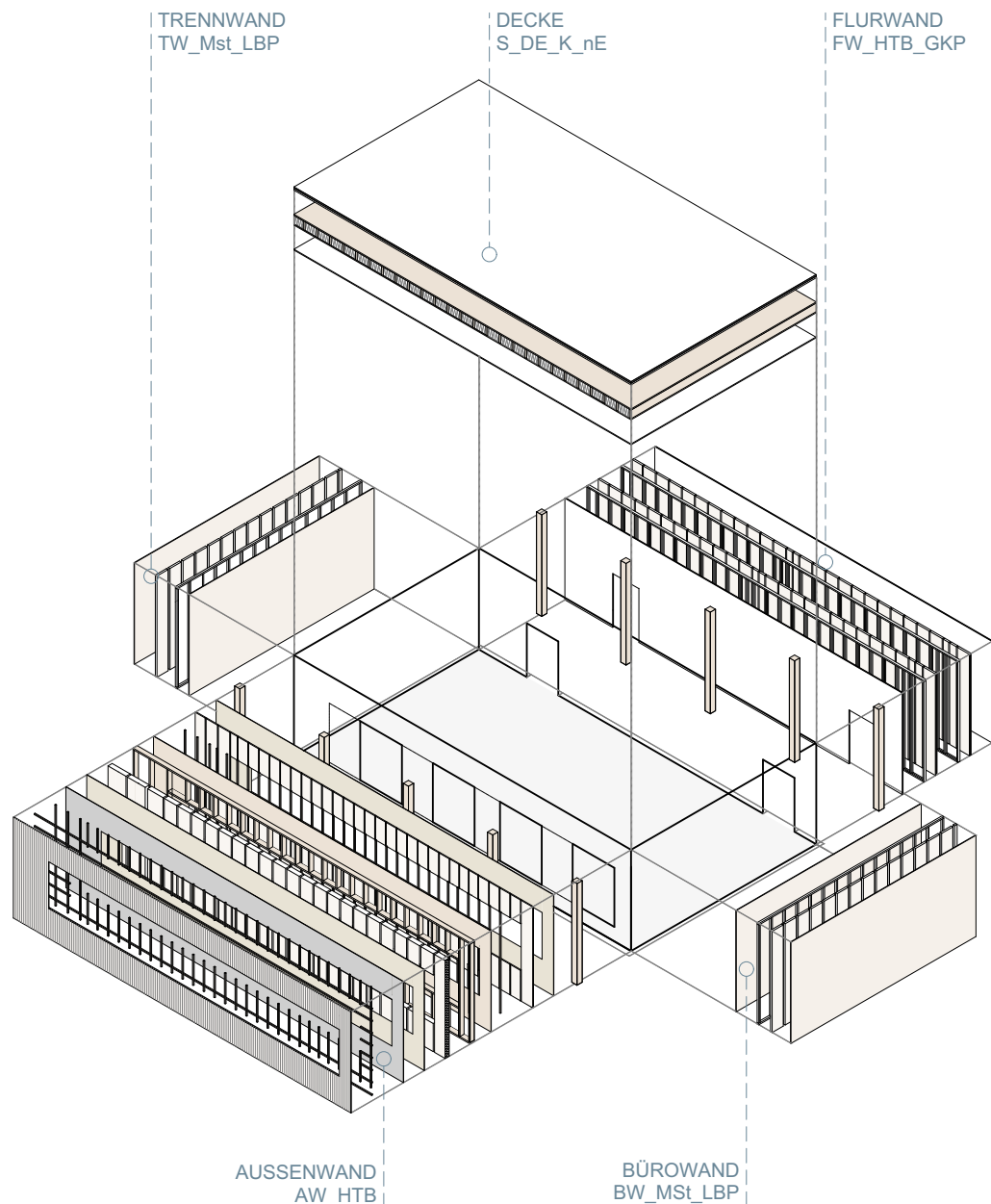


Abbildung 114: Ausgewählte Bauteile für Raumtypologie Seminar, Gewichtung eco

Thermische Simulationen

Die thermischen Untersuchungen erfolgen gemäß der in Kapitel 4.3.1 dargestellten Vorgehensweise. Die Einstellungen und der Modellaufbau können im Anhang B: Simulationsrandbedingungen eingesehen werden. Die Auswahl und Auswirkungen der Veränderung der energetischen Parameter ist in Abbildung 115 gezeigt. Mit Hilfe der Standortparameter werden durchschnittliche Nutzenergiebedarfe ermittelt und die Berechnungen zum thermischen Komfort durchgeführt. Im Anschluss werden Maßnahmen gezeigt, die den thermischen Komfort weiter erhöhen.

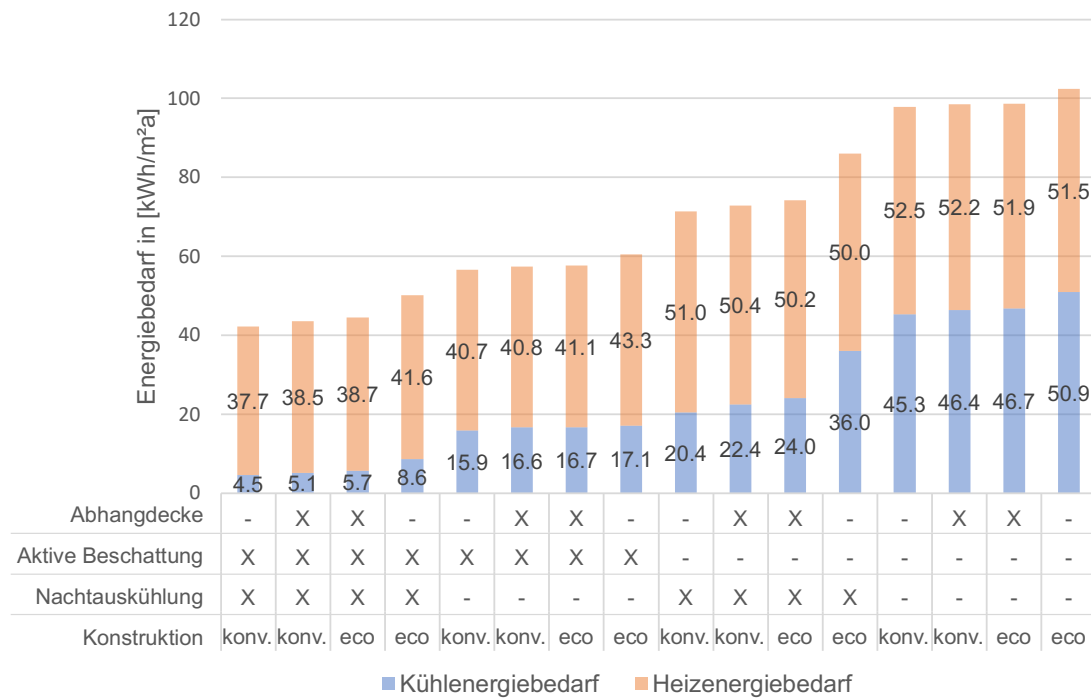


Abbildung 115: Jährlicher spezifischer Heiz- und Kühlenergiebedarf hierarchisch sortiert nach dem Gesamtenergiebedarf - Typ Seminar

Auswahl energetischer Maßnahmen

Der jährliche spezifische Heizenergiebedarf in kWh/m²a wird in Abbildung 115 in rot dargestellt, der Kühlenergiebedarf in blau. Auf der x-Achse werden die Parameter Abhangdecke, Aktive Beschattung, Nachtauskühlung und Konstruktionsart aufgelistet. Ein X bedeutet, dass der Parameter in der Simulation aktiv ist. Alle gezeigten Simulationen sind mit statischen Standortparametern ausgeführt: Die Umschließungsflächen sind adiabatisch, die Fassadenseite zeigt Richtung Süden und es liegt keine Beschattung durch Umgebungsobjekte vor.

Die Variante mit dem geringstem Gesamtnutzenergiebedarf (42,7 kWh/m²a) steht links und ist der Konstruktion konventionell mit aktiver Nachtauskühlung und Beschattung und ohne Abhangdecke zuzuordnen. An zweiter Stelle steht die *konv.* Konstruktion mit Abhangdecke. *eco* steht an dritter Stelle mit den gleichen Parametern. Der Seminarraum wird mit einer mit Gipskarton beplankten Hohlkastendecke ausgeführt, diese weist eine geringe thermische Wirksamkeit durch die Zwischensparrendämmung auf. Die Abhangdecke hat eine höhere thermische Wirksamkeit und somit einen positiven Einfluss, gegenüber der reinen Hohlkastendecke, auf den Kühlenergiebedarf. Für eine höhere Wirksamkeit der Nachtauskühlung, könnte die Hohlkastendecke mit zusätzlichen thermischen Massen bestückt werden; zum Beispiel durch eine dickere Beplankung von Lehm- oder Gipsbauplatten. Zonen ohne *aktive Beschattung* haben einen höheren Kühlenergiebedarf. Eine natürliche Nachtauskühlung ist in beiden Konstruktionsarten energetisch sinnvoll; bevorzugt sollte sie mit aktiver Beschattung eingesetzt werden.

Die energetisch sinnvollste Parameterkombination für die *eco* Konstruktion umfasst eine eingeschaltete aktive Beschattung, sowie Nachtauskühlung und eine Abhangdecke. Die

folgenden Untersuchungen werden unter Verwendung dieser Kombination durchgeführt.

Abschätzung zur Relevanz der Kühlung

Die Anforderung nach der DIN 4108-2 kann in der eco Bauart in nördliche Orientierung eingehalten werden. Tabelle 31 zeigt, dass besonders die 632 Kh/a in südliche Richtung herausstechen. Im Mittel werden die zulässigen Übertemperaturgradstunden von 500 Kh/a um 15 % überschritten. Das heißt, dass eine weitere Komfortbewertung nach der DIN EN 16798-1 durchgeführt wird.

Tabelle 31: Übertemperaturgradstunden nach der Himmelsrichtung – Seminar

Orientierung	Süd	West	Nord	Ost	Mittelwert
Übertemperaturgradstunden in [Kh/a] >26°	632	591	497	582	576
Verhältnis Anforderungswert der DIN 4108-2 (500 Kh/a)	1,26	1,18	0,99	1,16	1,15
Übertemperaturgradstunden nach DIN EN 16798-1	146	140	72	132	123
Übertemperaturgradstunden nach DIN EN 16798-1 mit zusätzl. thermischer Masse	91	97	43	87	80

Ermittlung durchschnittlicher Nutz- und Endenergiebedarf

Die Ergebnisse aus den Simulationen mit statischen energetischen und variablen Standortparameter ergeben den Heiz- und Kühlenergiebedarf. Tabelle 32 zeigt diese sortiert nach der Konstruktionsart und abhängig nach der räumlichen Angrenzung im Gebäude. Es wird zwischen oberem Gebäudeabschluss, innenliegenden Bauteilen sowie Angrenzung an, Erdreich unterschieden, da auch in der LCA auf Raumebene eine differenzierte Betrachtung vorgenommen wird. Es ist erkennbar, dass die konventionelle Bauweise einen geringeren Nutzenergiebedarf aufweist und Räume mit Dach einen höheren Bedarf haben als innenliegende oder an das Erdreich angrenzende Räume.

Tabelle 32: Nutz- und Endenergiebedarf – Seminar

Konstruktion	Heizung / Kühlung	Lage der Zone im Gebäude	Nutzenergie in [kWh/m²a]	Endenergie in [kWh/m²a]
eco	Heizung	Dach	44,3	8,1
	Heizung	Innenliegend, Erdreich	40,9	7,4
	Kühlung	Dach	7,3	0,9
	Kühlung	Innenliegend, Erdreich	6,4	0,8
konv.	Heizung	Dach	42,6	7,7
	Heizung	Innenliegend, Erdreich	40,0	7,3
	Kühlung	Dach	5,6	0,7
	Kühlung	Innenliegend, Erdreich	5,3	0,6

Basierend auf dem Nutzenergiebedarf wird der Endenergiebedarf ermittelt; die berücksichtigten Komponenten der Gebäudetechnik sind in Kapitel 4.3.2 aufgeführt.

Thermischer Komfort

Abbildung 116 zeigt, dass zu Zeiten der Anwesenheit (dunkelblaue Punkte) die operative Temperatur die Grenzbänder der Kategorie 2 über- und unterschreitet. Die DGNB vergibt Punkte für die Einhaltung der Kategorie 2; dabei muss die Abweichungshäufigkeit kleiner gleich 5 % der Anwesenheitszeit sein. Für den Typ „Seminarraum“ wird ein Betrieb während des Semesters, aber nicht in den Semesterferien angenommen. Daraus ergibt sich eine Nutzungszeit von 1647 h/a und ein Grenzwert von 82 Stunden. Der Tabelle 31 ist zu entnehmen, dass für die nördliche Ausrichtung der Grenzwert unterschritten und bei Ausrichtung in andere Himmelsrichtungen deutlich überschritten wird. Dies hat zur Folge, dass eine Kühlung benötigt wird. Betrachtet man für die südliche Ausrichtung in welchen Monaten die Übertemperaturgradstunden auftreten, zeigt sich, dass 75 Kh im April, 9 Kh im Mai, 24 Kh im Juni und 38 Kh im August vorkommen. Besonders im April fällt dieser Wert ins Gewicht. Die Außentemperatur im gleitenden Mittel ist durch die kalten Nächte gering, wodurch der statische Grenzwert von 24°C angesetzt wird. Da in diesem Monat jedoch bereits wärmere Außentemperaturen während des Tages vorkommen und so auch erhöhte Innenraumtemperaturen während der Anwesenheitszeit auftreten, kommt es zu einem größeren Übertemperaturgradstunden-Wert.

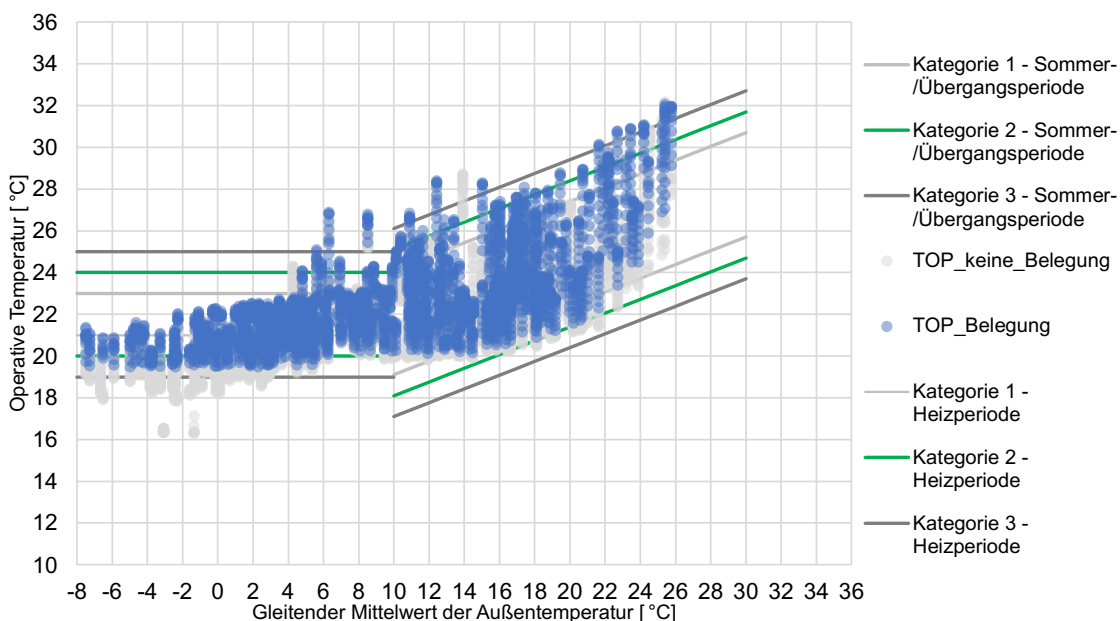


Abbildung 116: Operative Temperaturen – Typ Seminar (eigene Darstellung)

Am Beispiel des Seminars wird eine zusätzliche Untersuchung durchgeführt. Da der Deckenaufbau von eco eine geringe thermische Wirksamkeit aufweist, werden ergänzende thermische Massen in Form von abgehängten Lehmbauplatten (Rochdichte = 1.450 kg/m³, Wärmeleitfähigkeit = 0,353 W/mK, spezifische Wärmespeicherfähigkeit = 1,1 kJ/kgK) ergänzt. Im Simulationsmodell wird die Hälfte der

Deckenfläche (75 m²) mit den 2,4 cm dicken Platten abgehängt. Tabelle 31 zeigt, dass die zusätzliche Masse die Übertemperaturgradstunden von durchschnittlich 123 Kh/a auf 80 Kh/a reduzieren konnte. Das entspricht einer Verkleinerung der Übertemperaturgradstunden von 35 %, wobei die Anforderungen der DGNB nur in nördliche Richtung erfüllt wird. In die anderen Himmelsrichtungen gibt es kleine Überschreitungen.

Die jährlichen Übertemperaturgradstunden können durch andere Maßnahmen weiter reduziert werden. Durch konvektives Kühlen kann die empfundene Temperatur um bis zu vier Grad abgesenkt werden, da die bewegte Luft den Verdunstungseffekt der Haut erhöht. Decken- oder Tischventilatoren können für diese Zwecke eingesetzt werden. Dabei sollte beachtet werden, dass die Akzeptanz durch Nutzer:innen höher ist, wenn die Intensität der Luftbewegung individuell angepasst werden kann. (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie 2017)

Lebenszyklusanalyse

Für die Raumtypologie Seminar sind die Ergebnisse der LCA in Abbildung 117 für GWP (links) und PENRT (rechts) dargestellt. Die Ergebnisse beziehen sich auf einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren. Für die Holzbauvariante eco werden die oben aufgeführten Bauteilkonstruktionen betrachtet; diese sind die Alternativen mit dem jeweils höchsten Nutzwert. Die Variante eco weist ein GWP von 2,89 kg CO₂-Äq./m²a auf und liegt damit 14 % unterhalb einer konventionellen Bauweise mit 3,35 kg CO₂-Äq./m²a. Mit 45,25 MJ/m²a ist im Vergleich zu einer konventionellen Bauweise allerdings 3 % mehr an Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) aufzubringen.

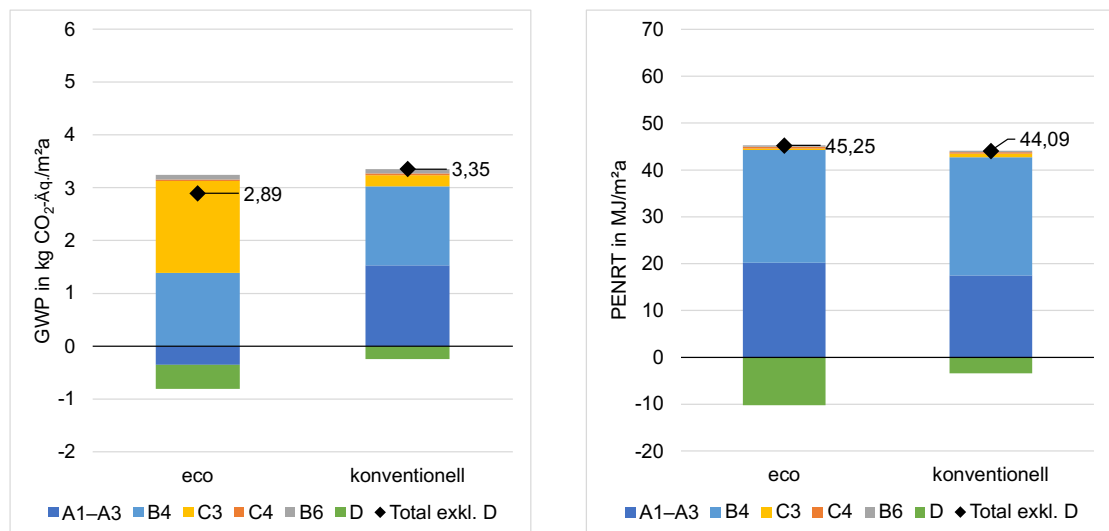


Abbildung 117: Treibhauspotenzial (GWP) und Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für die Raumtypologie Seminar; Betrachtungszeitraum 100 Jahre

7.4. Exkurs: Betrachtungszeitraum 50 und 100 Jahre

Exemplarisch wird für die Raumtypologie Seminar im Folgenden bei der LCA ein Betrachtungszeitraum von 50 Jahren angesetzt und den Ergebnissen mit 100 Jahren gegenübergestellt (siehe Abbildung 118).

Für das GWP ergeben sich bei einem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren höhere relative Werte als bei 100 Jahren, siehe Abbildung 118. Dies liegt daran, dass sich die absoluten Werte auf 100 statt auf 50 beziehen. Weist die Variante eco bei 50 Jahren ein Einsparpotenzial gegenüber der konventionellen Variante von 7 % auf, so verdoppelt sich dieses Potenzial bei 100 Jahren auf 14 %. Zudem ändern sich die Anteile der Lebenszyklusphasen am Gesamtergebnis. Für die Variante eco geht bei beiden Betrachtungszeiträumen der größte Anteil auf die Abfallbehandlung (C3) zurück: bei 50 Jahren macht dies einen Anteil von über 90 % aus, bei 100 Jahren reduziert sich der Anteil auf 60 %. Auf den Betrieb (B6) fallen bei 50 Jahren 2 %, bei 100 Jahren erhöht sich der Anteil geringfügig auf 3 %. Bei der konventionellen Variante fällt auf, dass die Herstellung (A1–A3) bei 50 Jahren mit rund 56 % den größten Anteil ausmacht und sich bei 100 Jahren auf rund 46 % reduziert; dieser Anteil ist vergleichbar mit dem Austausch von Bauteilen, Bauteilschichten und Komponenten der Gebäudetechnik (B4). Generell nimmt das GWP für B4 für beide Varianten zu. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich bei einem längeren Betrachtungszeitraum die relativen Werte für GWP verringern und sich das Einsparpotenzial der Variante eco gegenüber einer konventionellen Bauweise erhöht. Der Anteil der Lebenszyklusphasen verändert sich und aufgrund vermehrter Austauschaktivitäten bei einem längeren Betrachtungszeitraum gewinnt die Phase B4 an Bedeutung.

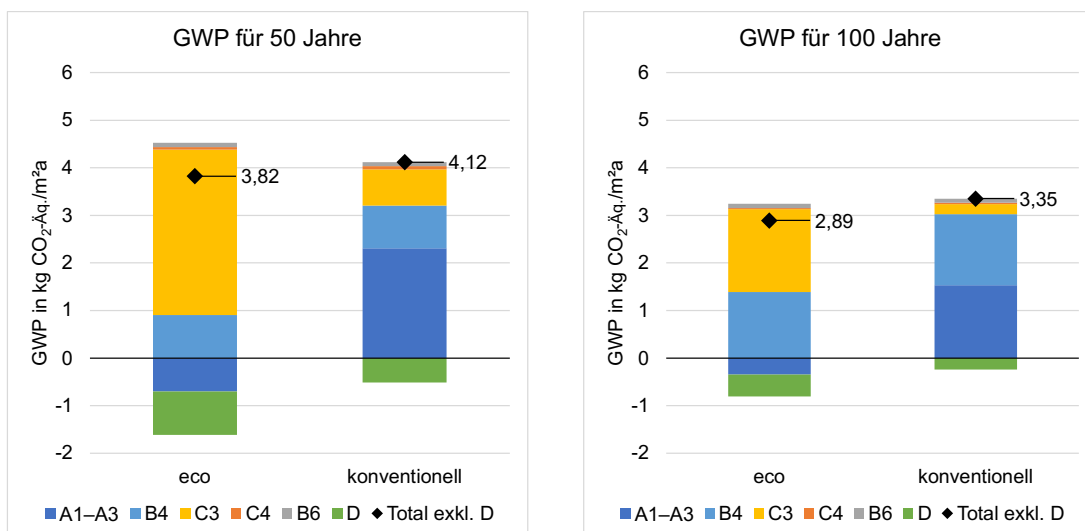


Abbildung 118: Treibhauspotenzial (GWP) für die Raumtypologie Seminar; Betrachtungszeitraum 50 Jahre (links) und 100 Jahre (rechts)

Wie aus Abbildung 119 ersichtlich sind die Werte für PENRT bei einem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren höher als bei 100 Jahren. Bei einem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren macht die Herstellung (A1–A3) den größten Anteil aus. Dieser beläuft sich für die eco Variante auf einen Anteil von rund 67 %, bei 100

Jahren reduziert sich der Anteil auf rund 45 %. Bei der konventionellen Variante weist die Herstellung ähnliche Anteile auf: 61 % bei 50 Jahren und rund 40 % bei 100 Jahren. Generell schneidet in Bezug auf PENRT die konventionelle Variante bei 50 Jahren mit 14 % besser ab, das Einsparpotenzial reduziert sich bei 100 Jahren auf 3 %. Zudem wird deutlich, dass der Austausch von Bauteilen und Komponenten bei einem längeren Betrachtungszeitraum an Bedeutung zunimmt (siehe höhere hellblaue Balken bei 100 Jahren als bei 50 Jahren).

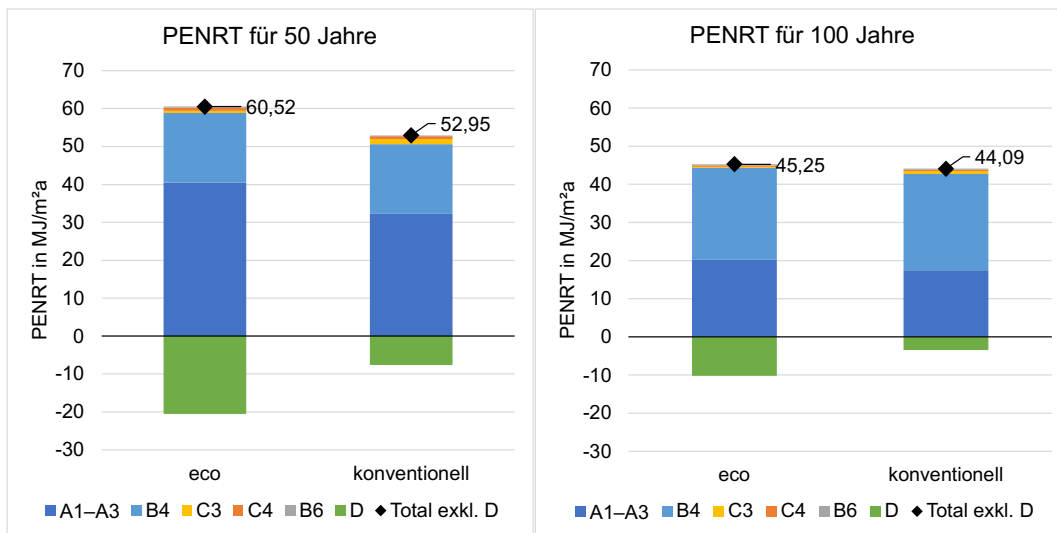


Abbildung 119: Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für die Raumtypologie Seminar; Vergleich des Betrachtungszeitraums: 50 Jahre (links) und 100 Jahre (rechts)

7.5. Handlungsempfehlung

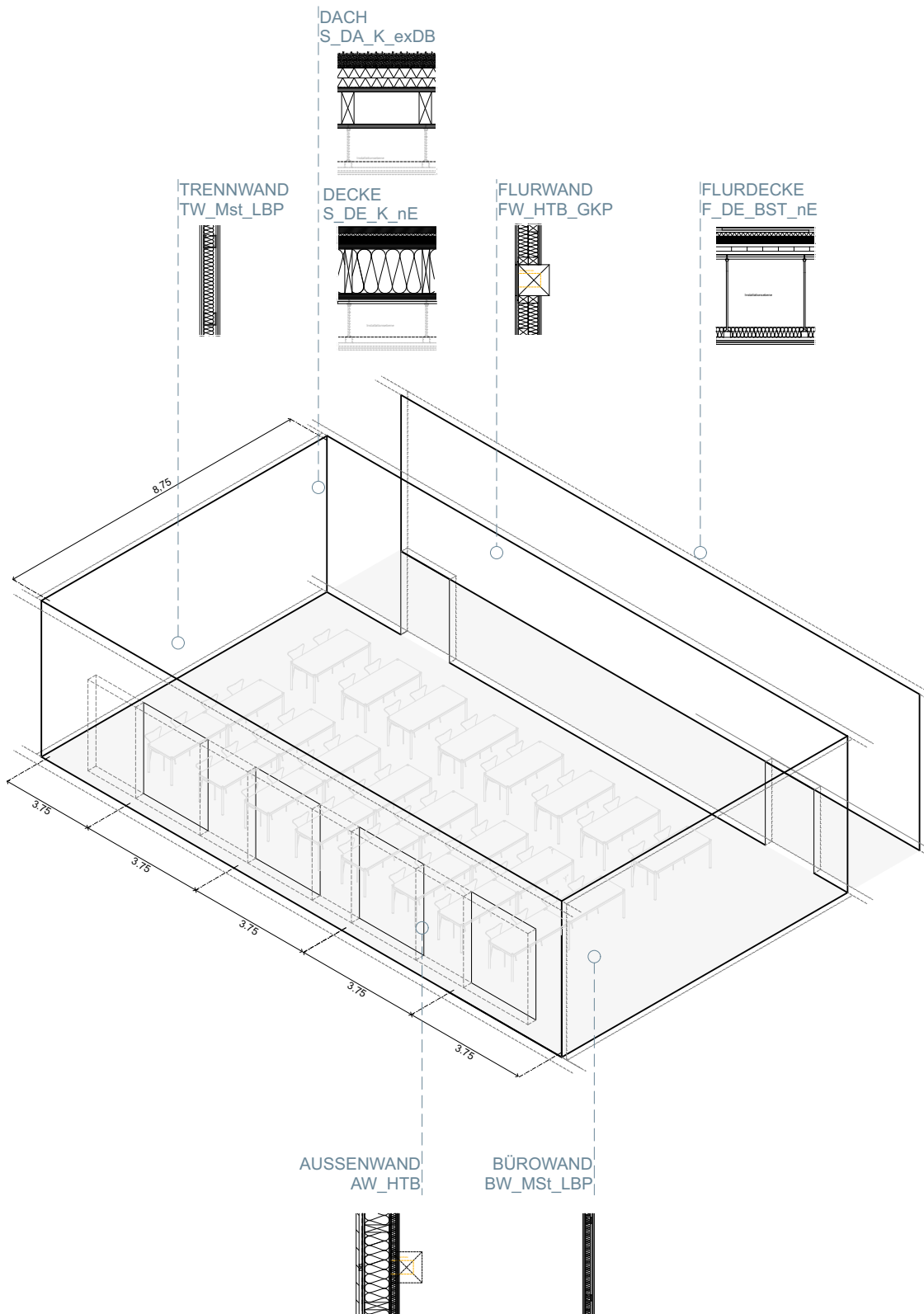


Abbildung 120: Handlungsempfehlung: Ausgewählte Bauteile für Seminar, Gewichtung eco

Basierend auf den vorangegangenen Untersuchungen auf Raumebene werden folgenden Empfehlungen ausgesprochen:

- Im Hinblick auf Klimaschutz ist eine Holzbauweise (Variante eco) gegenüber einer mineralischen Bauweise (Variante konventionell) zu bevorzugen, da sie im gesamten Lebenszyklus ein deutlich geringeres Treibhauspotenzial aufweist. Dies gilt auch dann, wenn für das Lebensende der Holzbauteile ein Verbrennungsszenario und damit die Freisetzung von CO₂ angenommen wird.
- Ohne weitere passive Maßnahmen besteht ein Überhitzungsrisiko in der Raumtypologie Seminar, wodurch sich ein Bedarf für aktive Kühlung ergibt.
- Durch zusätzliche passive Maßnahmen wie die Steigerung der thermischen Massen z.B. durch eine abgehängte Lehm- oder Gipsbauplatten oder die Erhöhung der Luftbewegung im Raum durch Deckenventilatoren, kann das Überhitzungsrisiko gesenkt werden. Dadurch kann auf eine aktive Kühlung verzichtet werden.
- Eine Nachtauskühlung sollte zur Reduzierung des Überhitzungsrisikos bzw. zur Senkung des Kühlenergiebedarfs ermöglicht werden und ist auch bei der untersuchten Holzbauweise effektiv. Auf die Ausführung entsprechender Lüftungsflügel mit Witterungs- und Einbruchschutz ist zu achten.
- Ein aktiv gesteuerter außenliegender Sonnenschutz sollte eingesetzt werden.

8. Raumtypologie Labor

8.1. Grundrisse und Anforderungen

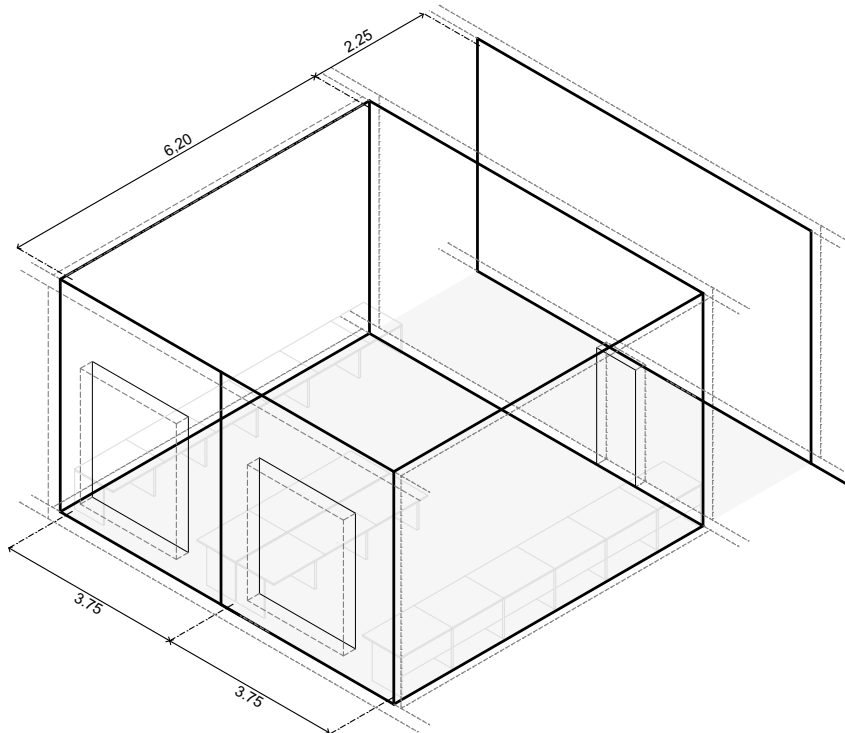


Abbildung 121: Axonometrie Labor

In der Raumbedarfsplanung und im Raumprogramm sind für die Labornutzung unterschiedliche Raumgrößen gefordert (Hasse et al. 2020; Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst 2021). Die kleinste Einheit hat 24 m², die größte Einheit 300 m². Die Planung der Laboreinheiten im Forschungsprojekt orientiert sich an den Labormodulen der Raumbedarfsplanung des Architekturbüros Doranth Post Architekten (doranth post architekten 2020b; Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst 2021). Vorgeschlagen werden zwei Raumschichten mit unterschiedlicher Tiefe, die über einen zentralen Flur erschlossen werden. Mit einer Raumtiefe von 8,75 m und 6,20 m und einem Achsraster von 3,75 m können alle Raumgrößen der Labornutzung untergebracht werden (siehe Abbildung 121) und ergänzend Raumbedarfsplanung Möblierungsvorschläge Labore (doranth post architekten 2020b). Durch einen Fensterflächenanteil von mindestens 40 % je Achsraster ist eine ausreichende Tageslichtversorgung nach ASR A 3.4 gewährleistet.

Nach ASR A1.2 sind für Arbeitsräume bis 100 m² eine lichte Raumhöhe von mindestens 2,75 m und für Arbeitsräume von 100 m² bis 2.000 m² eine lichte Raumhöhe von mindestens 3,00 m gefordert. Um eine ausreichende Nutzungsflexibilität der Laborgeschosse zu erreichen, wird für alle Einheiten eine lichte Raumhöhe von 3,10 m

vorgesehen. In der ASR A 2.3 sind und der DGUV 213-850 (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)) werden in Abhängigkeit von der Labornutzung zusätzliche Anforderungen an die Flucht- und Rettungswege gestellt.

Labore sind hochinstallierte Nutzungsbereiche, die einen erhöhten Bedarf an technischer Gebäudeausrüstung erfordern. Die erforderlichen Installationen werden vorrangig unterhalb der Decke geführt. Die lichte Installationshöhe wird mit 1,00 m angenommen.

Die Bezeichnung *Labor* wird für eine Bandbreite an unterschiedlichen Labornutzungen verwendet. Dabei kann es sich sowohl Räumlichkeiten mit hohen als auch mit niedrigen bauphysikalischen Anforderungen handeln. Die bauphysikalischen Anforderungen sind abhängig von der Nutzung des Labors und den aufgestellten Messgeräten. Es gibt keine allgemeingültigen Regelwerke, die die bauphysikalischen Anforderungen an den Schallschutz je Labortyp festlegen. Holzkonstruktionen sind leichter als Stahlbetonkonstruktionen. Dies ist in hochsensiblen Laborbereichen nicht erwünscht, da es zu Ungenauigkeiten bei Messungen kommen kann. Liegen keine besonderen Anforderungen vor, können Laborräume wie Werkstatträume geplant werden. Für diesen Raumtyp kann auf die Bauteilaufbauten der Raumtypologie *Seminar* zurückgegriffen werden. In diesem Zusammenhang ist auch zu prüfen, inwieweit die lichte Installationshöhe angepasst werden kann. Die nachfolgende Betrachtung Untersuchung bezieht sich auf Laboreinheiten mit erhöhten Anforderungen an den Schallschutz bzw. an das Schwingungsverhalten der Deckenbauteile.

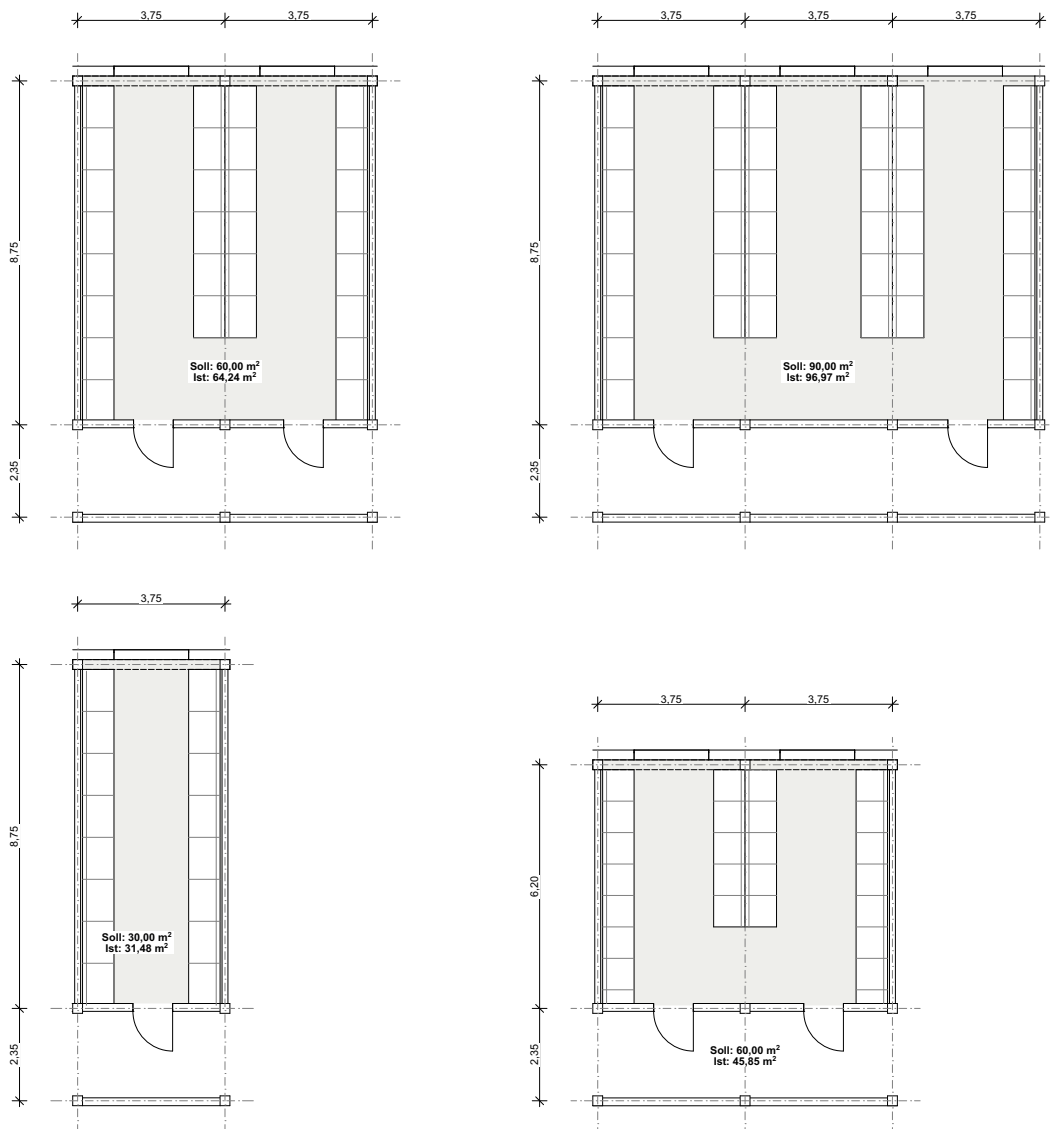


Abbildung 122: Grundrisse Laboreinheit (Möbelierungsvorschlag nach doranth post architekten (2020b))

8.2. Bauteilebene

8.2.1. Geschossdecke

Die Deckenspannweite von 8,75 m ergibt sich aus der erforderlichen größeren Raumtiefe und der erforderlichen Stützenfreiheit. Zusätzlich zu der großen Spannweite sind für die hochinstallierten Labore die Anforderungen an die einzuhaltenden Schwingungsfrequenzen erhöht. Bei der Betrachtung der Geschossdecken werden daher zwei unterschiedliche Verfahren angewendet. Im ersten Schritt wird unter der Vorgabe einer maximalen Konstruktionshöhe von 70 cm bei einer Spannweite von 8,75 m untersucht, welche maximale Eigenfrequenz im reinen Holzbauweise denkbar ist. Als zweiter Ansatz wird die maximale Spannweite der Seminar-Decken ermittelt, bei der eine Eigenfrequenz der Konstruktion von ≥ 16 Hz erreicht wird. Die ermittelten

Spannweiten liegen zwischen 5,90 und 6,20 m. In der folgenden Abbildung 123 sind die betrachteten Bauteile dargestellt:

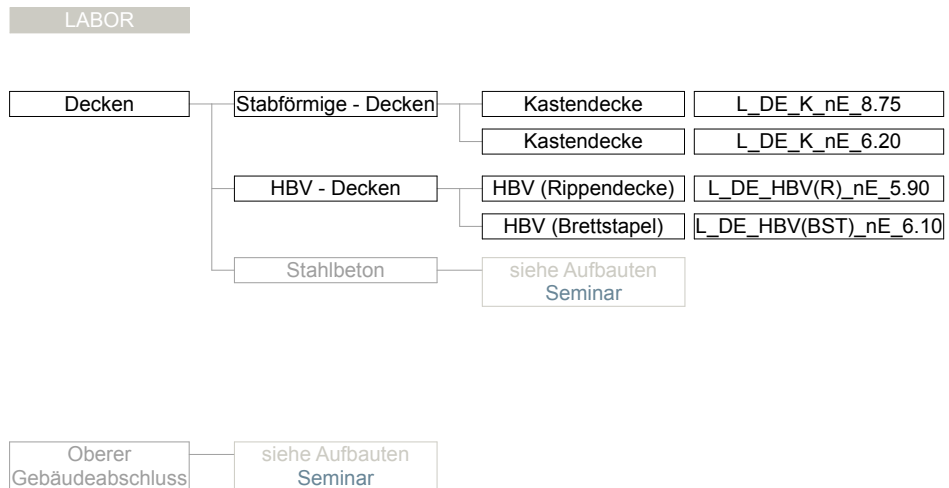
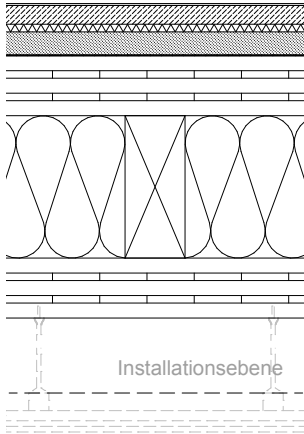


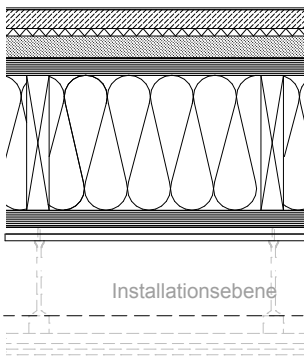
Abbildung 123: Übersicht betrachtete Bauteile Labor Geschossdecke

L_DE_K_nE_8.75



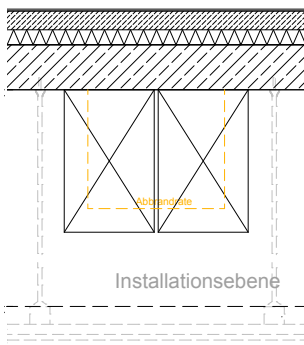
- [mm] Baustoffe
- 5,0 Bodenbelag Linoleum
 - 50,0 Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)
 - 40,0 Trittschalldämmung MW ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)
 - 60,0 Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$) auf Rieselschutzvlies (PP)
 - 160,0 Brettsperholz, 5-lagig 40/20/40/20/40
 - 380,0 Brettschichholz, GL24h (380/160, $e=0,94\text{m}$)
 - 380,0 Gefachdämmung Mineralwolle
 - 160,0 Brettsperholz, 5-lagig 40/20/40/20/40
 - 1000,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius (Achsabstand $e = 400\text{mm}$)
 - 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

L_DE_K_nE_6.20



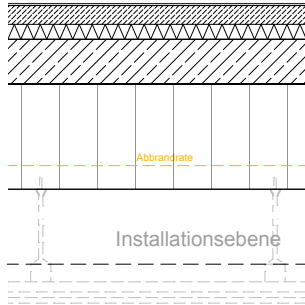
- 5,0 Bodenbelag Linoleum
- 50,0 Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)
- 20,0 Trittschalldämmung MW ($s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$)
- 60,0 Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$) auf Rieselschutzvlies (PP)
- 45,0 Funierschichholz Kerto Q-Platten
- 360,0 Brettschichholzträger, GL24h (360/80, $e=0,625\text{m}$)
- 360,0 Gefachdämmung Mineralwolle
- 45,0 Funierschichholz Kerto Q-Platten
- 36,0 Beplankung Gipskarton Feuerschutzplatten 2 x 18mm
- 1000,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil (40/50) (Achsabst)
- 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (40/50)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

L_DE_HBV(R)_nE_5.90



- 5,0 Bodenbelag Linoleum
- 50,0 Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)
- 40,0 Trittschalldämmung MW ($s' \leq 7\text{MN/m}^3$)
- 120,0 Beton C30/37
- 380,0 Brettschichholzträger GI24h (2 x 240/380) ($e=0,3125\text{m}$)
- 1000,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil (40/50) (Achsabstand $e = 400\text{mm}$)
- 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (40/50)/CD Profil (60/27) Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

L_DE_HBV(BST)_nE_6.10



[mm] Baustoffe

- 5,0 Bodenbelag Linoleum
- 50,0 Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)
- 30,0 Trittschalldämmung MW ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)
- 120,0 Beton C30/37
- 280,0 Brettstapelelement, gedübelt, GI24h
- Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil (40/50)
(Achsabstand $e = 400 \text{ mm}$)
- 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (40/50)/CD Profil (60/27)
Gipskartonplatten $2 \times 12,5 \text{ mm}$ ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

Abbildung 124: Bauteilaufbauten der Labor-Decken

Bauphysikalische Betrachtung

Die Bauweisen müssen die in Kapitel 4.2.2 beschriebenen Anforderungen zur Einhaltung des Brandschutzes erfüllen. Unter der Annahme, dass die brandschutztechnisch abgetrennten Bereiche im Sinne einer Nutzungseinheit kleiner als 200 m^2 sind und zwei bauliche Rettungswege aufweisen, ist eine Abweichung der Bekleidung für die Massivholzdecken denkbar. Einhergehend ist die Bekleidung der Wände, wie in Tabelle 2 beschrieben. Bei der Verwendung einer Installationsebene ist die Massivholzdecke weiterhin wie eine Massivholzdecke nach MHolzBauRL 2022 mit brennbaren Bauteiloberflächen zu betrachten. Trotz der baurechtlich möglichen Anwendung wird eine Bekleidung empfohlen, um eine Brandentwicklung und -weiterleitung im Zwischenraum zu reduzieren (unkontrollierbarer Hohlraum). Bei Laborräumen mit einem gegenüber „üblich“ genutzten Räumen erhöhten Risiko bezüglich einer Brandentstehung sind auf Basis einer detaillierten Gefahrenbeurteilung gegebenenfalls zusätzliche bzw. dickere brandschutztechnische Bekleidungen erforderlich (Einzelfallbetrachtung).

Die Ergebnisse der schallschutztechnischen Einordnung sind in Tabelle 33 zusammengefasst. Gemäß dem Raumbuch der UTN können für bestimmte Labore keine Trittschalldämmungen verwendet werden, stattdessen wird ein Verbundestrich gefordert. Bei den reinen Holzbaukonstruktionen können dabei die schallschutztechnischen Anforderungen nicht eingehalten werden. Bei den Holz-Beton-Verbundkonstruktionen wäre dies grundsätzlich möglich. Allerdings zeigen die Aufbauten mit einer Trittschalldämmung bereits bewertete Norm-Trittschallpegel von 48 dB . Labore, in welchen aufgrund der in ihnen ausgeführten Arbeiten keine Trittschalldämmung eingebracht werden kann, sollten in Bereichen ohne darunterliegende Räume angeordnet werden.

Tabelle 33: Schallschutz Labor

Raumtypologie Labor	Ergebnisse Berechnung [dB]			Schallschutz- technische Einordnung	Orientierung an
	R'_w	$L'_{n,w}$	$L'_{n,w}^a$		
Geschossdecken					
L_DE_K_nE	67	52	49	Basis	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 24 Z.5)
L_DE_HBV(R)_nE	62	48	-	Basis	(DIN 4109-32, 4.8.4.4; DIN 4109- 34, 4.5.4.2.1; DIN EN ISO 12354- 2, Anhang B; Rabold et al. 2008)
L_DE_HBV(BST)_nE	60	46	-	Basis	(DIN 4109-32, 4.8.4.4; DIN 4109- 34, 4.5.4.2.1; DIN EN ISO 12354- 2, Anhang B; Rabold et al. 2008)
^a Ergebnis unter Berücksichtigung der tiefen Frequenzen nach Gleichung Gl. 3.5					

Als ein Ansatz wird die Spannweite der Seminar-Decken reduziert, um für das Labor eine Frequenz von 16 Hz einzuhalten. Außerdem wird untersucht, welche maximale Eigenfrequenz im reinen Holzbau, unter Einhaltung einer maximalen Konstruktionshöhe (tragende Schicht) von 70 cm, möglich ist. Die Ausnutzungsgrade der baukonstruktiven Betrachtung sind in Abbildung 125 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass bei allen Decken der Schwingungsnachweis das maßgebende Kriterium ist. Lediglich bei der L_DE_K_nE(BSP) ist der Nachweis im GZT (kalt) ebenfalls als kritisch einzuordnen.

Generell ist von hochbeanspruchten Laboren in höherliegenden Stockwerken abzuraten. Diese sollten, wenn möglich, in Räumen ohne darunterliegende Räume angeordnet werden. Für Labore, welche keine erhöhten Schwingungsanforderungen aufweisen, kann auf die Konstruktionen der Seminar-Decken zurückgegriffen werden. Ein im Forschungsprojekt nicht berücksichtigter Ansatz sind Unterzüge entlang der weitgespannten Raumabmessung (8,75 m) und zwischen den Unterzügen spannde Deckenkonstruktionen. Dadurch wird die Deckenspannweite reduziert und die Deckenkonstruktion besitzt eine höhere Eigenfrequenz. Bei der Ermittlung der finalen Eigenfrequenz des Systems müssen die Steifigkeit und das Schwingverhalten des Unterzuges mitberücksichtigt werden.

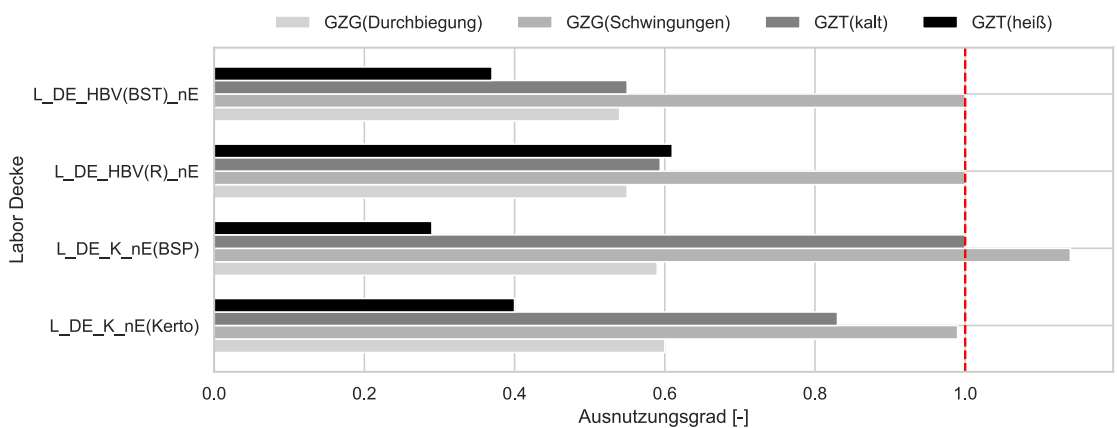


Abbildung 125: Ausnutzungsgrade Labor Geschossdecke

Lebenszyklusanalyse

Die Ergebnisse der LCA für die Umweltindikatoren Treibhauspotenzial (GWP) und Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) sind im Folgenden dargestellt. Die Ergebnisse für alle weiteren Kriterien sind im Anhang A: Bauteilmatrix angegeben.

Das Treibhauspotenzial für Labor-Decken ist in Abbildung 126 für eine Nutzungsdauer von 100 Jahren dargestellt. Zusammenfassend ergeben sich folgende Ergebnisse:

- Niedrigstes GWP für eine Kastendecke mit Nassestrich und einer Spannweite von 6,20 m (L_DE_K_nE_6.20) mit 125,16 CO₂-Äq./m²
- Höchstes GWP für eine Holz-Beton-Verbund-Decke (Brettstapel) mit Nassestrich und einer Spannweite von 6,10 m (L_DE_HBV(BST)_nE_6.10) mit 153,60 CO₂-Äq./m²
- Vergleich GWP im Hinblick auf Spannweiten und Bauweise: Einsparpotenzial bis zu 19 %

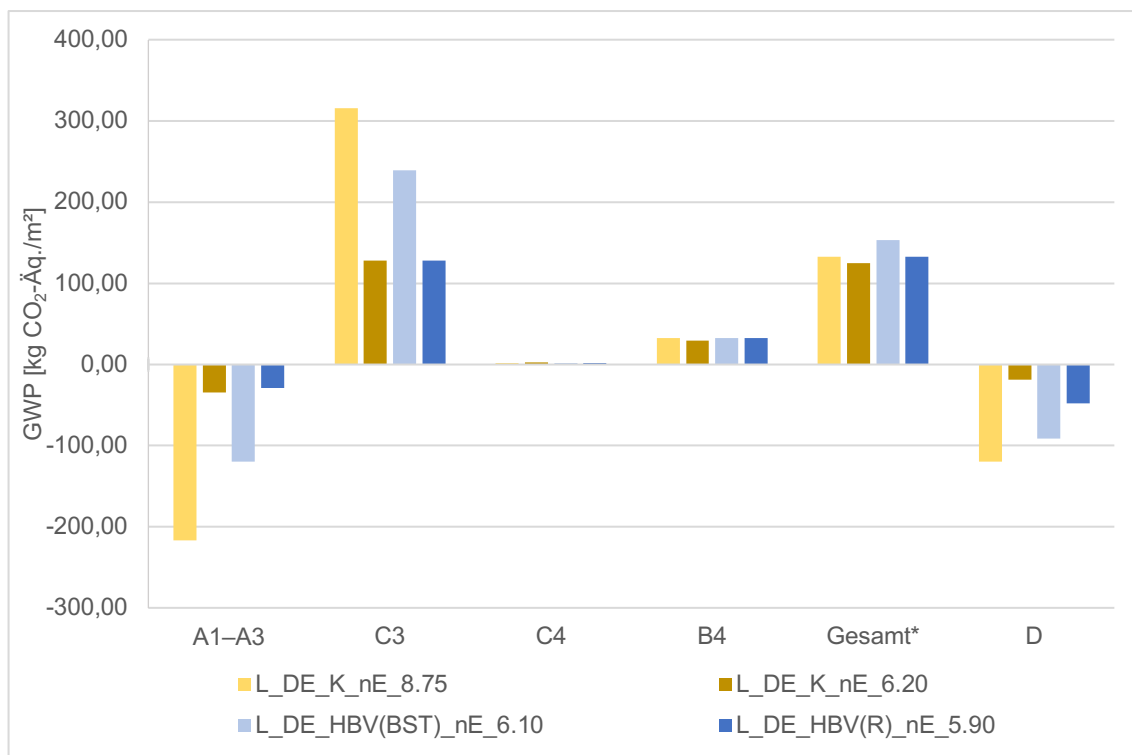


Abbildung 126: Treibhauspotenzial (GWP) für Labor-Decken, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1-A3, B4, C3, C4

Der Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PENRT) für Labor-Decken ist in Abbildung 127 dargestellt. Folgende Ergebnisse lassen sich ablesen:

- Niedrigste PENRT für Holz-Beton-Verbund-Decke (Rippen) mit Nassestrich (L_DE_HBV(R)_nE_5.90) mit 2.080,50 MJ/m²
- Höchste PENRT für Kastendecke mit Nassestrich (L_DE_K_nE_6.20) mit 2.427,30 MJ/m²

- Vergleich PENRT im Hinblick auf Spannweiten und Bauweise: Einsparpotenzial bis zu 14 %

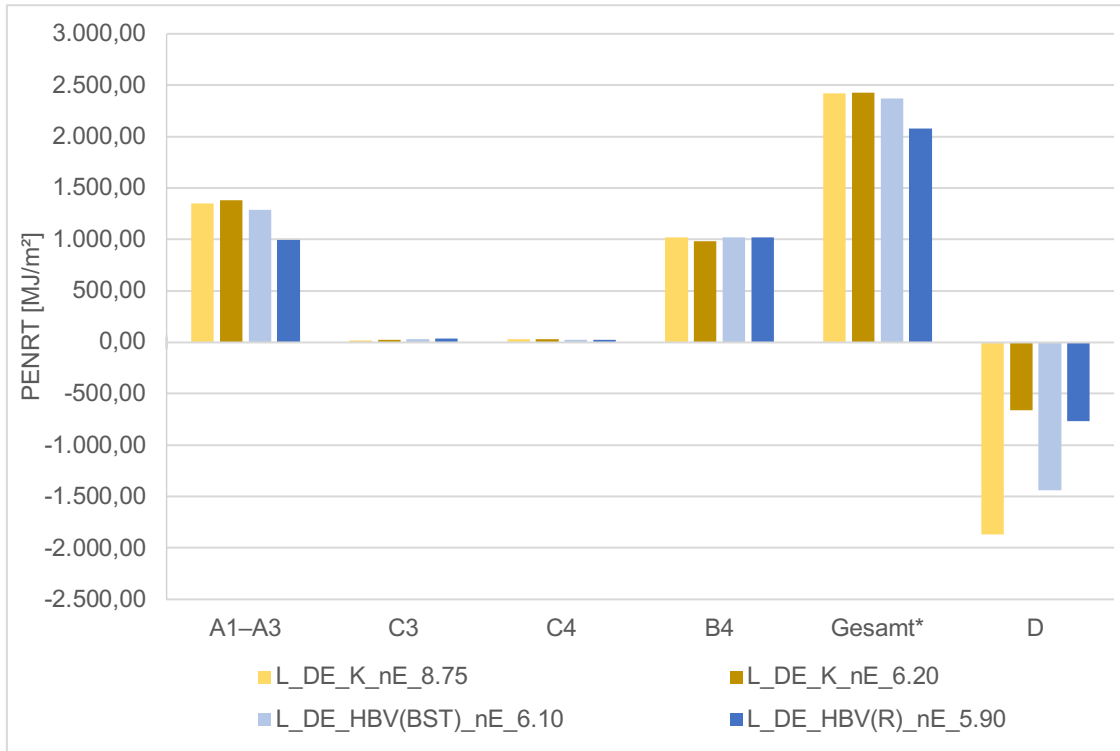


Abbildung 127: Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für Labor-Decken, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1-A3, B4, C3, C4

Nutzwertanalyse

Nachstehend werden die Ergebnisse der Nutzwertanalyse für die Geschossdecken Seminar beschrieben. Die Berechnung erfolgt für die Gewichtungen *basis* und *eco*.

Wie aus Abbildung 128 und Abbildung 129 ersichtlich, ändert sich die Rangfolge der Alternativen zwischen der *basis*- und *eco*-Gewichtung nicht. Unter Berücksichtigung aller Kriterien ist jeweils die Kastendecke mit Nassestrich und einer Deckenspannweite von 6,20 m die beste Alternative. Die konventionelle Ausführung in Stahlbeton steht an dritter (*basis*-Gewichtung) und zweiter (*eco*-Gewichtung) Stelle, was auf das vergleichsweise gute Verhalten in den baukonstruktiven Aspekten zurückzuführen ist. Die Holz-Beton-Verbund-Decke in der Ausführung mit Brettstapel-Elementen weist einen deutlich geringen Nutzwert unter Berücksichtigung aller betrachteten Kriterien auf; hier betragen die Nutzwerte fast nur die Hälfte oder weniger als die der besten drei Deckenalternativen.

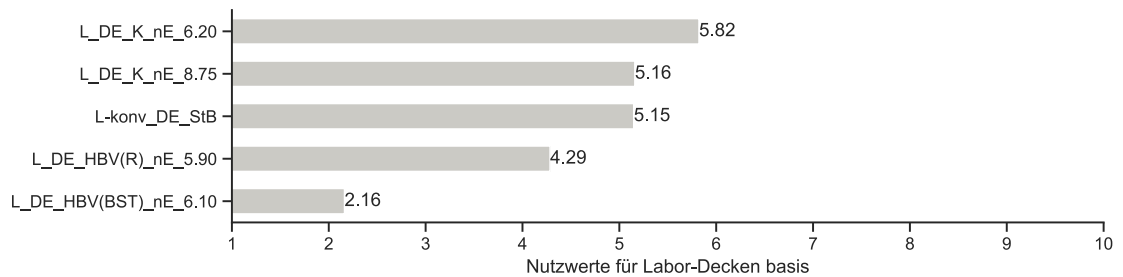


Abbildung 128: Ermittelte Nutzwertwerte für Labor-Decken, Gewichtung basis

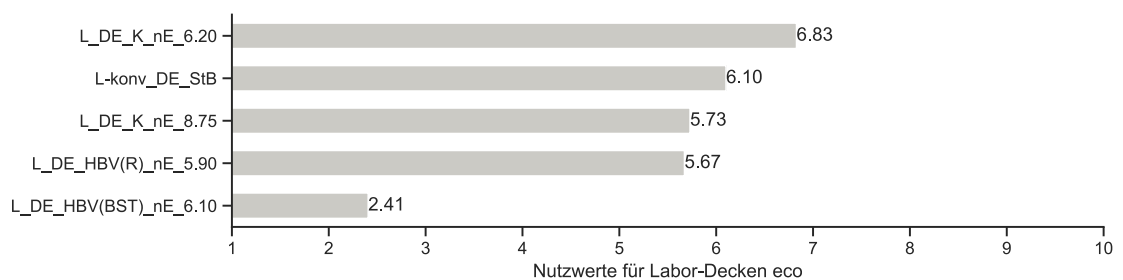


Abbildung 129: Ermittelte Nutzwertwerte für Labor-Decken, Gewichtung eco

Sensitivitätsanalyse Nutzwerte

Für Labor-Decken sind die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse gemäß Kapitel 3.4.1 für die Kriteriengewichtungen *eco*, *equal*, *smooth* und *spread* in Abbildung 130 dargestellt. Die Rangfolge der Nutzwerte variiert je nach Kriteriengewichtung. Folgende Rückschlüsse lassen sich ziehen:

- Die Kastendecke mit 6,20 m Spannweite ist die beste Alternative (Rang 1) bei allen Gewichtungen mit Ausnahme von Variante *smooth*, bei der eine Glättung der Gewichtungsspitzen vorgenommen wird.
- Die Stahlbetondecke (L-konv_DE_StB) folgt an zweiter Stelle und liegt bei der Variante *smooth* auf Rang 1.
- Die Holz-Beton-Verbunddecke (Brettstapel) mit 6,10 m Spannweite (L_DE_HBV(BST)_nE_6.10) ist bei allen Varianten die schlechteste Alternative mit Rang 5.

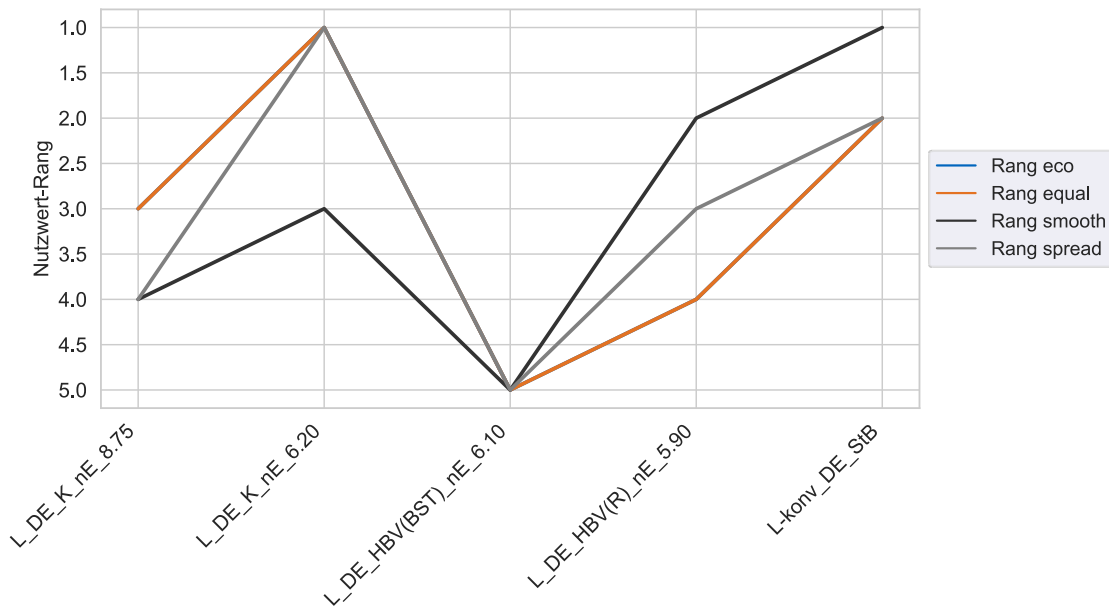


Abbildung 130: Rangfolge der Nutzwerte bei unterschiedlicher Gewichtung der Kriterien für Labor-Decken

Kosten-Nutzen-Analyse

Die Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse sind in Abbildung 131 dargestellt. Die konventionelle Stahlbetondecke, die HBV-Rippendecke und die Kastendecke mit einer Spannweite von 6,20 m weisen hierbei geringe Kosten und hohe Nutzwerte auf. Die HBV-Brettstapeldecke besitzt bei nahezu identischen Kosten einen signifikant geringeren Nutzwert. Die Kastendecke mit 8,75 m erreicht ebenfalls einen hohen Nutzwert, jedoch ist der Kosteneinsatz deutlich höher.

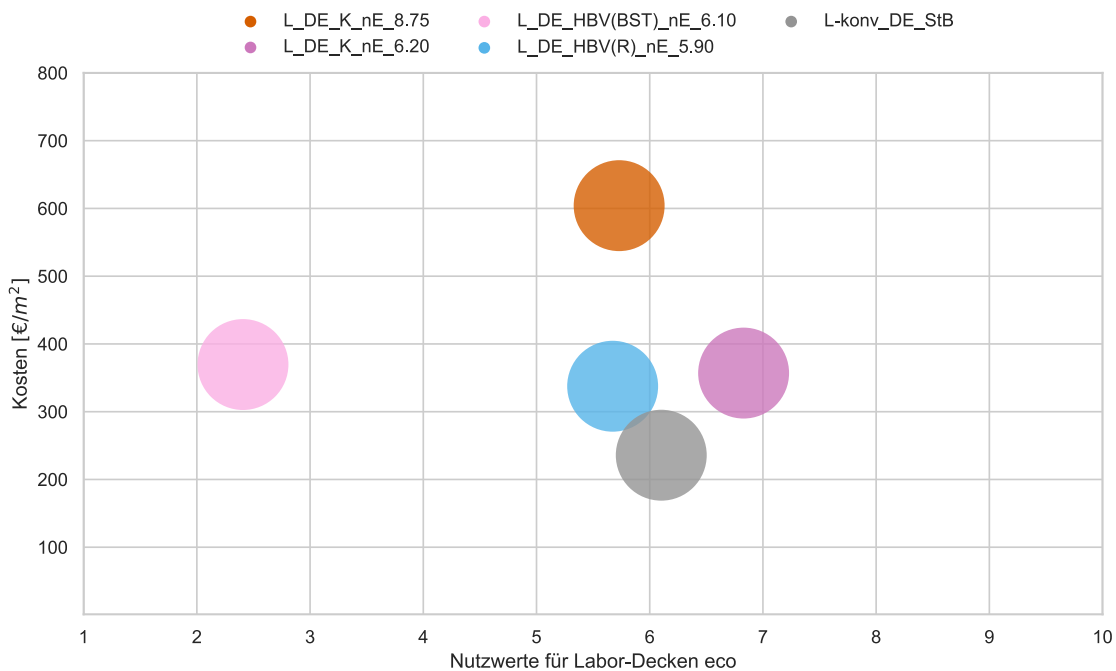


Abbildung 131: Kosten-Nutzen-Analyse der Labor-Decken

8.2.2. Oberer Gebäudeabschluss (Dach)

Der obere Gebäudeanschluss wird bei der Raumtypologie *Labor* aufgrund der Lage im Gebäude nicht betrachtet (siehe Kapitel Anordnung der Raumtypologien im Gebäude).

8.3. Raumebene

Folgende Bauteilaufbauten werden für die Raumtypologie *Labor* basierend auf den Ergebnissen der Nutzwertanalysen im Hinblick auf Ressourcen- und Klimaschutz empfohlen und bei der Betrachtung auf Raumebene berücksichtigt:

- Außenwand: Holzskelettbau (AW_HTB)
- Fenster: Holz-Aluminiumfenster mit Dreischeiben-Isolierverglasung (AW_FE)
- Flurwand: Skelettbau mit Holzständerwand und Gipskartonbeplankung (FW_HTB_GKP)
- Innenwand: Metallständerwand mit Beplankung aus Lehmbohlen (BW_MSt_LBP)
- Decke: Kastendecke mit Nassestrich und einer Spannweite von 6,20m (L_DE_K_nE_6.20)

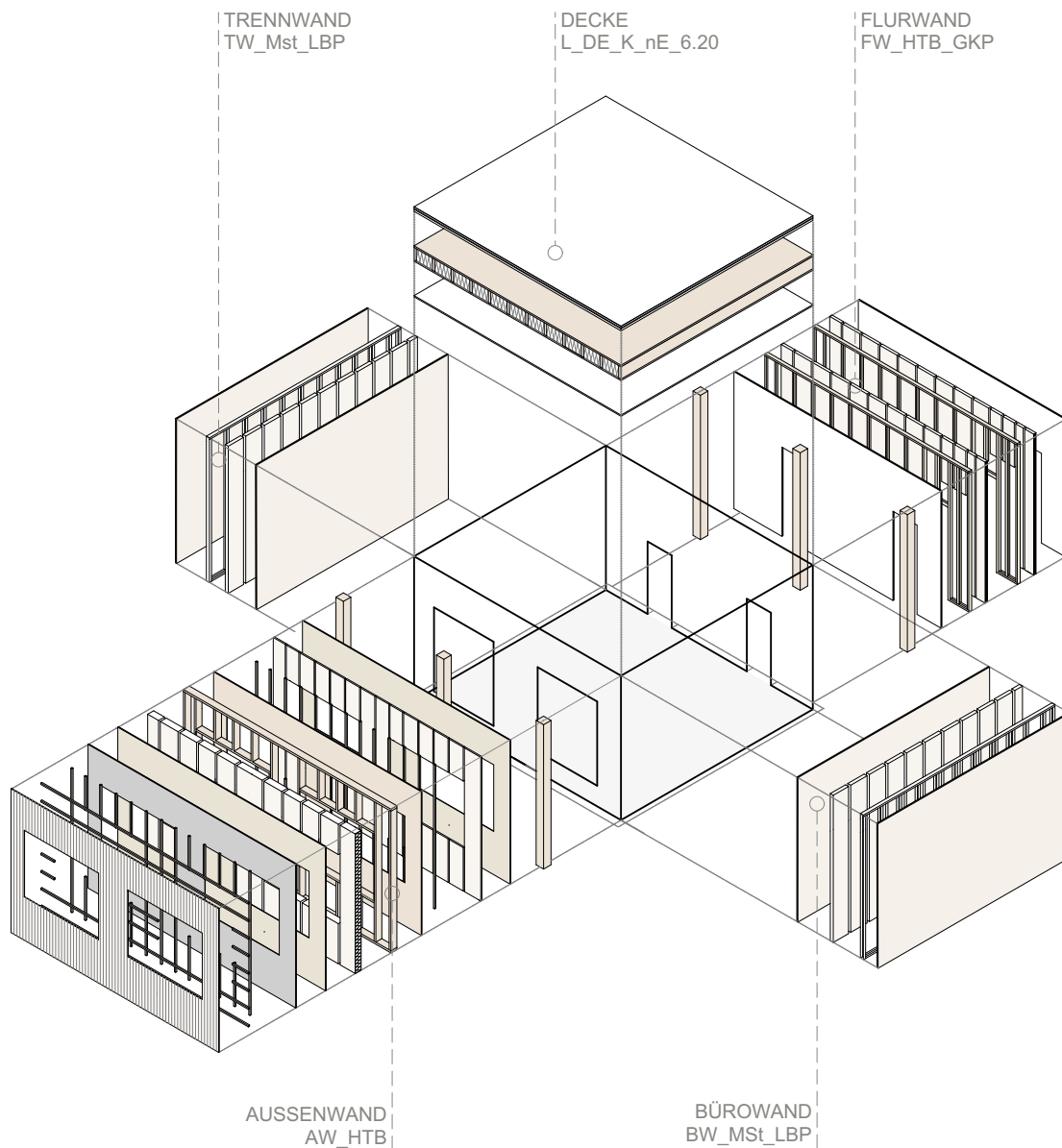


Abbildung 132: Ausgewählte Bauteile für Labor, Gewichtung eco

Thermische Simulation

Die thermischen Untersuchungen erfolgen gemäß der in Kapitel 4.3.1 dargestellten Vorgehensweise. Die Einstellungen und der Modellaufbau können im Anhang B: Simulationsrandbedingungen eingesehen werden. Die Auswahl und Auswirkungen der Veränderung der energetischen Parameter ist in Abbildung 133 gezeigt. Mit Hilfe der Standortparameter werden durchschnittliche Nutzenergiebedarfe ermittelt und die Berechnungen zum thermischen Komfort durchgeführt.

Auswahl energetischer Maßnahmen

Der jährliche spezifische Heizenergiebedarf in kWh/m²a wird in Abbildung 133 in rot dargestellt, der Kühlenergiebedarf in blau. Auf der x-Achse werden die Parameter *Abhangdecke*, *Aktive Beschattung*, *Nachtauskühlung* und *Konstruktionsart* aufgelistet.

Ein X bedeutet, dass der Parameter in der Simulation eingeschaltet ist. Alle gezeigten Simulationen sind mit statischen Standortparametern ausgeführt: Die Umschließungsflächen sind adiabat, die Fassadenseite zeigt Richtung Süden und es liegt keine Beschattung durch Umgebungsobjekte vor.

Die Variante mit dem geringstem Gesamtenergiebedarf (62,3 kWh/m²a) steht links und ist der Konstruktion *konventionell* mit aktiver Nachtauskühlung, aktiver Beschattung und ohne Abhangdecke zuzuordnen. An zweiter Stelle steht die *konv.* Konstruktion mit gleichen Parametereinstellungen, aber mit Abhangdecke. *eco* steht an dritter Stelle mit gleichen Parametern. Wie im Seminar kommt auch im Labor eine beplankte Hohlkastendecke mit einer geringen thermischen Wirksamkeit zum Einsatz. Zonen ohne *aktive Beschattung* haben einen höheren Kühlenergiebedarf. Eine *natürliche Nachtauskühlung* ist in beiden Konstruktionsarten energetische sinnvoll; Bevorzugt sollte sie mit *aktiver Beschattung* eingesetzt werden.

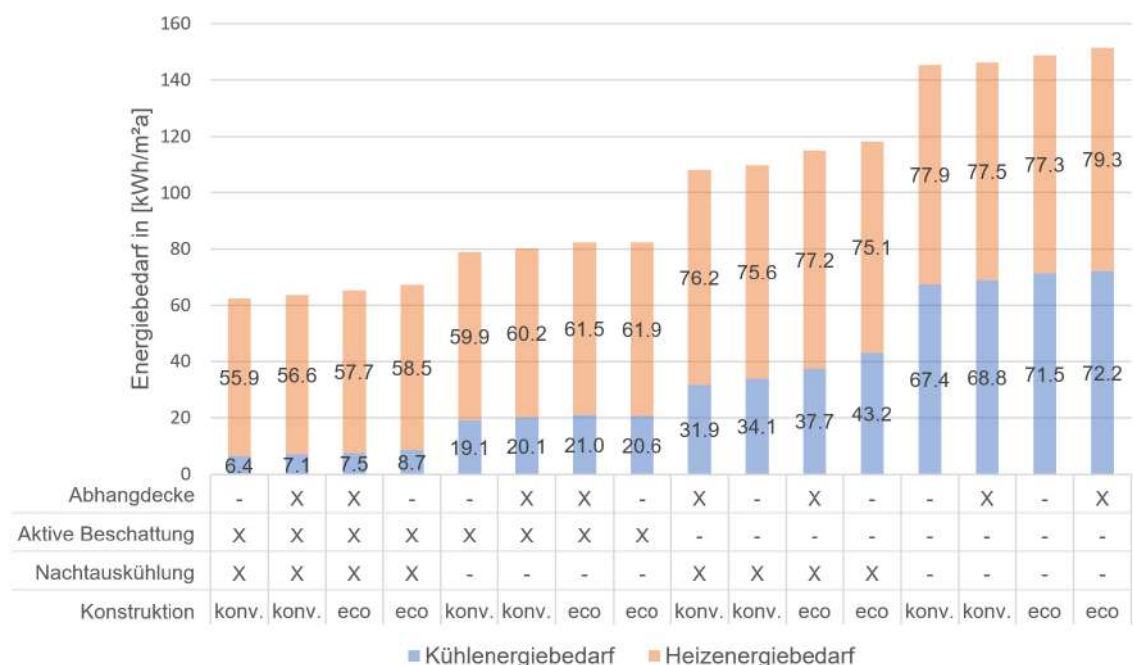


Abbildung 133: Jährlicher spezifischer Heiz- und Kühlenergiebedarf hierarchisch sortiert nach dem Gesamtenergiebedarf

Die energetisch sinnvollste Parameterkombination für die *eco* Konstruktion ist mit einer aktiven Beschattung, sowie Nachtauskühlung und mit Abhangdecke. Die folgenden Untersuchungen berücksichtigen diese Kombination.

Abschätzung zur Relevanz der Kühlung

Die Anforderung nach der DIN 4108-2 kann in der *eco* Bauart in keine Himmelsrichtung eingehalten werden. Tabelle 34 zeigt, dass besonders die südliche Ausrichtung mit 752 Kh/a herausstechen. Im Mittel werden die zulässigen Übertemperaturgradstunden von 500 Kh/a (siehe Kap. 3.5.3) um 36 % überschritten. Es wird keine weitere Komfortbewertung nach der DIN EN 16798-1 durchgeführt. Es wird eine aktive Kühlung in der Typologie Labor benötigt, um eine Überhitzung zu vermeiden.

Tabelle 34: Übertemperaturgradstunden nach der Himmelsrichtung – Labor

Orientierung	Südlich	Westlich	Nördlich	Östlich	Mittelwert
Übertemperaturgradstunden in [Kh/a] >26°	752	690	595	677	678
Verhältnis Anforderungswert der DIN 4108-2 (500 Kh/a)	1.50	1.38	1.19	1.35	1.36

Ermittlung durchschnittlicher Nutz- und Endenergiebedarf

Die Ergebnisse aus den Simulationen mit statischen energetischen und variablen Standortparametern ergeben den Heiz- und Kühlenergiebedarf. Tabelle 35 zeigt diese sortiert nach der Konstruktionsart und abhängig von der Angrenzung im Gebäude. Beim Labor werden Räume mit Angrenzung ans Erdreich und adiabaten Deckenkonstruktionen simuliert, da eine Erdgeschoss-Anordnung der Labore angenommen wird. Die Ergebnisse zeigen, dass die konventionelle Bauvariante einen geringeren Nutzenergiebedarf hat.

Tabelle 35: Nutz- und Endenergiebedarf – Labor

Konstruktion	Heizung / Kühlung	Lage der Zone im Gebäude	Nutzenergie in [kWh/m²a]	Endenergie in [kWh/m²a]
eco	Heizung	Innenliegend, Erdreich	61,2	11,1
	Kühlung	Innenliegend, Erdreich	10,6	1,2
konv.	Heizung	Innenliegend, Erdreich	58,5	10,6
	Kühlung	Innenliegend, Erdreich	8,4	1,0

Basierend auf dem Nutzenergiebedarf wird der Endenergiebedarf ermittelt; die berücksichtigten Komponenten der Gebäudetechnik sind in Kapitel 4.3.2 aufgeführt.

Lebenszyklusanalyse

Für die Raumtypologie Labor sind die Ergebnisse der LCA in Abbildung 134 für GWP (links) und PENRT (rechts) dargestellt. Die Ergebnisse beziehen sich auf einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren. Für die Holzbauvariante eco werden die oben aufgeführten Bauteilkonstruktionen betrachtet; diese sind die Alternativen mit dem jeweils höchsten Nutzwert. Die Variante eco weist ein GWP von 3,34 kg CO₂-Äq./m²a auf und liegt damit 18 % unterhalb einer konventionellen Bauweise mit 4,09 kg CO₂-Äq./m²a. Mit 52,69 MJ/m²a können rund 2 % an Primärenergie nicht erneuerbar im Vergleich zu einer konventionellen Bauweise eingespart werden.

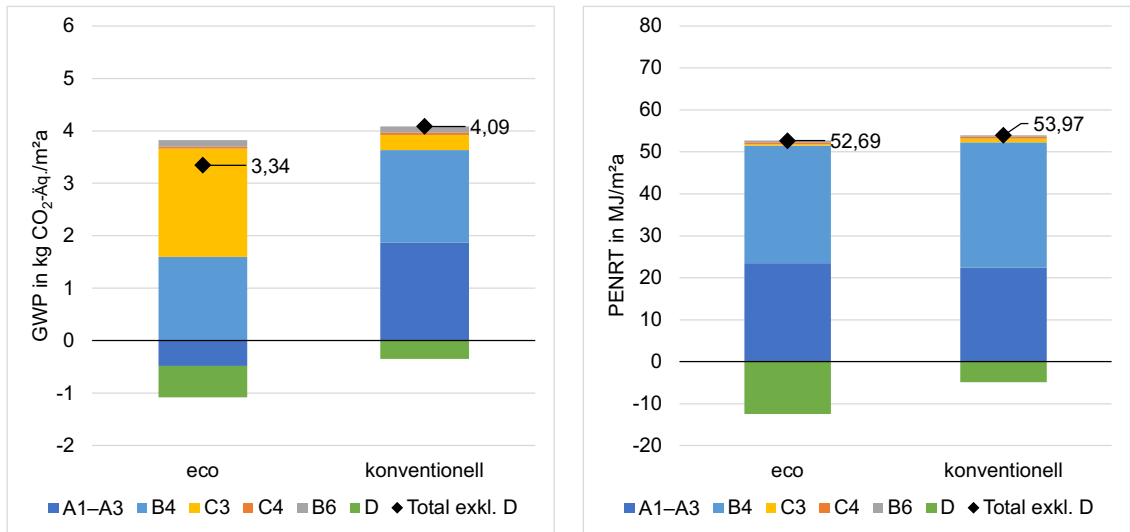


Abbildung 134: Treibhauspotenzial (GWP) und Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für die Raumtypologie Labor; Betrachtungszeitraum 100 Jahre

8.4. Handlungsempfehlung

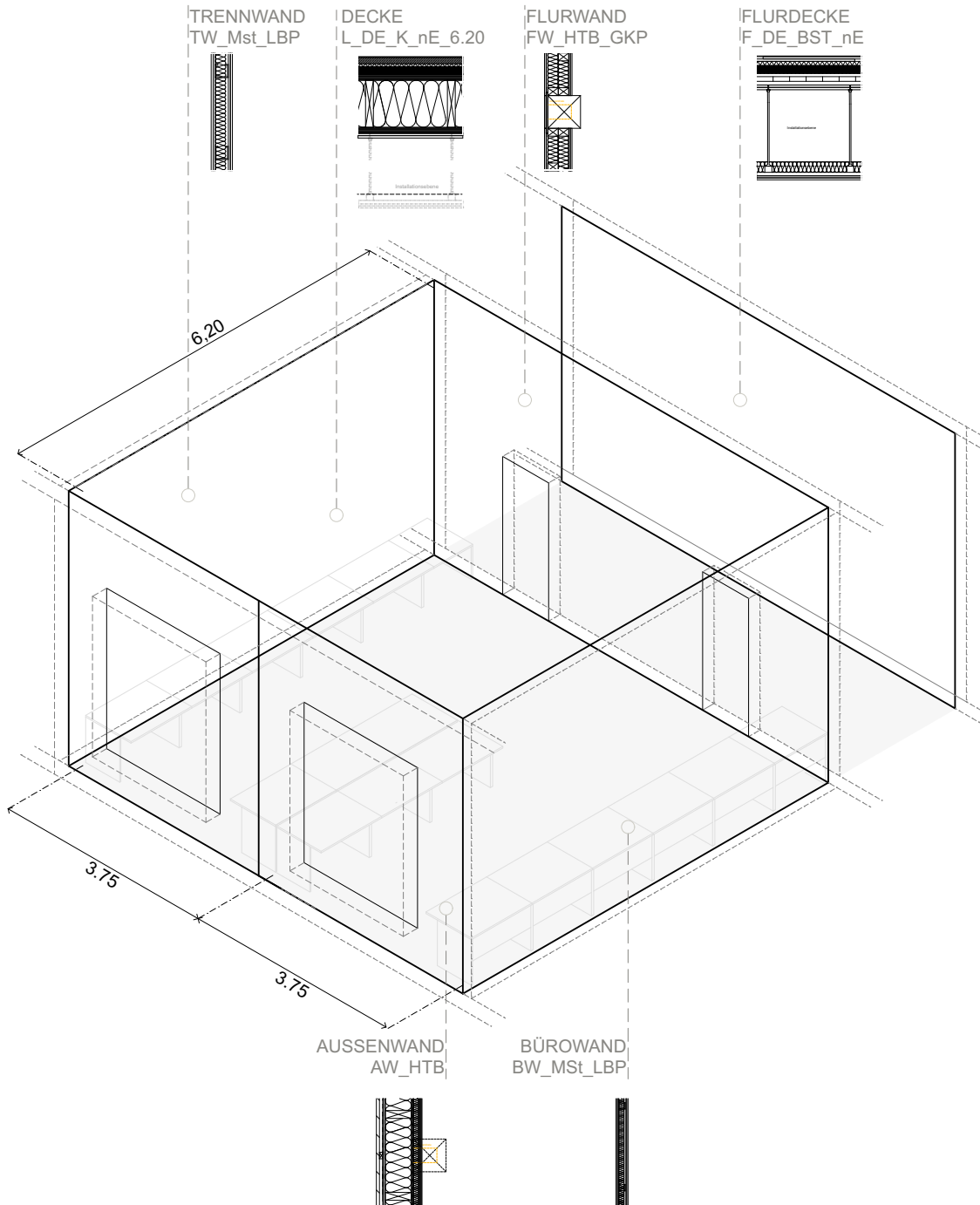


Abbildung 135: Handlungsempfehlung: Ausgewählte Bauteile für Labor, Gewichtung eco

Basierend auf den vorangegangenen Untersuchungen auf Raumebene werden folgenden Empfehlungen ausgesprochen:

- Im Hinblick auf Klimaschutz ist eine Holzbauweise (Variante eco) gegenüber einer mineralischen Bauweise (Variante konventionell) zu bevorzugen, da sie im gesamten Lebenszyklus ein deutlich geringeres Treibhauspotenzial aufweist.

Dies gilt auch dann, wenn für das Lebensende der Holzbauteile ein Verbrennungsszenario und damit die Freisetzung von CO₂ angenommen wird.

- Laborräume mit erhöhten Schwingungsanforderungen sind im Erdgeschoss bzw. Untergeschoss anzuordnen. Die Empfehlung ergibt sich aus den hohen Konstruktionsmaßen und der daraus resultierenden Geschosshöhen.
- Für die Raumtypologie Labor besteht ein Überhitzungsrisiko und daher der Bedarf für eine aktive Kühlung.
- Eine Nachtauskühlung sollte zur Reduzierung der Überhitzungsrisikos bzw. zur Senkung des Kühlenergiebedarfs ermöglicht werden. Diese kann aufgrund der technischen Anforderungen der Raumtypologie Labor nur maschinell über die Lüftungsanlage realisiert werden.
- Ein aktiv gesteuerter außenliegender Sonnenschutz sollte eingesetzt werden.
- Durch eine Einbringung von zusätzlichen thermischen Massen kann der Kühlenergiebedarf weiter gesenkt werden.

9. Raumtypologie Versammlung

9.1. Grundriss und Anforderungen

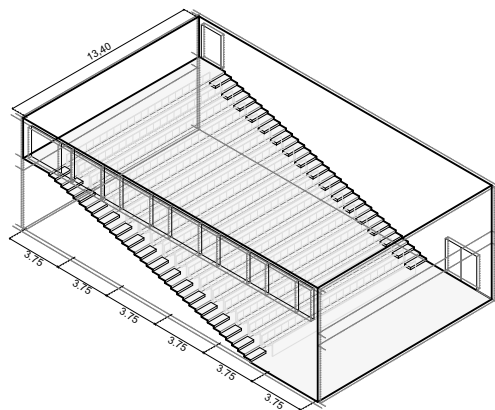


Abbildung 136: Axonometrie Versammlung

In der Raumtypologie *Versammlung* werden alle großen Hörsäle und Lernflächen zusammengefasst, die eine Raumgröße von 240–500 m² aufweisen und eine Personenanzahl über 200 zulassen.

Dabei handelt es sich um alle Raumeinheiten mit einer Größe von 250 m² und 300 m², wie große Seminarräume, Lernflächen und große Hörsäle (Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst 2021).

Beide Raumgrößen der Raumtypologie *Versammlung* können mit derselben Raumtiefe geplant werden und weisen somit die gleiche Spannweite auf. Eine angemessene Raumproportion ergibt sich bei einer Raumtiefe von 13,40 m (Abbildung 136). In Fassadenrichtung bleibt das Achsraster von 3,75 m bestehen.

Die ASR A1.2 fordert für Räume über 100 m² eine lichte Höhe von mindestens 3,00 m. Der Versammlungsraum befindet sich entweder im Erdgeschoss oder auf halber Höhe des Untergeschosses. Zu beachten ist hier die Höhenlage VStättV §9 Abs.1. Nach VStättV §6 Abs.1 Satz sollen die Rettungswege direkt ins Freie führen. Aus diesem Grund wird ausschließlich die Geschosdecke betrachtet. In der Raumkategorie Hörsaal wird mit einer erhöhten Raumhöhe über zwei Geschosse geplant, da eine ansteigende Tribünenkonstruktion der Hörsaalbestuhlung für eine ausreichende Sichtverbindung aller Personen zum Rednerpult notwendig ist. Die flächendeckende Tragkonstruktion des Bühnenbodens ermöglicht die Integration von Lüftungs-, Heiz- und Kühlleitungen sowie von elektronischen und medientechnischen Einbauten. Obwohl die Bodenkonstruktion schallabsorbierende Eigenschaften aufweisen kann, ist darauf zu achten, dass unter der Decke bzw. zwischen den Deckenträgern schallabsorbierende Maßnahmen getroffen werden.

Die Tageslicht- und Sichtverbindung wird über ein Lichtband oder über die gesamte Fassade mit einem Pfosten-Riegel-System hergestellt. Die notwendige Beschattung und Verdunkelung des Raumes ist zu integrieren.

Die konkrete Anzahl der Personen, die sich in einem Versammlungsraum aufhalten dürfen, ist in den jeweiligen Landesbauordnungen sowie den örtlichen Bauämtern festgelegt. Gemäß ASR A2.3 in Verbindung mit der BayBO sind die Anforderungen an Flucht- und Rettungswege festgelegt.

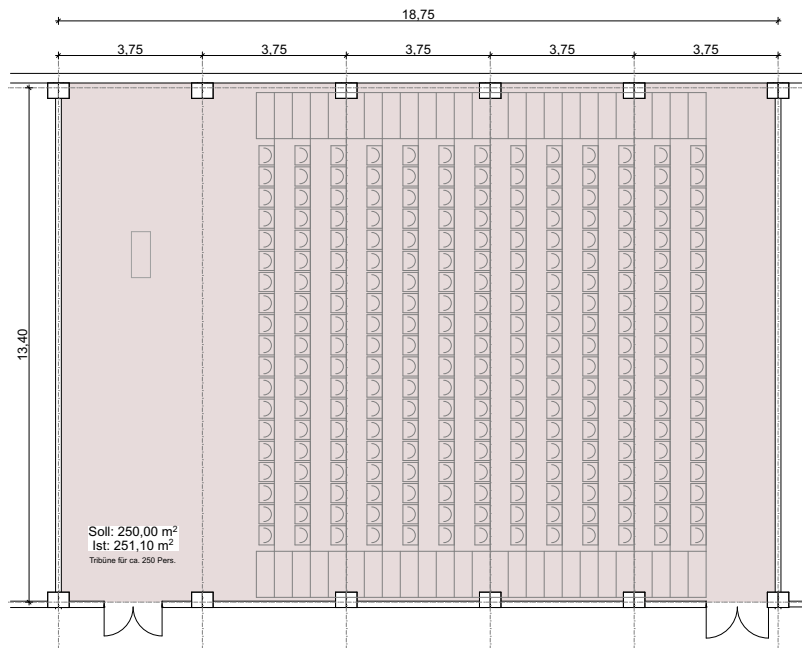


Abbildung 137: Grundriss kleiner Hörsaal, großer Seminarraum, Foyer 250 m²

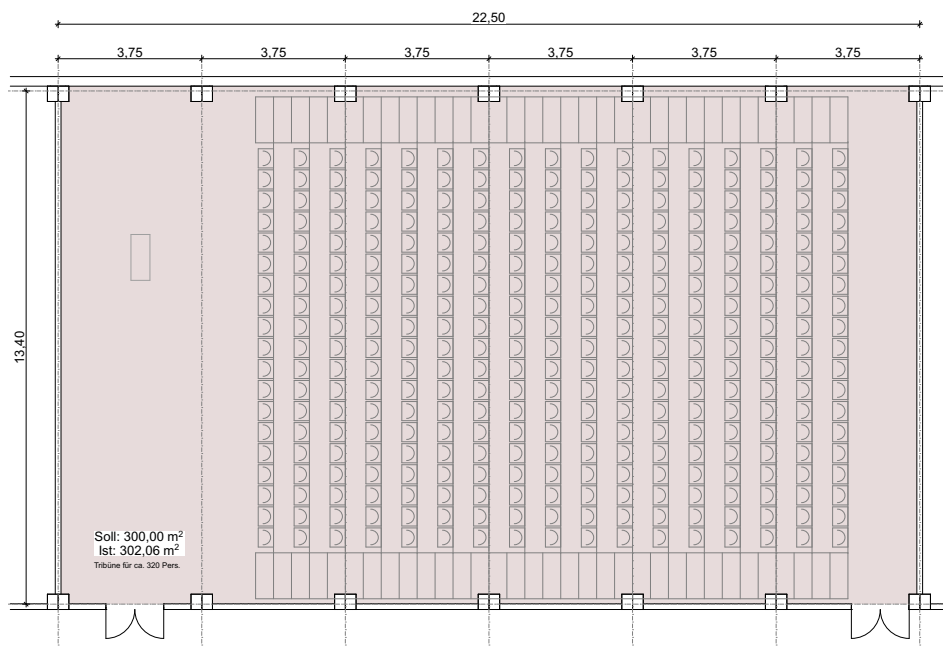


Abbildung 138: Großer Hörsaal 300 m²

9.2. Bauteilebene

9.2.1. Geschossdecke

Für die Versammlungsräume wird eine Deckenspannweite von 13,40 m angenommen. Für diese Spannweite werden BSH-Träger, Buchen BSH- Träger und die HBV-Rippendecke in Betracht gezogen. (siehe Kapitel 4.2.4 und Abbildung 139)

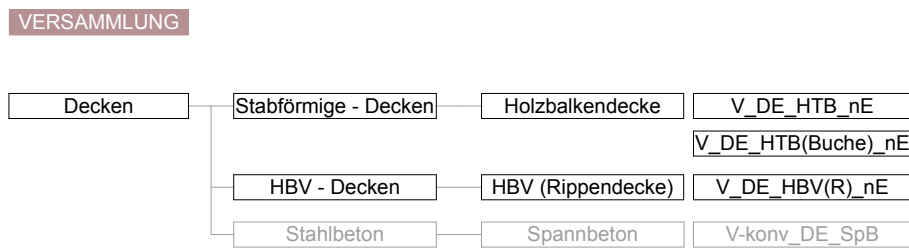
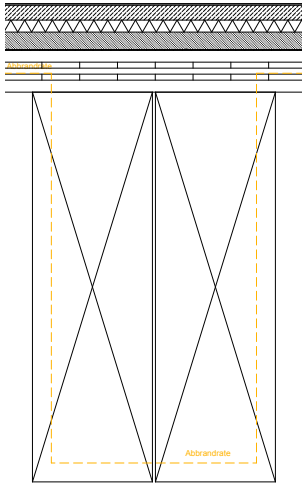


Abbildung 139: Übersicht betrachtete Bauteile der Versammlung-Decken

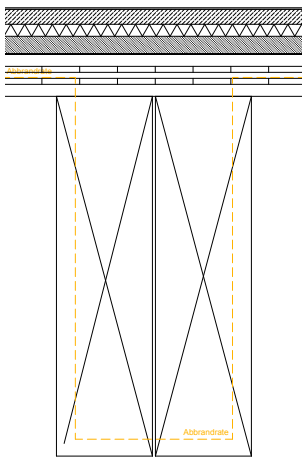
V_DE_HTB_nE



[mm] Baustoffe

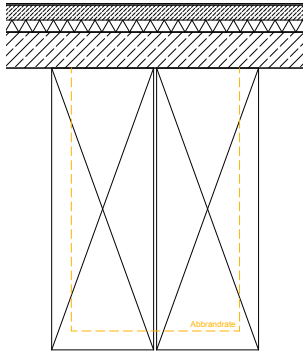
- 5,0 Bodenbelag Linoleum
- 50,0 Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)
- 40,0 Trittschalldämmung MW ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)
- 60,0 Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$)
auf Rieselschutzvlies (PP)
- 140,0 Brettsperrholz, 5-lagig 40/20/20/20/40
- 1300,0 Brettschichtholz, GL24h (2x1300/400, e=3,75m)
- 270,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil (40/50)
(Achsabstand e = 400mm)
- 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (40/50)/CD Profil (60/27)
Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

V_DE_HTB(Buche)_nE



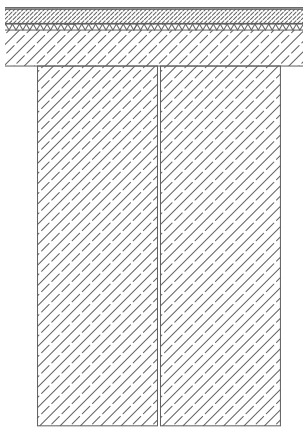
- 5,0 Bodenbelag Linoleum
- 50,0 Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)
- 40,0 Trittschalldämmung MW ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)
- 60,0 Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$)
auf Rieselschutzvlies (PP)
- 140,0 Brettsperrholz, 5-lagig 40/20/20/20/40
- 1200,0 Brettschichtholz, GL75 (2x1200/320, e=3,75m)
- 270,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil (40/50)
(Achsabstand e = 400mm)
- 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (40/50)/CD Profil (60/27)
Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

V_DE_HBV(R)_nE



- [mm] Baustoffe
- 5,0 Bodenbelag Linoleum
 - 50,0 Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)
 - 40,0 Trittschalldämmung MW ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)
 - 120,0 Beton C30/37
 - 940,0 Brett-schichtholzträger Gl24h (2 x 940/340) ($e=3,75\text{m}$)
 - 270,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil (40/50)
(Achsabstand $e = 400\text{mm}$)
 - 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (40/50)/CD Profil (60/27)
Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

V-konv_DE_SpB



- 5,0 Bodenbelag Linoleum
- 50,0 Zementestrich
- 0,4 PE - Folie, Trennlage
- 20,0 Polystyrol-Hartschaum 20-2 (Trittschalldämmung), EPS 040
- 120,0 Stahlbetonfertigdecke
- 1200,0 Spannbetonträger (2x $b= 400 \text{ mm}$, $e= 3,75\text{m}$)
- 270,0 Installationsebene: Abhängung mit UA-Profil / Nonius
(Achsabstand $e = 400\text{mm}$)
- 100,0 Abhangdecke mit UA - Profil (50/40)/CD Profil (60/27)
Gipskartonplatten 2 x 12,5mm ($m' \geq 14,5 \text{ kg/m}^2$)

Abbildung 140: Bauteilaufbauten der Versammlung-Decken

Bauphysikalische Betrachtung

Aufgrund der hohen Spannweiten kommen keine flächigen Bauweisen in Betracht. Ebenso werden hohlraumverfüllte Bauweisen ausgeschlossen, da ein unnötig hoher Materialbedarf an nichtbrennbarer Mineralwolle einhergeht. Die nachfolgenden Untersuchungen beschränken sich daher auf massive stabförmige Bauteile.

Die Bauweisen müssen die in Kapitel 4.2.2 beschriebenen brandschutztechnischen Anforderungen erfüllen. Aufgrund des Sonderbautatbestandes ist eine brandschutztechnisch notwendige Bekleidung der Bauteilunterseite entsprechend Tabelle 2 notwendig. Da im Rahmen des Forschungsprojekts die maximalen Klimaschutzpotenziale ermittelt werden sollen, wird abweichend davon auf eine

brandschutztechnisch notwendige Bekleidung unter Ansatz der nachfolgend genannten Kompensationen verzichtet. Die Kompensationen sind, dass die Versammlungsstätte ebenerdig angeordnet ist, mehrere sichtbare kurze, voneinander unabhängige bauliche Rettungswege aufweist und eine schnelle Branderkennung aufgrund der guten Einsehbarkeit gegeben ist. Die Bekleidung der Wände wird wie in Tabelle 2 beschrieben angenommen. Bei Anordnung einer Installationsebene bzw. von Schallschutzsegeln ist die Massivholzdecke weiterhin wie eine Massivholzdecke nach MHolzBauRL 2022 mit brennbaren Bauteiloberflächen zu betrachten. In diesem Fall ist trotz der aufgeführten Abweichungen eine Bekleidung zur Reduzierung der Brandentwicklung und -weiterleitung im Zwischenraum erforderlich.

Die schallschutztechnische Einordnung der Holzbauteile erfolgt in Tabelle 36, ohne Berücksichtigung der zusätzlich erforderlichen raumakustischen Maßnahmen. Die Anordnung von Deckensegeln wirkt sich analog zu einer abgehängten Decke positiv auf die Schalldämmung von Decken aus.

Tabelle 36 Schallschutz Versammlung

Raumtypologie Veranstaltung	Ergebnisse Berechnung [dB]			Schallschutz- technische Einordnung ^b	Orientierung an
	R'_w	$L'_{n,w}$	$L'_{n,w}^a$		
Geschosdecken					
V_DE_HTB_nE	67	52	49	Ausreichend	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 24 Z.5)
V_DE_HTB(Buche)_nE	62	52	49	Ausreichend	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 24 Z.5)
V_DE_HBV(R)_nE	62	51	-	Ausreichend	(DIN 4109-32, 4.8.4.4; DIN 4109-34, 4.5.4.2.1; DIN EN ISO 12354-2, Anhang B; Rabold et al. 2008)
V-konv_DE_SpB	54	42	-	Ausreichend	(DIN 4109-32; DIN 4109-34)
^a Ergebnis unter Berücksichtigung der tiefen Frequenzen nach Gleichung Gl.3.5 ^b Der bewertete Norm-Trittschallpegel liegt bei allen Konstruktionen über den normativ geforderten Norm-Trittschallpegel von 46 dB. Aufgrund der komplexen Raumakustik in Veranstaltungsräumen werden unabhängig von der Konstruktionsart raumakustische Maßnahmen notwendig. Diese Maßnahmen sind situationsabhängig zu wählen und verbessern die Schalldämmeigenschaften womit die Bauteile schallschutztechnisch als ausreichend bezeichnet werden können.					

Die Ausnutzungsgrade der Geschosdecken der Raumtypologie Versammlung sind in Abbildung 141 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass für die Holzkonstruktionen der Schwingungsnachweis maßgebend ist. Für den Spannbetonträger ist der Grenzzustand der Tragfähigkeit maßgebend.

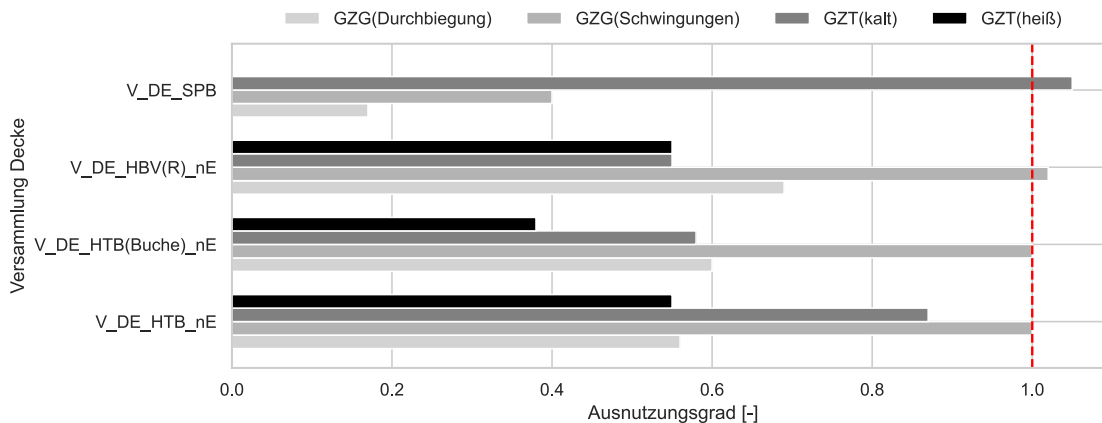


Abbildung 141: Ausnutzungsgrade Versammlung Geschossdecke

Lebenszyklusanalyse

Die Ergebnisse der LCA für die Umweltindikatoren Treibhauspotenzial (GWP) und Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) sind im Folgenden dargestellt. Die Ergebnisse für alle weiteren Kriterien sind im Anhang A: Bauteilmatrix angegeben.

Das Treibhauspotenzial für Versammlung-Decken ist in Abbildung 142 für eine Nutzungsdauer von 100 Jahren dargestellt. Zusammenfassend ergeben sich folgende Ergebnisse:

- Niedrigstes GWP für eine Buchen-Holzbalkendecke mit Nassestrich (V_DE_HTB(Buche)_nE) mit 113,14 CO₂-Äq./m²
- Höchstes GWP für eine Holz-Beton-Verbund-Rippendecke mit Nassestrich (V_DE_HBV(R)_nE) mit 136,63 CO₂-Äq./m²
- Vergleich beste Alternative EDUwood (V_DE_HTB(Buche)_nE) mit konventioneller Alternative (Spannbetonträger-Decke V-konv_DE_SpB; GWP 188,10 CO₂-Äq./m²): Einsparpotenzial 40 %

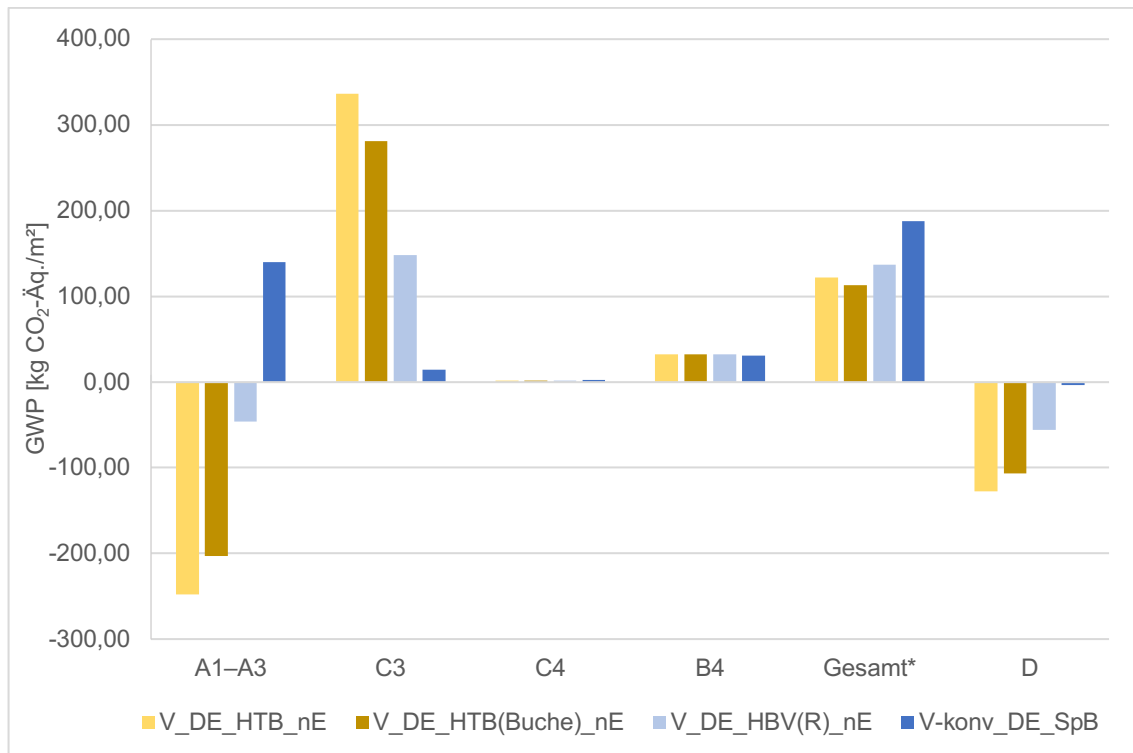


Abbildung 142: Treibhauspotenzial (GWP) für Versammlung-Decken, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4

Der Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PENRT) für Versammlung-Decken ist in Abbildung 143 dargestellt. Folgende Ergebnisse lassen sich ablesen:

- Niedrigste PENRT für Holz-Beton-Verbund-Rippendecke mit Nassestrich (V_DE_HBV(R)_nE) mit 2.133,60 MJ/m²
- Höchste PENRT für Holzbalkendecke mit Nassestrich (V_DE_HTB_nE) mit 2.293,20 MJ/m²
- Vergleich beste Alternative EDUwood (V_DE_HBV(R)_nE) mit konventioneller Alternative (Spannbetonträger-Decke V-konv_DE_SpB; PENRT 2.365,80 MJ/m²): Einsparpotenzial 10 %

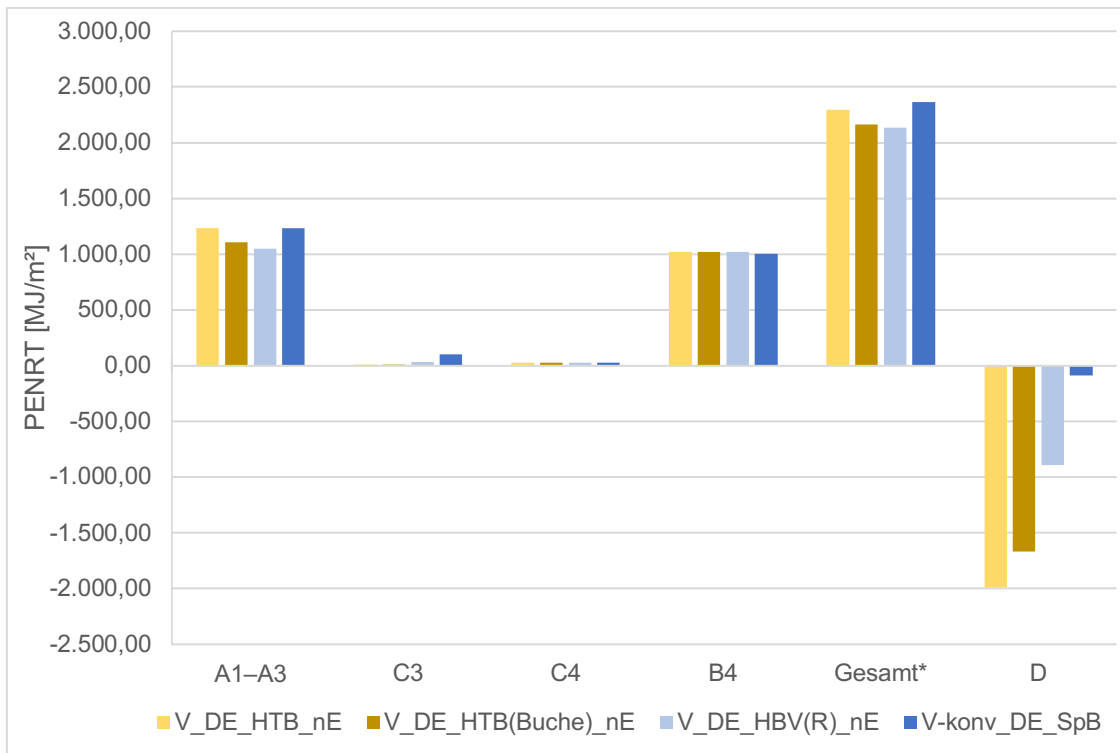


Abbildung 143: Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für Versammlung-Decken, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4

Nutzwertanalyse

Nachstehend werden die Ergebnisse der Nutzwertanalyse für die Geschosdecken Versammlung beschrieben. Die Berechnung erfolgt für die Gewichtungen *basis* und *eco*.

Wie aus Abbildung 144 und Abbildung 145 ersichtlich, ändert sich die Rangfolge der Alternativen zwischen der *basis*- und *eco*-Gewichtung nicht. Unter Berücksichtigung aller Kriterien ist jeweils die Buchen-Holzbalkendecke mit Nassestrich die beste Alternative. Die konventionelle Ausführung mit Spannbetonträgern weist im Hinblick auf Ressourceneinsatz und Klimaschutz einen deutlich geringen Nutzen auf und steht sowohl bei *basis* als auch bei *eco* an letzter Stelle.

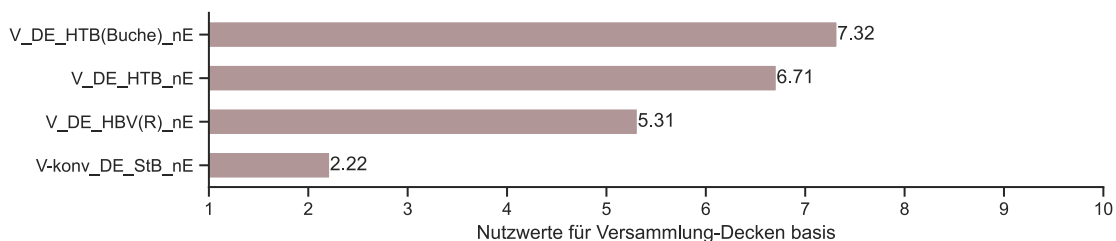


Abbildung 144: Ermittelte Nutzwertwerte für Versammlung-Decken, Gewichtung *basis*

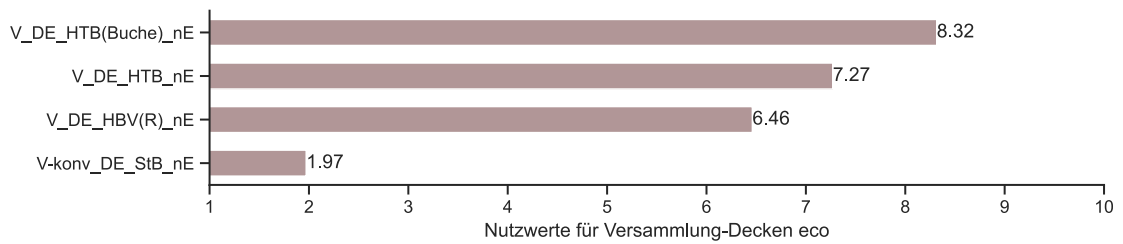


Abbildung 145: Ermittelte Nutzwertwerte für Versammlung-Decken, Gewichtung eco

Sensitivitätsanalyse Nutzwerte

Für Decken der Raumtypologie Versammlung sind die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse gemäß Kapitel 3.4.1 für die Kriteriengewichtungen *eco*, *equal*, *smooth* und *spread* in Abbildung 146 dargestellt. Die Rangfolge der Nutzwerte variiert nur bei zwei Alternativen. Folgende Rückschlüsse lassen sich ziehen:

- An erster Stelle bei allen Varianten liegt die Buchen-Holzbalkendecke (V_DE_HTB(Buche)_nE).
- Die Stahlbetondecke (V-konv_DE_StB_nE) liegt bei allen Varianten auf dem letzten Platz mit Rang 4.
- Die Rangfolge ändert sich bei der Holzbalken- und Holzbalkenrippendecke je nach Kriteriengewichtung um einen Rang (Rang 2 oder 3).

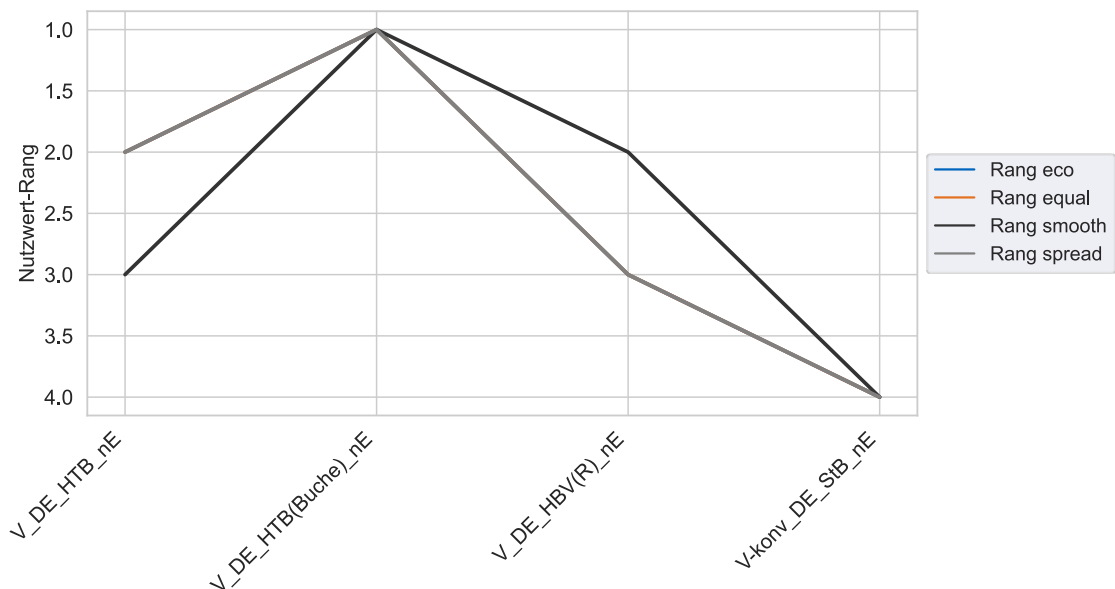


Abbildung 146: Rangfolge der Nutzwerte bei unterschiedlicher Gewichtung der Kriterien für Versammlung-Decken

Kosten-Nutzen-Analyse

Die Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analyse sind Abbildung 147 zu entnehmen. Ein steigender Nutzwert ist hierbei mit steigenden Kosten verknüpft. Der Kostenanstieg der Holztafelbauweisen im Vergleich zur HBV-Rippendecke ist hierbei überproportional zur Nutzwertsteigerung.

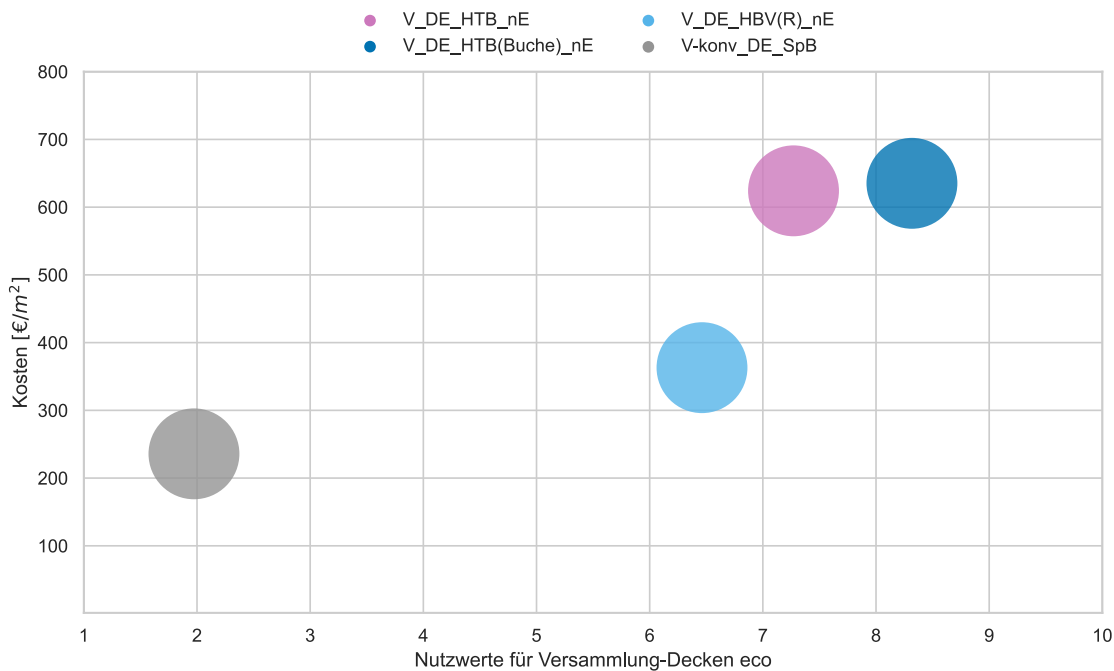


Abbildung 147: Kosten-Nutzen-Analyse für Versammlung-s Decken

9.2.2. Oberer Gebäudeabschluss (Dach)

Der obere Gebäudeabschluss wird bei der Raumtypologie *Versammlung* auf Grund der Lage im Gebäude nicht betrachtet (siehe Kapitel Anordnung der Raumtypologien im Gebäude).

9.3. Raumebene

Folgende Bauteilaufbauten werden für die Raumtypologie *Versammlung* basierend auf den Ergebnissen der Nutzwertanalysen im Hinblick auf Ressourcen- und Klimaschutz empfohlen und bei der Betrachtung auf Raumebene berücksichtigt:

- Außenwand: Holzskelettbau (AW_HTB)
- Fenster: Holz-Aluminiumfenster mit Dreischeiben-Isolierverglasung (AW_FE)
- Flurwand: Skelettbau mit Holzständerwand und Gipskartonbeplankung (FW_HTB_GKP)
- Innenwand: Metallständerwand mit Beplankung aus Lehmbauplatten (BW_MSt_LBP)
- Decke: Buchen-Holz balkendecke mit Nassestrich (V_DE_HTB_Buche_nE)

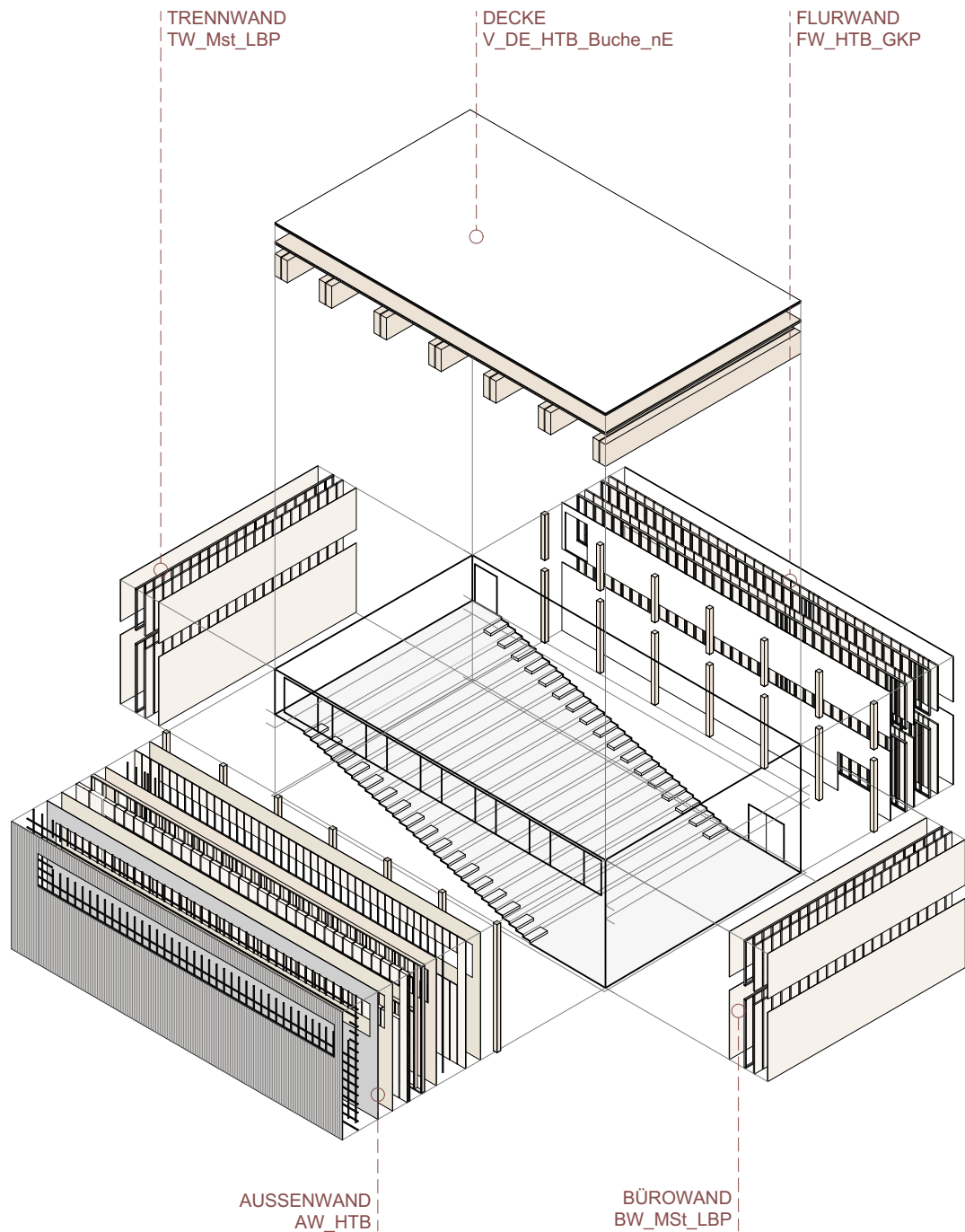


Abbildung 148: Ausgewählte Bauteile für Versammlung, Gewichtung eco

Thermische Simulation

Die thermischen Untersuchungen erfolgen gemäß der in Kapitel 4.3.1 dargestellten Vorgehensweise. Die Einstellungen und der Modellaufbau können im Anhang B: Simulationsrandbedingungen eingesehen werden. Die Auswahl und Auswirkungen der

Veränderung der energetischen Parameter ist in Abbildung 149 gezeigt. Mit Hilfe der Standortparameter werden durchschnittliche Nutzenergiebedarfe ermittelt.

Auswahl energetischer Maßnahmen

Der jährliche spezifische Heizenergiebedarf in kWh/m²a wird in Abbildung 149 in rot dargestellt, der Kühlenergiebedarf in blau. Auf der x-Achse werden die Parameter Abhangdecke, Aktive Beschattung, Nachtauskühlung und Konstruktionsart aufgelistet. Ein X bedeutet, dass der Parameter in der Simulation aktiv ist. Alle gezeigten Simulationen sind mit statischen Standortparametern ausgeführt: Die Umschließungsflächen sind adiabatisch, die Fassadenseite zeigt Richtung Süden und es liegt keine Beschattung durch Umgebungsobjekte vor.

Die Variante mit dem geringstem Gesamtenergiebedarf (62,2 kWh/m²a) steht links und ist der Konstruktion konventionell mit aktiver Nachtauskühlung und Beschattung und ohne Abhangdecke zuzuordnen. An zweiter Stelle steht die *konv.* Konstruktion mit Abhangdecke. *eco* steht an dritter Stelle mit aktiver Nachtauskühlung, Beschattung und Abhangdecke. Bei der Nutzungsart Versammlung wird eine Holzbalkendecke eingesetzt, die eine höhere thermische Wirksamkeit aufweist als eine Gipskartonplatte. Die Abhangdecke hat einen negativen Einfluss auf die Wirkung der Nachtauskühlung. Zonen ohne aktive Beschattung haben einen höheren Kühlenergiebedarf. Eine natürliche aktive Beschattung ist in beiden Konstruktionsarten energetisch sinnvoll; bevorzugt sollte sie mit aktiver Nachtauskühlung eingesetzt werden.

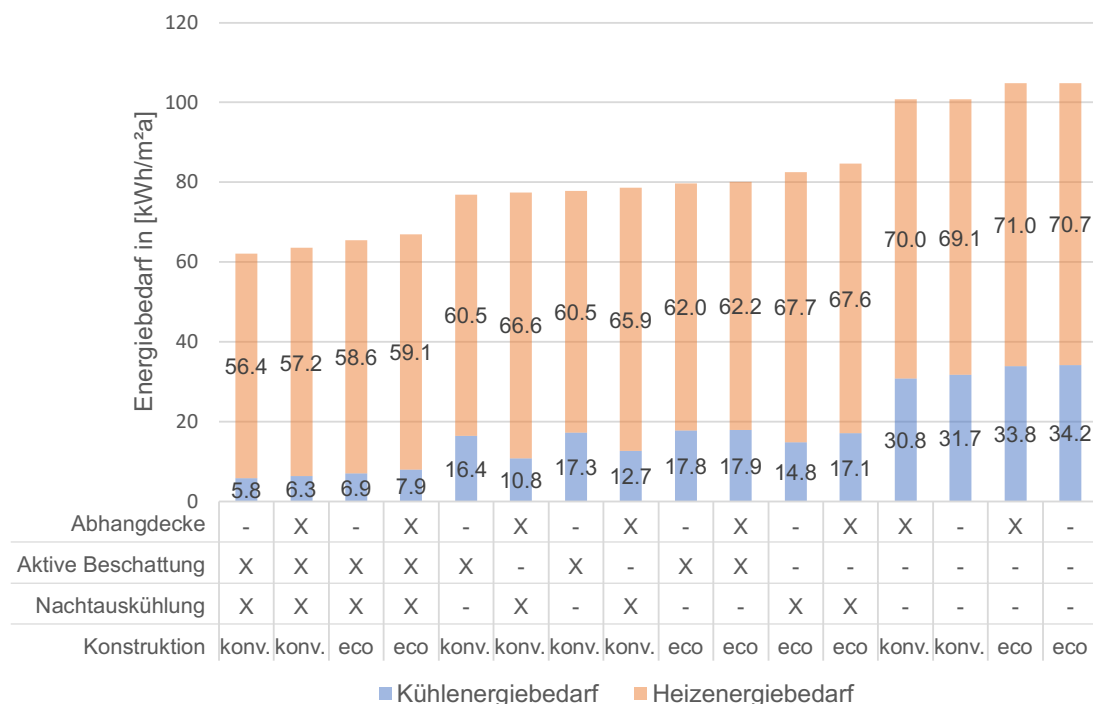


Abbildung 149: Jährlicher spezifischer Heiz- und Kühlenergiebedarf hierarchisch sortiert nach dem Gesamtenergiebedarf

Die energetisch sinnvollste Parameterkombination für die eco Konstruktion ist eine aktive Beschattung, Nachtauskühlung und keine Abhangdecke. Die folgenden Untersuchungen finden in dieser Kombination statt.

Abschätzung zur Relevanz der Kühlung

Die Anforderung nach der DIN 4108-2 kann in der eco Bauart hinsichtlich der Orientierung für keine der vier Himmelsrichtungen eingehalten werden. Tabelle 37 zeigt, dass besonders die 740 Kh/a in südliche Richtung herausstechen. Im Mittel werden die 500 Kh/a um 42 % überschritten. Es wird keine weitere Komfortbewertung nach der DIN EN 16798-1 durchgeführt.

Tabelle 37: Übertemperaturgradstunden nach der Himmelsrichtung – Versammlungsraum

Orientierung	Süd	West	Nord	Ost	Mittelwert
Übertemperaturgradstunden in [Kh/a] >26°	740	719	670	711	710
Verhältnis Anforderungswert der DIN 4108-2 (500 Kh/a)	1.48	1.44	1.34	1.42	1.42

Ermittlung durchschnittlicher Nutz- und Endenergiebedarf

Die Ergebnisse aus den Simulationen mit statischen energetischen und variablen Standortparametern ergeben den Heiz- und Kühlenergiebedarf. Tabelle 38 zeigt diese sortiert nach der Konstruktionsart und abhängig nach der räumlichen Angrenzung im Gebäude. Bei der Raumtypologie Versammlung werden nur Räume mit Angrenzung ans Erdreich und mit adiabaten Deckenkonstruktionen simuliert. Es wird davon ausgegangen, dass Räume mit der Nutzung Versammlung sich im Erdgeschoss befinden. Es ist erkennbar, dass die konventionelle Bauweise einen geringeren Nutzenergiebedarf hat; hauptsächlich aufgrund der höheren thermischen Massen.

Tabelle 38: Nutz- und Endenergiebedarf – Versammlung

Konstruktion	Heizung / Kühlung	Lage der Zone im Gebäude	Nutzenergie in [kWh/m²a]	Endenergie in [kWh/m²a]
eco	Heizung	Innenliegend, Erdreich	58,7	10,7
	Kühlung	Innenliegend, Erdreich	7,9	0,9
konv.	Heizung	Innenliegend, Erdreich	56,5	10,3
	Kühlung	Innenliegend, Erdreich	6,3	0,7

Basierend auf dem Nutzenergiebedarf wird der Endenergiebedarf ermittelt; die berücksichtigten Komponenten der Gebäudetechnik sind in Kapitel 4.3.2 aufgeführt.

Lebenszyklusanalyse

Für die Raumtypologie Versammlung sind die Ergebnisse der LCA in Abbildung 150 für GWP (links) und PENRT (rechts) dargestellt. Die Ergebnisse beziehen sich auf einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren. Für die Holzbauvariante eco werden die oben aufgeführten Bauteilkonstruktionen betrachtet; diese sind die Alternativen mit dem jeweils höchsten Nutzwert. Die Variante eco weist ein GWP von 2,84 kg CO₂-Äq./m²a auf und liegt damit 30 % unterhalb einer konventionellen Bauweise mit 4,05 kg CO₂-Äq./m²a. Mit 44,64 MJ/m²a können rund 9 % an Primärenergie nicht erneuerbar im Vergleich zu einer konventionellen Bauweise eingespart werden.

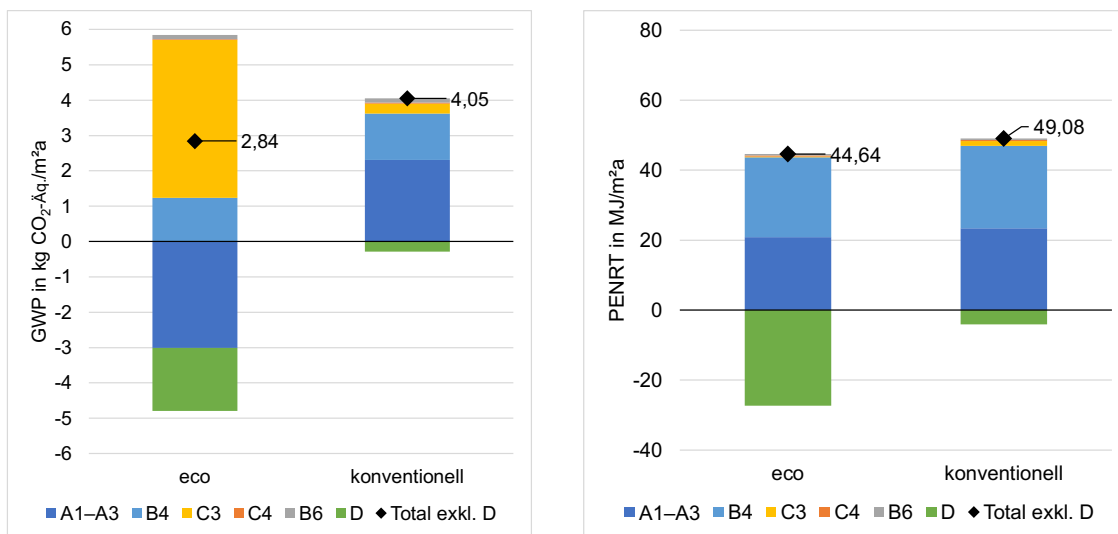


Abbildung 150: Treibhauspotenzial (GWP) und Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für die Raumtypologie Versammlung; Betrachtungszeitraum 100 Jahre

9.4. Handlungsempfehlung

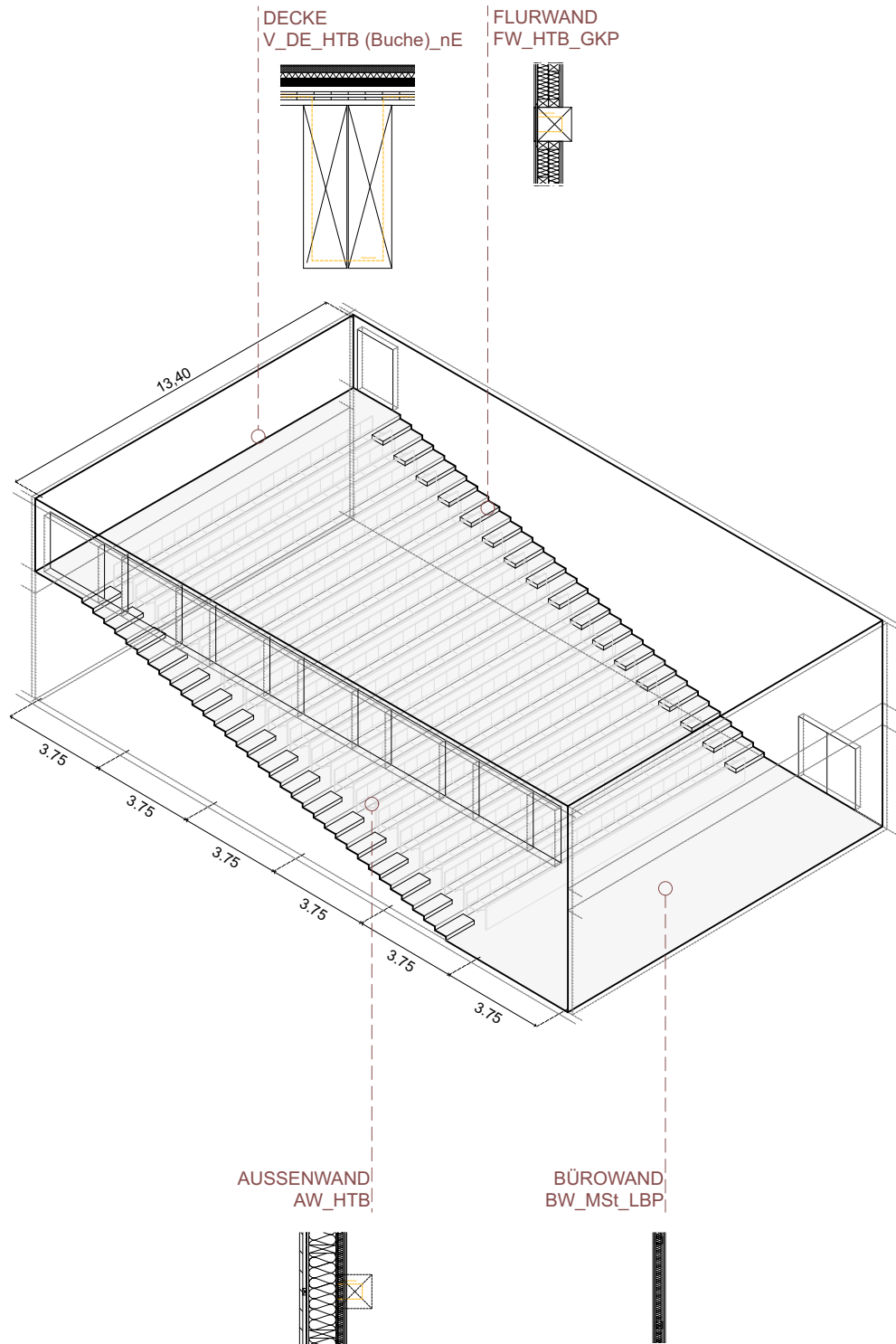


Abbildung 151: Handlungsempfehlung: Ausgewählte Bauteile für Versammlung, Gewichtung eco

Auf Basis der vorangegangenen energetischen und thermischen Untersuchungen auf Raumebene können folgenden Empfehlungen gegeben werden:

- Im Hinblick auf Klimaschutz ist eine Holzbauweise (Variante eco) gegenüber einer mineralischen Bauweise (Variante konventionell) zu bevorzugen, da sie im gesamten Lebenszyklus ein deutlich geringeres Treibhauspotenzial aufweist. Dies gilt auch dann, wenn für das Lebensende der Holzbauteile ein Verbrennungsszenario und damit die Freisetzung von CO₂ angenommen wird.
- Für die Raumtypologie Versammlung besteht ein Überhitzungsrisikos und daher Bedarf für eine aktive Kühlung.
- Durch zusätzliche passive Maßnahmen wie abgehängte Lehmbauplatten oder Deckenventilatoren kann das Überhitzungsrisiko gesenkt werden. Dadurch kann auf eine aktive Kühlung verzichtet werden.
- Die Nachtauskühlung sollte zur Reduzierung des Überhitzungsrisikos bzw. zur Senkung des Kühlenergiebedarfs eingesetzt werden.
- Ein aktiv gesteuerter außenliegender Sonnenschutz sollte eingesetzt werden.

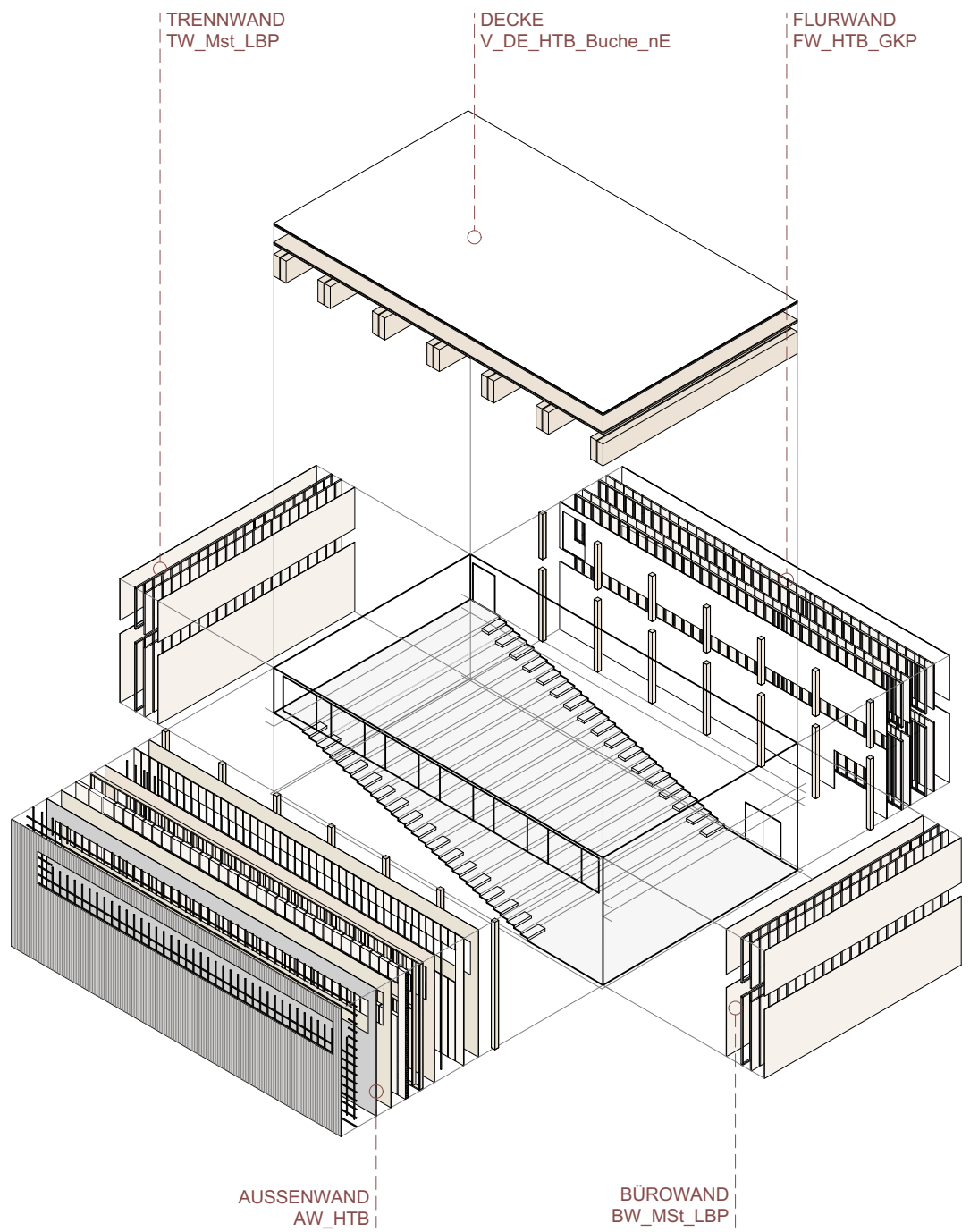


Abbildung 152: Ausgewählte Bauteile für Versammlung, Gewichtung eco

10. Raumtypologie Technikum

10.1. Grundriss und Anforderungen

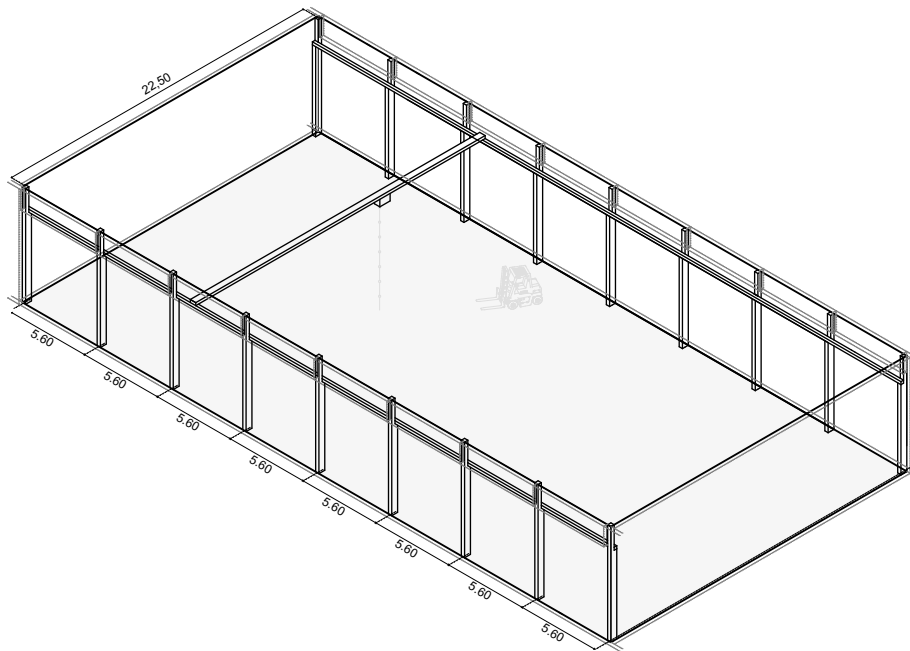


Abbildung 153: Axonometrie Technikum (eigene Darstellung)

Die Raumtypologie *Technikum* umfasst Versuchshallen und Schwerlastlabore mit einer Raumgröße von 1000 m² und ist damit die größte Raumeinheit (Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst 2021; doranth post architekten 2020b). Das Technikum ist einfach und funktional gegliedert. Die genaue Ausgestaltung eines Technikums im Hochschulbau kann je nach Fachbereich und den spezifischen Anforderungen der durchgeführten Experimente variieren. Bei der Nutzung der Versuchshalle steht die jederzeit flexible Nutzung der Flächen durch alle Studiengänge im Vordergrund. Hochsensible Laborhallen, die einen besonderen Schutz vor Erschütterungen, thermischen Belastungen oder elektromagnetischen Feldern benötigen, sind nicht vorgesehen.

Die Stützen der Versuchshalle, bestehend aus BSH-Trägern, dienen als Tragkonstruktion für die 22,50 m langen Träger, die im Raster von 5,60 m die äußere Gebäudehülle bilden. Zusätzlich benötigt das Technikum eine Kranbahn, die sowohl über einen Stahlträger als auch über konsolenartige Auflager von nach innen auskragenden Brettschichtholzstützen gespannt wird. Diese Konstruktion gewährleistet, dass die Holzkonstruktion in der Lage ist, die dynamischen Lasten aus den Kranbewegungen aufzunehmen und die dabei auftretenden Kräfte weitgehend zu absorbieren.

Durch die Anordnung der gegenüberliegenden Fenster kann auf eine mechanische Belüftung verzichtet werden. Eine ausreichende Tageslichtversorgung ist nur über die Fassaden möglich, die entsprechend der Nutzung angeordnet werden können.

Aufgrund der vorgeschriebenen Dachbegrünung sind keine zusätzlichen großflächigen Dachfenster oder Sheds vorgesehen, ggf. können punktuelle Oberlichter angeordnet werden. Die konkrete Personenzahl, die in einem Technikum zulässig ist, wird mit der genauen Nutzung festgelegt.

Bei den zu errichtenden Technikräumen der Technischen Universität Nürnberg handelt es sich überwiegend um mechanische Prüfmaschinen und Versuchsstände sowie Gebäudetechnik. Aufgrund der Nutzung ohne besondere Gefahren, der Eingeschossigkeit und der Gebäudeausdehnung von kleiner 1600 m² ist nach BayBO 2007 Art. 2 (4) kein Sonderbautatbestand vorhanden. Werden im Einzelfall Güter mit erhöhter Brandgefahr oder Regallager mit einer Lagerguthöhe $\geq 7,50$ m angeordnet, so sind diese im Einzelfall zu berücksichtigen. Auch bei einer Einordnung in die Muster-Industriebau-Richtlinie (MIndBauRL) wäre nach MIndBauRL Abs. 6.2 eine eingeschossige Halle in Holzbauweise zulässig.

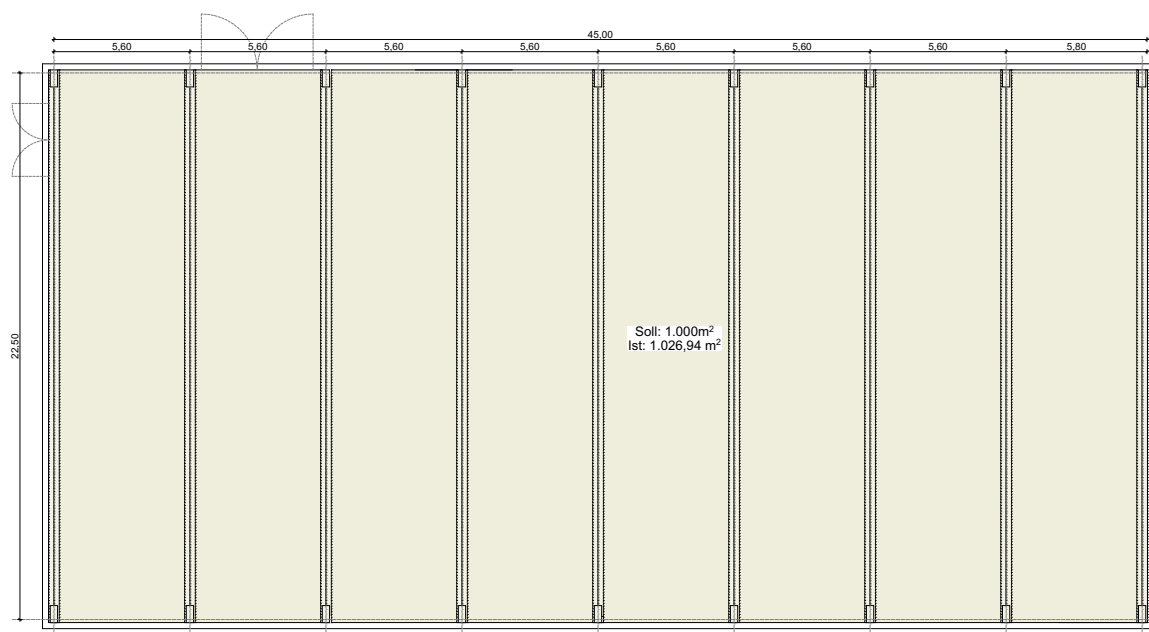


Abbildung 154: Grundriss Technikum

10.2. Bauteilebene

10.2.1. Geschossdecke

Die Geschossdecke wird bei der Raumtypologie *Technikum* auf Grund der Eingeschossigkeit nicht betrachtet (siehe Kapitel Anordnung der Raumtypologien im Gebäude).

10.2.2. Oberer Gebäudeabschluss (Dach)

Das Technikum hat eine Deckenspannweite von 22,50 m. Aufgrund dieser Spannweite werden Satteldach, Fachwerkträger und unterspannte Träger betrachtet (siehe Kapitel Spannweiten und Deckensysteme). Über dem Technikum ist im Rahmen der

vorliegenden Forschungsarbeit kein weiteres Geschoss angedacht. Zusätzlich wird ein reduzierter Aufbau der Dachbegrünung angenommen.

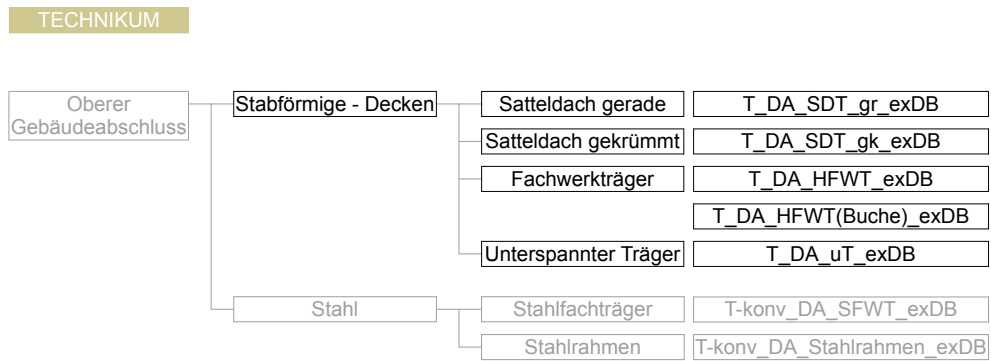
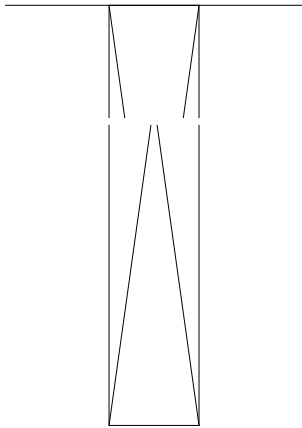
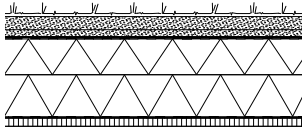


Abbildung 155: Übersicht betrachtete Bauteile Technikum Gebäudeabschluss

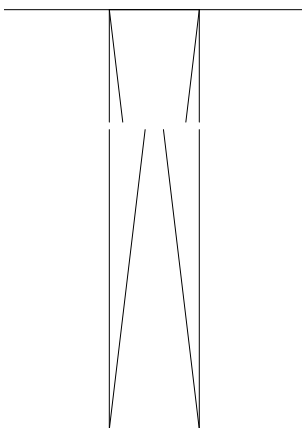
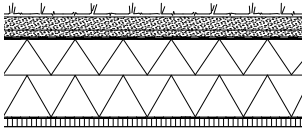
T_DA_SDT_gr_exDB



[mm] Baustoffe

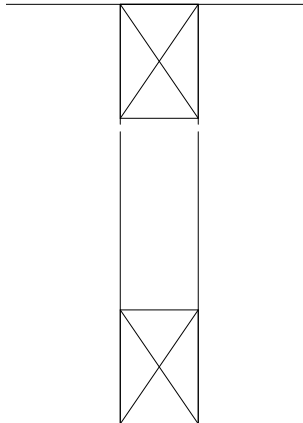
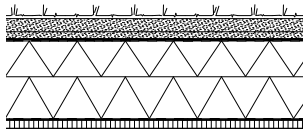
- 80,0 Extensive Dachbegrünung
- 3,0 Dachabdichtungsbahn ($sd \geq 100m$)
- 260,0 Holzfaserdämmung ($\lambda = 0,039 W/mK$), mehrlagig, mit Gefälledämmung
- 0,05 Abdichtungsbahn ($sd \geq 500m$)
- 28,0 OSB
- 220,0 Brettschichtholzträger C24 (120/220) ($e=0,625$)
- 2.150,0 Satteldachträger Brettchichtholz GL24h (300 / 1100...2150)

T_DA_SDT_gk_exDB



- 150,0 Extensive Dachbegrünung
- 3,0 Dachabdichtungsbahn ($sd \geq 100m$)
- 260,0 Holzfaserdämmung ($\lambda = 0,039 W/mK$), mehrlagig, mit Gefälledämmung
- 0,05 Abdichtungsbahn ($sd \geq 500m$)
- 28,0 OSB
- 220,0 Brettschichtholzträger C24 (120/220) ($e=0,625$)
- 2.508,0 Satteldachträger Brettchichtholz GL24h (300 / 1100...2508)
- Querzugverstärkung im Firstbereich
(14 Schrauben $l = ca. 2,4 m$)

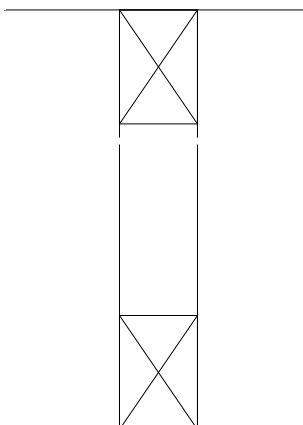
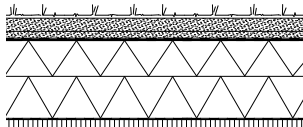
T_DA_HFWT_exDB



[mm] Baustoffe

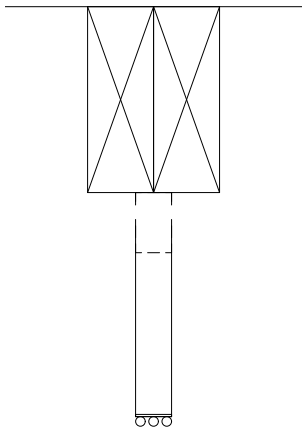
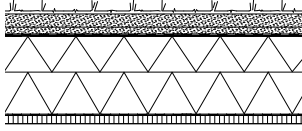
- 80,0 Extensive Dachbegrünung
- 3,0 Dachabdichtungsbahn (sd ≥ 100m)
- 260,0 Holzfaserdämmung ($\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$), mehrlagig, mit Gefälledämmung
- 0,05 Abdichtungsbahn (sd ≥ 500m)
- 28,0 OSB
- 220,0 KVH Träger C24 (120/220) (e=0,625)
- 380,0 Obergurt GL28 h (260/380)
- 2.800,0 Druck/ Zugdiagonalen GL 28h (260/260 12 Stück)
- 380,0 Untergurt GL28 h (260/380) (gesamt Holz 0,0729 m3/m2)

T_DA_HFWT(Buche)_exDB



- 80,0 Extensive Dachbegrünung
- 3,0 Dachabdichtungsbahn (sd ≥ 100m)
- 260,0 Holzfaserdämmung ($\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$), mehrlagig, mit Gefälledämmung
- 0,05 Abdichtungsbahn (sd ≥ 500m)
- 28,0 OSB
- 220,0 KVH Träger C24 (120/220) (e=0,625)
- 260,0 Obergurt GL75 (260/260)
- 2.200,0 Druck/ Zugdiagonalen GL75 (260/260 12 Stück)
- 260,0 Untergurt GL75 (260/260) (gesamt 0,0553 m3/m2)
- Verbindungsmittel (Stabdübel l=260, Durchmesser 10 mm, Passbolzen 10 mm ca. 500 Stück) (0,0075 m3/m2)
- Stahlbleche (Dicke 6..10 mm, 48 Stück ca 50x50 cm) (0,0071 m3/m2)

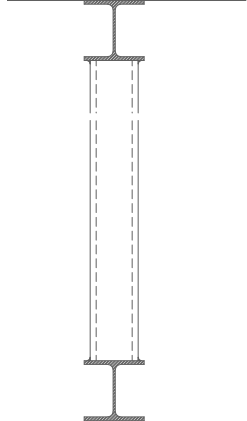
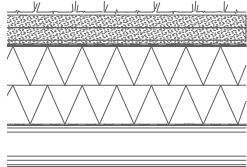
T_DA_uT_exDB



[mm] Baustoffe

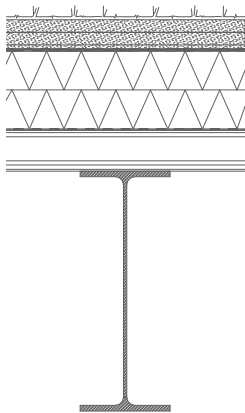
- 80,0 Extensive Dachbegrünung
- 3,0 Dachabdichtungsbahn ($sd \geq 100m$)
- 260,0 Holzfaserdämmung ($\lambda = 0,039$ W/mK), mehrlagig, mit Gefälledämmung
- 0,05 Abdichtungsbahn ($sd \geq 500m$)
- 28,0 OSB
- 220,0 Brettschichholzträger C24 (120/220) ($e=0,625$)
- 620,0 Holzgurt BSH GL28 h (2x620/220) (0,049 m³/m²)
- 2.200,0 Steher GL 28 h (200/120 1x2200) (0,00098 m³/m²)
- 32,0 Rundstahl S355 (3x 32 mm Durchmesser) (0,0005 m³/m²)

T-konv_DA_SFWT_exDB



- 80,0 Extensive Dachbegrünung
- 3,0 Dachabdichtungsbahn ($sd \geq 100m$)
- 260,0 Holzfaserdämmung ($\lambda = 0,039$ W/mK), mehrlagig, mit Gefälledämmung
- 0,05 Abdichtungsbahn ($sd \geq 500m$)
- 135,0 Trapezprofil WU 135/310 St Positivlage (16,1 kg/m²)
- 200,0 Obergurt HEB 200 (10,946 kg/m²)
- 1800,0 Diagonalen und Druckstreben HEB160 (10,234 kg/m²)
- 200,0 Untergurt HEB200 (10,946 kg/m²)

T-konv_DA_Stahlrahmen_exDB



[mm] Baustoffe

- 80,0 Extensive Dachbegrünung
- 3,0 Dachabdichtungsbahn (sd ≥ 100m)
- 260,0 Holzfaserdämmung (λ = 0,039 W/mK), mehrlagig, mit Gefälledämmung
- 0,05 Abdichtungsbahn (sd ≥ 500m)
- 135,0 Trapezprofil WU 135/310 St Positivlage (16,1 kg/m2)
- 800,0 Stahlträger HEA 800 (40,07kg/m2)

Abbildung 156: Bauteilaufbauten Technikum Gebäudeabschluss (Dach)

Bauphysikalische Betrachtung

Da – wie in Kapitel 10.1 beschrieben – kein Sonderbautatbestand vorliegt gelten bei der bauphysikalischen Betrachtung des oberen Gebäudeabschlusses des Technikum-Gebäudes die gleichen Anforderungen wie in der Beschreibung zum Büro (vgl. Kapitel 6.2.2). Die schallschutztechnische Einordnung ist in Tabelle 39 zusammengefasst.

Tabelle 39: Schallschutz Technikum

Raumtypologie Technikum	Ergebnisse Berechnung [dB]	Schallschutz- technische Einordnung	Orientierung an
Gebäudeabschluss	R _w	Ausreichend bis Lärmpegelbereich	
T_DA_SDT_gr_exDB	67	VII	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 33 Z.1)
T_DA_SDT_gk_exDB	67	VII	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 33 Z.1)
T_DA_HFWT_exDB	67	VII	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 33 Z.1)
T_DA_HFWT(Buche)_exDB	67	VII	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 33 Z.1)
T_DA_uT_exDB	67	VII	(Informationsdienst Holz 2019, Tab. 33 Z.1)
T-konv_DA_SFWT_exDB	40	V	(Bauder)
T-konv_DA_Stahlrahmen_exDB	40	V	(Bauder)

Die Ergebnisse der Wärmedurchgangswiderstandsberechnung und des Diffusionsverhaltens sind in Tabelle 40 dargestellt. Hierbei wird ein Zuschlag für Umkehrdächer berücksichtigt. Dieser wäre rein normativ nicht notwendig. Der Zuschlag wird einbezogen, da durchgeführte hygrothermische Simulationen einen sich einpendelnden hohen Wassergehalt in der Dämmebene aufzeigen.

Tabelle 40: Wärmeschutz Technikum Gebäudeabschluss (Dach)

Raumtypologie Technikum	Stationärer Wärmedurchgangs- widerstand ^a	Diffusionsverhalten	Nachweis der des Diffusionsverhaltens durch
Gebäudeabschluss	U [W/m ² K]		
T_DA_SDT_gr_exDB	0,153	geeignet	(DIN 68800-2, Anhang A Bild A.17)
T_DA_SDT_gk_exDB	0,153	geeignet	(DIN 68800-2, Anhang A Bild A.17)
T_DA_HFWT_exDB	0,153	geeignet	(DIN 68800-2, Anhang A Bild A.17)
T_DA_HFWT(Buche)_exDB	0,153	geeignet	(DIN 68800-2, Anhang A Bild A.17)
T_DA_uT_exDB	0,153	geeignet	(DIN 68800-2, Anhang A Bild A.17)
T-konv_DA_exDB	0,155	geeignet	(DIN 4108-3, Bild 8)

^a unter Berücksichtigung der Gefälledämmung und eines Umkehrdachzuschlags

Die Ausnutzungsgrade sind in Abbildung 157 dargestellt. Im Technikum ist bis auf den unterspannten Träger der Grenzzustand der Tragfähigkeit maßgebend. Dies liegt an den weiten Spannweiten des Raumes. Bei dem unterspannten Träger ist ein Ausknicken der Unterspannung durch geeignete Maßnahmen zu verhindern. Geeignete Maßnahmen sind beispielsweise eine ausreichende Überhöhung des Obergurtes oder seitliche Halterung zur Fixierung des Untergurtes.

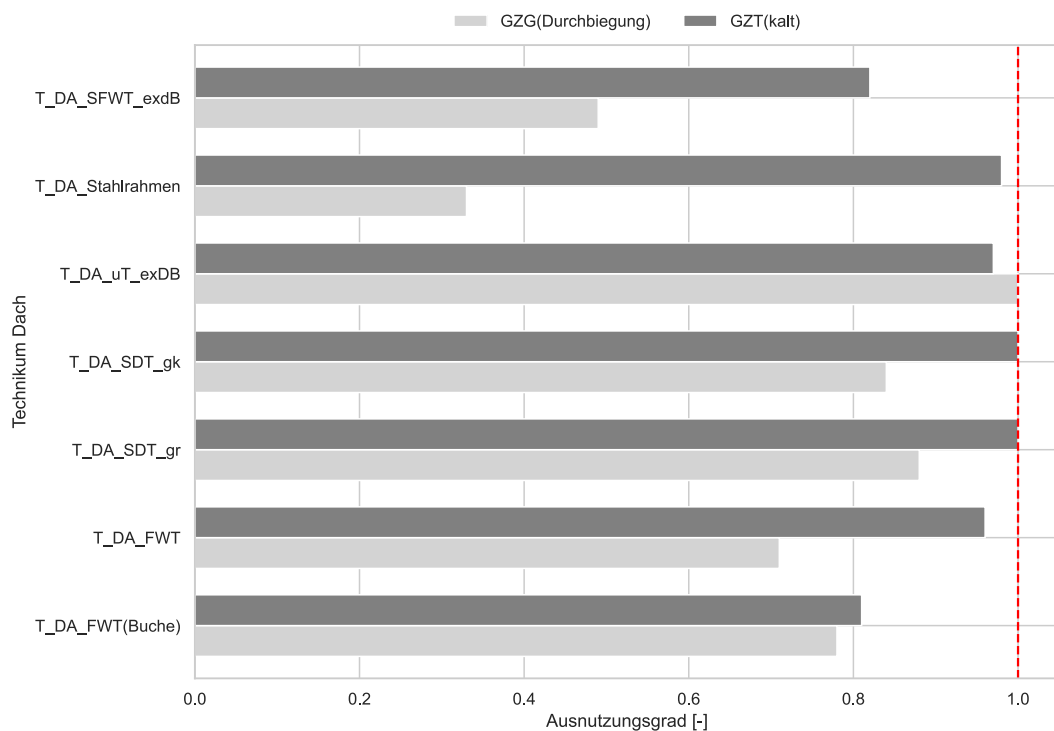


Abbildung 157: Ausnutzungsgrade Technikum Gebäudeabschluss (Dach)

Lebenszyklusanalyse

Die Ergebnisse der LCA für die Umweltindikatoren Treibhauspotenzial (GWP) und Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) sind im Folgenden dargestellt. Die Ergebnisse für alle weiteren Kriterien sind im Anhang A Bauteilmatrix angegeben.

Das Treibhauspotenzial für Technik-Dächer ist in Abbildung 158 für eine Nutzungsdauer von 100 Jahren dargestellt. Zusammenfassend ergeben sich folgende Ergebnisse:

- Niedrigstes GWP für einen Dachaufbau mit unterspannten Trägern und extensiver Dachbegrünung (T_DA_uT_exDB) mit 94,80 CO₂-Äq./m²
- Höchstes GWP für einen Gründachaufbau mit Holzfachwerkträger (T_DA_HFWT_exDB) mit 334,71 CO₂-Äq./m²
- Die Holzfachwerkträger (HFWT) weisen aufgrund zusätzlicher Verbindungsmittel aus Stahl (Stabdübel und Stahlbleche) die höchsten GWP-Werte auf
- Bei konventioneller Bauweise weist eine Stahlrahmenkonstruktion ein um 5 % höheres GWP auf als ein Stahlfachwerkrahmen
- Vergleich beste Alternative EDUwood (T_DA_uT_exDB) mit konventioneller Alternative (Stahlfachwerkrahmen T-konv_DA_SFWT_exDB; GWP 146,59 CO₂-Äq./m²): Einsparpotenzial 35 %

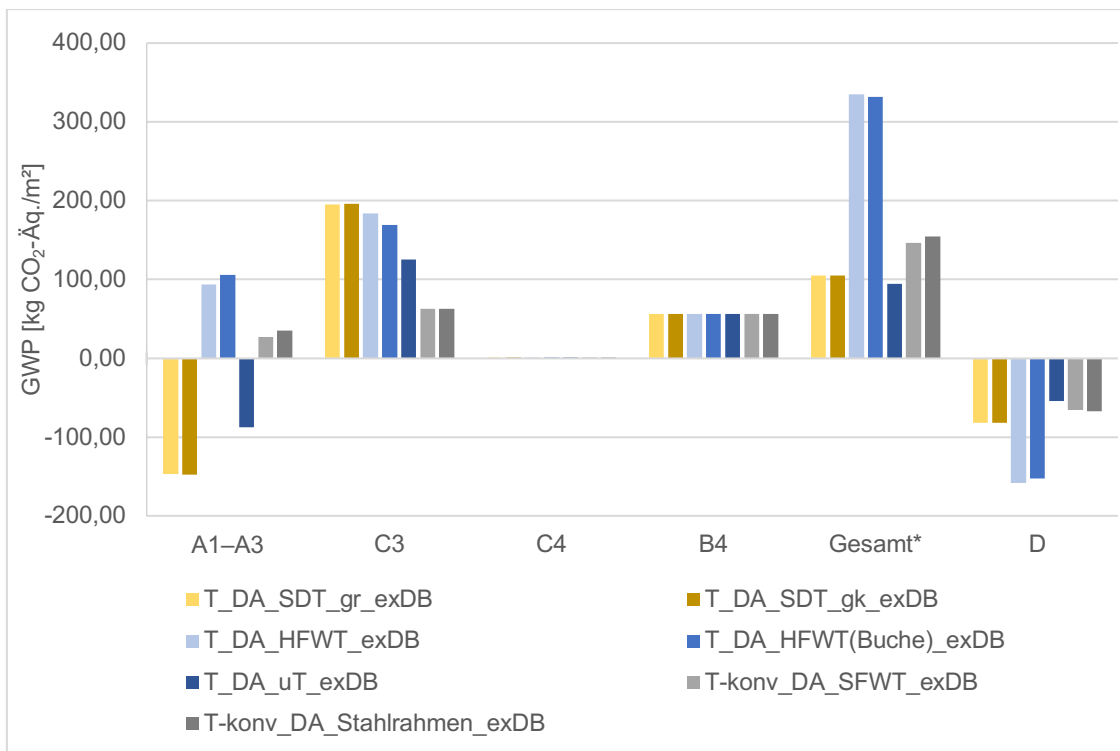


Abbildung 158: Treibhauspotenzial (GWP) für Technik-Dächer, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1-A3, B4, C3, C4

Der Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PENRT) für Technik-Dächer ist in Abbildung 159 dargestellt. Folgende Ergebnisse lassen sich ablesen:

- Niedrigste PENRT für einen Dachaufbau mit unterspannten Trägern und extensiver Dachbegrünung (T_DA_uT_exDB) mit 2.988,30 MJ/m²
- Höchste PENRT für einen Gründachaufbau mit Holzfachwerkträger (T_DA_HFWT_exDB) mit 5.251,20 MJ/m²
- Bei konventioneller Bauweise weist eine Stahlrahmenkonstruktion ein um 3 % höhere PENRT auf als ein Stahlfachwerkrahmen
- Vergleich beste Alternative EDUwood (T_DA_uT_exDB) mit konventioneller Alternative (Stahlfachwerkrahmen T-konv_DA_SFWT_exDB; PENRT 3.346,50 MJ/m²): Einsparpotenzial 11 %

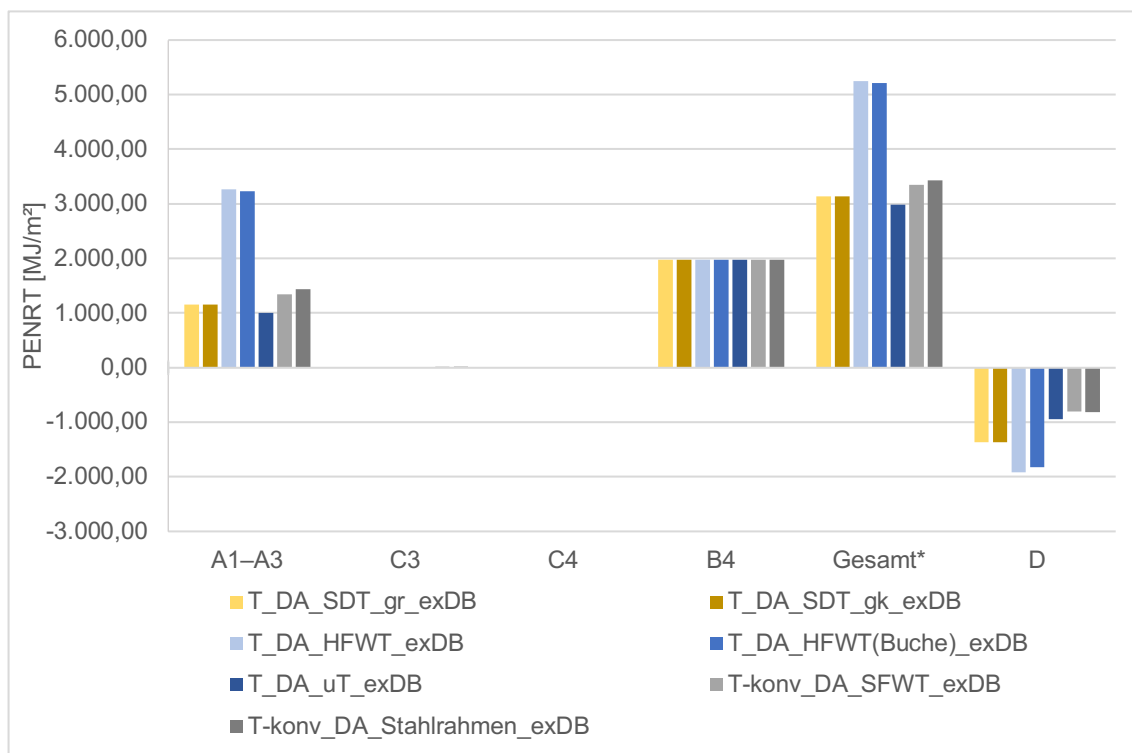


Abbildung 159: Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für Technik-Dächer, Nutzungsdauer 100 Jahre;
* Module A1-A3, B4, C3, C4

Nutzwertanalyse

Nachstehend werden die Ergebnisse der Nutzwertanalyse für die Technikum-Dächer beschrieben. Die Berechnung erfolgt für die Gewichtungen *basis* und *eco*.

Wie aus Abbildung 160 und Abbildung 161 ersichtlich, ändert sich die Rangfolge der Alternativen zwischen der basis- und eco-Gewichtung nicht. Unter Berücksichtigung aller Kriterien ist jeweils die Dachkonstruktion mit unterspanntem Träger die beste Alternative. Die konventionellen Ausführungsvarianten mit Stahlfachwerk und Stahlrahmen weisen im Hinblick auf Ressourceneinsatz und Klimaschutz einen deutlich

geringen Nutzwert auf. Allerdings schneiden sie besser ab als die Alternativen mit Holzfachwerkträgern; diese stehen sowohl bei *basis* als auch bei *eco* an letzter Stelle.

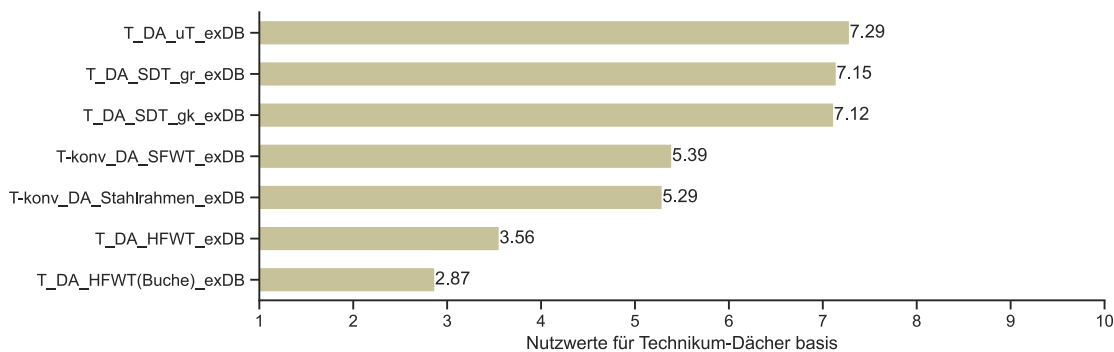


Abbildung 160: Ermittelte Nutzwertwerte für Technikum-Dächer, Gewichtung *basis*

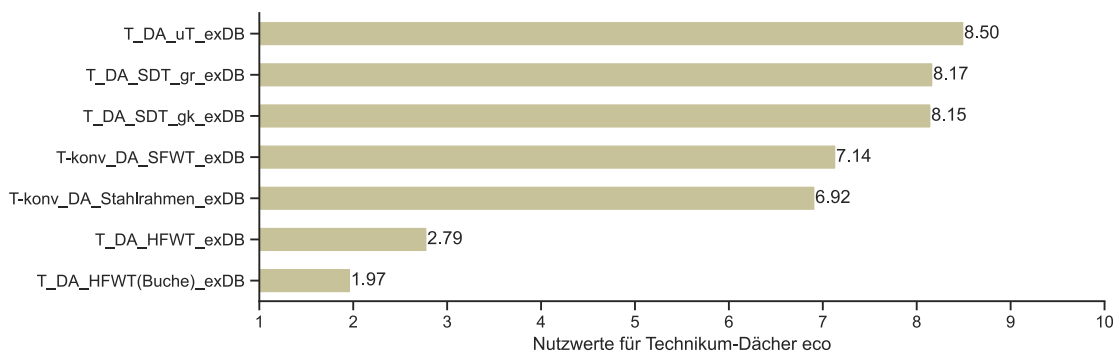


Abbildung 161: Ermittelte Nutzwertwerte für Technikum-Dächer, Gewichtung *eco*

Sensitivitätsanalyse Nutzwerte

Für Dächer der Raumtypologie Technikum sind die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse gemäß Kapitel 3.4.1 für die Kriteriengewichtungen *eco*, *equal*, *smooth* und *spread* in Abbildung 162 dargestellt. Die Rangfolge der Nutzwerte unterscheidet sich zwischen den Varianten nicht; es ergibt sich folgende Rangfolge bei allen Kriteriengewichtungen:

- Die Deckenkonstruktion mit unterspanntem Träger (T_DA_uT_exDB) ist die beste Alternative und liegt bei allen Varianten auf Rang 1.
- Ein gerader Satteldachträger (T_DA_SDT_gr_exDB) ist die zweitbeste Alternative mit Rang 2.
- Dachkonstruktionen bestehend aus Holzfachwerkträgern (T_DA_HFWT_exDB, T_DA_HFWT(Buche)_exDB) liegen auf den unteren Rängen 6 und 7 und sind daher nicht zu empfehlen.

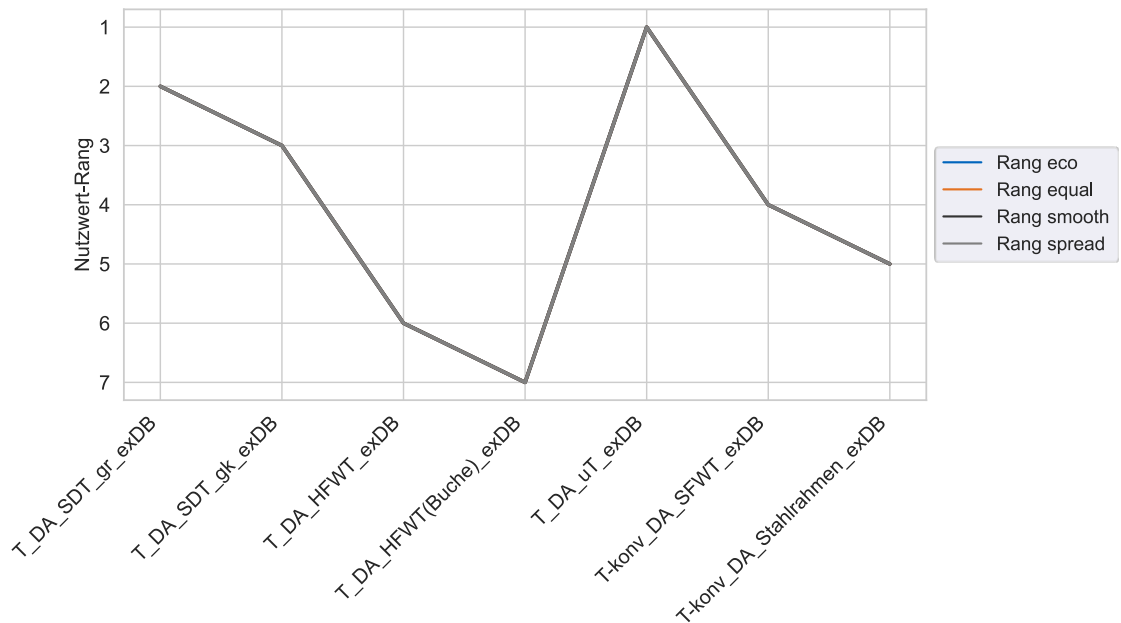


Abbildung 162: Rangfolge der Nutzwerte bei unterschiedlicher Gewichtung der Kriterien für Technikum-Dächer

Kosten-Nutzen-Analyse

Das Ergebnis der Kosten-Nutzen-Analyse ist in Abbildung 163 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Satteldachträger sowie der unterspannte Träger im Vergleich zu den hölzernen Fachwerkträgern bei gleichen Kosten einen deutlich höheren Nutzwert aufzeigen. Die Stahlkonstruktionen sind in diesem Fall die von den Materialkosten am teuersten zu bewertenden Bauweisen. Der Nutzwert liegt trotz der hohen Kosten unter dem der Satteldachträger und des unterspannten Trägers. Somit sind diese Bauweisen aus ökonomischer und ökologischer Sicht zu empfehlen.

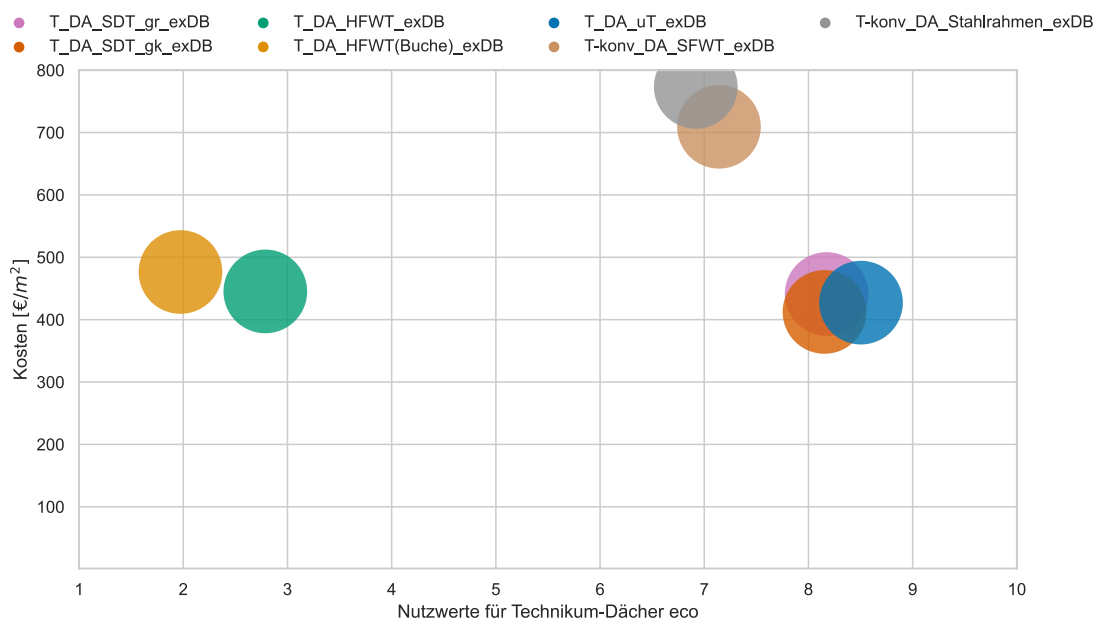


Abbildung 163: Kosten-Nutzen Analyse der Technikum-Dächer

10.3. Raumebene

Folgende Bauteilaufbauten werden für die Raumtypologie Technikum basierend auf den Ergebnissen der Nutzwertanalysen im Hinblick auf Ressourcen- und Klimaschutz empfohlen und bei der Betrachtung auf Raumebene berücksichtigt:

- Außenwand: Holzskelettbau (AW_HTB)
- Fenster: Holz-Aluminiumfenster mit Dreischeiben-Isolierverglasung (AW_FE)
- Dach: Gründach mit unterspannten Trägern (T_DA_uT_exDB)
- Bodenplatte: Stahlbetonbodenplatte mit Estrich auf Trennlage (G_EaT)
- Kranbahn aus Buche (T_KB)

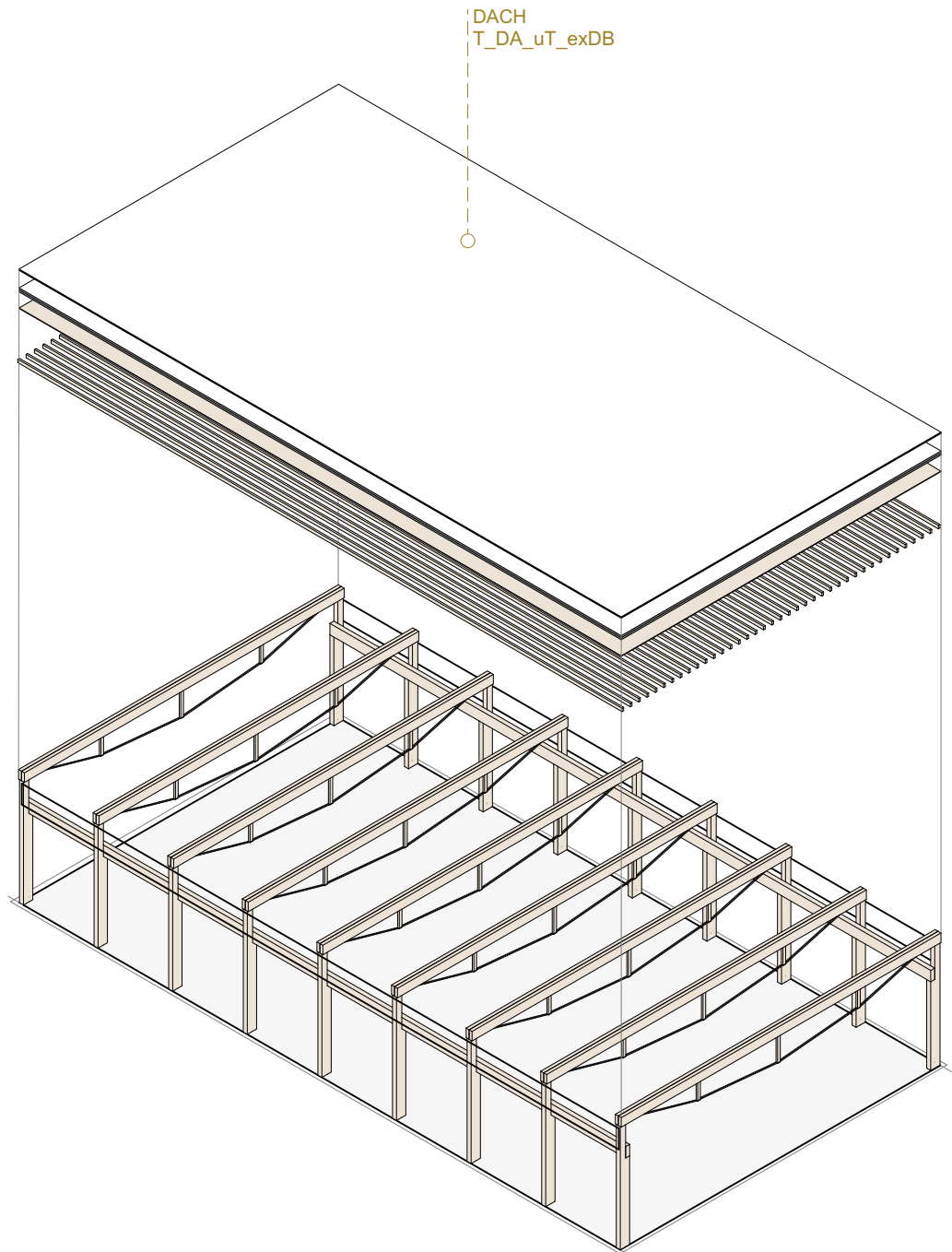


Abbildung 164: Ausgewählte Bauteile für Technikum (Darstellung nur Oberer Gebäudeabschluss), Gewichtung eco

Thermische Simulation

Die thermischen Untersuchungen erfolgen gemäß der in Kapitel 4.3.1 dargestellten Vorgehensweise. Die Einstellungen und der Modellaufbau können im Anhang B: Simulationsrandbedingungen eingesehen werden. Die Auswahl und Auswirkungen der Veränderung der energetischen Parameter werden in Abbildung 165 gezeigt. Mit Hilfe

der Standortparameter werden durchschnittliche Nutzenergiebedarfe ermittelt und die Berechnungen zum thermischen Komfort durchgeführt. Im Anschluss werden Maßnahmen gezeigt, die den thermischen Komfort weiter erhöhen.

Auswahl energetischer Maßnahmen

Der jährliche spezifische Heizenergiebedarf in kWh/m²a wird in Abbildung 165 in rot dargestellt, der Kühlenergiebedarf in blau. Auf der x-Achse werden die Parameter Abhangdecke, Aktive Beschattung, Nachtauskühlung und Konstruktionsart aufgelistet. Ein X bedeutet, dass der Parameter in der Simulation eingeschaltet ist. Alle gezeigten Simulationen sind mit statischen Standortparametern ausgeführt: Die Umschließungsflächen sind diabat, die lange Fassadenseite ist nach Süden ausgerichtet und es liegt keine Beschattung durch Umgebungsobjekte vor. Der Parameter Abhangdecke wird bei den Simulationen nicht berücksichtigt, da die Raumtypologie Technikum keine Abhangdecke hat.

Die Variante mit dem geringstem Gesamtenergiebedarf (54,5 kWh/m²a) steht links und ist der Konstruktion konventionell mit aktiver Nachtauskühlung und Beschattung zuzuordnen. An zweiter Stelle steht die *konv.* Konstruktion mit aktiver Nachtauskühlung und ohne aktive Beschattung. *eco* steht an dritter Stelle mit aktiver Nachtauskühlung, und Beschattung. Die Nachtauskühlung ist effektiver als die Beschattung, da die Fensterflächenanteile im Vergleich zu den anderen Nutzungen mit 21 % gering sind.

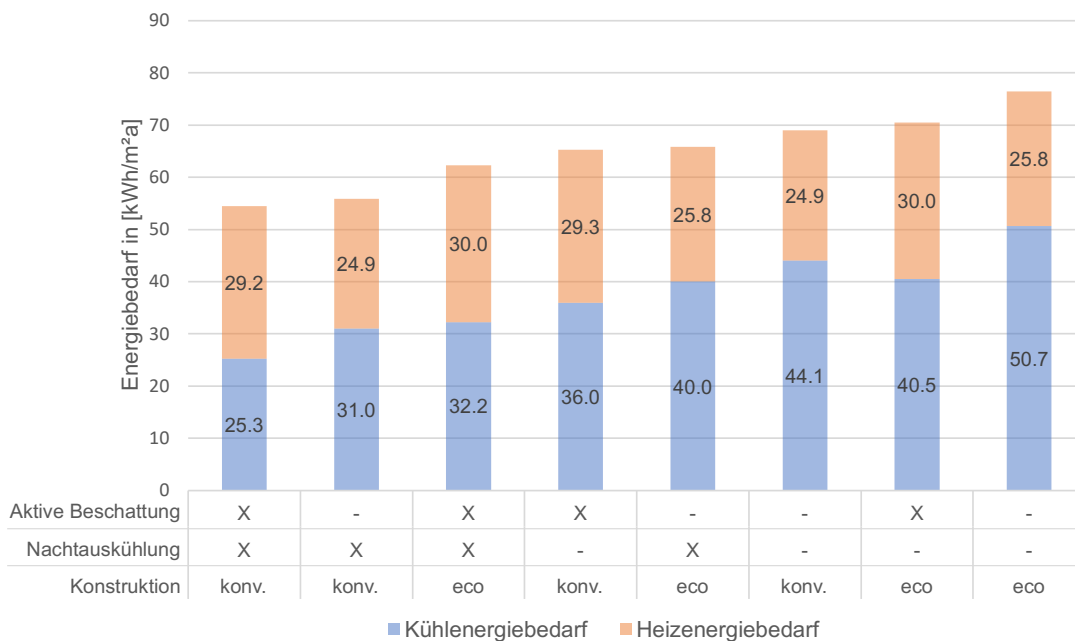


Abbildung 165: Jährlicher spezifischer Heiz- und Kühlenergiebedarf hierarchisch sortiert nach dem Gesamtenergiebedarf - Technikum.

Die energetisch sinnvollste Parameterkombination für die *eco* Konstruktion ist mit einer aktiven Beschattung, sowie Nachtauskühlung. Die folgenden Untersuchungen finden in dieser Kombination statt.

Abschätzung zur Relevanz der Kühlung

Das Technikum ist freistehend und weist eine rechteckige Form mit baugleichen Seiten auf. Es werde nur die südliche und östliche Ausrichtung untersucht, da die Ergebnisse für Nord- und Westorientierungen gleich zu Süd und Ost sind. Die Anforderung nach der DIN 4108-2 kann in der eco Bauart für keine der vier Himmelsrichtungen eingehalten werden. Tabelle 41 zeigt, dass besonders die 796 Kh/a bei südlicher Ausrichtung herausstechen. Im Mittel werden die zulässigen Übertemperaturgradstunden von 500 Kh/a (siehe Kap. 3.5.3) um 64 % überschritten. Es wird keine weitere Komfortbewertung nach der DIN EN 16798-1 durchgeführt.

Tabelle 41: Übertemperaturgradstunden nach Himmelsrichtung – Technikum

Orientierung	Süd	West	Mittelwert
Übertemperaturgradstunden in [Kh/a] >26°	796	842	819
Verhältnis Anforderungswert der DIN 4108-2 (500 Kh/a)	1.59	1.68	1.64

Ermittlung durchschnittlicher Nutz- und Endenergiebedarf

Die Ergebnisse aus den Simulationen mit statischen energetischen und variablen Standortparametern ergeben den Nutzenergiebedarf für die Heizung und Kühlung. Tabelle 42 zeigt diese sortiert nach der Konstruktionsart und abhängig nach der räumlichen Angrenzung im Gebäude. Bei der Raumtypologie Technikum werden nur freistehende Gebäude simuliert. Es ist erkennbar, dass die konventionelle Bauvariante einen geringeren Nutzenergiebedarf hat.

Tabelle 42: Nutz- und Endenergiebedarf – Technikum

Konstruktion	Heizung / Kühlung	Lage der Zone im Gebäude	Nutzenergie in [kWh/m²a]	Endenergie in [kWh/m²a]
eco	Heizung	Freistehend	32,9	6,0
	Kühlung	Freistehend	29,6	3,5
konv.	Heizung	Freistehend	28,7	5,2
	Kühlung	Freistehend	25,9	3,0

Basierend auf dem Nutzenergiebedarf wird der Endenergiebedarf ermittelt; die berücksichtigten Komponenten der Gebäudetechnik sind in Kapitel 4.3.2 aufgeführt.

Lebenszyklusanalyse

Für die Raumtypologie Technikum sind die Ergebnisse der LCA in Abbildung 166 für GWP (links) und PENRT (rechts) dargestellt. Die Ergebnisse beziehen sich auf einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren. Für die Holzbauvariante eco werden die oben

aufgeführten Bauteilkonstruktionen betrachtet; diese sind die Alternativen mit dem jeweils höchsten Nutzwert.

Die Variante *eco* weist ein GWP von 4,80 kg CO₂-Äq./m²a auf und liegt damit 26 % unterhalb einer konventionellen Bauweise mit 6,52 kg CO₂-Äq./m²a. Das Treibhauspotenzial für die Herstellung (A1–A3) beläuft sich für das gesamte Technikum in der Variante *eco* aufgrund der summierten Werte der einzelnen Bauteile auf null.

In Bezug auf PENRT können bei der Variante *eco* mit 84,33 MJ/m²a knapp 12 % an Primärenergie nicht erneuerbar im Vergleich zu einer konventionellen Bauweise eingespart werden.

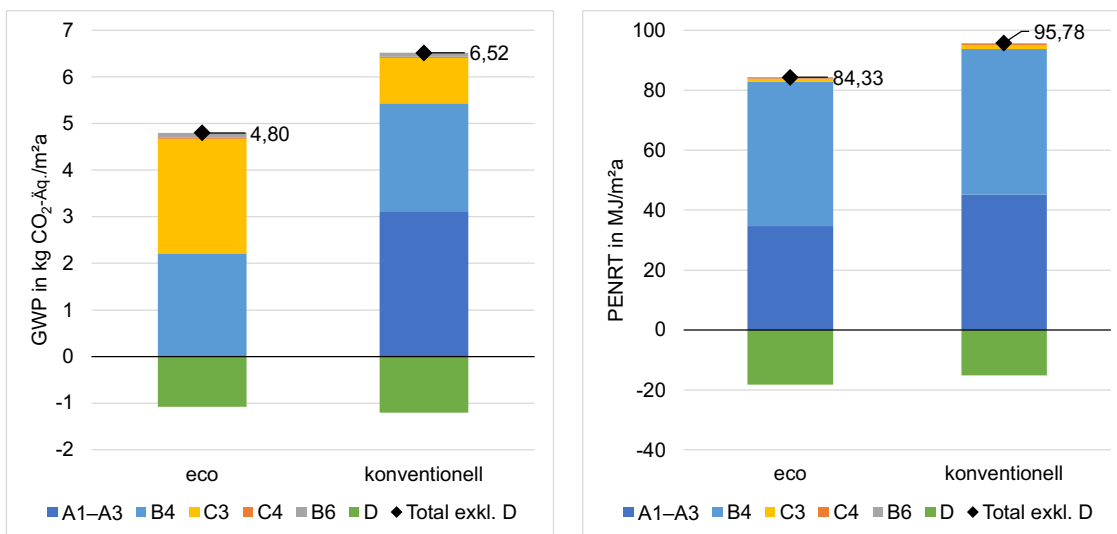


Abbildung 166: Treibhauspotenzial (GWP) und Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für die Raumtypologie Technikum; Betrachtungszeitraum 100 Jahre

10.4. Handlungsempfehlung

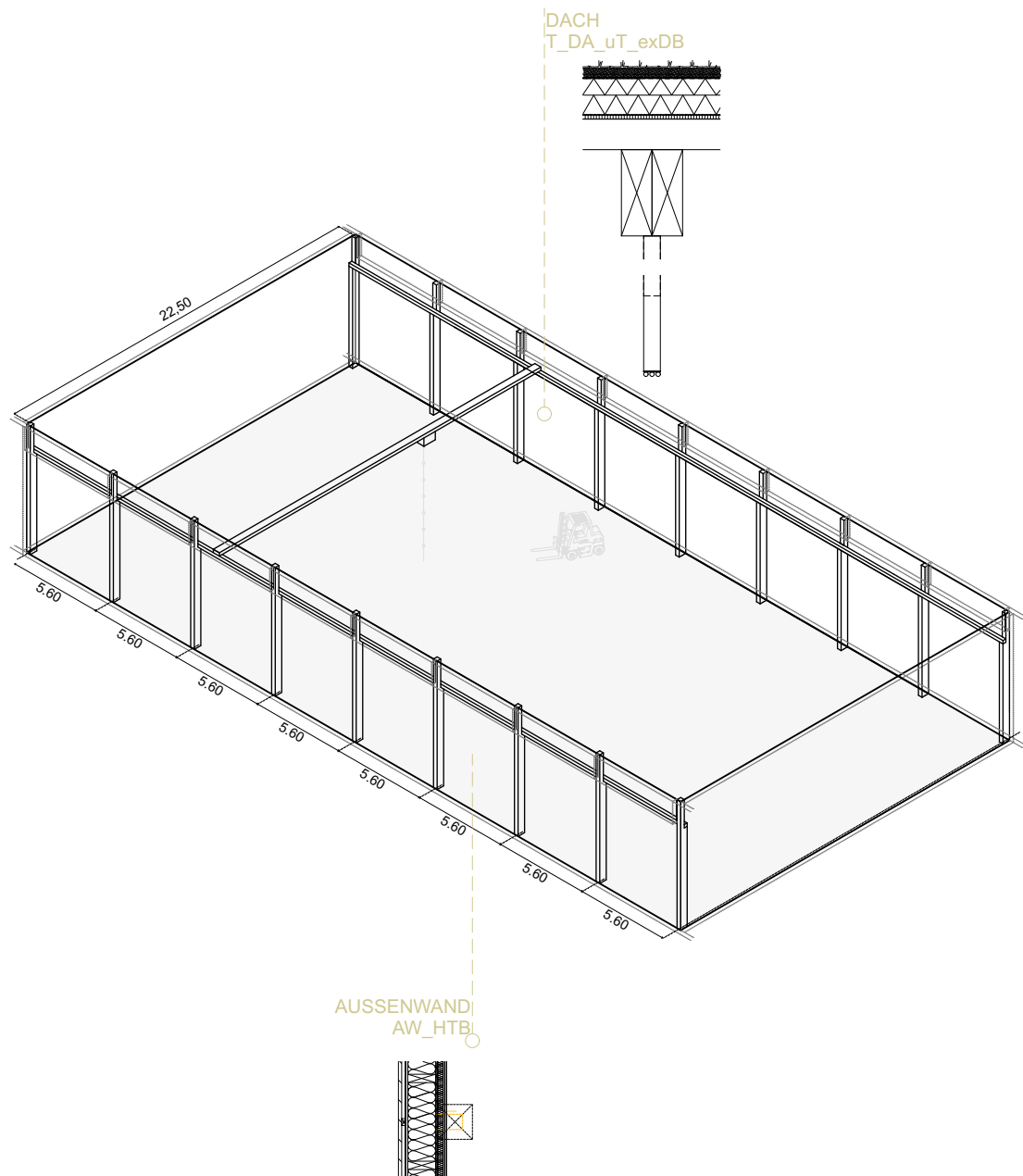


Abbildung 167: Handlungsempfehlung: Ausgewählte Bauteile für Technik, Gewichtung eco

Durch die vorangegangenen energetischen und thermischen Untersuchungen auf Raumbene können folgenden Empfehlungen gemacht werden:

- Im Hinblick auf Klimaschutz ist eine Holzbauweise (Variante eco) gegenüber einer mineralischen Bauweise (Variante konventionell) zu bevorzugen, da sie im gesamten Lebenszyklus ein deutlich geringeres Treibhauspotenzial aufweist. Dies gilt auch dann, wenn für das Lebensende der Holzbauteile ein Verbrennungsszenario und damit die Freisetzung von CO₂ angenommen wird.

- Für das Technikum besteht ein Überhitzungsrisiko und daher Bedarf für eine aktive Kühlung.
- Durch zusätzliche passive Maßnahmen wie abgehängte Lehmbauplatten oder Deckenventilatoren kann das Überhitzungsrisiko gesenkt werden. Dadurch kann auf eine aktive Kühlung verzichtet werden.
- Die Nachtauskühlung sollte zur Reduzierung der Überhitzungsrisikos bzw. zur Senkung des Kühlenergiebedarfs eingesetzt werden und ist auch bei dem untersuchten Holzbauteilen effektiv.
- Ein aktiv gesteuerter außenliegender Sonnenschutz sollte eingesetzt werden.

11. Campusebene

11.1. Treibhauspotenzial und graue Energie

Die Abschätzung des Treibhauspotenzials (GWP) für den gesamten UTN-Campus setzt sich zusammen aus dem GWP der hochskalierten Raumtypologien (Baukonstruktionsvarianten: empfohlene Holzbauweise und konventionelle Stahlbeton-Bauweise, Gebäudetechnik auf Raumebene), den Komponenten der Gebäudetechnik auf Campusebene (siehe Kapitel 4.4) und dem Energiebedarf des Campus gemäß Ingenieurbüro Hausladen GmbH (2021). Dabei werden eine Campusfläche von 415.000 m² sowie ein Betrachtungszeitraum von 100 Jahren angenommen. Die abgeschätzten Werte für das GWP sind wie folgt:

- Baukonstruktion (KG 300) in Holzbauweise: 3,19 kg CO₂-Äq./m²a
- Baukonstruktion (KG 300) in mineralischer Bauweise (Stahlbeton): 4,38 kg CO₂-Äq./m²a
- Gebäudetechnik (KG 400) Campus: 5,17 kg CO₂-Äq./m²a
- Energiebedarf für Campusbetrieb (Energiekonzept IB Hausladen): 0,14 kg CO₂-Äq./m²a
- Campus in Holzbauweise (KG 300+400 und Betrieb): 7,98 kg CO₂-Äq./m²a bzw. total 3.312 t CO₂-Äq./a
- Campus in Stahlbeton-Bauweise (KG 300+400 und Betrieb): 9,10 kg CO₂-Äq./m²a bzw. total 3.775 t CO₂-Äq./a

Wird der UTN-Campus in **Holzbauweise** anstatt in mineralischer (konventioneller) Bauweise realisiert, können in Bezug auf die Baukonstruktion (KG 300) schätzungsweise **bis zu 27 % CO₂-Äquivalente pro m² und Jahr eingespart** werden. Für den gesamten Lebenszyklus inklusive Gebäudetechnik und Betrieb bedeutet dies eine Einsparung an CO₂-Äquivalenten von circa 12 %. Durch die Einspeisung von am Standort erzeugtem Strom mittels Photovoltaik kann zudem fossiler Strom in Höhe von 1,92 kg CO₂-Äq./m²a verdrängt werden; dies entspricht rund 24 % des GWP für Baukonstruktion, Gebäudetechnik und Betrieb. Die GWP-Abschätzung für den Campus bei einem Betrachtungszeitraum von 100 Jahren ist in Abbildung 168 dargestellt.

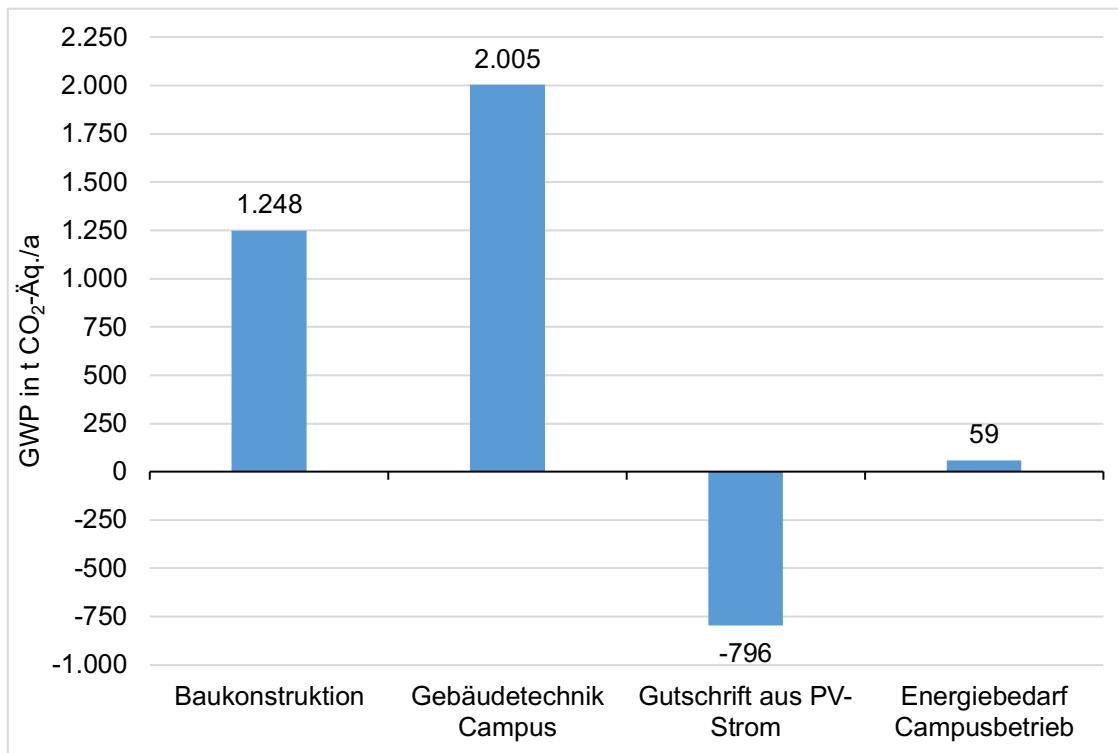


Abbildung 168: Abschätzung für das Treibhauspotenzial (GWP) des UTN-Campus; Betrachtungszeitraum 100 Jahre; Module für Baukonstruktion und Gebäudetechnik: Herstellung (A1–A3), Austausch (B4), End-of-Life (C3, C4)

Die Holzbauweise weist im Vergleich zur Stahlbeton-Bauweise ein geringeres GWP auf. Durch Herstellung, Nutzung und Entsorgung werden dennoch Treibhausgasemissionen (ausgedrückt in CO₂-Äquivalenten) verursacht. Wird die Verdrängung von fossilem durch am Standort erzeugtem erneuerbarem Strom als Kompensationsmaßnahme zugelassen, beläuft sich das **GWP für den Campus auf 2.516 t CO₂-Äq./a**. Nach Schätzungen des Thünen-Institut für Waldökosysteme (2019) beträgt das durchschnittliche Minderungspotenzial von Waldflächen in Deutschland circa 5,44 t CO₂ je ha und Jahr. Allein für die Kompensation der durch die Baumaßnahme verursachten CO₂-Äquivalente werden damit rund **463 ha Waldfläche** jährlich für die nächsten 100 Jahre benötigt. Wird eine Stromgutschrift nicht zugelassen, ergibt sich ein GWP von 3.312 t CO₂-Äq./a und die jährliche Waldfläche erhöht sich auf 609 ha. Für aktiven Klimaschutz, bei dem der Atmosphäre mehr CO₂ entzogen wird, als dass die Baumaßnahme verursacht, sind darüber hinaus weitere Maßnahmen erforderlich.

Das absolute GWP für 100 Jahre wird in nachfolgender Abbildung 169 für die Baukonstruktion der Varianten eco und konventionell sowie für den Campusbetrieb ambitioniert (Energiekonzept IB Hausladen) und konventionell (Wärmeerzeugung: Gas-Brennwertkessel, Stromversorgung: Strom-Mix Deutschland) gegenübergestellt. Es wird deutlich, dass eine erneuerbare Energieversorgung, wie im Energiekonzept für den UTN-Campus von IB Hausladen vorgeschlagen, essenziell für die Reduktion des Treibhauspotenzials ist. Erst dann kommen die Vorteile einer Holzbauweise (Baukonstruktion eco) zum Tragen.

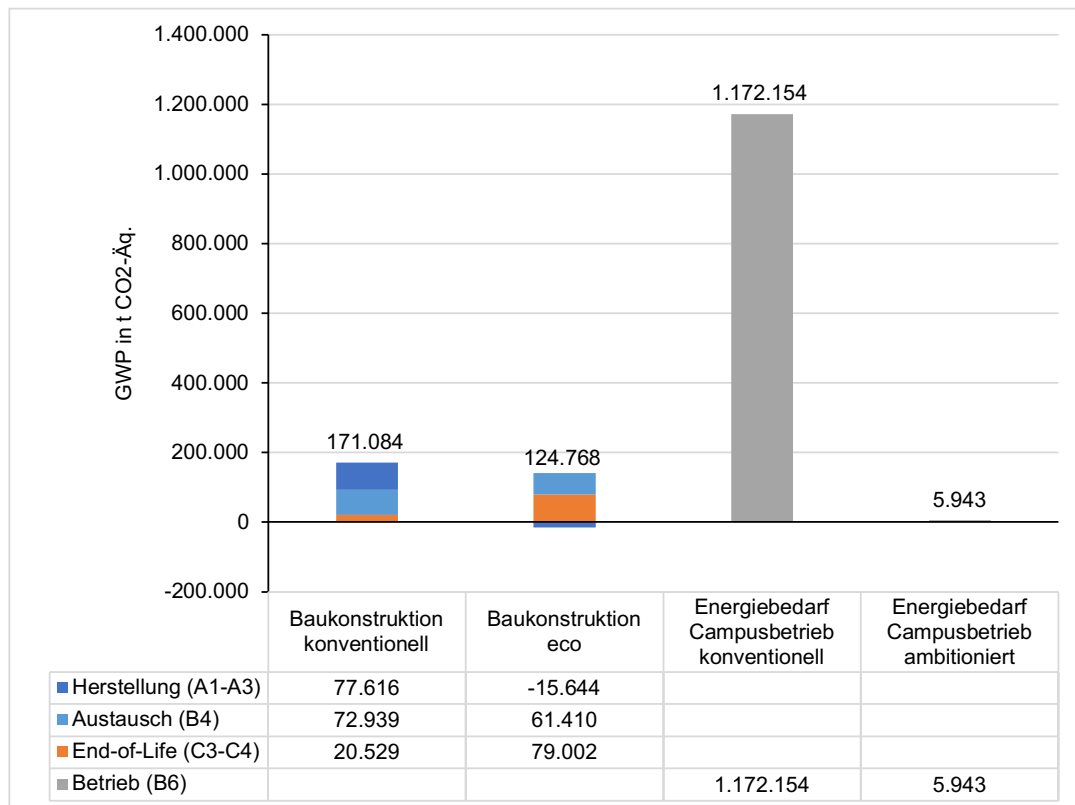


Abbildung 169: Abschätzung für das gesamte Treibhauspotenzial (GWP) des UTN-Campus über einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren; Module für Baukonstruktion: Herstellung (A1–A3), Austausch (B4), End-of-Life (C3, C4); Campusbetrieb ambitioniert: Energiekonzept IB Hausladen, Campusbetrieb konventionell: Gas-Brennwertkessel, Strom-Mix Deutschland

Die graue Energie für den gesamten Campus in Holzbauweise beträgt rund 225.755 GJ/a und liegt damit rund 5 % unter dem Wert einer mineralischen Bauweise, bezogen auf 100 Jahre. Dies umfasst die Energie für Herstellung, Austausch und Entsorgung der Baukonstruktion und Komponenten der Gebäudetechnik. Bezogen auf eine Nutzfläche von 415.000 m² bedeutet das **543,99 MJ/m²a an Primärenergie nicht erneuerbar**. Davon gehen 515,21 MJ/m²a auf die Baukonstruktion zurück, was einem Anteil von 95 % entspricht. Würde der Campus in mineralischer Bauweise gebaut, beläuft sich der Anteil der Baukonstruktion an der grauen Energie ebenfalls auf 95 %, absolut erhöht sich der Wert gegenüber einer Holzbauweise jedoch um 6 % auf 544,45 MJ/m²a. Eine Holzbauweise birgt also auch in Bezug auf die graue Energie ein Einsparpotenzial gegenüber einer konventionellen, mineralischen Bauweise.

11.2. Kohlenstoffspeicher

Während des Baumwachstums kann je Kubikmeter Holz bis zu einer Tonne atmosphärisches CO₂ in Form von biogenem Kohlenstoff gebunden werden. Dieser Kohlenstoff bleibt langfristig eingelagert, wenn als Baumaterial Holz und Holzwerkstoffe verbaut werden. Am Ende des Lebenszyklus wird der Kohlenstoff jedoch in Verrottungs- oder Verbrennungsprozessen wieder freigesetzt. Wird Holz aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern verwendet, entsteht gleichzeitig Raum für neues

Baumwachstum und weiterer Kohlenstoff kann eingelagert werden. (Holzforschung München 2010) Für die Abschätzung des im Campus möglichen, verbauten Holzvolumens wird das bauteilspezifische Holzvolumen der eco-Baukonstruktionen je Raumtypologie summiert und analog zum GWP auf den Campus hochskaliert.

Für den gesamten Campus ergibt sich ein verbautes **Holzvolumen von 88.483 m³**. Das entspricht einer **Speichermenge von biogenem Kohlenstoff in Höhe von insgesamt 72.173 t CO₂ bzw. 0,17 t CO₂/m²**. Dieser Wert ist vergleichbar mit dem Prinz-Eugen-Park in München, welcher als Mustersiedlung für Wohnen in Holz gilt; dort lassen sich 0,19 t CO₂/m² bezogen auf eine oberirdische Bruttogeschossfläche von knapp 65.000 m² durch Holzkonstruktionen im Tragwerk und im Ausbau über die Lebensdauer der Bauwerke speichern (Djahanschah et al. 2022). Ein in Holzbauweise realisierter Campus speichert somit Kohlenstoff und wirkt als Kohlenstoffspeicher, solange das verbaute Holz nicht verrottet oder verbrannt wird.

Im Vergleich zu den Treibhausgasemissionen der Campus-Baumaßnahme für Herstellung, Nutzung und Entsorgung in Höhe von 7,98 kg CO₂-Äq./m²a (Holzbauweise) macht das Klimaschutzpotenzial des verbauten Holzvolumens (0,0017 kg CO₂/m²a bezogen auf 100 Jahre) knapp 22 % aus.

12. Zusammenfassung und Ausblick

12.1. Zusammenfassung

Im Forschungsprojekt EDUwood wurden für die Technische Universität Nürnberg fünf für den Hochschulbau relevante Raumtypologien identifiziert: Büro, Seminar, Labor, Versammlung und Technikum. Dabei wurden die Bauteile Geschossdecke, oberer Gebäudeabschluss und Wand für jeweils jede Raumtypologie untersucht. Es wurden Konstruktionsmethoden in Holzbauweise aufgezeigt und mit einer mineralischen (konventionellen) Bauweise aus Stahlbeton verglichen. Die Konstruktionsdimensionen wurden durch eine statische Vorbemessung ermittelt. Hierbei wurden im Grenzzustand der Tragfähigkeit Spannungsnachweise sowohl im Kalt- als auch im Brandfall berücksichtigt. Ebenso wurden Durchbiegungs- und Schwingungsnachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit berücksichtigt. Die Bauteilaufbauten wurden so gewählt, dass die baurechtlichen Anforderungen an den Brandschutz, den Wärmeschutz und den Mindestschallschutz eingehalten werden.

Die Bauteilaufbauten im Holzbau wurden im Hinblick auf ihr Klimaschutzpotenzial untersucht. Für den Vergleich untereinander wurden weitere Kriterien in den Kategorien Ressourceneinsatz (Holzvolumen, Primärenergie nicht erneuerbar, Anteil Primärenergie erneuerbar, Urban Mining Indicator), Bauphysik (Schalldämm-Maß, Trittschalldämm-Maß, Anforderung Brandschutz, Wärmeschutz) und baukonstruktive Aspekte (Schwingungskriterien, Maximaler Ausnutzungsgrad, Maximaler Ausnutzungsgrad - Durchbiegung, Flächengewicht, Bauteilhöhe) berücksichtigt.

Mittels Nutzwertanalysen konnten für jede Raumtypologie diejenigen Baukonstruktionen identifiziert werden, die in Bezug auf die genannten Kriterien und im Vergleich zu allen betrachteten Konstruktionsvarianten am besten abschneiden. Unter Berücksichtigung der gewählten Kriteriengewichtung weisen die Varianten in Holzbauweise höhere Nutzwerte auf als die konventionellen Stahlbetonkonstruktionen. Bei den Büro-Decken fällt auf, dass die Konstruktionsweisen mit Trockenestrich in der Rangfolge vor denen mit Nassestrich liegen. Aufgrund ungünstiger Eigenschaften in den baukonstruktiven Kriterien, besonders im Schwingungsverhalten und im Schallschutz, werden diese jedoch nicht für den Anwendungsfall empfohlen und bei den anderen Raumtypologien nicht berücksichtigt.

Eine genaue wirtschaftliche Betrachtung und Lebenszykluskostenrechnung (LCC) ist erst möglich, wenn eine vollständige und vertiefte Planung vorliegt. Die Kosten im Holzbau können durch die tiefgreifende Planung und Vorfertigung optimal analysiert werden. Eine frühzeitige Entscheidung für den Holzbau, die rechtzeitige Einbindung von Holzbauspezialisten und eine integrale Planung zeigen die Vorteile im Holzbau. Vorgefertigte Konstruktionsmethoden im Holzbau führen zu einer deutlichen Verkürzung der Bauzeit und damit zu einer Reduzierung der Finanzierungskosten und einem wirtschaftlichen Mehrwert gegenüber der mineralischen Bauweise. Diese Stärken optimierter Planungsprozesse im Holzbau, wie im Forschungsprojekt leanWood (Kaufmann et al. 2017) dargestellt, zeigen verschiedene Lösungsansätze, diese

Holzbaukompetenzen frühzeitig in das Planungsteam einzubinden. Dadurch kann bereits in der Planungs- und Ausführungsphase eine höhere Kostensicherheit gewährleistet werden. Zudem ermöglichen schlankere Querschnitte im Holzbau eine Optimierung der Flächeneffizienz und erhöhen die Nutzflächen (PIRMIN JUNG Schweiz AG et al. 2022). In der wirtschaftlichen Betrachtung im Forschungsprojekt EDUwood wurden lediglich die reinen Materialkosten berücksichtigt, somit liegt nur ein Teilaspekt der LCC vor. Da eine reine Materialkostenbetrachtung mit Austauschzyklus nur die aktuellen Kosten (Stand 04/23) und nicht die oben genannten positiven Faktoren berücksichtigt, zeigen sich in der Betrachtung je nach Bauteil höhere Kosten im Holzbau.

Die Förderung der Regionalität von Baustoffen im Holzbau ist von besonderer Bedeutung, da sie neben der Nachhaltigkeit auch die regionale Wertschöpfung fördert und die Klimaneutralität stärkt (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) 2021). Die Verwendung von Holz aus der unmittelbaren Umgebung stärkt die lokale Wirtschaft und trägt zur Schonung natürlicher Ressourcen bei. Durch die Wahl regionaler Baustoffe können die Transportwege zur Produktion und zur Baustelle reduziert werden, was wiederum den ökologischen Fußabdruck des Bauvorhabens minimiert. Die Reduzierung der Transportkosten kann sich auch auf die Materialkosten auswirken. Darüber hinaus gibt es in Bayern derzeit verschiedene Fördermaßnahmen, die den Holzbau unterstützen. Im Vordergrund stehen dabei die Regionalität der Baustoffe, die Wertschöpfung und die Förderung der heimischen Wirtschaft.

Je Bauteil wurden die Materialkosten ermittelt. Aufbauend auf den Nutzwerten und den ermittelten Kosten wurde eine Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt, welche in Form eines Punktediagramms als Planungshilfe herangezogen werden kann. Die Kosten-Nutzen-Analysen ergaben, dass teilweise auch ohne eine Steigerung der Materialkosten ein deutlich höherer Nutzwert erreicht werden kann. Bei einer detaillierteren und weitergehenden Betrachtung sollten die Zahlen einer ganzheitlichen Lebenszyklusberechnung herangezogen werden.

Auf Raumebene wurde durch den Einsatz von thermischen Simulationen der Einfluss der Baustoffwahl auf den thermischen Komfort sowie Heiz- und Kühlenergiebedarf gezeigt. Obwohl die *eco*- gegenüber den konventionellen Konstruktionen eine geringere thermische Wirksamkeit aufweisen, ist eine Nachtabkühlung auch bei *eco* ein wirksames Mittel, um sommerliche Überhitzung zu verringern oder den Kühlenergiebedarf zu reduzieren. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass der spezifische Kühlenergiebedarf bei Räumen mit Betonbauteilen geringer ist als bei den Holzbauteilen. Die Analyse der Räume im Lebenszyklus über 100 Jahre hat jedoch gezeigt, dass die Grauen Emissionen und Energien der gezeigten Holzbauteile deutlich geringer sind als die konventionelle Konstruktion.

Ein UTN-Campus in Holzbauweise birgt das Potenzial, bis zu 27 % weniger an Treibhausgasemissionen für Herstellung, Austausch und Entsorgung der Baukonstruktion (KG 300) zu verursachen als ein Campus in konventioneller Bauweise. Wird neben der Baukonstruktion auch die Gebäudetechnik und der Energiebedarf für den UTN-Campusbetrieb berücksichtigt, beläuft sich das Einsparpotenzial auf bis zu

12 %. Essenziell ist hierbei ein Energiekonzept, das eine möglichst vollständige Nutzung erneuerbarer Energien vorsieht.

Mit dem im Projekt EDUwood ermittelten, potenziellen Holzvolumen (bauteilspezifisches Holzvolumen der eco-Baukonstruktionen je Raumtypologie) kann der UTN-Campus in Holzbauweise als Kohlenstoffspeicher dienen. Dies gilt, solange das verbaute Holz nicht verrotten kann oder verbrannt wird. Voraussetzung hierfür ist, dass die eingesetzten nachwachsenden Baustoffe (Masse des Holzes) aus nachweislich nachhaltiger Forstwirtschaft stammen.

12.2. Weiterführende Themen und Forschungsbedarf

12.2.1. Weiterführende Brandschutzthemen

Begrünte Fassaden

Bei der Anordnung einer begrünten Fassade sind nichtbrennbare Rankhilfen, eine entsprechende Zugänglichkeit sowie insbesondere eine regelmäßige Pflege und Wartung der Pflanzen notwendig (Engel 2023a). Darüber hinaus kann die Einhaltung von brandlastfreien Bereichen, die Anordnung von Brandriegeln oder die Berücksichtigung von Randabständen das brandschutztechnische Verhalten verbessern. Eine Brandausbreitung über Brandwände ist aus bauordnungsrechtlicher Sicht unzulässig, daher sollten Brandabschnitte nicht überwachsen werden (BayBO 2007). Durch das Einhalten eines Randabstandes zu brennbaren Teilen des Daches soll die Brandausbreitung auf die Dachkonstruktion verhindert werden (Bachmeier 2020). Die Ergebnisse von Engel (2023a) deuten jedoch darauf hin, dass die bisher angenommenen Randabstände bei vitalen, gepflegten Pflanzen aufgrund der beschränkten Brandausbreitung geringer ausfallen können. Am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion der Technischen Universität München laufen aktuell großformatige Untersuchungen der vertikalen Brandausbreitung im Rahmen des Projektes Fire-Safe Green (2023). Auf Basis der Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens können notwendige Abstände und Maßnahmen ermittelt werden, um beispielsweise einen Brandübergreif auf die Dachkonstruktion oder Balkone zu verhindern.

Ergebnisse des Forschungsvorhabens Fire-Safe Green (2023) zeigen, dass das Brandverhalten nicht signifikant von der Pflanzenart bestimmt wird. Unter der Voraussetzung von vitalen, gepflegten Pflanzen kommt es in mittelgroßen Versuchen nach Abschalten des Brenners zu einem Selbstverlöschen. Die Wärmefreisetzung ist dabei geprägt von vereinzelnden kurzen Spitzen, welche durch das Austrocknen der Pflanzen und des dadurch schlagartigen Entzündens entstehen. Die Wärmefreisetzung liegt dabei über den gesamten Brandzeitraum unter der Wärmefreisetzung einer herkömmlichen Sperrholz- bzw. Spanplatte. (Engel 2023a, 2023b)

Die Untersuchungen von Engel (2023b) zeigen, dass das Aufrechterhalten der Vitalität sowie das Rückschneiden der Begrünung eine Notwendigkeit für die Verwendung einer begrünten Fassade sind. Die Brandschutzdienststelle Nürnberg verwies im Gespräch

des Öfteren auf diese Notwendigkeit der Vitalität. Zu berücksichtigen sind die einhergehenden erheblichen Kosten während der Betriebsphase.

Weiterführende Informationen sind dem Projekt Fire-Safe Green 2023 zu entnehmen.

Fassaden mit Solarpanelen

Das Forschungsvorhaben PV-HoWoSan des Fraunhofer Institutes für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik untersuchte die Anwendung von Photovoltaik (PV)-Anlagen als Sanierung von Hochhausfassaden. Dabei wurden Brandprüfungen für den Fall eines Raumbrandes durchgeführt. Als Ergebnis kann das verwendete Glas-Glas-Modul trotz brennbarer Bestandteile annähernd, wie ein nicht-brennbares Bauteil betrachtet werden. Zudem kann durch die Abschottung der Kabel in beschichteten Blechkästen mit zusätzlichen Brandschutzsteinen ein Brandüberschlag verhindert werden. Auch vertikale Kabelführungen sind möglich. (Krause et al. 2022) Die Brandschutzdienststelle Nürnberg wies darauf hin, dass die mechanische Befestigung einer PV-Anlage an Fassaden so dimensioniert werden muss, dass diese im Brandfall nicht herunterfällt. Somit sei eine Verwendung von Stahlträgern unvermeidbar. Ebenso wurde auch bei PV-Anlagen auf eine entsprechende Erreichbarkeit hingewiesen sowie auf situationsabhängige Randabstände zu Rettungswegen und für die Löscharbeit notwendige Stellflächen.

Das Vorhaben PV-HoWoSan stellt klar, dass aufgrund der vorhandenen Abweichung zu der jeweiligen Landesbauordnung und hohen Anforderungen mit erheblichen Kosten zu rechnen ist, welche ohne zusätzliche Förderung nicht tragbar sind. (Krause et al. 2022)

Im aktuell laufenden Forschungsprojekt GreenTES wird am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Gebäudetechnologie und klimagerechten Bauen (beide Technische Universität München) die Integration einer PV-Anlage bzw. einer Begrünung in vorgefertigte Holzbaukonstruktionen als Fassadenelemente untersucht. Die Forschungsergebnisse werden im Frühjahr 2024 veröffentlicht.

Weiterführende Themenfelder

Bei einem Austauschtreffen mit der Brandschutzdienststelle Nürnberg (Juni 2023) wurden weiterführende Themengebiete des Brandschutzes bezüglich Aufstellflächen, Fassadengestaltungen und der Ausführung von Treppenträumen diskutiert.

Bei der Planung der Freiflächen (Landschaftsarchitektur) sind insbesondere die Aufstellflächen der Feuerwehr zu berücksichtigen, sodass eine entsprechende Erreichbarkeit der Fassade gewährleistet wird. Die Planung sollte inkludieren, dass Einspeisestellen von trockenen Löschwasserleitungen hindernisfrei und schnell erreichbar sind.

Eine Ausgestaltung von notwendigen Treppenträumen aus Holzbauweise mit einer mineralischen Bekleidung, die einen Schutz vor Entzündung der dahinterliegenden, brennbaren Konstruktionsbauteile für mindestens 90 Minuten ($t_{ch}=90$ min nach DIN EN 1995-1-2) sicherstellt, ist nach Meinung der Brandschutzstelle unter den

Voraussetzungen einer entsprechend erreichbaren Fassade, einer Brandfrüherkennung oder dem Vorhandensein einer Werkfeuerwehr umsetzbar. Die Erfüllung des Feuerwiderstandes sowie der geforderten mechanischen Beanspruchbarkeit bleiben unberührt (REI 90-M, bzw. F90-B+M). Eine Errichtung des Treppenraumes und des restlichen Gebäudes in Holzbauweise resultiert in einheitlichen Toleranzen, wodurch der Bauablauf beschleunigt und dementsprechend wirtschaftlicher wird.

12.2.2. Forschungsbedarf

Aus den Erkenntnissen im Forschungsprojekt lässt sich weiterer Forschungsbedarf in folgenden Bereichen identifizieren:

- Akzeptanz von Deckenaufbauten mit geringeren Eigenfrequenzen bei Nutzenden und bei unterschiedlichen Nutzungsarten (z.B. Büro, Versammlung)
- Betrachtung und Entwicklung von kreislaufgerechten Anschlussdetails für die EDUwood-Bauteilaufbauten
- Betrachtung der Schnittstellen der Raumtypologien und Untersuchung auf Nutzungsflexibilität
- Auswirkung einer Holzbauweise im Vergleich zur mineralischen Bauweise auf Bauablauf, Bauzeiten, Transport(-emissionen)
- Erweiterung der Datenbank für Referenzgebäude im Hochschulbau mit unterschiedlichen Konstruktionsarten zum Vergleich der Ökobilanzen
- Gesamtheitliche Betrachtung der Lebenszykluskosten (inkl. Baukosten, Ver- und Entsorgungskosten, Instandhaltungskosten, Rückbau- und Entsorgungskosten bzw. Recyclingkosten)
- Berechnung der Umweltfolgekosten
- Einfluss des Materialtransports auf die Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse
- Eine Erweiterung der thermischen Simulationen um passive Maßnahmen. Zu den passiven Maßnahmen gehören Ventilator-konvektoren, zusätzliche thermische Massen in Verbindung mit Nachtauskühlung, Phasenwechselmaterialien sowie die freie Kühlung über Flächenkühlelemente (zum Beispiel Bauteilaktivierungen).
- Untersuchung über thermische Simulationen zur Robustheit der Maßnahmen im Holzbau bezüglich klimatischer Veränderungen.
- Umfragen bei Nutzenden bezüglich des thermischen Komforts und Messung der operativen Temperatur, Zugluft, Raumlufffeuchte sowie der Strahlungsasymmetrie der Oberflächen in "Versuchsräumen". Versuchsräume sollen mit einzelnen ausgewählten Maßnahmen bestückt, gemessen und verglichen werden.
- Eine detaillierte Ökobilanzierung der technischen Gebäudeausrüstung und der Komponenten der Energieversorgung.
- Vergleich der EDUwood Bauteilaufbauten mit den Bauteilaufbauten des ersten Bauabschnitts (CUBE ONE)
- In Situ Messungen bezüglich des Schwingungsverhaltens, des Schallschutzes und der Hygrothermik inklusive Nutzerbefragungen
- Übertragbarkeit der entwickelten Bauteilaufbauten auf weitere Nutzungen, wie bspw. studentisches Wohnen

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Arbeitspakete des Forschungsprojekts EDUwood (eigene Darstellung).....	10
Abbildung 2: Methodisches Vorgehen Forschungsprojekt EDUwood (eigene Darstellung).....	10
Abbildung 3: Technische Rahmenplanung von Ferdinand Heide Architekt (2022).....	13
Abbildung 4: Rahmenplan – Lageplan Nutzungsverteilung von Ferdinand Heide Architekt (2022).....	13
Abbildung 5: Schematischer Energieablaufplan Campus (eigene Darstellung).....	15
Abbildung 6: Schematische Leitungsführung am Beispiel Büronutzung (eigene Darstellung).....	16
Abbildung 7: Anzahl der untersuchten Gebäude nach Raumtypologien (eigene Darstellung).....	19
Abbildung 8: Regelspannweiten nach Raumtypologie (Büro (B), Seminar(S), Labor(L), Versammlung(V), Technikum(T) (mit Annahme EDUwood Spannweiten - Recherche Seminar gebaute Referenzen (eigene Darstellung)	20
Abbildung 9: Regelspannweiten und Konstruktionsmethode nach Raumtypologie Büro (B), Seminar(S), Labor(L), Versammlung(V), Technikum(T) - Recherche Seminar gebaute Referenzen (eigene Darstellung)	21
Abbildung 10: Raumtypologie (Büro (B), Seminar(S), Labor(L), Versammlung(V), Technikum(T)) und Konstruktionsmethoden nach Tragende Schicht und Bauteilstärke, zusätzlich Annahme EDUwood tragende Schicht - Recherche Seminar gebaute Referenzen (eigene Darstellung).....	21
Abbildung 11: Auswahl der Gebäudeklasse nach BayBO 2007 (eigene Darstellung).....	22
Abbildung 12: Anwendung der Musterholzbau Richtlinie und der relevanten Bemessungsnormen bei tragenden und aussteifenden Bauteilen sowie Außenwandbekleidungen in Bayern (eigene Darstellung).....	25
Abbildung 13: Ablaufdiagramm für den Schwingungsnachweis nach Winter et al. (2010).....	35
Abbildung 14: Ablaufdiagramm des Schwingungsnachweis nach prEN 1995-1-1.....	37
Abbildung 15: Phasen im Lebenszyklus eines Gebäudes (eigene Darstellung nach DIN EN 15978)	39
Abbildung 16: Konzept der Scherschichten in Anlehnung an Brand, Shering layers of change (Schuster und Geier 2023, S.60 in Anlehnung an Brand 1994).....	40
Abbildung 17: Allgemeines Vorgehen der Nutzwertanalyse (eigene Darstellung basierend auf (Kranefeld und Stausberg 2009; Kühnapfel 2021)).....	41
Abbildung 18: Vereinfachte Zuordnung der Quadranten zum Verständnis der Kosten-Nutzen-Analyse (eigene Darstellung)	45

Abbildung 19: Exemplarisches Vorgehen bei einer Kosten-Nutzen-Analyse	46
Abbildung 20: Komfortbänder der Sommer- und Übergangsperiode ohne maschinelle Kühlung sowie der Heizperiode der DIN EN 16798.....	49
Abbildung 21: Festlegung der Raumtypologien aus dem Bedarfsplan (eigene Darstellung).....	51
Abbildung 22: Holzskelettbau mit aussteifenden Betonkern (eigene Darstellung)	52
Abbildung 23: Anordnung der Raumtypologien im Gebäude (eigene Darstellung)	54
Abbildung 24: Vergleich des Treibhauspotenzials (GWP) je m ² Dämmstoff; berücksichtigt werden die Module A1–A3, C3 und C4 nach DIN 15978.....	56
Abbildung 25: Vergleich des Treibhauspotenzials (GWP) für Innenwand- Bepunktungen aus Gipskarton- und Lehmboaplatten; berücksichtigt werden die Module A1–A3, C3 und C4	57
Abbildung 26: Raumabschlusszeiten abhängig von Rohdichte(ρ) und Bauteildicke einer Trennwand mit zweischaliger Lehmboaplattenbekleidung mit einer Eindringtiefe der Verbindungsmittel von 30 mm	58
Abbildung 27: Deckenelemente und Trägersysteme in Bezug zu Spannweite und Raumtypologie (eigene Darstellung)	64
Abbildung 28: Darstellung der statischen Systeme und einwirkende Lasten der Raumtypologien	66
Abbildung 29: Beispielhafte Lastweiterleitung für die Raumtypologie Versammlung.....	67
Abbildung 30: Methodisches Vorgehen thermische Simulation auf Raumebene (eigene Darstellung)	68
Abbildung 31: Axonometrie des UTN Campus (eigene Darstellung).....	73
Abbildung 32: Flächenaufteilung des UTN Campus (eigene Darstellung).....	74
Abbildung 33: Bauteilaufbauten der Außenwände.....	77
Abbildung 34: Treibhauspotenzial (GWP) für Außenwände und Fenster, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4	79
Abbildung 35: Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für Außenwände und Fenster, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4.....	79
Abbildung 36: Bauteilaufbauten der Flurwände	81
Abbildung 37: Treibhauspotenzial (GWP) für Flurwände, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4	83
Abbildung 38: Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für Flurwände, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4.....	84
Abbildung 39: Ermittelte Nutzwertwerte für Flurwände, Gewichtung basis	84
Abbildung 40: Ermittelte Nutzwertwerte für Flurwände, Gewichtung eco	84
Abbildung 41: Rangfolge der Nutzwerte bei unterschiedlicher Gewichtung der Kriterien für Flur-Wände.....	85
Abbildung 42: Kosten-Nutzen-Analyse der Flurwände	86
Abbildung 43: Bauteilaufbauten der Trennwände.....	89
Abbildung 44: Treibhauspotenzial (GWP) für Trennwände, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4	91

Abbildung 45: Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für Trennwände, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4	91
Abbildung 46: Ermittelte Nutzwertwerte für Trennwände, Gewichtung basis.....	92
Abbildung 47: Ermittelte Nutzwertwerte für Trennwände, Gewichtung eco	92
Abbildung 48: Rangfolge der Nutzwerte bei unterschiedlicher Gewichtung der Kriterien für Trennwände.....	93
Abbildung 49: Kosten-Nutzen-Analyse der Trennwände	93
Abbildung 50: Bauteilaufbauten Bürowände	96
Abbildung 51: Treibhauspotenzial (GWP) für Bürowände, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4.....	97
Abbildung 52: Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für Bürowände, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4	98
Abbildung 53: Ermittelte Nutzwertwerte für Bürowände, Gewichtung basis	98
Abbildung 54: Ermittelte Nutzwertwerte für Bürowände, Gewichtung eco	98
Abbildung 55: Rangfolge der Nutzwerte bei unterschiedlicher Gewichtung der Kriterien für Büro-Wände.....	99
Abbildung 56: Kosten-Nutzen-Analyse der Bürowände	100
Abbildung 57: Axonometrie Büro (eigene Darstellung)	101
Abbildung 58: Grundrisse Büroeinheiten (eigene Darstellung nach Möbelierungsvorschlag nach doranth post architekten (2020a) und Baubeschreibung Neubau StMWK (Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst 2019).....	102
Abbildung 59: Übersicht Betrachtete Bauteile der Büro-Decken.....	103
Abbildung 60: Bauteilaufbauten Geschossdecke Büro	108
Abbildung 61: Ausnutzungsgrade Büro Geschossdecke	111
Abbildung 62: Treibhauspotenzial (GWP) für Büro-Decken, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4.....	112
Abbildung 63: Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für Büro-Decken, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4	113
Abbildung 64: Ermittelte Nutzwertwerte für Büro-Decken, Gewichtung basis.....	114
Abbildung 65: Ermittelte Nutzwertwerte für Büro-Decken, Gewichtung eco	114
Abbildung 66: Rangfolge der Nutzwerte bei unterschiedlicher Gewichtung der Kriterien für Büro-Decken.....	115
Abbildung 67: Kosten-Nutzen-Analyse der Büro Decken.....	116
Abbildung 68: Kosten-Nutzen-Analyse der Büro-Decken mit Trocken und Nassestrich.....	116
Abbildung 69: Übersicht Bauteile Büro Gebäudeabschluss.....	118
Abbildung 70: Bauteilaufbauten der Büro-Dächer.....	123
Abbildung 71: Ausnutzungsgrade Büro Gebäudeabschluss	125
Abbildung 72: Treibhauspotenzial (GWP) für Büro-Dächer, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4.....	126
Abbildung 73: Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für Büro-Dächer, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4	127
Abbildung 74: Ermittelte Nutzwertwerte für Büro-Dächer, Gewichtung basis	128
Abbildung 75: Ermittelte Nutzwertwerte für Büro-Dächer, Gewichtung eco.....	128

Abbildung 76: Rangfolge der Nutzwerte bei unterschiedlicher Gewichtung der Kriterien für Büro-Dächer	129
Abbildung 77: Kosten-Nutzen-Analyse der Büro Dächer	130
Abbildung 78: Kosten-Nutzen-Analyse der Dächer mit Flachdach und flach geneigtem Dach	131
Abbildung 79: Übersicht betrachtete Bauteile der Flurdecken	132
Abbildung 80: Bauteilaufbauten der Flur Geschossdecken	135
Abbildung 81: Treibhauspotenzial (GWP) für Flur-Decken, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4	137
Abbildung 82: Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für Flur-Decken, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4	138
Abbildung 83: Ermittelte Nutzwertwerte für Flurdecken, Gewichtung basis	139
Abbildung 84: Ermittelte Nutzwertwerte für Flurdecken, Gewichtung eco	139
Abbildung 85: Rangfolge der Nutzwerte bei unterschiedlicher Gewichtung der Kriterien für Flur-Decken	140
Abbildung 86: Kosten-Nutzen-Analyse der Flur Decken	140
Abbildung 87: Kosten-Nutzen-Analyse der Flur Decken mit Nass- und Trockenestrich	141
Abbildung 88: Ausgewählte Bauteile für Büro, Gewichtung eco	142
Abbildung 89: Jährlicher spezifischer Heiz- und Kühlenergiebedarf hierarchisch sortiert nach dem Gesamtenergiebedarf – Büro	143
Abbildung 90: Operative Temperaturen – Büro (eigene Darstellung)	145
Abbildung 91: Treibhauspotenzial (GWP) und Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für die Raumtypologie Büro; Betrachtungszeitraum 100 Jahre	146
Abbildung 92: Handlungsempfehlung: Ausgewählte Bauteile für Büro, Gewichtung eco	147
Abbildung 93: Axonometrie Seminar (eigene Darstellung)	149
Abbildung 94: Grundriss kleine Seminereinheit	150
Abbildung 95: Grundriss große Seminereinheit	151
Abbildung 96: Übersicht Betrachtete Bauteile der Seminar-Decken	151
Abbildung 97: Bauteilaufbauten der Seminar-Decken	153
Abbildung 98: Ausnutzungsgrad der Seminar Geschossdecken	154
Abbildung 99: Treibhauspotenzial (GWP) für Seminar-Decken, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4	155
Abbildung 100: Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für Seminar-Decken, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4	156
Abbildung 101: Ermittelte Nutzwertwerte für Seminar-Decken, Gewichtung basis ...	156
Abbildung 102: Ermittelte Nutzwertwerte für Seminar-Decken, Gewichtung eco	157
Abbildung 103: Rangfolge der Nutzwerte bei unterschiedlicher Gewichtung der Kriterien für Seminar-Decken	157
Abbildung 104: Kosten-Nutzen-Analyse der Seminar-Decken	158
Abbildung 105: Übersicht Betrachtete Bauteile der Seminar-Dächer	158
Abbildung 106: Bauteilaufbauten der Seminardächer	160
Abbildung 107: Ausnutzungsgrade Seminar Gebäudeabschluss (Dach)	162

Abbildung 108: Treibhauspotenzial (GWP) für Seminar-Dächer, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4.....	163
Abbildung 109: Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für Seminar-Dächer, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4	164
Abbildung 110: Ermittelte Nutzwertwerte für Seminarraum-Dächer, Gewichtung basis.....	164
Abbildung 111: Ermittelte Nutzwertwerte für Seminarraum-Dächer, Gewichtung eco.....	165
Abbildung 112: Rangfolge der Nutzwerte bei unterschiedlicher Gewichtung der Kriterien für Seminar-Dächer.....	165
Abbildung 113: Kosten-Nutzen-Analyse für Seminarraum Dächer	166
Abbildung 114: Ausgewählte Bauteile für Raumtypologie Seminar, Gewichtung eco.....	167
Abbildung 115: Jährlicher spezifischer Heiz- und Kühlenergiebedarf hierarchisch sortiert nach dem Gesamtenergiebedarf - Typ Seminar	168
Abbildung 116: Operative Temperaturen – Typ Seminar (eigene Darstellung)	170
Abbildung 117: Treibhauspotenzial (GWP) und Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für die Raumtypologie Seminar; Betrachtungszeitraum 100 Jahre	171
Abbildung 118: Treibhauspotenzial (GWP) für die Raumtypologie Seminar; Betrachtungszeitraum 50 Jahre (links) und 100 Jahre (rechts)	172
Abbildung 119: Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für die Raumtypologie Seminar; Vergleich des Betrachtungszeitraums: 50 Jahre (links) und 100 Jahre (rechts)	173
Abbildung 120: Handlungsempfehlung: Ausgewählte Bauteile für Seminar, Gewichtung eco.....	174
Abbildung 121: Axonometrie Labor	176
Abbildung 122: Grundrisse Laboreinheit (Möbelierungsvorschlag nach doranth post architekten (2020b))	178
Abbildung 123: Übersicht betrachtete Bauteile Labor Geschossdecke	179
Abbildung 124: Bauteilaufbauten der Labor-Decken.....	181
Abbildung 125: Ausnutzungsgrade Labor Geschossdecke.....	182
Abbildung 126: Treibhauspotenzial (GWP) für Labor-Decken, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4.....	183
Abbildung 127: Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für Labor-Decken, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4	184
Abbildung 128: Ermittelte Nutzwertwerte für Labor-Decken, Gewichtung basis	185
Abbildung 129: Ermittelte Nutzwertwerte für Labor-Decken, Gewichtung eco.....	185
Abbildung 130: Rangfolge der Nutzwerte bei unterschiedlicher Gewichtung der Kriterien für Labor-Decken	186
Abbildung 131: Kosten-Nutzen-Analyse der Labor-Decken.....	186
Abbildung 132: Ausgewählte Bauteile für Labor, Gewichtung eco.....	188
Abbildung 133: Jährlicher spezifischer Heiz- und Kühlenergiebedarf hierarchisch sortiert nach dem Gesamtenergiebedarf.....	189

Abbildung 134: Treibhauspotenzial (GWP) und Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für die Raumtypologie Labor; Betrachtungszeitraum 100 Jahre	191
Abbildung 135: Handlungsempfehlung: Ausgewählte Bauteile für Labor, Gewichtung eco	192
Abbildung 136: Axonometrie Versammlung.....	194
Abbildung 137: Grundriss kleiner Hörsaal, großer Seminarraum, Foyer 250 m ²	195
Abbildung 138: Großer Hörsaal 300 m ²	195
Abbildung 139: Übersicht betrachtete Bauteile der Versammlung-Decken	196
Abbildung 140: Bauteilaufbauten der Versammlung-Decken	198
Abbildung 141: Ausnutzungsgrade Versammlung Geschossdecke	200
Abbildung 142: Treibhauspotenzial (GWP) für Versammlung-Decken, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4	201
Abbildung 143: Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für Versammlung-Decken, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4....	202
Abbildung 144: Ermittelte Nutzwertwerte für Versammlung-Decken, Gewichtung basis.....	202
Abbildung 145: Ermittelte Nutzwertwerte für Versammlung-Decken, Gewichtung eco	203
Abbildung 146: Rangfolge der Nutzwerte bei unterschiedlicher Gewichtung der Kriterien für Versammlung-Decken.....	203
Abbildung 147: Kosten-Nutzen-Analyse für Versammlung-s Decken.....	204
Abbildung 148: Ausgewählte Bauteile für Versammlung, Gewichtung eco	205
Abbildung 149: Jährlicher spezifischer Heiz- und Kühlenergiebedarf hierarchisch sortiert nach dem Gesamtenergiebedarf	206
Abbildung 150: Treibhauspotenzial (GWP) und Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für die Raumtypologie Versammlung; Betrachtungszeitraum 100 Jahre	208
Abbildung 151: Handlungsempfehlung: Ausgewählte Bauteile für Versammlung, Gewichtung eco	209
Abbildung 152: Ausgewählte Bauteile für Versammlung, Gewichtung eco	211
Abbildung 153: Axonometrie Technikum (eigene Darstellung).....	212
Abbildung 154: Grundriss Technikum.....	213
Abbildung 155: Übersicht betrachtete Bauteile Technikum Gebäudeabschluss	214
Abbildung 156: Bauteilaufbauten Technikum Gebäudeabschluss (Dach).....	218
Abbildung 157: Ausnutzungsgrade Technikum Gebäudeabschluss (Dach).....	219
Abbildung 158: Treibhauspotenzial (GWP) für Technikum-Dächer, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4	220
Abbildung 159: Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für Technik-Dächer, Nutzungsdauer 100 Jahre; * Module A1–A3, B4, C3, C4	221
Abbildung 160: Ermittelte Nutzwertwerte für Technikum-Dächer, Gewichtung basis.....	222
Abbildung 161: Ermittelte Nutzwertwerte für Technikum-Dächer, Gewichtung eco ..	222
Abbildung 162: Rangfolge der Nutzwerte bei unterschiedlicher Gewichtung der Kriterien für Technikum-Dächer	223
Abbildung 163: Kosten-Nutzen Analyse der Technikum-Dächer.....	223

Abbildung 164: Ausgewählte Bauteile für Technikum (Darstellung nur Oberer Gebäudeabschluss), Gewichtung eco	225
Abbildung 165: Jährlicher spezifischer Heiz- und Kühlenergiebedarf hierarchisch sortiert nach dem Gesamtenergiebedarf - Technikum.....	226
Abbildung 166: Treibhauspotenzial (GWP) und Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) für die Raumtypologie Technikum; Betrachtungszeitraum 100 Jahre	228
Abbildung 167: Handlungsempfehlung: Ausgewählte Bauteile für Technikum, Gewichtung eco.....	229
Abbildung 168: Abschätzung für das Treibhauspotenzial (GWP) des UTN-Campus; Betrachtungszeitraum 100 Jahre; Module für Baukonstruktion und Gebäudetechnik: Herstellung (A1–A3), Austausch (B4), End-of-Life (C3, C4).....	232
Abbildung 169: Abschätzung für das gesamte Treibhauspotenzial (GWP) des UTN-Campus über einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren; Module für Baukonstruktion: Herstellung (A1–A3), Austausch (B4), End-of-Life (C3, C4); Campusbetrieb ambitioniert: Energiekonzept IB Hausladen, Campusbetrieb konventionell: Gas-Brennwertkessel, Strom-Mix Deutschland.....	233

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Referenzprojekte des Seminars „EDUwood- Forschungsthemen des Holzbaus im Sommersemester 2023“ mit Zuordnung der Poster Referenzprojekte in der Datenauswertung (siehe 3.1.1)	17
Tabelle 2: Anwendungsvoraussetzungen und notwendige Bekleidungen von tragenden Bauteilen der in der MHolzBauRL 2022 geregelten Aufbauten. Änderungen der neuen MHolzBauRL vsl.2023 sind in grau dargestellt.	27
Tabelle 3: Zusammenfassung der Anforderungen für Außenwandbekleidungen nach der MHolzBauRL 2022. Änderungen der neuen MHolzBauRL vsl.2023 sind in grau dargestellt.	28
Tabelle 4: Schallschutzanforderungen nach DIN 4109-1	29
Tabelle 5: Anforderungen an die Wärmedurchgangskoeffizienten von Außenbauteilen mit Raum-Solltemperatur $\geq 19^{\circ}\text{C}$	32
Tabelle 6: Grenzwerte und konstruktive Anforderung für den Schwingungsnachweis nach Winter et al. (2010).....	35
Tabelle 7: Zuordnung der Qualitätsklassen je nach Nutzung und Komfortwahl	36
Tabelle 8: Grob- und Feingewichtung der Entscheidungskriterien	43
Tabelle 9: Schutzzeiten von Lehmbauplatten	58
Tabelle 10: Klassifizierung der Gebäude abhängig von der Nutzung/Raumtypologie	59
Tabelle 11: Anforderungen an Bauteile im betrachteten Forschungsprojekt	60
Tabelle 12: Schallschutzanforderungen nach DIN 4109-1 für die betrachteten Bauteilen differenziert nach Raumtypologie	61
Tabelle 13: Geführte baukonstruktive Nachweise auf Bauteilebene	62
Tabelle 14: Zusammenstellung der aufgebrachten Lasten differenziert nach Raumtypologien	65
Tabelle 15: Schall- und Wärmeschutz der Außenwand.....	78
Tabelle 16: Schallschutz der Flurwände	82
Tabelle 17: Raumabschluss der Flurwände.....	82
Tabelle 18: Schallschutz Trennwände	89
Tabelle 19: Raumabschluss Trennwände.....	90
Tabelle 20 Schallschutz Bürowände	96
Tabelle 21 Raumabschluss Bürowände	97
Tabelle 22: Schallschutz Raumtypologie Büro	109
Tabelle 23: Schallschutz Büro Gebäudeabschluss.....	124
Tabelle 24: Wärmeschutz Büro Gebäudeabschluss.....	124
Tabelle 25: Schallschutz Flur Geschossdecken	136
Tabelle 26 :Übertemperaturgradstunden nach der Himmelsrichtung – Büro.....	144
Tabelle 27: Nutz- und Endenergiebedarf – Büro	144
Tabelle 28 Schallschutz Seminar Decken	153
Tabelle 29 Schallschutz Seminar Dach	161
Tabelle 30 Wärmeschutz Seminar Dach	161
Tabelle 31: Übertemperaturgradstunden nach der Himmelsrichtung – Seminar	169

Tabelle 32: Nutz- und Endenergiebedarf – Seminar	169
Tabelle 33: Schallschutz Labor	182
Tabelle 34: Übertemperaturgradstunden nach der Himmelsrichtung – Labor	189
Tabelle 35: Nutz- und Endenergiebedarf – Labor	190
Tabelle 36 Schallschutz Versammlung	199
Tabelle 37: Übertemperaturgradstunden nach der Himmelsrichtung – Versammlungsraum	207
Tabelle 38: Nutz- und Endenergiebedarf – Versammlung	207
Tabelle 39: Schallschutz Technikum.....	218
Tabelle 40: Wärmeschutz Technikum Gebäudeabschluss (Dach)	219
Tabelle 41: Übertemperaturgradstunden nach Himmelsrichtung – Technikum	227
Tabelle 42: Nutz- und Endenergiebedarf – Technikum.....	227

Literaturverzeichnis

- Bachmeier, Peter (2020): Brandschutz großflächig begrünter Fassaden. Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren und des Deutschen Feuerwehrverbandes. Deutscher Feuerwehr Verband.
- DIN EN ISO 12354-2, November 2017: Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften.
- Bauder: Schallschutz im Flachdach. Flachdach-Systeme mit BauderPIR. Unter Mitarbeit von Paul Bauder GmbH & Co.KG, zuletzt geprüft am 27.11.2023.
- DIN EN ISO 6946, 2017: Bauteile.
- BayBO 2007, 2007: Bayerische Bauordnung (BayBO).
- Bayerische Staatskanzlei (Hg.) (2021): Klimaland Bayern. Regierungserklärung des Ministerpräsidenten Dr. Markus Söder, MdL.
- BayTB, 2002: Bayerische Technische Baubestimmungen (BayTB).
- Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (2019): Neubau Verfügungsgebäude Baubeschreibung. Unter Mitarbeit von Michael Keltsch.
- Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (2021): Raumbuch. Raumbedarfsplan zu den ergänzenden Nutzerangaben für die Vorplanung. Projekt Nr.: TUN_GGB.
- Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr (2022): Bayerisches Holzbauförderprogramm – BayFHolz. Anlage 1: CO2-Tool_Wood. Online verfügbar unter <https://www.stmb.bayern.de/buw/bauthemen/gebaeudeundenergie/foerderprogramme/index.php>.
- BBSR (2021): Energieeffizienzfestlegung für klimaneutrale Neu-/Erweiterungsbauten und Gebäudesanierungen des Bundes. Vorbildfunktion Bundesgebäude für Energieeffizienz. Hg. v. Bundesinstitut für Bau-, Stadt und Raumforschung (BBSR).
- BMWSB (2023): ÖKOBAUDAT. Informationsportal Nachhaltiges Bauen. Version 2021-II-A1. Hg. v. Deutsches Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen.
- Brand, Stewart (1994): How Buildings Learn. what happens after they're built: Viking.
- E DIN 4102-2/A1, April 2023: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen.
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt und Raumforschung (BBSR) (2017): Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB).

Bundesministerium des Innern und für Heimat (BMI) (Hg.) (2023): Handbuch für Organisationsuntersuchungen und Personalbedarfsermittlung. Abschnitt 6.5 Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung. Online verfügbar unter <https://www.orghandbuch.de/OHB/DE/Organisationshandbuch/node.html>, zuletzt aktualisiert am 23-04-17.

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (Hg.) (2021): Charta für Holz 2.0. Klima schützen. Werte schaffen. Ressourcen effizient nutzen. Unter Mitarbeit von Dirk Alfter, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft und Christiane Maack, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. Referat 515 Nachhaltige Waldbewirtschaftung, Holzmarkt. Bonn.

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (2017): IEA Energie in Gebäuden und Kommune (EBC) Annex 62: Ventilative Kühlung. Leitfaden: Ventilatives Kühlen für NZEBs. Unter Mitarbeit von Peter Holzer und Renate Hammer. Online verfügbar unter https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/iea_pdf/schriftenreihe_2017-41a_leitfaden-ventilatives-kuehlen.pdf, zuletzt geprüft am 28.11.2023.

CLAYTEC GmbH & Co. KG (2022): Ökologische Trockenbauwände im System. Nachhaltige und wohngesunde Bauweisen der Zukunft.

dataholz.eu. Online verfügbar unter <https://www.dataholz.eu/>, zuletzt geprüft am 27.11.2023.

Destatis (2023): Bautätigkeit und Wohnen. Bautätigkeit 2022 (Fachserie 5 Reihe 1).

Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (Hg.) (2023): DGNB Kriterienkatalog Gebäude Neubau. SOC1.1 Thermischer Komfort. 2. Aufl. Online verfügbar unter <https://www.dgnb.de/de/zertifizierung/gebäude/neubau/version-2023>, zuletzt geprüft am 20.11.2023.

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV): DGUV Regel 102-603 „Branche Hochschule“.

DIN EN 15251, 2012: DIN EN 15251:2012-12, Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden_ - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik; Deutsche Fassung EN_15251:2007.

DIN EN 15804+A1, April 2012: DIN EN 15804:2012+A1:2013. Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte.

DIN EN 15978, Dezember 2012: DIN EN 15978:2012-12. Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation method; German version EN 15978:2011.

DIN EN 16798, März 2022: DIN EN 16798-1:2022-03, Energetische Bewertung von Gebäuden_ - Lüftung von Gebäuden_ - Teil_1: Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik_ - Modul M1-6; Deutsche Fassung EN_16798-1:2019.

- DIN EN ISO 13786, 2018: DIN EN ISO 13786:2018-04, Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen_ - Dynamisch-thermische Kenngrößen_ - Berechnungsverfahren (ISO_13786:2017); Deutsche Fassung EN_ISO_13786:2017.
- DIN EN ISO 14040, Februar 2021: DIN EN ISO 14040:2021-02. Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze- und Rahmenbedingungen.
- DIN EN ISO 14044, Februar 2021: DIN EN ISO 14044:2021-02. Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen.
- DIN EN ISO 7730, 2023: DIN EN ISO 7730:2023-04, Ergonomie der thermischen Umgebung_ - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit (ISO/DIS_7730:2023); Deutsche und Englische Fassung prEN_ISO_7730:2023.
- Djahanschah, Sabine; Hafner, Annette; Seidel, Arnim (Hg.) (2022): Wohnquartier in Holz. Mustersiedlung in München. München: Detail Business Information GmbH (DBU Bauband, 4).
- doranth post architekten (2020a): Möblierungsvorschläge Büro. TUN, Möblierungsvorschläge. Hg. v. Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst. München.
- doranth post architekten (2020b): Möblierungsvorschläge Labore. TUN, Möblierungsvorschläge. Hg. v. Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst. München.
- Engel, Thomas (2023a): Brandschutz für biogene Fassaden. Technischen Universität München.
- Engel, Thomas (2023b): Brandverhalten von Grünfassaden. In: *Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB) (2)*, S. 14–18.
- DIN 1052, 2008: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken.
- DIN EN 1991-1-1, Dezember 2010: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke.
- DIN EN 1991-1-3, Dezember 2010: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke.
- DIN EN 1991-1-4, Dezember 2010: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke.
- DIN EN 1992-1-1, Januar 2011: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen.
- DIN EN 1992-1-2, Dezember 2010: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen.
- DIN EN 1995-1-1, 2010: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten.
- prEN 1995-1-1, Oktober 2023: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten.
- DIN EN 1995-1-2, 2010: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten.

prEN 1995-1-2, September 2023: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten.

Ferdinand Heide Architekt (2022): Masterplanung Technische Universität Nürnberg. TUN_M_TM_1000_E. Unter Mitarbeit von TOPOS Landschaftsplanung, LGA Institut für Umweltgeologie und Altlasten GmbH, BERNARD Gruppe ZT GmbH und WGF Landschaft Landschaftsarchitekten GmbH Müller-BBM GmbH. Hg. v. Staatliches Bauamt Erlangen- Nürnberg. Freistaat Bayern.

Fire-Safe Green (2023): Fire-Safe Green. Untersuchung der brandschutztechnischen Anwendbarkeit von begrünten Fassaden an mehrgeschossigen Gebäuden. Unter Mitarbeit von Thomas Engel. Hg. v. Technische Universität München. Online verfügbar unter <https://www.cee.ed.tum.de/hbb/forschung/laufende-forschungsprojekte/fire-safe-green/>, zuletzt geprüft am 21.11.2023.

Fischer, Oliver; Winter, Stefan; Lang, Werner (Hg.) (2019): Hybridbau. Holzaußenwände. Erste Auflage. München: Detail Business Information GmbH (Detail Praxis).

Fouad, Nabil A. (Hg.) (2013): Lehrbuch der Hochbaukonstruktionen. 4., vollst. überarb. und aktual. Aufl. 2013. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: Springer Vieweg.

GEG (2020): Gesetz zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude und zur Änderung weiterer Gesetze. GEG, S. 1728–1794.

Geyer, Christoph; Wehle, Barbara; Hernandez, Amabel Mélian (2019): Ein neues Verfahren zur Berechnung der dynamischen Wärmekapazität von Holzbalkendecken. Hg. v. HolzBauSpezial Bauphysik & Gebäudetechnik. Online verfügbar unter https://www.forum-holzbau.com/pdf/12_HBS2019_Geyer.pdf, zuletzt geprüft am 20.11.2023.

DIN 18180, September 2014: Gipsplatten.

DIN EN 520, Dezember 2009: Gipsplatten.

Graf, Jürgen; Birk, Stephan; Blaß, Hans Joachim; Pauliuk, Stefan; Winter, Stefan (2022): Wandelbarer Holzhybrid für differenzierte Ausbaustufen. Teilvorhaben 1 - 4. Hg. v. BMEL und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft).

GreenTES: GreenTES. Fassadenkonstruktion von Photovoltaik und Begrünung im vorgefertigten Holzbausystem. Unter Mitarbeit von Christine Hani. Hg. v. Technische Universität München. Online verfügbar unter <https://www.cee.ed.tum.de/hbb/forschung/laufende-forschungsprojekte/>, zuletzt geprüft am 15.12.2023.

Hamm, Patricia (2017): Vereinfachte Ansätze zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit und zum Schwingungsnachweis nach EC 5. Teil B: Schwingungsnachweise. Hg. v. Praxis Regeln Bau. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung.

Hasse, Korinna; Jongmanns, Georg; Lünsdorf, Christina; Wasitz, Thomas; Würmseer, Grit (2020): TU Nürnberg Funktionsmodell für den Campus. Baulich-infrastrukturelle Anforderungen des "Konzepts zur Gründung der TU Nürnberg (TUN)". Hg. v. Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst. HIS-Institut für Hochschulentwicklung e.V. Bauliche Hochschulentwicklung I Hochschulmanagement. Hannover.

Heinle, Erwin; Heinle Thomas; Roth, Monika (2001): Bauen für Lehre und Forschung. Stuttgart, München: Dt. Verl.-Anst.

Hillebrandt, Annette; Riegler-Floors, Petra; Rosen, Anja; Seggewies, Johanna-Katharina (2021): Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource. Zweite, korrigierte Auflage. München: Detail Business Information GmbH (Edition Detail).

Hivoss (2008): Schwingungsbemessung von Decken. Leitfaden. Unter Mitarbeit von RWTH Aachen, ArcelorMittal, TNO, SCI, cticm, FEUP und Schlaich Bergermann und Partner. Hg. v. Research Fund for Coal & Steel.

Erläuterung DIN 1052, 1997: Holzbauwerke.

Holzforschung München (2010): Bauen mit Holz. Ein Leitfaden. Technischen Universität München. Online verfügbar unter <https://www.clusterforstholzbayern.de/images/stories/downloads/broschuere/broschuere-bauen-mit-holz-klimaschutz.pdf>.

DIN 68800-2, 2022: Holzschutz.

Informationsdienst Holz (Hg.) (2019): Schallschutz im Holzbau- Grundlagen der Vorbemessung. Informationsverein Holz e.V. (Reihe 3: Bauphysik, Teil 3: Schallschutz).

Ingenieurbüro Hausladen GmbH (2021): Abschlussbericht LEK für die University of Technology Nuremberg – Bereich M. Unter Mitarbeit von Christian Götz und Matthias Schmidt, 17.12.2021.

Ingenieurgemeinschaft Dess+Falk GmbH (2022): Energiekonzept Technische Universität. Abschlussbericht und Ausarbeitung der Vorzugsvarianten - Elektro. Unter Mitarbeit von Fenger, 04.02.2022.

Jocher, Thomas (2010): Raumpilot: Grundlagen. Unter Mitarbeit von Walter Stamm-Teske, Markus Gasser und Arno Lederer: Krämer.

Kaufmann, Herrmann; Huß, Wolfgang; Schuster, Sandra; Stieglmeier, Manfred (2017): leanWood. Optimierte Planungsprozesse für Gebäude in vorgefertigter Holzbauweise. Hg. v. Technische Universität München.

Kaufmann, Herrmann; Krötsch, Stefan; Winter, Stefan (Hg.) (2021): Atlas mehrgeschossiger Holzbau. 3.Auflage. München: DETAIL.

Knauf Gips KG (2019): Knauf Holzständerwände. Nichttragend. W12.de Detailblatt.

Knauf Gips KG (2020): Knauf Metallständerwände. Nichttragend. W11.de Detailblatt.

Kranefeld, Anja; Stausberg, Michael (Hg.) (2009): QM-Methoden in der Praxis. Nutzwertanalyse. WEKA MEDIA GmbH & Co. KG.

Krause, Michael; Schneider, Andrea; Funtan, Peter; Niedermeyer, Fabian; Schade, Almuth; Sinnesbichler, Herbert et al. (2022): Entwicklung und Demonstration eines kostenreduzierten, industriell produzierten PV-Einhänge-Fassaden-Systems zur Sanierung mehrgeschossiger Wohnhochhäuser. Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE.

Kühnapfel, Jörg B. (2019): Nutzwertanalysen in Marketing und Vertrieb. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Kühnapfel, Jörg B. (2021): Scoring und Nutzwertanalysen. Ein Leitfaden für die Praxis. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Müller-BBM GmbH (2018): Schallschutz: Forschungsvorhaben dataholz.eu. Schalltechnische Beurteilung von Bauteilaufbauten des Bauteilkatalogs. Unter Mitarbeit von Marina Meisinger und Andreas Meier.

MSchulbauR, April 2009: Muster-Richtlinie über bauaufsichtliche Anforderungen an Schulen.

MHolzBauRL 2022, Oktober 2022: Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise (MHolzBauRL).

MHolzBauRL vsl.2023, 18.09.2023: Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise (MHolzBauRL).

MIndBauRL, Mai 2019: Muster-Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau.

PIRMIN JUNG Schweiz AG; Müller, Daniel; Moser, Dan (2022): Rückbau und Wiederverwendung von Holzbauten. Hg. v. BAFU, Abteilung Wald (Bundesamt für Umwelt). Bern.

Rabold, Andreas; Bacher, Stefan; Hessinger, Joachim (2008): Holzbalkendecken in der Altbausanierung. Hg. v. ift gemeinnützige Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH.

Rosen, Anja (2021): Urban Mining Index. Entwicklung einer Systematik zur quantitativen Bewertung der Kreislaufkonsistenz von Baukonstruktionen in der Neubauplanung. Dissertation. Bergische Universität Wuppertal.

DIN 4109 Beiblatt 1, 1989: Schallschutz im Hochbau.

DIN 4109-1, 2018: Schallschutz im Hochbau.

DIN 4109-2, 2018: Schallschutz im Hochbau.

DIN 4109-32, Juli 2016: Schallschutz im Hochbau.

DIN 4109-34, Juli 2016: Schallschutz im Hochbau.

DIN 18005, 2023: Schallschutz im Städtebau.

Schuster, Sandra; Geier, Sonja (2023): circularWOOD (Forschungsbericht).
Paradigmenwechsel für eine Kreislaufwirtschaft im Holzbau. Hg. v. Bundesinstitut für
Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). Bonn.

Stadt Nürnberg (2022): Satzung der Stadt Nürnberg über Begrünung baulicher
Anlagen und unbebauter Flächen (Begrünungssatzung – BegrS). BegrS - 630.058.

ASR A 3.4, 02.05.2023: Technische Regeln für Arbeitsstätten.

ASR A 2.3, 01.03.2022: Technische Regeln für Arbeitsstätten.

ASR A 1.2, 01.03.2022: Technische Regeln für Arbeitsstätten.

Thünen-Institut für Waldökosysteme (Hg.) (2019): Wald in Deutschland – Wald in
Zahlen. Ergebnisse der Kohlenstoffinventur 2017.

Verkehrsplanungsamt (2023): Verkehrszählung 2022. Unter Mitarbeit von Planungs-
und Baureferat. Hg. v. Stadt Nürnberg.

VStättV, 2007: Verordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten
(Versammlungsstättenverordnung - VStättV).

VwV TB, 12.12.2022: Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Landesentwicklung
und Wohnen über Technische Baubestimmungen.

DIN 4108-2, 2013: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden.

DIN 4108-3, 2018: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden.

WHO (Hg.) (2018): Environmental noise guidelines for European Region. World Health
Organization. Copenhagen.

Winter, Stefan; Hamm, Patricia; Richter, Antje (2010): Schwingungstechnische
Optimierung von Holz- und Holz-Beton-Verbunddecken. Entwicklung von
Bemessungs- und Konstruktionsregeln auf der Grundlage eines kalibrierten FEM-
Modells und unter Berücksichtigung des Dissipations-Potentials unterschiedlicher
Deckenaufbauten. AiF: otto von Guericke.

DIN 4102-4:2016-05+A1:2023-04, April 2023: Zusammenstellung und Anwendung
klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile.

Raumtypologie	Kostengruppe	Konstruktionstyp	Bauteil	Bezeichnung	Holz-volumen [m³]	Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) ^a [MJ/m²]	Anteil PERT ^a [%]	Urban Mining Indicator [%]	Treibhaus-potenzial (GWP) [kg CO ₂ -Äq./m²] ^a	Schalldämm-Maß [dB]	Trittschall-dämm-Maß [dB]	Anforderung Brandschutz [-]	Wärmeschutz [W/m²K]	Schwingungs-kriterien [%]	Maximaler Ausnutzungs-grad (GZT) [%]	Maximaler Ausnutzungs-grad (GZG)-Durchbiegung [%]	Flächen-gewicht [kg/m²]	Bauteil-höhe [cm]	Material-kosten ^b [€]		
Büro (B)	Decken	Massivholz-Decken	Brettstapeldecke Nassestrich	B_DE_BST_nE	0,200	1919,0	0,43	0,4775	94,76	74	40	90	-	0,93	0,58	0,83	305	61	345,90		
		Massivholz-Decken	Brettstapeldecke Trockenestrich	B_DE_BST_tE	0,240	2543,0	0,42	0,6575	106,29	78	36	90	-	0,89	0,46	0,65	230	75	484,10		
		Massivholz-Decken	Brettspertholzdecke Nassestrich	B_DE_BSP_nE	0,200	1898,1	0,41	0,4750	93,77	74	40	90	-	1,00	0,71	0,92	292	61	337,90		
		Massivholz-Decken	Brettspertholzdecke Trockenestrich	B_DE_BSP_tE	0,200	2400,1	0,40	0,6425	96,43	78	36	90	-	0,93	0,67	0,86	215	71	460,60		
		Stabförmige Decken	Rippendecke Nassestrich	B_DE_R_nE	0,098	1798,3	0,37	0,3775	84,59	74	43	90	-	0,99	0,75	0,88	298	68	283,60		
		Stabförmige Decken	Rippendecke Trockenestrich	B_DE_R_tE	0,098	2096,8	0,36	0,4875	79,65	80	34	90	-	1,32	0,70	0,82	200	78	397,60		
		Stabförmige Decken	Kastendecke Nassestrich	B_DE_K_nE	0,102	1846,1	0,38	0,4050	88,05	74	43	90	-	0,95	0,58	0,83	263	68	303,70		
		Stabförmige Decken	Kastendecke Trockenestrich	B_DE_K_tE	0,102	2144,6	0,37	0,5150	83,10	80	34	90	-	1,28	0,54	0,76	165	77	417,70		
		Stabförmige Decken	Holzbalkendecke Nassestrich	B_DE_HTB_nE	0,091	2237,7	0,35	0,4100	104,89	74	43	90	-	1,00	0,82	0,89	301	81	282,70		
		Stabförmige Decken	Holzbalkendecke Trockenestrich	B_DE_HTB_tE	0,091	2522,1	0,35	0,5075	98,94	80	34	90	-	1,35	0,76	0,83	201	91	417,10		
		HBV-Decken	HBV (Rippen)	B_DE_HBV(R)_nE	0,052	1803,7	0,36	0,3575	108,70	69	49	90	-	0,79	0,97	0,59	400	47	236,00		
		HBV-Decken	HBV (Rippen) Trockenestrich	B_DE_HBV(R)_tE	0,052	2231,1	0,36	0,4350	106,89	69	49	90	-	0,72	0,90	0,57	300	56	381,00		
		HBV-Decken	HBV (Brettstapel)	B_DE_HBV(BST)_nE	0,120	1925,9	0,40	0,4000	113,10	67	49	90	-	0,93	0,68	0,96	400	57	308,10		
		HBV-Decken	HBV (Brettstapel) Trockenestrich	B_DE_HBV(BST)_tE	0,120	2356,5	0,39	0,4775	111,52	67	49	90	-	0,85	0,64	0,95	300	64	453,00		
Büro (B)	Dächer	Massivholz-Decken - Flachdach	Brettstapeldecke Dach	B_DA_BST_exDB	0,180	2968,0	0,50	0,8100	54,85	57	-	-	0,171	-	0,52	0,83	359	73	373,70		
		Massivholz-Decken - Flachdach	Brettspertholzdecke Dach	B_DA_BSP_exDB	0,180	2916,5	0,50	0,8125	51,49	57	-	-	0,171	-	0,67	0,91	368	73	409,70		
		Stabförmige Decken - Flachdach	Rippendecke Dach	B_DA_R_exDB	0,079	3444,5	0,47	0,8150	72,56	45	-	-	0,173	-	0,70	0,88	329	67	355,50		
		Stabförmige Decken - Flachdach	Kastendecke Dach	B_DA_K_exDB	0,092	2880,0	0,48	0,8175	45,74	53	-	-	0,175	-	0,54	0,87	315	76	345,90		
		Stabförmige Decken - Flachdach	Holzbalkendecke Dach	B_DA_HTB_exDB	0,126	3619,8	0,46	0,8125	78,78	45	-	-	0,174	-	0,470	0,84	335	70	342,00		
		HBV-Decken - Flachdach	HBV (Balken) Dach	B_DA_HBV(R)_exDB	0,028	3590,3	0,46	0,6750	104,45	52	-	-	0,172	-	0,95	0,74	614	75	318,00		
		HBV-Decken - Flachdach	HBV BST Dach	B_DA_HBV(BST)_exDB	0,120	3182,4	0,48	0,6975	84,23	52	-	-	0,170	-	0,64	0,94	610	77	381,30		
		Massivholz-Decken - flachgeneigtes Dach*	Brettspertholzdecke Dach	B_DA_BSP_fg_m	0,160	1835,2	0,42	0,7725	105,06	71	-	-	0,171	-	0,60	0,87	226	74	566,30		
		Massivholz-Ddecken - flachgeneigtes Dach*	Brettspertholzdecke Dach	B_DA_BSP_fg_exDB	0,180	3191,9	0,50	0,8200	70,03	71	-	-	0,167	-	0,67	0,91	385	85	604,80		
		Stabförmige Decken - flachgeneigtes Dach	Rippendecke Dach	B_DA_R_fg_m	0,054	872,4	0,40	0,7300	56,00	47	-	-	0,183	-	0,67	0,81	145	65	325,40		
		Stabförmige Decken - flachgeneigtes Dach	Rippendecke Dach	B_DA_R_fg_exDB	0,056	2094,5	0,54	0,8200	10,80	47	-	-	0,171	-	0,84	0,94	297	77	355,00		
		HBV-Decken - flachgeneigtes Dach*	HBV BST Dach	B_DA_HBV(BST)_fg_m	0,120	2000,2	0,41	0,5125	133,94	53	-	-	0,171	-	0,52	0,81	440	78	546,60		
		HBV-Decken - flachgeneigtes Dach*	HBV BST Dach	B_DA_HBV(BST)_fg_exDB	0,120	3319,8	0,49	0,7025	96,23	53	-	-	0,171	-	0,60	0,94	610	89	574,10		
		Flur (F)	Decken	Massivholz-Decken	Brettstapeldecke Nassestrich	F_DE_BST_nE	0,100	2058,5	0,38	0,4150	102,59	74	40	90	-	0,87	0,91	0,73	259	94	301,30
Massivholz-Decken	Brettstapeldecke Trockenestrich			F_DE_BST_tE	0,120	2178,1	0,38	0,5125	85,62	78	36	90	-	0,87	0,51	0,56	168	96	392,70		
Massivholz-Decken	Brettspertholzdecke Nassestrich			F_DE_BSP_nE	0,090	2087,7	0,36	0,4025	104,02	74	40	90	-	0,98	0,98	0,87	297	93	311,00		
Massivholz-Decken	Brettspertholzdecke Trockenestrich			F_DE_BSP_tE	0,090	2131,0	0,37	0,5050	82,40	78	36	90	-	1,28	0,91	0,81	195	95	402,40		
Stabförmige Decken	Rippendecke Nassestrich			F_DE_R_nE	0,048	2027,2	0,35	0,3700	98,33	74	43	90	-	0,94	0,57	0,80	272	94	270,40		
Stabförmige Decken	Rippendecke Trockenestrich			F_DE_R_tE	0,048	1998,2	0,36	0,4725	72,61	80	34	90	-	1,34	0,67	0,74	175	94	354,80		
Stabförmige Decken	Kastendecke Nassestrich			F_DE_K_nE	0,057	2002,7	0,35	0,3775	98,32	74	43	90	-	0,86	0,54	0,71	240	105	301,10		
Stabförmige Decken	Kastendecke Trockenestrich			F_DE_K_tE	0,057	2036,6	0,36	0,4793	75,58	80	34	90	-	1,20	0,50	0,65	143	105	385,50		
Seminar (S)	Decken			Stabförmige Decken	Kastendecke Nassestrich	S_DE_K_nE	0,136	2427,3	0,51	0,5400	125,16	74	43	90	-	1,00	0,63	0,77	280	89	357,00
				HBV-Decken	HBV (Brettstapel)	S_DE_HBV(BST)_nE	0,280	2370,9	0,43	0,4400	153,60	67	49	90	-	1,00	0,61	0,69	570	76	369,60
		HBV-Decken	HBV (Rippendecke)	S_DE_HBV(R)_nE	0,146	2080,5	0,40	0,4000	132,83	69	49	90	-	1,00	0,70	0,66	500	59	310,10		
	Dächer	Massivholz-Decken - Flachdach	Brettspertholzdecke Dach	S_DA_BSP_exDB	0,320	2900,1	0,51	0,8075	57,21	57	-	90	0,168	1,04	0,68	0,90	444	82	541,70		
		Stabförmige Decken - Flachdach	Kastendecke Dach	S_DA_K_exDB	0,108	3118,4	0,54	0,8275	62,09	53	-	90	0,156	1,15	0,52	0,92	317	87	381,00		
		HBV-Decken - Flachdach	HBV Rippendecke Dach	S_DA_HBV(R)_exDB	0,090	3583,6	0,46	0,6775	107,30	52	-	90	0,180	1,46	0,91	1,00	645	72	348,00		
HBV-Decken - Flachdach	HBV BST Dach	S_DA_HBV(BST)_exDB	0,220	3360,9	0,49	0,6625	109,01	52	-	90	0,164	1,14	0,70	1,00	760	88	438,80				
Labor (L)	Decken	Stabförmige Decken	Kastendecke Nassestrich	L_DE_K_nE_8.75	0,393	2420,9	0,43	0,5375	132,87	74	40	90	-	1,15	1,00	0,59	544	183	604,10		
		Stabförmige Decken	Kastendecke Nassestrich	L_DE_K_nE_6.20	0,136	2427,3	0,51	0,4200	125,16	74	43	90	-	1,00	0,83	0,60	284	162	357,00		
		HBV-Decken	HBV (Brettstapel)	L_DE_HBV(BST)_nE_6.10	0,280	2370,9	0,43	0,4400	153,60	67	49	90	-	1,00	0,56	0,54	690	150	369,60		
		HBV-Decken	HBV (Rippendecke)	L_DE_HBV(R)_nE_5.90	0,146	2080,5	0,40	0,4000	132,83	67	49	90	-	1,00	0,60	0,56	572	122	337,60		
Versammlung (V)	Decken	Stabförmige Decken	Holzbalkendecke Nassestrich	V_DE_HTB_nE	0,417	2293,2	0,44	0,5550	122,41	74	40	90	-	0,99	0,87	0,56	504	160	624,10		
		Stabförmige Decken	Holzbalkendecke Buche Nassestrich	V_DE_HTB(Buche)_nE	0,345	2165,3	0,43	0,5400	113,14	74	40	90	-	1,00	0,58	0,59	472	150	660,70		
		HBV-Decken	HBV (Rippendecke)	V_DE_HBV(R)_nE	0,170	2133,6	0,40	0,4050	136,63	69	49	90	-	0,98	0,55	0,69	585	116	363,00		
Technikum (T)	Dächer	Stabförmige Decken	Satteldachträger gerade	T_DA_SDT_gr_exDB	0,087	3137,9	0,44	0,7875	105,29	-	-	-	0,152	-	1,00	0,88	250	274	702,60		
		Stabförmige Decken	Satteldachträger gekrümmt	T_DA_SDT_gk_exDB	0,088	3140,5	0,44	0,7875	105,49	-	-	-	0,152	-	1,00	0,84	250	309	412,40		
		Stabförmige Decken	Fachwerkträger	T_DA_HFWT_exDB	0,073	5251,2	0,34	0,7600	334,71	-	-	-	0,152	-	0,96	0,70	253	377	390,80		
		Stabförmige Decken	Fachwerkträger Buche	T_DA_HFWT(Buche)_exDB	0,055	5213,5	0,34	0,3475	332,02	-	-	-	0,152	-	0,81	0,78	244	305	400,50		
		Stabförmige Decken	Unterspannter Träger	T_DA_uT_exDB	0,049	2988,3	0,42	0,7925	94,80	-	-	-	0,152	-	0,97	1,00	252	313	563,60		

^a Es werden die Module A1–A3, B4, C3 und C4 nach DIN 15978 berücksichtigt.

^b Materialkosten für Herstellung und Austausch; Kostengrundlage SIRADOS 04/23.

Raumtypologie	Kostengruppe	Konstruktionstyp	Bauteil	Bezeichnung	Holz-volumen [m³]	Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) ^a [MJ/m²]	Anteil PERT ^a [%]	Urban Mining Indicator [%]	Treibhaus-potenzial (GWP) [kg CO ₂ -Äq./m²] ^a	Schalldämm-Maß [dB]	Trittschall-dämm-Maß [dB]	Anforderung Brandschutz [-]	Wärmeschutz [W/m²K]	Schwingungs-kriterien [%]	Maximaler Ausnutzungs-grad (GZT) [%]	Maximaler Ausnutzungs-grad (GZG)-Durchbiegung [%]	Flächen-gewicht [kg/m²]	Bauteil-höhe [cm]	Material-kosten ^b [€]	
alle	Außenwände	Skelettbau	AW Holzskelettbau	AW_HTB	0,034	1235,3	0,35	0,5900	77,44	59	-	90	0,177	-	-	-	67	35	339,00	
		Festverglasung	Festverglasung	AW_FE	0,198	3568,4	0,24	0,4900	285,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1386,40
		Pfosten-Riegel-Fassade	Pfosten-Riegel-Fassade	AW_PR	0,010	3106,7	0,14	0,3900	260,68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1662,40
	Trennwände	Ständerwand	TW Holzständer GK	TW_HTB_GKP	0,012	452,5	0,24	0,4425	26,87	61	-	-	90	-	-	-	-	47	23	95,20
		Ständerwand	TW Holzständer Lehmbauplatte	TW_HTB_LBP	0,012	460,8	0,37	0,5225	14,19	65	-	-	90	-	-	-	-	126	25	362,30
		Ständerwand	TW Metallständer GK	TW_MSt_GKP	0,000	383,5	0,20	0,3900	21,59	59,8	-	-	90	-	-	-	-	41	15	55,70
		Ständerwand	TW Metallständer Lehmbauplatte	TW_MSt_LBP	0,000	399,9	0,33	0,5075	13,73	0	-	-	90	-	-	-	-	89	21	312,70
	Bürowände	Ständerwand	BW Holzständer GK	BW_HTB_GKP	0,006	481,5	0,29	0,4475	23,08	50	-	-	-	-	-	-	-	43	13	74,00
		Ständerwand	BW Holzständer Lehmbauplatte	BW_HTB_LBP	0,006	551,9	0,40	0,5675	13,35	52	-	-	-	-	-	-	-	65	12	193,20
		Ständerwand	BW Metallständer GK	BW_MSt_GKP	0,000	435,9	0,27	0,4175	21,20	54,1	-	-	-	-	-	-	-	41	10	64,70
		Ständerwand	BW Metallständer Holzfaserauflage	BW_MSt_LBP	0,000	297,3	0,38	0,5350	8,09	55	-	-	-	-	-	-	-	63	9	183,90
	Flurwände	Holztafelbau	FW Holztafel	FW_HTB_GKP_t	0,062	1579,1	0,26	0,4925	78,76	62	-	-	90	-	-	-	-	95	35	224,10
		Brettspertholz	FW Brettspertholz	FW_BSP_GKP_t	0,120	873,0	0,34	0,5100	46,18	60	-	-	90	-	-	-	-	115	26	218,70
		Skelettbau	FW Skelettbau + Trockenbau (Holzständer + Gipsplatten)	FW_HTB_GKP	0,029	398,5	0,30	0,4475	22,37	61	-	-	30	-	-	-	-	47	22	137,10
		Skelettbau	FW Skelettbau + Trockenbau (Metallständer + Gipsplatten)	FW_MSt_GKP	0,017	403,4	0,25	0,4025	23,06	54,1	-	-	30	-	-	-	-	41	15	108,40
	Gründung	Stahlbeton	Stahlbeton	G_nE	0,000	2358,3	0,30	-	157,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	395,00
		Stahlbeton	Stahlbeton, Estrich auf Trennlage	G_EaT	0,000	2301,3	0,31	-	153,47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	391,20
	V/B/S/L	Stützen	Holzstütze	Holz	B_Stütze	0,063	133,8	0,58	-	9,57	-	-	90	-	-	0,26	-	28	-	52,70
Holzstütze			Holz	V_Stütze	0,224	959,2	0,58	-	68,61	-	-	90	-	-	0,96	-	101	-	94,50	
T	Stützen	Holzstütze	Holz	T_Stütze	0,210	449,6	0,58	-	32,16	-	-	30	-	-	0,99	-	95	-	177,10	
		Stabförmiger Balken	Buchenkranbahn	T_KB	0,222	-	-	-	95,63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	350,00
Konventionell (konv)	Decken	Stahlbetondecken	Stahlbeton	B-konv_DE_StB	0,000	1939,7	0,34	0,3475	128,78	60	34	90	-	0,59	0,83	0,75	700	54	192,40	
		Stahlbetondecken	Stahlbeton	F-konv_DE_StB	0,000	1939,7	0,34	0,3475	128,78	60	34	90	-	0,59	0,83	0,75	700	54	192,40	
		Stahlbetondecken	Stahlbeton	S-konv_DE_StB	0,000	1960,1	0,33	0,3475	131,56	61	30	90	-	0,70	0,97	1,00	845	57	235,80	
		Spannbetondecken	Spannbeton	S-konv_DE_SpBHD	0,000	2197,0	0,29	0,3250	170,59	60	39	90	-	0,96	0,91	0,54	533	34	240,90	
		Stahlbetondecken	Stahlbeton	L-konv_DE_StB_nE	0,000	1960,1	0,33	0,3475	131,56	61	30	90	-	0,70	0,97	1,00	845	57	235,80	
		Spannbetondecke	Spannbetonträger	V-konv_DE_SpB	0,000	2365,8	0,32	0,2857	188,10	54	41	90	-	0,40	1,05	0,17	940	140	235,80	
	Außenwände	Skelettbau	AW Skelettbau + hinterlüfteter Metallfassade	B-konv_AW_StB	0,000	1769,1	0,24	0,3700	166,23	57,1	-	-	90	0,207	-	-	-	500	41	323,30
		Festverglasung	Festverglasung	B-konv_FE	0,000	4682,9	0,16	0,5225	369,47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1032,00
		Pfosten-Riegel-Fassade	Pfosten-Riegel-Fassade	B-konv_PR	0,000	4918,0	0,14	0,3450	390,47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	1662,40
		Stahlbeton erdberührt	AW erdberührt	B-konv_AW-erdb	0,000	1881,3	0,12	0,3600	162,41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34	176,30
	Dächer	Stahlbeton - Flachdach	Stahlbeton	B-konv_DA_StB_exDB	0,000	3785,0	0,44	0,6000	140,09	60	-	-	-	0,171	-	0,83	0,73	750	86	303,20
		Stahlbeton - Flachdach	Stahlbeton	S-konv_DA_StB_exDB	0,000	3595,0	0,45	0,8375	110,55	56	-	-	-	0,172	-	0,93	0,60	845	86	358,90
		Spannbeton - Flachdach	Spannbeton	S-konv_DA_SpBHD_exDB	0,000	3909,5	0,43	0,6275	152,35	60	-	-	-	0,171	-	0,89	0,81	590	63	351,70
		Stahl - flachgeneigtes Dach	Stahlfachwerkträger	T-konv_DA_SFWT_exDB	0,000	3346,5	0,39	0,8050	146,59	40	-	-	-	0,155	-	0,82	0,49	224	248	709,30
	Stahl - flachgeneigtes Dach	Stahlrahmen	T-konv_DA_Stahlrahmen_exDB	0,000	3433,8	0,38	0,8050	154,49	40	-	-	-	0,155	-	0,98	0,33	240	127	773,20	
	Stützen	Stahlbetonstütze	Stahlbeton	B-konv_Stütze	0,000	-	-	-	22,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24,20
		Stahlbetonstütze	Stahlbeton	V-konv_Stütze	0,000	-	-	-	45,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54,50
		Stahlbau	Stahlbau	T-konv_Stütze_Stahl	0,000	-	-	-	107,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	77,60
		Stahlbetonstütze	Stahlbeton	T-konv_Stütze	0,000	-	-	-	67,63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90,80
		Stabförmiger Balken	Stahlträgerkranbahn	T-konv_KB	0,000	-	-	-	116,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	508,60
	Gründung	Stahlbeton	Stahlbeton	G-konv_nE	0,000	2463,6	0,29	-	169,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	263,70
		Stahlbeton	Stahlbeton, Estrich auf Trennlage	G-konv_EaT	0,000	2406,6	0,30	-	165,92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	259,90

^a Es werden die Module A1–A3, B4, C3 und C4 nach DIN 15978 berücksichtigt.
^b Materialkosten für Herstellung und Austausch; Kostengrundlage SIRADOS 04/23.

Simulationsbedingungen			Büro		
Kategorie	Parameter	Einheit	allg. Informationen/ Werte aus Normen/ Standardwert	Anmerkung	Quelle
Standort & Klima	Referenzstandort	[-]	Nürnberg		
	Klimadatensatz (gegewärtiges/heutiges Klima)	[-]	Wetterstation Flughafen Nürnberg	Wetterdatei Interpoliert auf Stadt Zeitperiode: Aktuell	Meteonorm
Raumgeometrie und Lage	Außenwandlänge	[m]	3.75		Grundriss/Schnitt Architektur
	Innenwandbreite	[m]	5.20		Grundriss/Schnitt Architektur
	Raumfläche	[m ²]	19.50		Grundriss/Schnitt Architektur
	Lichte Raumhöhe	[m]	3.37		Grundriss/Schnitt Architektur
	Lage im Gebäude	[-]	Variabel	Abhängig von Simulation	
Nutzungszeit / Betriebsdauer	Tägliche Nutzungszeit	[h/d]	11	07:00 - 18:00 Uhr	DIN V 18599-10 Einzelbüro Nr.1
	Tägliche Vollnutzungsstunden	[h/d]	6		DIN V 18599-10 Einzelbüro Nr.1
	Jährliche Nutzungstage Personen	[d/a]	250		DIN V 18599-10 Einzelbüro Nr.1
	Jährliche Vollnutzungsstunden	[h/a]	3477		
	Tägliche Betriebszeit Heizung und Kühlung	[h/d]	13	05:00 - 18:00 Uhr	DIN V 18599-10 Einzelbüro Nr.1
	Jährliche Betriebstage TGA	[d/a]	365	Am Wochenende und Nachtzeiten mit Temperaturabsenkung	
Sonnenschutz	Fc-Wert	[1]	0.25	Abminderungsfaktor außenliegender Sonnenschutz (Raffstore)	DIN 4108-2
	Steuerung Sonnenschutz	[-]	autom.	automatisch (nach Grenzbestrahlungsstärke)	DIN 4108-2
	Grenzbestrahlungsstärke	[W/m ²]	200	Sonnenschutz aktiviert/deaktiviert bei automatischer Steuerung (Süd, West, Ost)	DIN 4108-2
Dichtheit	n ₅₀ -Wert	[1/h]	1	Kategorie I mit RLT: Einhaltung der Anforderung an die Gebäudedichtheit nach DIN 4108-7	DIN V 18599-2
	Infiltration	[1/h]	0.01	Berechnet nach dem n ₅₀ -Wert	DIN V 18599-2
Interne Lasten	Anzahl Personen	[Person en]	1		Vorgaben Architektur
	Belegungsdichte	[m ² /Pers on]	19.5		
	Personen (70 W je Person)	[W/m ²]	3.6		DIN V 18599-10 Einzelbüro Nr.1
	Arbeitshilfen	[W/m ²]	2.8	Leistung Arbeitshilfe pro Person (50 W / Arbeitsplatz)	
	Beleuchtung	[W/m ²]	4.0		

Simulationsbedingungen			Büro		
Kategorie	Parameter	Einheit	allg. Informationen/ Werte aus Normen/ Standardwert	Anmerkung	Quelle
Raumluft- technik	RLT Rückwärmzahl	[-]	0.8	Gegenstromwärmetauscher	ErP-Richtlinie
	RLT Zulufttemperatur	[°C]	21.0	Ist gleich Raumtemperatur	
	Luftwechsel	[m ³ /(h*Person)]	40.0	während der Anwesenheit	DIN V 18599-10 Einzelbüro Nr.1
	Länge Lüftungskanal	[m ²]	1.1		
	Volumenstromregler	[Anzahl]	1		
	Brandschutzklappen	[Anzahl]	-		
Heizungs- technik	Raum-Solltemperatur Heizung $\theta_{i,h,soll}$	[°C]	21		DIN V 18599-10 Einzelbüro Nr.1
	Nachtabenkung Temperatur	[°C]	17	4 K Spreizung	DIN V 18599-10 Einzelbüro Nr.1
	Länge Anbindeleitung	[m]	5.2	Anbindeleitungen sind Isoliert	
	Fläche Heiz-/Kühlsegel	[m ²]	4.5	Heizlast: 667 W, Heizleistung Segel 150 W/m ²	Kälberer Variantensegel
Kühlungs- technik	Raum-Soll Kühlung $\theta_{i,c,soll}$	[°C]	-	Keine aktive Kühlung. Grenzwert für Übertemperaturgradstunden- Berechnung bei 26 °C	
	Maximaltemperatur Auslegung Kühlung $\theta_{i,c,max}$	[°C]	-		
	Nachtabenkung Temperatur	[°C]	-		
Beleuchtungs- technik	Beleuchtungsstärke	[lux]	500	Vorgaben nach GEG, ArbStättV (Büro)	DIN V 18599-10 Einzelbüro Nr.1
	Regelung (Ein-Aus)	[-]	Ja	Nach Anwesenheit und solarer Einstrahlung	
	Regelung (Dimmbar)	[-]	Ja	Automatisiert nach Einstrahlung	
	Leuchtmittel LED	[Anzahl]	1		
Elektro- technik	Kippschalter	[Anzahl]	2		
	Steckdosen	[Anzahl]	4		
	Kabellänge	[m]	22.8	Kabelkanal Fassadenseitig mit Stichleitungen in den Raum	

Simulationsbedingungen			Seminar		
Kategorie	Parameter	Einheit	allg. Informationen/ Werte aus Normen/ Standardwert	Anmerkung	Quelle
Standort & Klima	Referenzstandort	[-]	Nürnberg		
	Klimadatensatz (gegewärtiges/heutiges Klima)	[-]	Wetterstation Flughafen Nürnberg	Wetterdatei Interpoliert auf Stadt Zeitperiode: Aktuell	Meteonorm
Raumgeometrie und Lage	Außenwandlänge	[m]	17.50		Grundriss/Schnitt Architektur
	Innenwandbreite	[m]	8.75		Grundriss/Schnitt Architektur
	Raumfläche	[m ²]	153.13		Grundriss/Schnitt Architektur
	Lichte Raumhöhe	[m]	3.37		Grundriss/Schnitt Architektur
	Lage im Gebäude	[-]	Variabel	Abhängig von Simulation	
Nutzungszeit / Betriebsdauer	Tägliche Nutzungszeit	[h/d]	11	08:00 - 18:00 Uhr	DIN V 18599-10 Hörsaal Nr. 9
	Tägliche Vollnutzungsstunden	[h/d]	6		DIN V 18599-10 Hörsaal Nr. 9
	Jährliche Nutzungstage Personen	[d/a]	164	Nach Semesterferien Technische Universität München	
	Tägliche Betriebszeit RL T und Kühlung	[h/d]	12	06:00 - 18:00 Uhr	DIN V 18599-10 Hörsaal Nr. 9
	Jährliche Betriebstage TGA	[d/a]	365	Am Wochenende und Nachtzeiten mit Temperaturabsenkung	
Sonnenschutz	Fc-Wert	[1]	0.25	Abminderungsfaktor außenliegender Sonnenschutz (Raffstore)	DIN 4108-2
	Steuerung Sonnenschutz	[-]	autom.	automatisch (nach Grenzbestrahlungsstärke)	DIN 4108-2
	Grenzbestrahlungsstärke	[W/m ²]	200	Sonnenschutz aktiviert/deaktiviert bei automatischer Steuerung (Süd, West, Ost)	DIN 4108-2
Dichtheit	n ₅₀ -Wert	[1/h]	1	Kategorie I mit RL: Einhaltung der Anforderung an die Gebäudedichtheit nach DIN 4108-7	DIN V 18599-2
	Infiltration	[1/h]	0.01	Berechnet nach dem n50-Wert	DIN V 18599-2
Interne Lasten	Anzahl Personen	[Personen]	100		Vorgaben Architektur
	Belegungsdichte	[m ² /Person]	1.5		
	Personen (70 W je Person)	[W/m ²]	45.7		DIN V 18599-10 Hörsaal Nr. 9
	Arbeitshilfen	[W/m ²]	2.0		DIN V 18599-10 Hörsaal Nr. 9
	Beleuchtung	[W/m ²]	3.9		

Simulationsbedingungen			Seminar		
Kategorie	Parameter	Einheit	allg. Informationen/ Werte aus Normen/ Standardwert	Anmerkung	Quelle
Raumluft- technik	RLT Rückwärmzahl	[-]	0.8	Gegenstromwärmetauscher	ErP-Richtlinie
	RLT Zulufttemperatur	[°C]	21.0	Ist gleich Raumtemperatur	
	Luftwechsel	[m ³ /(h*Person)]	30.0		DIN V 18599-10 Hörsaal Nr. 9
	Länge Lüftungskanal	[m]	23.8		
	Volumenstromregler	[Anzahl]	5		
	Brandschutzklappen	[Anzahl]	10		
Heizungs- technik	Raum-Solltemperatur Heizung $\theta_{i,h,soll}$	[°C]	21		DIN V 18599-10 Hörsaal Nr. 9
	Nachtabenkung Temperatur	[°C]	17	4 K Spreizung	DIN V 18599-10 Hörsaal Nr. 9
	Länge Anbindeleitung	[m]	44.4	Anbindeleitungen sind Isoliert	
	Fläche Heiz-/Kühlsegel	[m ²]	20.5	Heizlast: 3080 W, Heizleistung Segel 150 W/m ²	Kälberer Variantensegel
Kühlungs- technik	Raum-Soll Kühlung $\theta_{i,c,soll}$	[°C]	26	Abweichend von DIN V 18599 (24°C)	DIN V 18599-10 Hörsaal Nr. 9
	Maximaltemperatur Auslegung Kühlung $\theta_{i,c,max}$	[°C]	26		
	Nachtabenkung Temperatur	[°C]	30	4 K Spreizung	
Beleuchtungs- technik	Beleuchtungsstärke	[lux]	500	Vorgaben nach GEG, ArbStättV (Büro)	DIN V 18599-10 Hörsaal Nr. 9
	Regelung (Ein-Aus)	[-]	Ja	Nach Anwesenheit und solarer Einstrahlung	
	Regelung (Dimmbar)	[-]	Ja	Automatisiert nach Einstrahlung	
	Leuchtmittel LED	[Anzahl]	13		
Elektro- technik	Kippschalter	[Anzahl]	4		
	Steckdosen	[Anzahl]	18		
	Kabellänge	[m]	135.0	Kabelkanal Fassadenseitig mit Stichleitungen in den Raum	

Simulationsbedingungen			Labor		
Kategorie	Parameter	Einheit	allg. Informationen/ Werte aus Normen/ Standardwert	Anmerkung	Quelle
Standort & Klima	Referenzstandort	[-]	Nürnberg		
	Klimadatensatz (gegewärtiges/heutiges Klima)	[-]	Wetterstation Flughafen Nürnberg	Wetterdatei Interpoliert auf Stadt Zeitperiode: Aktuell	Meteonorm
Raumgeometrie und Lage	Außenwandlänge	[m]	7.50		Grundriss/Schnitt Architektur
	Innenwandbreite	[m]	6.20		Grundriss/Schnitt Architektur
	Raumfläche	[m ²]	46.50		Grundriss/Schnitt Architektur
	Lichte Raumhöhe	[m]	4.10		Grundriss/Schnitt Architektur
	Lage im Gebäude	[-]	Variabel	Abhängig von Simulation	
Nutzungszeit / Betriebsdauer	Tägliche Nutzungszeit	[h/d]	11	07:00 - 18:00 Uhr	DIN V 18599-10 Einzelbüro Nr. 36
	Tägliche Vollnutzungsstunden	[h/d]	6		DIN V 18599-10 Einzelbüro Nr. 36
	Jährliche Nutzungstage Personen	[d/a]	260		DIN V 18599-10 Einzelbüro Nr. 36
	Tägliche Betriebszeit RL T und Kühlung	[h/d]	13	05:00 - 18:00 Uhr	DIN V 18599-10 Einzelbüro Nr. 36
	Jährliche Betriebstage TGA	[d/a]	365	Am Wochenende und Nachtzeiten mit Temperaturabsenkung	
Sonnenschutz	Fc-Wert	[1]	0.25	Abminderungsfaktor außenliegender Sonnenschutz (Raffstore)	DIN 4108-2
	Steuerung Sonnenschutz	[-]	autom.	automatisch (nach Grenzbestrahlungsstärke)	DIN 4108-2
	Grenzbestrahlungsstärke	[W/m ²]	200	Sonnenschutz aktiviert/deaktiviert bei automatischer Steuerung (Süd, West, Ost)	DIN 4108-2
Dichtheit	n ₅₀ -Wert	[1/h]	1	Kategorie I mit RL: Einhaltung der Anforderung an die Gebäudedichtheit nach DIN 4108-7	DIN V 18599-2
	Infiltration	[1/h]	0.01	Berechnet nach dem n50-Wert	DIN V 18599-2
Interne Lasten	Anzahl Personen	[Personen]	28		Vorgaben Architektur
	Belegungsdichte	[m ² /Person]	1.7		
	Personen (70 W je Person)	[W/m ²]	42.2		DIN V 18599-10 Einzelbüro Nr. 36
	Arbeitshilfen	[W/m ²]	18.0		DIN V 18599-10 Einzelbüro Nr. 36
	Beleuchtung	[W/m ²]	3.9		

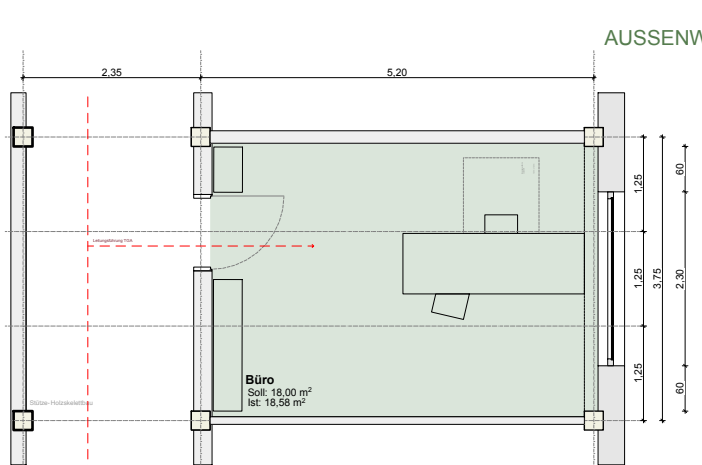
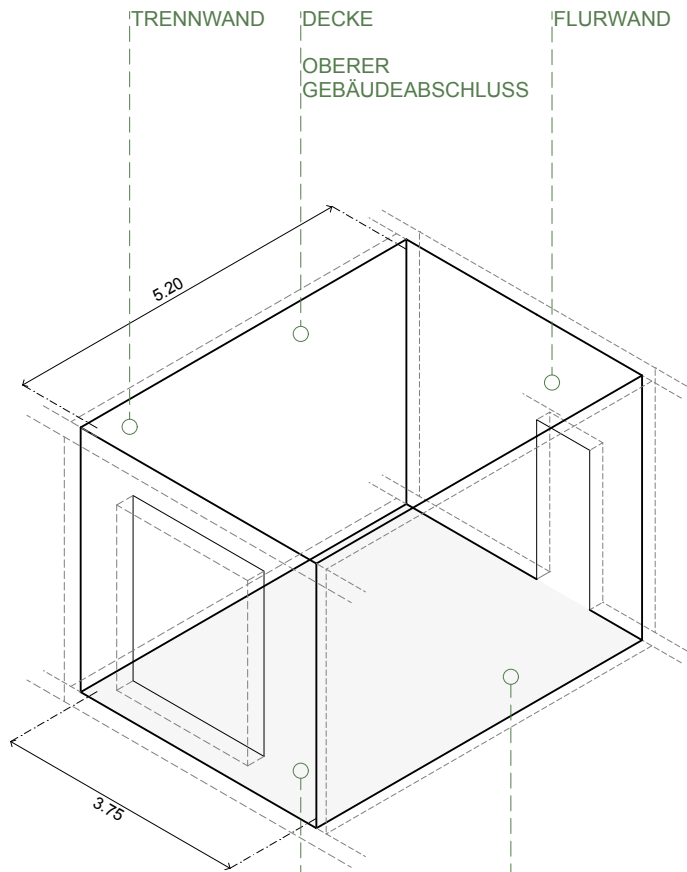
Simulationsbedingungen			Labor		
Kategorie	Parameter	Einheit	allg. Informationen/ Werte aus Normen/ Standardwert	Anmerkung	Quelle
Raumluft- technik	RLT Rückwärmzahl	[-]	0.8	Gegenstromwärmetauscher	ErP-Richtlinie
	RLT Zulufttemperatur	[°C]	21.0	Ist gleich Raumtemperatur	
	Luftwechsel	[m ³ /(h*Person)]	25.0	während der Anwesenheit	DIN V 18599-10
	Länge Lüftungskanal	[m]	1.9		
	Volumenstromregler	[Anzahl]	1		
	Brandschutzklappen	[Anzahl]	-		
Heizungs- technik	Raum-Solltemperatur Heizung $\theta_{i,h,soll}$	[°C]	21		DIN V 18599-10
	Nachtabenkung Temperatur	[°C]	17	4 K Spreizung	DIN V 18599-10
	Länge Anbindeleitung	[m]	6.3	Anbindeleitungen sind Isoliert	
	Fläche Heiz-/Kühlsegel	[m ²]	8.4	Heizlast: 1258 W, Heizleistung Segel 150 W/m ²	Kälberer Variantensegel
Kühlungs- technik	Raum-Soll Kühlung $\theta_{i,c,soll}$	[°C]	26	Abweichend von DIN V 18599 (24°C)	DIN V 18599-10
	Maximaltemperatur Auslegung Kühlung $\theta_{i,c,max}$	[°C]	26		
	Nachtabenkung Temperatur	[°C]	30	4 K Spreizung	
Beleuchtungs- technik	Beleuchtungsstärke	[lux]	500	Vorgaben nach GEG, ArbStättV (Büro)	DIN V 18599-10 Einzelbüro Nr. 36
	Regelung (Ein-Aus)	[-]	Ja	Nach Anwesenheit und solarer Einstrahlung	
	Regelung (Dimmbar)	[-]	Ja	Automatisiert nach Einstrahlung	
	Leuchtmittel LED	[Anzahl]	5		
Elektro- technik	Kippschalter	[Anzahl]	10		
	Steckdosen	[Anzahl]	90		
	Kabellänge	[m]	57.0	Kabelkanal Fassadenseitig mit Stichleitungen in den Raum	

Simulationsbedingungen			Versammlung		
Kategorie	Parameter	Einheit	allg. Informationen/ Werte aus Normen/ Standardwert	Anmerkung	Quelle
Standort & Klima	Referenzstandort	[-]	Nürnberg		
	Klimadatensatz (gegewärtiges/heutiges Klima)	[-]	Wetterstation Flughafen Nürnberg	Wetterdatei Interpoliert auf Stadt Zeitperiode: Aktuell	Meteonorm
Raumgeometrie und Lage	Außenwandlänge	[m]	22.50		Grundriss/Schnitt Architektur
	Innenwandbreite	[m]	13.40		Grundriss/Schnitt Architektur
	Raumfläche	[m ²]	301.50		Grundriss/Schnitt Architektur
	Lichte Raumhöhe	[m]	7.60		Grundriss/Schnitt Architektur
	Lage im Gebäude	[-]	Variabel	Abhängig von Simulation	
Nutzungszeit / Betriebsdauer	Tägliche Nutzungszeit	[h/d]	10	08:00 - 18:00 Uhr	DIN V 18599-10 Hörsaal Nr. 9
	Tägliche Vollnutzungsstunden	[h/d]	6		DIN V 18599-10 Hörsaal Nr. 9
	Jährliche Nutzungstage Personen	[d/a]	164	Nach Semesterferien Technische Universität München	
	Tägliche Betriebszeit RL T und Kühlung	[h/d]	12	06:00 - 18:00 Uhr	DIN V 18599-10 Hörsaal Nr. 9
	Jährliche Betriebstage TGA	[d/a]	365	Am Wochenende und Nachtzeiten mit Temperaturabsenkung	
Sonnenschutz	Fc-Wert	[1]	0.25	Abminderungsfaktor außenliegender Sonnenschutz (Raffstore)	DIN 4108-2
	Steuerung Sonnenschutz	[-]	autom.	automatisch (nach Grenzbestrahlungsstärke)	DIN 4108-2
	Grenzbestrahlungsstärke	[W/m ²]	200	Sonnenschutz aktiviert/deaktiviert bei automatischer Steuerung (Süd, West, Ost)	DIN 4108-2
Dichtheit	n ₅₀ -Wert	[1/h]	1	Kategorie I mit RL: Einhaltung der Anforderung an die Gebäudedichtheit nach DIN 4108-7	DIN V 18599-2
	Infiltration	[1/h]	0.01	Berechnet nach dem n ₅₀ -Wert	DIN V 18599-2
Interne Lasten	Anzahl Personen	[Personen]	302		
	Belegungsdichte	[m ² /Person]	1.0		DIN V 18599-10 Hörsaal Nr. 9
	Personen (70 W je Person)	[W/m ²]	70.0		DIN V 18599-10 Hörsaal Nr. 9
	Arbeitshilfen	[W/m ²]	1.0		DIN V 18599-10 Hörsaal Nr. 9
	Beleuchtung	[W/m ²]	3.0		

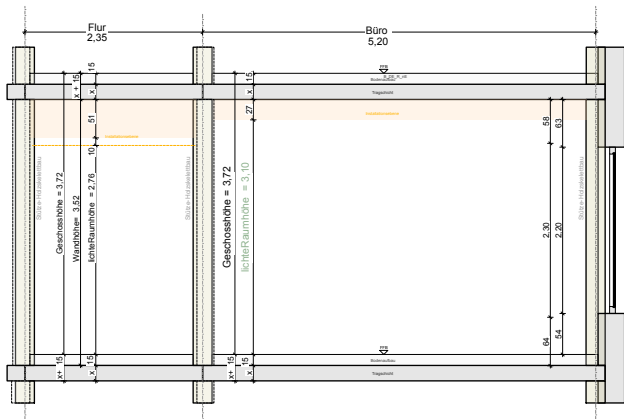
Simulationsbedingungen			Versammlung		
Kategorie	Parameter	Einheit	allg. Informationen/ Werte aus Normen/ Standardwert	Anmerkung	Quelle
Raumluft- technik	RLT Rückwärmzahl	[-]	0.8	Gegenstromwärmetauscher	ErP-Richtlinie
	RLT Zulufttemperatur	[°C]	21.0	Ist gleich Raumtemperatur	
	Luftwechsel	[m ³ /(h*Person)]	30.0	während der Anwesenheit	DIN V 18599-10 Hörsaal Nr. 9
	Länge Lüftungskanal	[m]	22.6		
	Volumenstromregler	[Anzahl]	6		
	Brandschutzklappen	[Anzahl]	12		
Heizungs- technik	Raum-Solltemperatur Heizung $\theta_{i,h,soll}$	[°C]	21		DIN V 18599-10 Hörsaal Nr. 9
	Nachtsabsenkung Temperatur	[°C]	17	4 K Spreizung	DIN V 18599-10 Hörsaal Nr. 9
	Länge Anbindeleitung	[m]	67.6	Anbindeleitungen sind Isoliert	
	Fläche Heiz-/Kühlsegel	[m ²]	35.1	Heizlast: 5264 W, Heizleistung Segel 150 W/m ²	Kälberer Variantensegel
Kühlungs- technik	Raum-Soll Kühlung $\theta_{i,c,soll}$	[°C]	26	Abweichend von DIN V 18599 (24°C)	DIN V 18599-10 Hörsaal Nr. 9
	Maximaltemperatur Auslegung Kühlung $\theta_{i,c,max}$	[°C]	26		
	Nachtsabsenkung Temperatur	[°C]	30	4 K Spreizung	
Beleuchtungs- technik	Beleuchtungsstärke	[lux]	500	Vorgaben nach GEG, ArbStättV (Büro)	DIN V 18599-10 Hörsaal Nr. 9
	Regelung (Ein-Aus)	[-]	Ja	Nach Anwesenheit und solarer Einstrahlung	
	Regelung (Dimmbar)	[-]	Ja	Automatisiert nach Einstrahlung	
	Leuchtmittel LED	[Anzahl]	17		
Elektro- technik	Kippschalter	[Anzahl]	12		
	Steckdosen	[Anzahl]	27		
	Kabellänge	[m]	210.6	Kabelkanal Fassadenseitig mit Stichleitungen in den Raum	

Simulationsbedingungen			Technikum		
Kategorie	Parameter	Einheit	allg. Informationen/ Werte aus Normen/ Standardwert	Anmerkung	Quelle
Standort & Klima	Referenzstandort	[-]	Nürnberg		
	Klimadatensatz (gegewärtiges/heutiges Klima)	[-]	Wetterstation Flughafen Nürnberg	Wetterdatei Interpoliert auf Stadt Zeitperiode: Aktuell	Meteonorm
Raumgeometrie und Lage	Außenwandlänge	[m]	45.00		Grundriss/Schnitt Architektur
	Außenwandbreite	[m]	22.50		Grundriss/Schnitt Architektur
	Raumfläche	[m ²]	1012.50		Grundriss/Schnitt Architektur
	Lichte Raumhöhe	[m]	8.86		Grundriss/Schnitt Architektur
	Lage im Gebäude	[-]	-	Zone ist freistehend	
Nutzungszeit / Betriebsdauer	Tägliche Nutzungszeit	[h/d]	9	07:00 - 16:00 Uhr	DIN V 18599-10 Einzelbüro Nr. 22.3
	Tägliche Vollnutzungsstunden	[h/d]	6		DIN V 18599-10 Einzelbüro Nr. 22.3
	Jährliche Nutzungstage Personen	[d/a]	230		DIN V 18599-10 Einzelbüro Nr. 22.3
	Tägliche Betriebszeit RL T und Kühlung	[h/d]	13	05:00 - 18:00 Uhr	DIN V 18599-10 Einzelbüro Nr. 22.3
	Jährliche Betriebstage TGA	[d/a]	365	Am Wochenende und Nachtzeiten mit Temperaturabsenkung	
Sonnenschutz	Fc-Wert	[1]	0.25	Abminderungsfaktor außenliegender Sonnenschutz (Raffstore)	DIN 4108-2
	Steuerung Sonnenschutz	[-]	autom.	automatisch (nach Grenzbestrahlungsstärke)	DIN 4108-2
	Grenzbestrahlungsstärke	[W/m ²]	200	Sonnenschutz aktiviert/deaktiviert bei automatischer Steuerung (Süd, West, Ost)	DIN 4108-2
Dichtheit	n ₅₀ -Wert	[1/h]	1	Kategorie I mit RL: Einhaltung der Anforderung an die Gebäudedichtheit nach DIN 4108-7	DIN V 18599-2
	Infiltration	[1/h]	0.01	Berechnet nach dem n50-Wert	DIN V 18599-2
Interne Lasten	Anzahl Personen	[Personen]	51		
	Belegungsdichte	[m ² /Person]	20.0		DIN V 18599-10 Einzelbüro Nr. 22.3
	Personen (80 W je Person)	[W/m ²]	4.0		DIN V 18599-10 Einzelbüro Nr. 22.3
	Arbeitshilfen	[W/m ²]	7.0	Leistung Arbeitshilfe pro Person	DIN V 18599-10 Einzelbüro Nr. 22.3
	Beleuchtung	[W/m ²]	4.0		

Simulationsbedingungen			Technikum		
Kategorie	Parameter	Einheit	allg. Informationen/ Werte aus Normen/ Standardwert	Anmerkung	Quelle
Raumluft- technik	RLT Rückwärmzahl	[-]	0.8	Gegenstromwärmetauscher	ErP-Richtlinie
	RLT Zulufttemperatur	[°C]	21.0	Ist gleich Raumtemperatur	
	Luftwechsel	[m ³ /(h*Person)]	30.0	während der Anwesenheit	DIN V 18599-10 Einzelbüro Nr. 22.3
	Länge Lüftungskanal	[m]	74.7		
	Volumenstromregler	[Anzahl]	6		
	Brandschutzklappen	[Anzahl]	2		
Heizungs- technik	Raum-Solltemperatur Heizung $\theta_{i,h,soll}$	[°C]	21		DIN V 18599-10 Einzelbüro Nr. 22.3
	Nachtabenkung Temperatur	[°C]	17	4 K Spreizung	DIN V 18599-10 Einzelbüro Nr. 22.3
	Länge Anbindeleitung	[m]	264.0	Anbindeleitungen sind Isoliert	
	Fläche Heiz-/Kühlsegel	[m ²]	349.5	Heizlast: 52408 W, Heizleistung Segel 150 W/m ²	Kälberer Variantensegel
Kühlungs- technik	Raum-Soll Kühlung $\theta_{i,c,soll}$	[°C]	26	Abweichend von DIN V 18599 (24°C)	DIN V 18599-10 Einzelbüro Nr. 22.3
	Maximaltemperatur Auslegung Kühlung $\theta_{i,c,max}$	[°C]	26		
	Nachtabenkung Temperatur	[°C]	30	4 K Spreizung	
Beleuchtungs- technik	Beleuchtungsstärke	[lux]	500	Vorgaben nach GEG, ArbStättV (Büro)	DIN V 18599-10 Einzelbüro Nr. 22.3
	Regelung (Ein-Aus)	[-]	Ja	Nach Anwesenheit und solarer Einstrahlung	
	Regelung (Dimmbar)	[-]	Ja	Automatisiert nach Einstrahlung	
	Leuchtmittel LED	[Anzahl]	61		
Elektro- technik	Kippschalter	[Anzahl]	18		
	Steckdosen	[Anzahl]	45		
	Kabellänge	[m]	562.5	Kabelkanal Fassadenseitig mit Stichleitungen in den Raum	



Raumtypologie_Büro_Grundriss 1:100

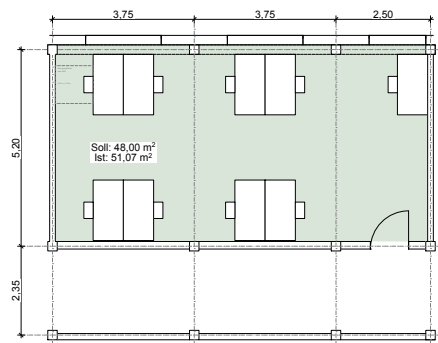
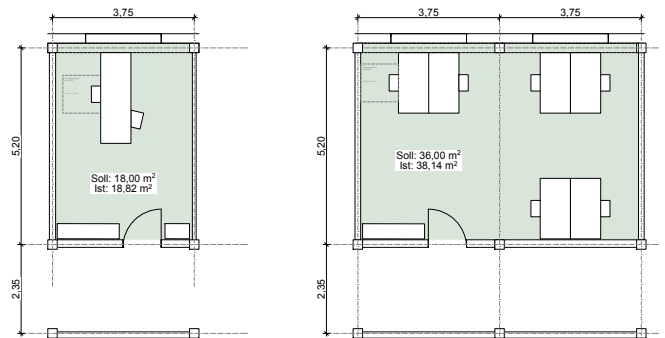


Raumtypologie_Büro_Schnitt 1:100

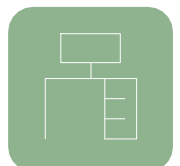
AUSSENWAND

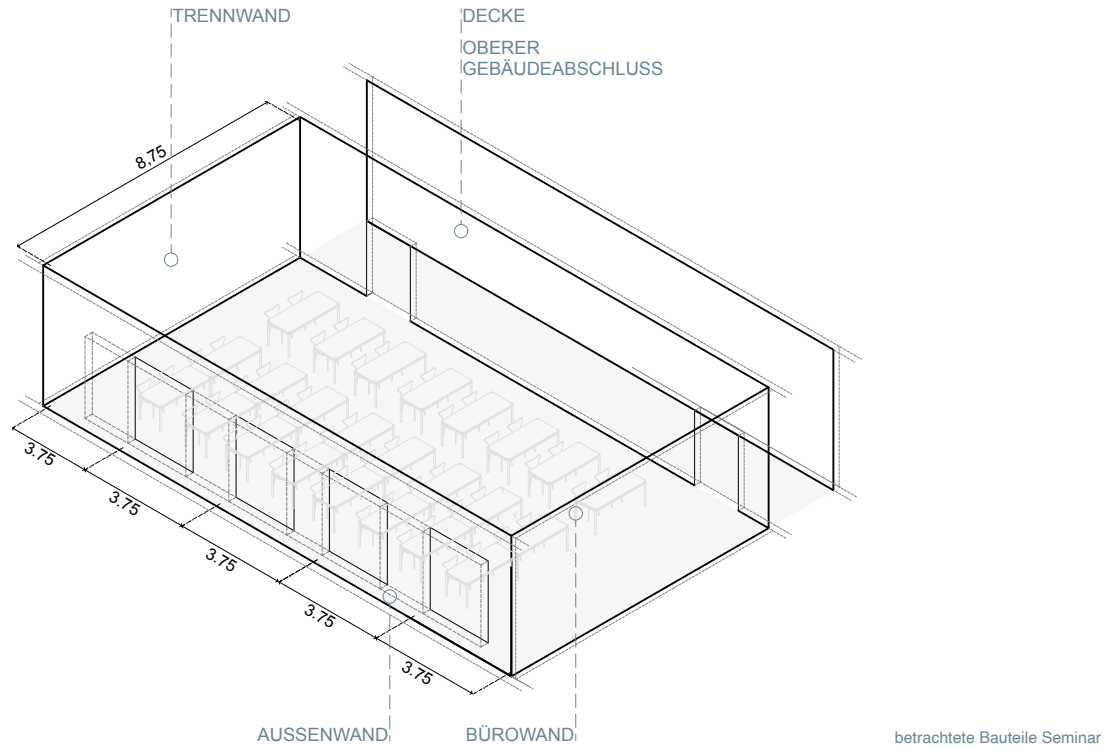
BÜROWAND

betrachtete Bauteile Büro

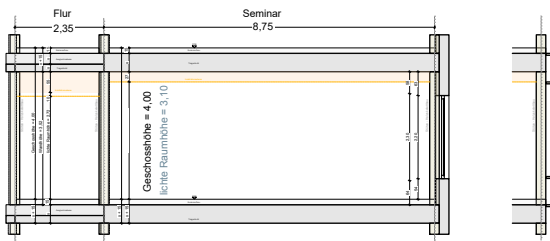


Büroeinheiten (Raumbedarfsplanung UTN) 1:200

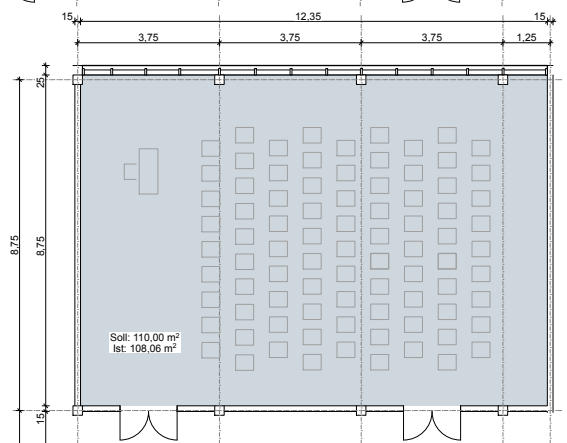
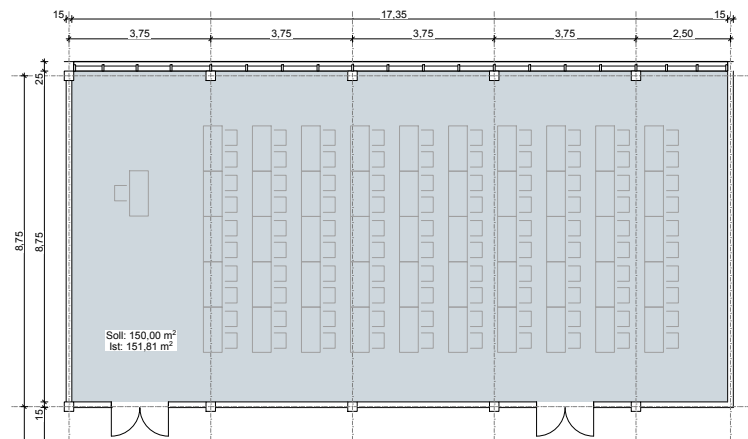




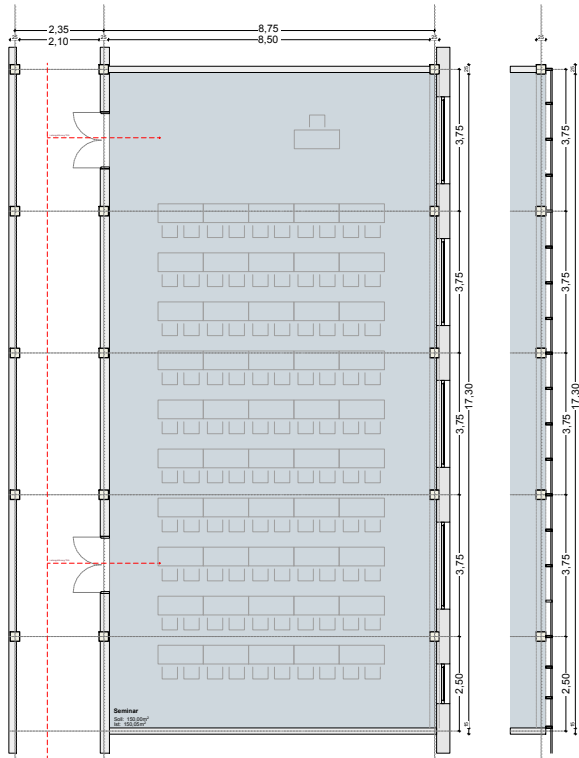
betrachtete Bauteile Seminar



Raumtypologie_Seminar_Schnitt 1:200

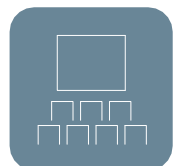


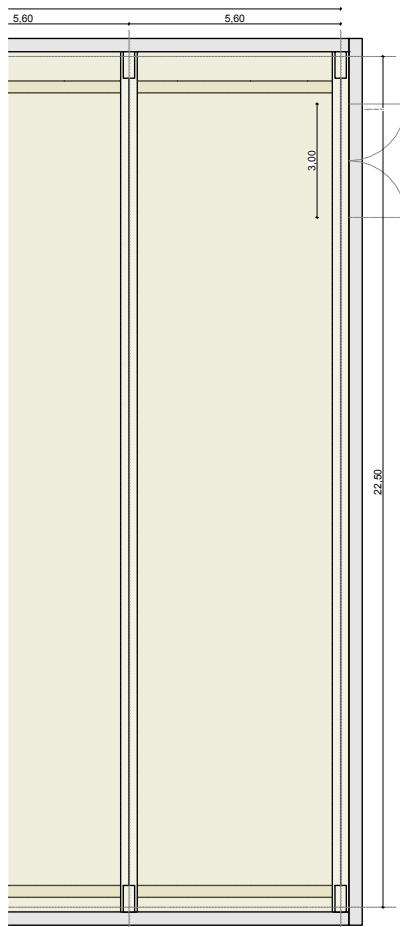
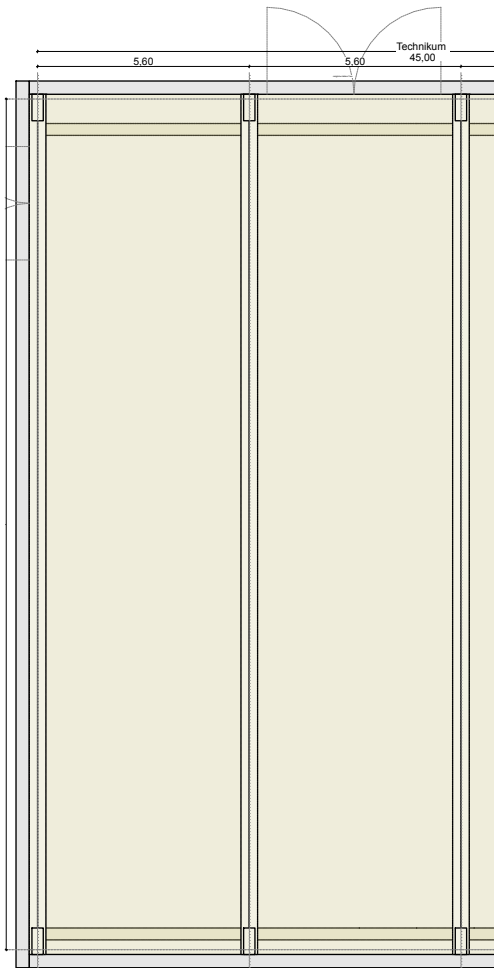
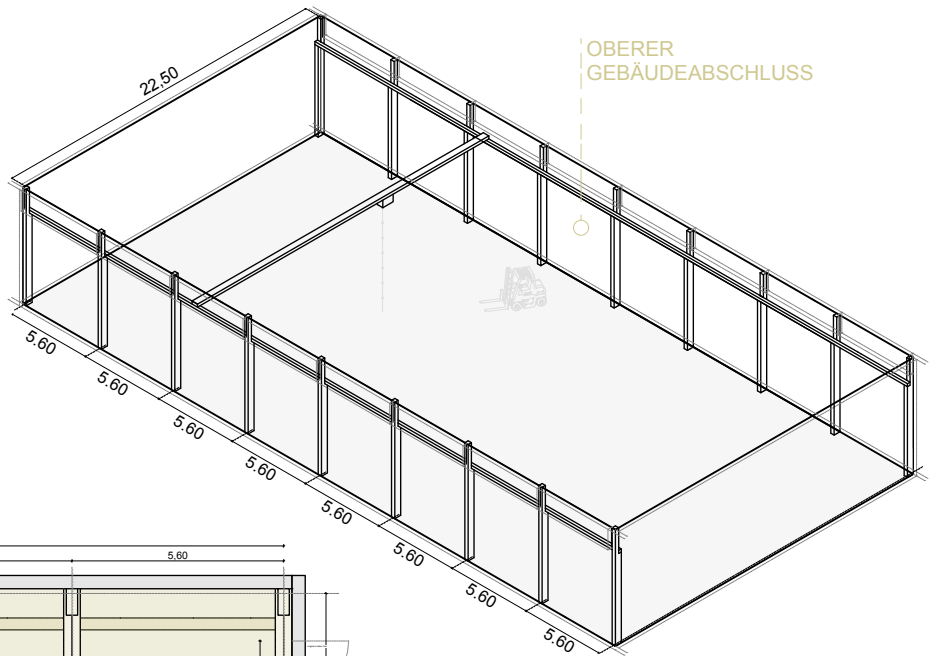
Seminarräume, Lehrsaal, Sepsesaal (Raumbedarfsplanung UTN) 1:200



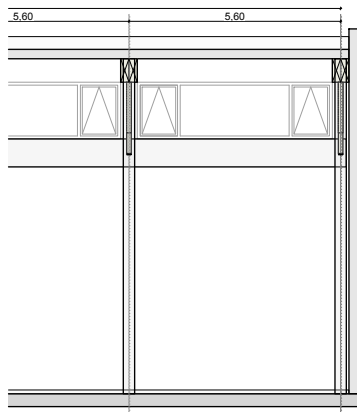
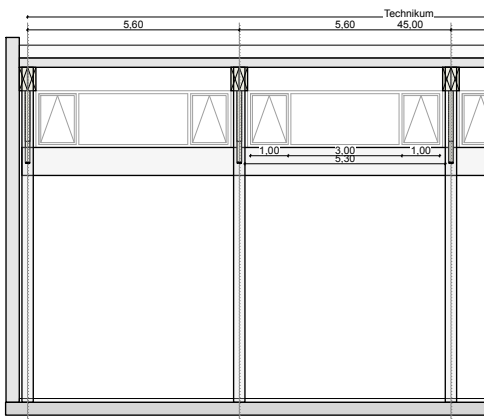
Raumtypologie_Seminar_Grundriss 1:200

- Holzstütze
- Installationsebene
- tragende Bauteile
- nicht tragende Bauteile
- Installationsebene










Raumtypologie_Technikum_Grundriss 1:200



Raumtypologie_Technikum_Schnitt 1:200

OBERER
GEBÄUDEABSCHLUSS

betrachtete Bauteile Technikum

-  Holzstütze
-  Installationsebene
-  tragende Bauteile
-  nicht tragende Bauteile
-  Installationsebene



EDUwood – Raum- und Bauteilkatalog

Klimaschutzpotenzial des Campus der Universität Nürnbergs

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
Legende	4
Raumtypologie Büro	1
B_DA_BSP_exDB	2
B_DA_BSP_fg_exDB	3
B_DA_BST_exDB	4
B_DA_HBV(BST)_exDB	5
B_DA_HBV(BST)_fg_exDB	6
B_DA_HBV(R)_exDB	7
B_DA_HTB_exDB	8
B_DA_K_exDB	9
B_DA_R_exDB.....	10
B_DA_R_fg_exDB.....	11
B_DE_BSP_nE	12
B_DE_BST_nE.....	13
B_DE_HBV(BST)_nE	14
B_DE_HBV(R)_nE	15
B_DE_K_nE	16
B_DE_R_nE	17
Raumtypologie Seminar	18
S_DA_BSP_exDB	19
S_DA_HBV(BST)_exDB	20
S_DA_HBV(R)_exDB	21
S_DA_K_exDB	22
S_DE_HBV(BST)_nE	23
S_DE_HBV(R)_nE	24
S_DE_K_nE	25
Raumtypologie Labor	26
L_DE_HBV(BST)_nE_6.10	27
L_DE_HBV(R)_nE_5.90.....	28
L_DE_K_nE_6.20.....	29

L_DE_K_nE_8.75.....	30
Raumtypologie Veranstaltung.....	31
V_DE_HBV(R)_nE	32
V_DE_HTB_Buche_nE	33
V_DE_HTB_nE	34
Raumtypologie Technikum	35
T_DA_HFWT(Buche)_exDB	36
T_DA_HFWT_exDB	37
T_DA_SDT_gk_exDB	38
T_DA_SDT_gr_exDB	39
T_DA_uT_exDB	40
Flur.....	41
F_DE_BSP_nE.....	41
F_DE_BST_nE.....	42
F_DE_K_nE	43
F_DE_R_nE	44
Außenwand.....	45
AW_HTB	45
Bürowände	46
BW_HTB_GKP	46
BW_HTB_LBP	47
BW_MSt_GKP.....	48
BW_MSt_LBP	49
Flurwände.....	50
FW_BSP_GKP_t.....	50
FW_HTB_GKP	51
FW_HTB_GKP_t.....	52
FW_MSt_GKP.....	53
Trennwände.....	54
TW_HTB_GKP	54
TW_HTB_LBP.....	55
TW_MSt_GKP	56



TW_MSt_LBP.....	57
Literaturverzeichnis.....	58

Legende

Allgemein

CO₂ Kohlenstoffdioxid

Raumtypologie

B Büro

F Flur

L Labor

S Seminar

V Versammlung

T Technikum

konv Konventionell

Bauteilaufbau

AW Außenwand

BW Bürowand

DA Dach

DE Decke

FW Flurwand

TW Trennwand

FE Fenster

PR Pfosten-Riegel-Fassade

erdb erdberührt

Konstruktionsart

BST Brettstapelholz

BSP Brettsperrholz

HFWT Holzfachwerkträger

HBV Holz-Beton-Verbund

HTB Holztafelbau

K Kastendecke

MSt Metallständer

R Rippendecke

SDT Satteldachträger

SB Skelettbau

SFWT	Stahl-Fachwerkträger
SpBHD	Spannbeton-Hohldiele
StB	Stahlbeton

Spezifikation

nE	Nassestrich
tE	Trockenestrich
AHD	Abhangdecke
GKP	Gipskartonplatte
LBP	Lehmbauplatte
t / nt	tragend / nicht tragend
exDB	extensive Dachbegrünung
m	Metallabdeckung
fg	flachgeneigt
gr / gk	gerade / gekrümmt

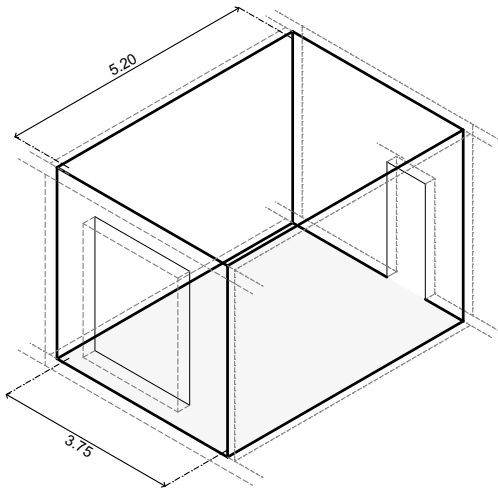
Bauteilbezeichnung

Raumtypologie_Bauteilaufbau_Konstruktionsart_Spezifikation

Ökobilanz

Äq.	Äquivalente
A1–A3	Herstellung
B4	Austausch
C3	Abfallbehandlung
C4	Beseitigung
D	Recyclingpotenzial
EoL	End of Life (Phase C)
GWP	Treibhauspotenzial (en: global warming potential)
LCA	Ökobilanz (en: life cycle analysis)
PERT	Primärenergie erneuerbar
PENRT	Primärenergie nicht erneuerbar

Raumtypologie Büro



Nutzfläche: 18,82 m²

Nutzenergiebedarf:

Heizung: 23,0 kWh/m²a

Kühlung: -

Treibhauspotenzial (GWP):

0,0045 kg CO₂-Äq./m²

Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT):

0,144 MJ/m²

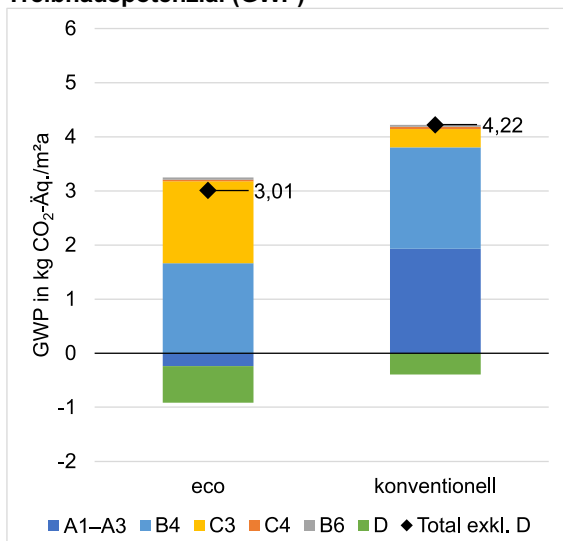
Angaben zu Bauteilen und Technischer Gebäudeausrüstung

	Bauteil	Bauteilkatalog	Technische Gebäudeausrüstung
Horizontale Bauteile	Decke	B_DE_R_nE	<ul style="list-style-type: none"> • Heizung: Heizdecken • Lüftung: Zentrales Lüftungsgerät • Beleuchtung: LED
	Dach	B_DA_K_exDB	
Vertikale Bauteile	Außenwand	AW_HTB	<p>Statische Systemdarstellung</p>
	Fenster	konv_FE	
	Innenwand	BW_MSt_LBP	
	Flurwand	FW_SB(HTB)_GKP	
	Stütze	B_Stütze	

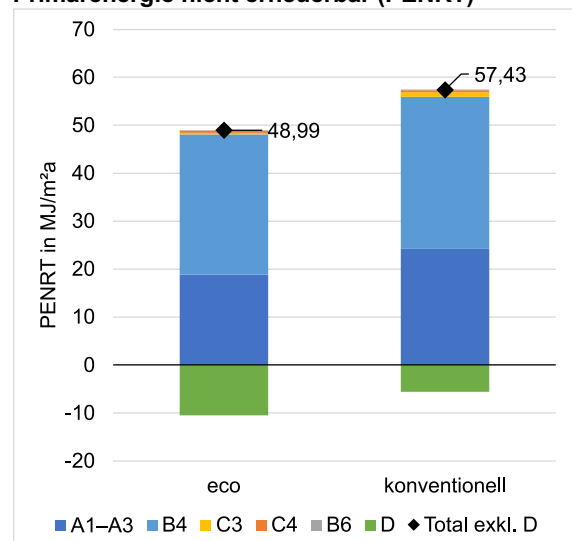
Lebenszyklusbetrachtung

Ökobilanz gemäß DIN EN 15804+A1 und DIN EN 15978

Treibhauspotenzial (GWP)



Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT)



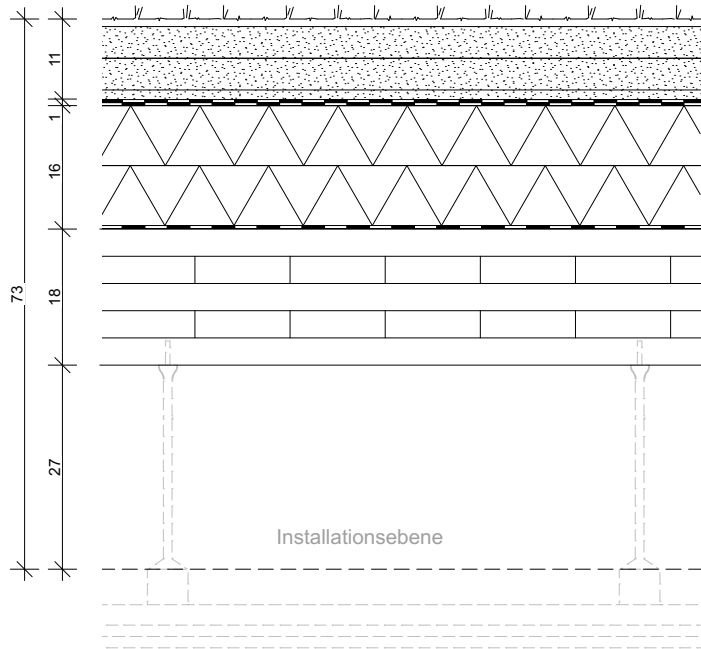
Hinweise:

Die Ergebnisse der Ökobilanz gelten für einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren.

Die angegebenen Bauteile und Werte für GWP und PERNT beziehen sich auf die eco Variante der Raumtypologie.

B_DA_BSP_exDB

Gebäudeabschluss	M 1:10	tragend
-------------------------	--------	----------------



Brandschutz:
 Harte Bedachung

Wärmeschutz (siehe Hinweis):
 $U = 0,171 \text{ W/m}^2\text{K}$

Schallschutz (siehe Hinweis):
 $R_w = 57 \text{ dB}$
 Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 33; Z. 3

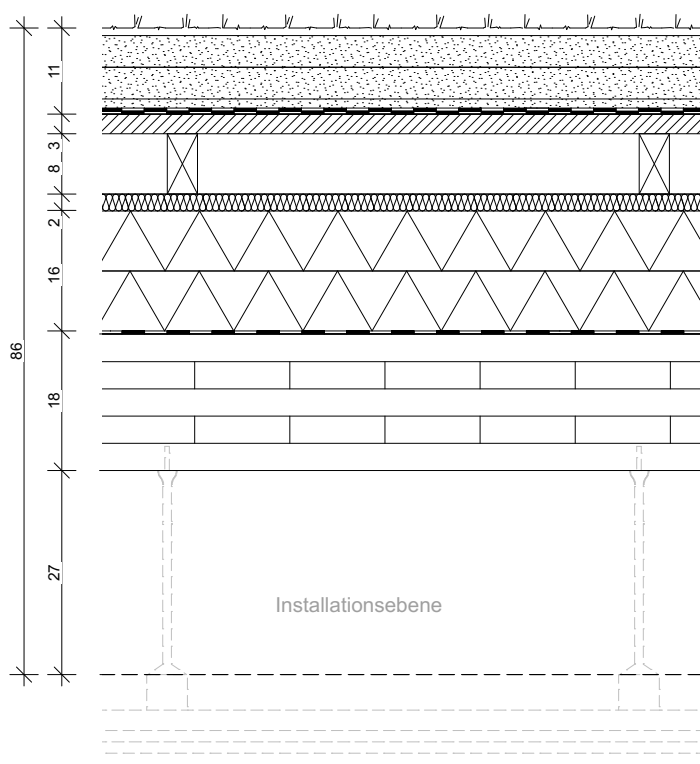
Treibhauspotenzial:
 $51,49 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./m}^2$

Primärenergiebedarf nicht erneuerbar:
 $2916,50 \text{ MJ/m}^2$

Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau

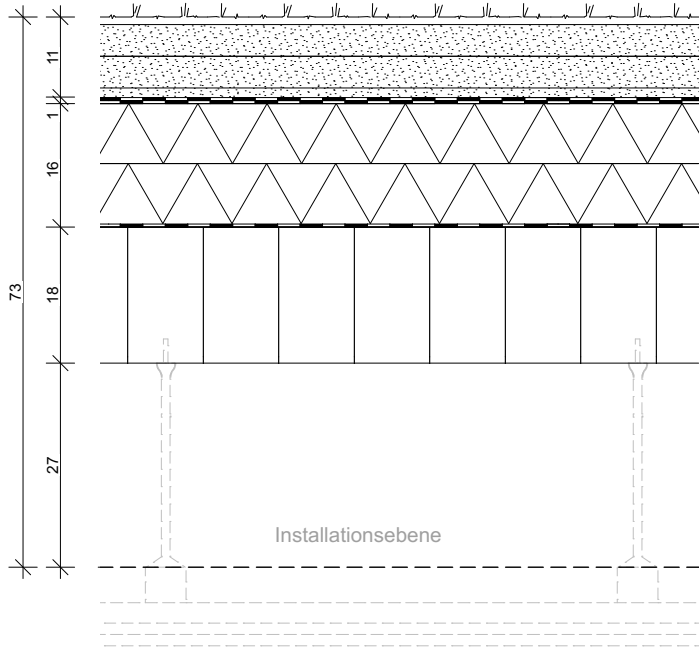
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
150,0	Extensive Dachbegrünung	D
3,0	Dachabdichtungsbahn ($s_d \geq 100 \text{ m}$) (mehrlagig, pflanzliche Basis, bitumen- und halogenfrei, $s_d = 150 \text{ m}$, homogene Verklebung der Stöße untereinander, lose verlegt)	E
160,0	Holzfaserdämmung ($\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$), mehrlagig, mit Gefälledämmung (Ligningebunden, lose verlegt)	E
0,05	Abdichtungsbahn ($s_d \geq 500 \text{ m}$) Dampfsperre, Aluminium Grobkornfolie, $s_d > 2500 \text{ m}$, lose verlegt, luftdichte Verklebung der Stöße, an Attika mit Aluminiumprofil mechanisch befestigt)	A1
180,0	Brettsperrholz 5-lagig CL24	D

Hinweise:
 Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.
 Wärmeschutz: Bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten ist ein Umkehrdachzuschlag und die unterschiedliche Dicke der Gefälledämmung berücksichtigt. Die Grafik zeigt den Schnitt des geringsten Aufbaus.
 Feuchteschutz: Das Diffusionsverhalten wird nach dataholz.eu Flachdach fdmko01-03 nachgewiesen.

B_DA_BSP_fg_exDB		
Gebäudeabschluss	M 1:10	tragend
		<p>Brandschutz: Harte Bedachung</p> <hr/> <p>Wärmeschutz (siehe Hinweis): $U = 0,167 \text{ W/m}^2\text{K}$</p> <hr/> <p>Schallschutz (siehe Hinweis): $R_w = 71 \text{ dB (-31)}$ Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 34; Z. 3</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial: $70,03 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./m}^2$</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: $3191,9 \text{ MJ/m}^2$</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
150,0	Extensive Dachbegrünung	D
3,0	Dachabdichtungsbahn ($s_d \geq 100 \text{ m}$)	E
30,0	Holz Fichte Vollschalung	D
80,0	Holz Fichte Konterlattung (40/80) – Hinterlüftung	D
22,0	Unterdeckplatte - Holzfaser ($\lambda = 0,047 \text{ W/mK}$)	E
160,0	Holzfaserdämmung ($\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$), mehrlagig, mit Gefälledämmung (Ligningebunden, lose verlegt)	E
0,05	Abdichtungsbahn ($s_d \geq 500 \text{ m}$) Dampfsperre, Aluminium Grobkornfolie, $s_d > 2500 \text{ m}$, lose verlegt, luftdichte Verklebung der Stöße, an Attika mit Aluminiumprofil mechanisch befestigt)	A1
180,0	Brettsper Holz 5-lagig CL24	D
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Wärmeschutz: Bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten ist ein Umkehrdachzuschlag und die unterschiedliche Dicke der Gefälledämmung berücksichtigt. Die Grafik zeigt den Schnitt des geringsten Aufbaus.		
Feuchteschutz: Das Diffusionsverhalten wird nach dataholz.eu Flachdach fdmnti01a bzw. geneigtes Dach sdmhbo01 nachgewiesen.		

B_DA_BST_exDB

Gebäudeabschluss	M 1:10	tragend
-------------------------	--------	----------------



Brandschutz:
 Harte Bedachung

Wärmeschutz (siehe Hinweis):
 $U = 0,171 \text{ W/m}^2\text{K}$

Schallschutz (siehe Hinweis):
 $R_w = 57 \text{ dB}$
 Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 33; Z. 3

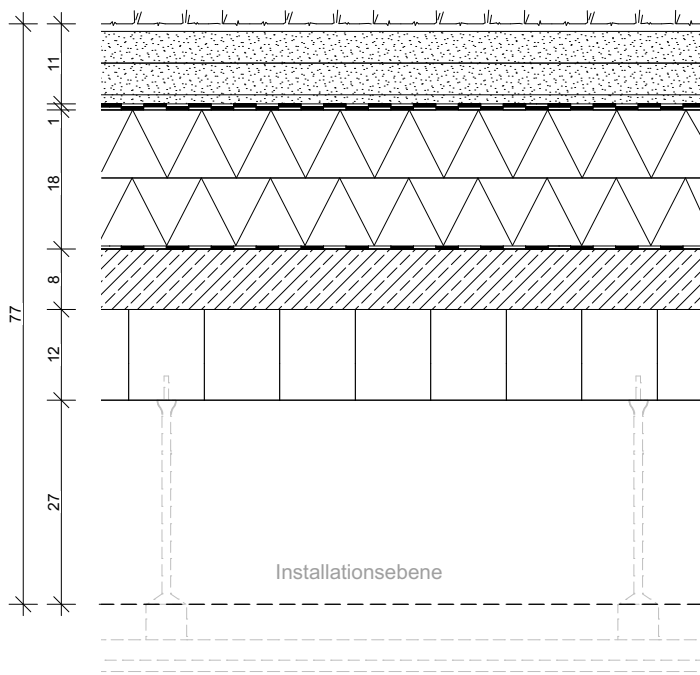
Treibhauspotenzial:
 $54,85 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./m}^2$

Primärenergiebedarf nicht erneuerbar:
 2968 MJ/m^2

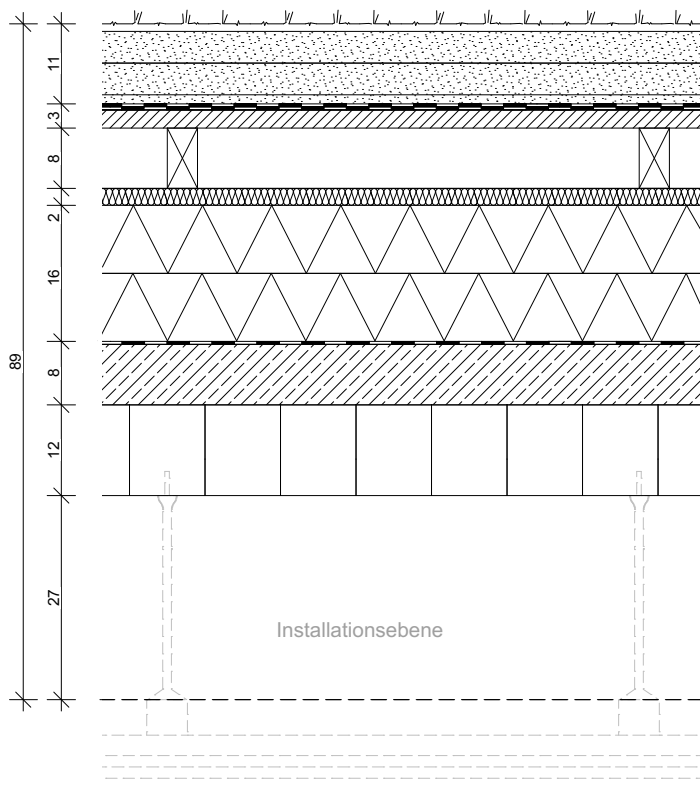
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau

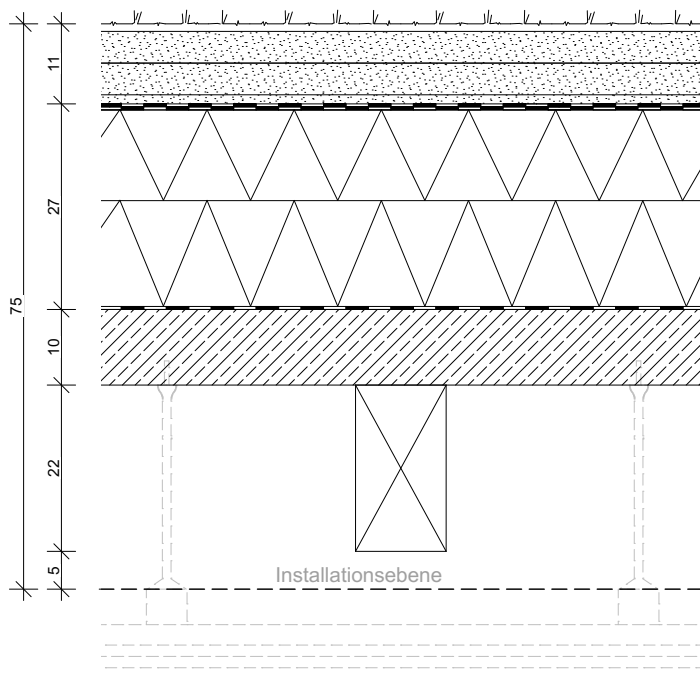
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
150,0	Extensive Dachbegrünung	D
3,0	Dachabdichtungsbahn ($s_d \geq 100 \text{ m}$) (mehrlagig, pflanzliche Basis, bitumen- und halogenfrei, $s_d = 150 \text{ m}$, homogene Verklebung der Stöße untereinander, lose verlegt)	E
160,0	Holzfaserdämmung ($\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$), mehrlagig, mit Gefälledämmung (Ligningebunden, lose verlegt)	E
0,05	Abdichtungsbahn ($s_d \geq 500 \text{ m}$) Dampfsperre, Aluminium Grobkornfolie, $s_d > 2500 \text{ m}$, lose verlegt, luftdichte Verklebung der Stöße, an Attika mit Aluminiumprofil mechanisch befestigt)	A1
180,0	Brettstapelholz, verleimt, GL 24h	D

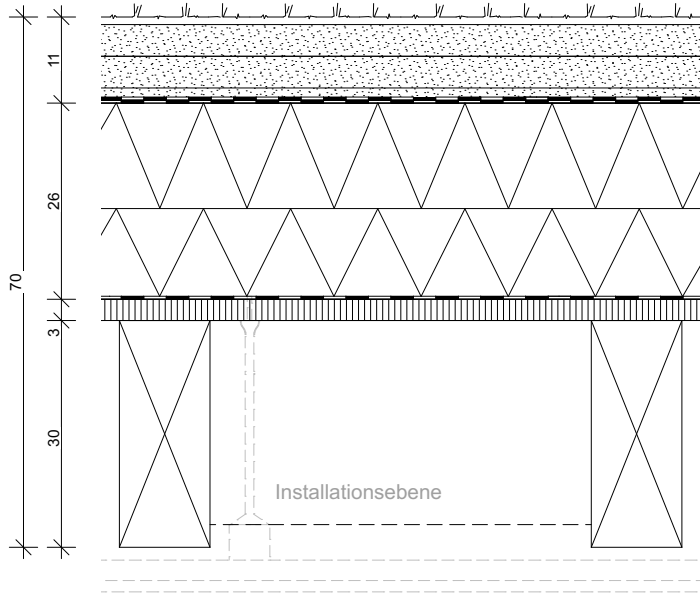
Hinweise:
 Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.
 Wärmeschutz: Bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten ist ein Umkehrdachzuschlag und die unterschiedliche Dicke der Gefälledämmung berücksichtigt. Die Grafik zeigt den Schnitt des geringsten Aufbaus.
 Feuchteschutz: Das Diffusionsverhalten wird nach dataholz.eu Flachdach fdmko01-03 nachgewiesen.

B_DA_HBV(BST)_exDB		
Gebäudeabschluss	M 1:10	tragend
<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 2; padding-left: 20px;"> <p>Brandschutz: Harte Bedachung</p> <hr/> <p>Wärmeschutz (siehe Hinweis): $U = 0,1701 \text{ W/m}^2\text{K}$</p> <hr/> <p>Schallschutz (siehe Hinweis): $R_w = 48,4 \text{ dB}$ Nach DIN 4109-32, nur Beton angesetzt</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial: $84,23 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./m}^2$</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: $3182,40 \text{ MJ/m}^2$</p> </div> </div>		

Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
150,0	Extensive Dachbegrünung	D
3,0	Dachabdichtungsbahn ($s_d \geq 100 \text{ m}$)	E
180,0	Holzfaserdämmung ($\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$), mehrlagig, mit Gefälledämmung	E
0,05	Abdichtungsbahn ($s_s \geq 500 \text{ m}$)	A1
80,0	Beton C30/37	A1
120,0	Brettstapelelement, gedübelt, GL 24h	D
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Wärmeschutz: Bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten ist ein Umkehrdachzuschlag und die unterschiedliche Dicke der Gefälledämmung berücksichtigt. Die Grafik zeigt den Schnitt des geringsten Aufbaus.		
Feuchteschutz: Das Diffusionsverhalten wird nach DIN 4108-3 5.3.3.2 e) Bild 8 nachgewiesen.		

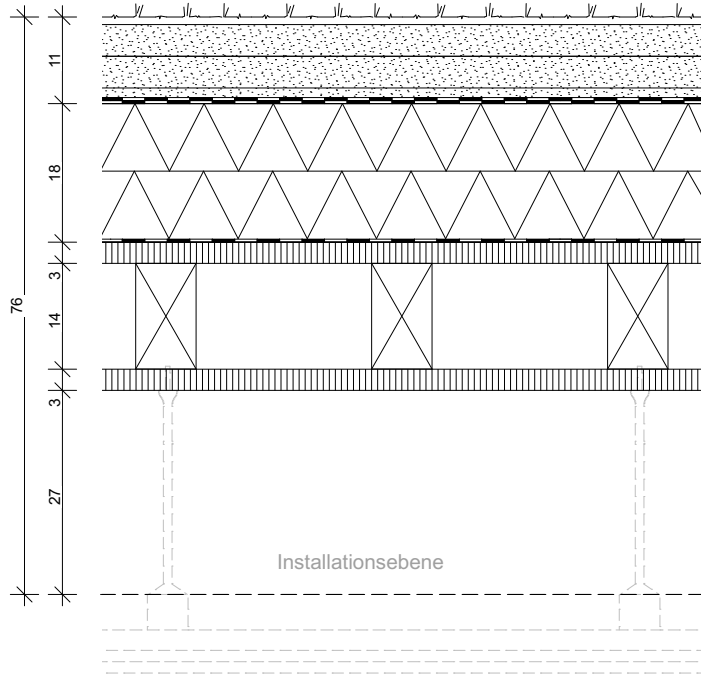
B_DA_HBV(BST)_fg_exDB		
Gebäudeabschluss	M 1:10	tragend
<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 2; padding-left: 20px;"> <p>Brandschutz: Harte Bedachung</p> <hr/> <p>Wärmeschutz (siehe Hinweis): $U = 0,171 \text{ W/m}^2\text{K}$</p> <hr/> <p>Schallschutz (siehe Hinweis): $R_w = 48,4 \text{ dB}$ Nach DIN 4109-32, nur Beton angesetzt</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial: $96,23 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./m}^2$</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: $3319,8 \text{ MJ/m}^2$</p> </div> </div>		
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
150,0	Extensive Dachbegrünung	D
3,0	Dachabdichtungsbahn ($s_d \geq 100 \text{ m}$)	E
30,0	Holz Fichte Vollschalung	D
80,0	Holz Fichte Konterlattung (40/80) – Hinterlüftung	D
22,0	Unterdeckplatte - Holzfaser ($\lambda = 0,047 \text{ W/mK}$)	E
160,0	Holzfaserdämmung ($\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$), mehrlagig	E
0,05	Abdichtungsbahn ($s_s \geq 500 \text{ m}$)	A1
80,0	Beton C30/37	A1
120,0	Brettstapelelement, gedübelt, GL 24h	D
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Wärmeschutz: Bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten ist ein Umkehrdachzuschlag und die unterschiedliche Dicke der Gefälledämmung berücksichtigt. Die Grafik zeigt den Schnitt des geringsten Aufbaus.		
Feuchteschutz: Das Diffusionsverhalten wird vereinfacht nach DIN 4108-3 5.3.3.2 e) Bild 8 nachgewiesen. Es muss eine ausreichende Hinterlüftung sichergestellt sein.		

B_DA_HBV(R)_exDB		
Gebäudeabschluss	M 1:10	tragend
		<p>Brandschutz: Harte Bedachung</p> <hr/> <p>Wärmeschutz (siehe Hinweis): $U = 0,1718 \text{ W/m}^2\text{K}$</p> <hr/> <p>Schallschutz (siehe Hinweis): $R_w = 51,3 \text{ dB}$ Nach DIN 4109-32, nur Beton angesetzt</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial: 104,45 kg CO₂-Äq./m²</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: 3590,30 MJ/m²</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
150,0	Extensive Dachbegrünung	D
3,0	Dachabdichtungsbahn ($s_d \geq 100 \text{ m}$)	E
260,0	Holzfaserdämmung ($\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$), mehrlagig, mit Gefälledämmung	E
0,05	Abdichtungsbahn ($s_d \geq 500 \text{ m}$)	A1
100,0	Beton C30/37	A1
220,0	Brettschichtholz, GL 24h (120/220) ($e = 0,94$)	D
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Wärmeschutz: Bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten ist ein Umkehrdachzuschlag und die unterschiedliche Dicke der Gefälledämmung berücksichtigt. Die Grafik zeigt den Schnitt des geringsten Aufbaus.		
Feuchteschutz: Das Diffusionsverhalten wird nach DIN 4108-3 5.3.3.2e) Bild 8 nachgewiesen.		

B_DA_HTB_exDB		
Gebäudeabschluss	M 1:10	tragend
		<p>Brandschutz: Harte Bedachung</p> <hr/> <p>Wärmeschutz (siehe Hinweis): $U = 0,1735 \text{ W/m}^2\text{K}$</p> <hr/> <p>Schallschutz (siehe Hinweis): $R_w = 70 \text{ dB } (-22;0)$ Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 33; Z. 1</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial: $78,78 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./m}^2$</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: $3619,80 \text{ MJ/m}^2$</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
150,0	Extensive Dachbegrünung	D
3,0	Dachabdichtungsbahn ($s_d \geq 100 \text{ m}$)	E
260,0	Holzfaserdämmung ($\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$), mehrlagig, mit Gefälledämmung	E
0,05	Abdichtungsbahn ($s_d \geq 500 \text{ m}$)	A1
28,0	OSB	D
300,0	Brettschichtholzträger GL 24h (120/300) ($e = 0,625$)	D
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Wärmeschutz: Bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten ist ein Umkehrdachzuschlag und die unterschiedliche Dicke der Gefälledämmung berücksichtigt. Die Grafik zeigt den Schnitt des geringsten Aufbaus.		
Feuchteschutz: Das Diffusionsverhalten wird nach DIN 68800-2 Anhang A Bild A.17 nachgewiesen.		

B_DA_K_exDB

Gebäudeabschluss	M 1:10	tragend
-------------------------	--------	----------------



Brandschutz:
 Harte Bedachung

Wärmeschutz (siehe Hinweis):
 $U = 0,1751 \text{ W/m}^2\text{K}$

Schallschutz (siehe Hinweis):
 $R_w = 53 \text{ dB} (-9;0)$
 Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 33; Z. 13

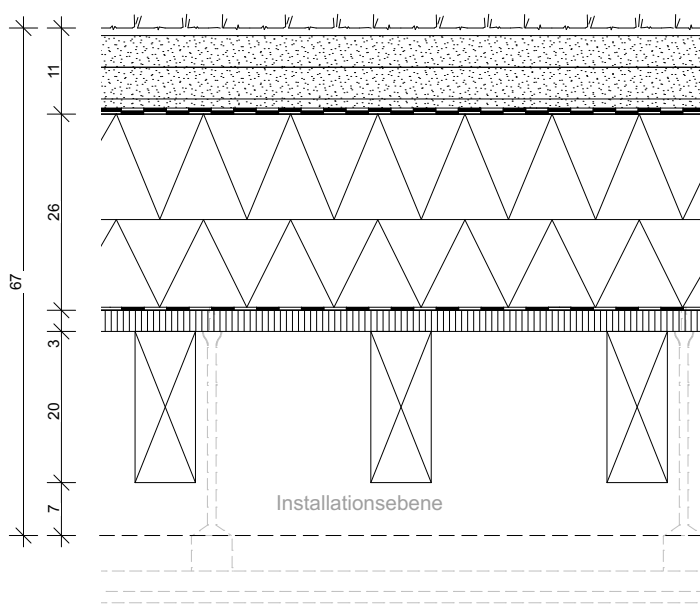
Treibhauspotenzial:
 $45,74 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./m}^2$

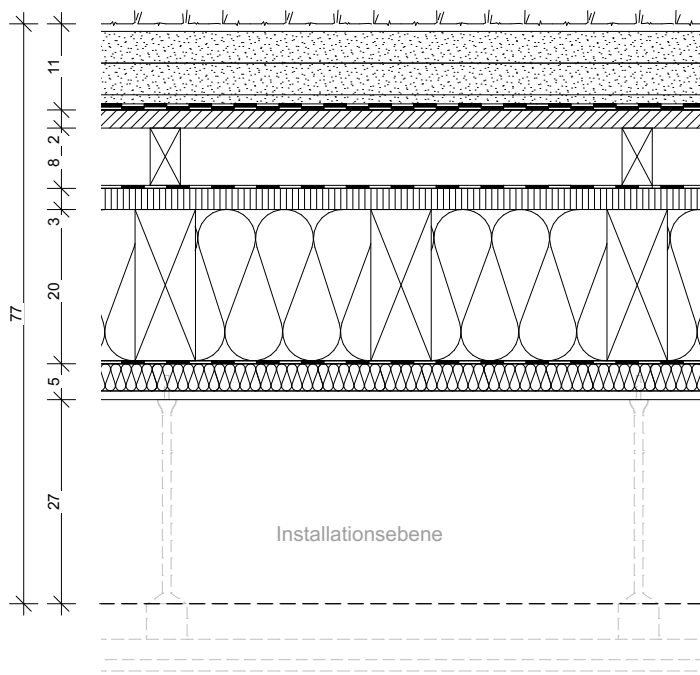
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar:
 2880 MJ/m^2

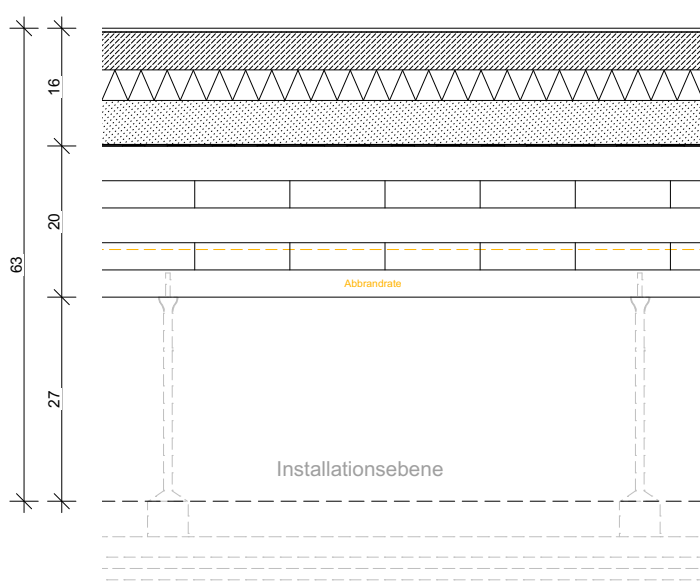
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau

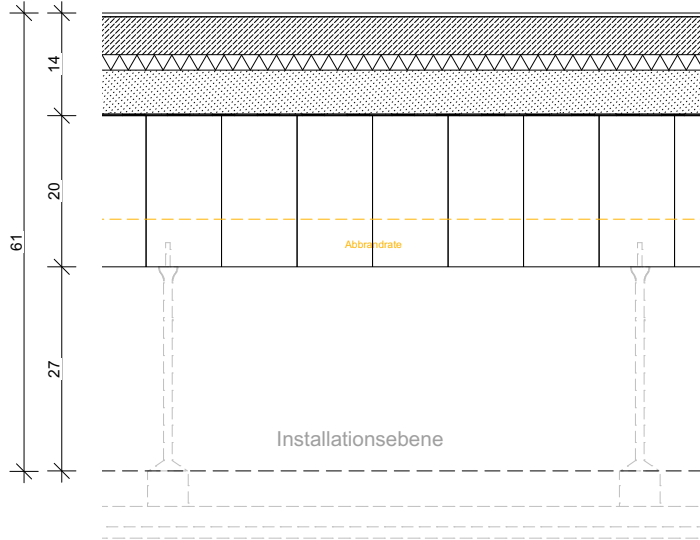
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
150,0	Extensive Dachbegrünung	D
3,0	Dachabdichtungsbahn ($s_d \geq 100 \text{ m}$)	E
180,0	Holzfaserdämmung ($\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$), mehrlagig, mit Gefälledämmung	E
0,05	Abdichtungsbahn ($s_d \geq 500 \text{ m}$)	A1
28,0	Dreischichtplatte auf Trägerplatte geklebt	D
140,0	Brettschichtholzträger GL 24h (80/140) ($e = 0,3125$)	D
28,0	Dreischichtplatte auf Trägerplatte geklebt	D

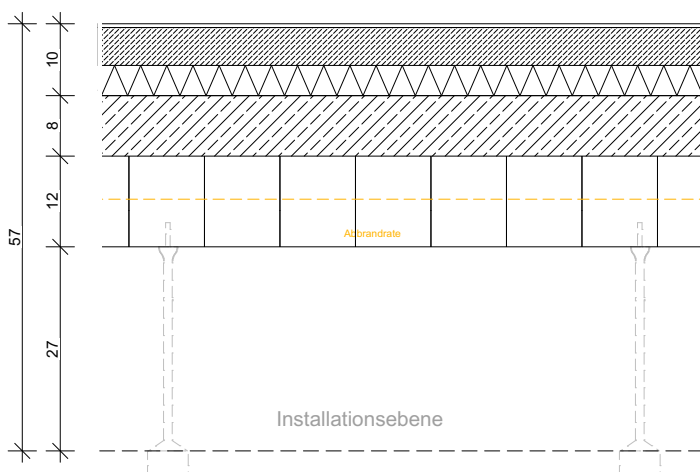
Hinweise:
 Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.
 Wärmeschutz: Bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten ist ein Umkehrdachzuschlag und die unterschiedliche Dicke der Gefälledämmung berücksichtigt. Die Grafik zeigt den Schnitt des geringsten Aufbaus.
 Feuchteschutz: Das Diffusionsverhalten wird nach DIN 68800-2 Anhang A Bild A.17 nachgewiesen.

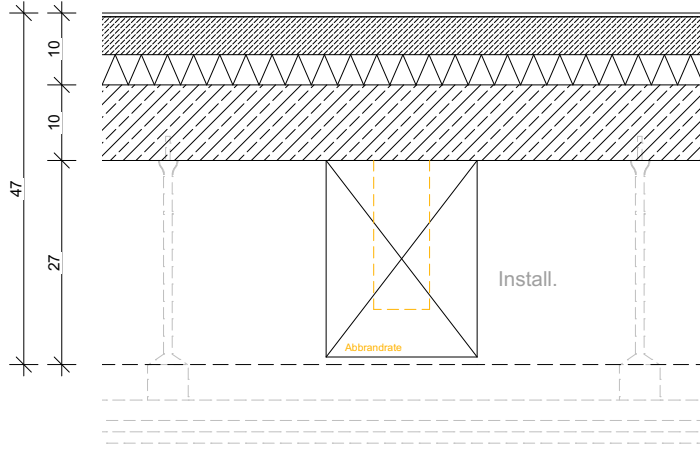
B_DA_R_exDB		
Gebäudeabschluss	M 1:10	tragend
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">  </div> <div style="width: 50%; padding-left: 20px;"> <p>Brandschutz: Harte Bedachung</p> <hr/> <p>Wärmeschutz (siehe Hinweis): $U = 0,1728 \text{ W/m}^2\text{K}$</p> <hr/> <p>Schallschutz (siehe Hinweis): $R_w = 53 \text{ dB (-9)}$ Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 33; Z. 13</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial: $72,56 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./m}^2$</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: $3444,50 \text{ MJ/m}^2$</p> </div> </div>		
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
150,0	Extensive Dachbegrünung	D
3,0	Dachabdichtungsbahn ($s_d \geq 100 \text{ m}$)	E
260,0	Holzfaserdämmung ($\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$), mehrlagig, mit Gefälledämmung	E
0,05	Abdichtungsbahn ($s_d \geq 500 \text{ m}$)	A1
28,0	Dreischichtplatte auf Trägerplatte geklebt	D
200,0	Brettschichtholzträger GL 24h (80/200) ($e = 0,3125$)	D
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Wärmeschutz: Bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten ist ein Umkehrdachzuschlag und die unterschiedliche Dicke der Gefälledämmung berücksichtigt. Die Grafik zeigt den Schnitt des geringsten Aufbaus.		
Feuchteschutz: Das Diffusionsverhalten wird nach DIN 68800-2 Anhang A Bild A.18 nachgewiesen.		

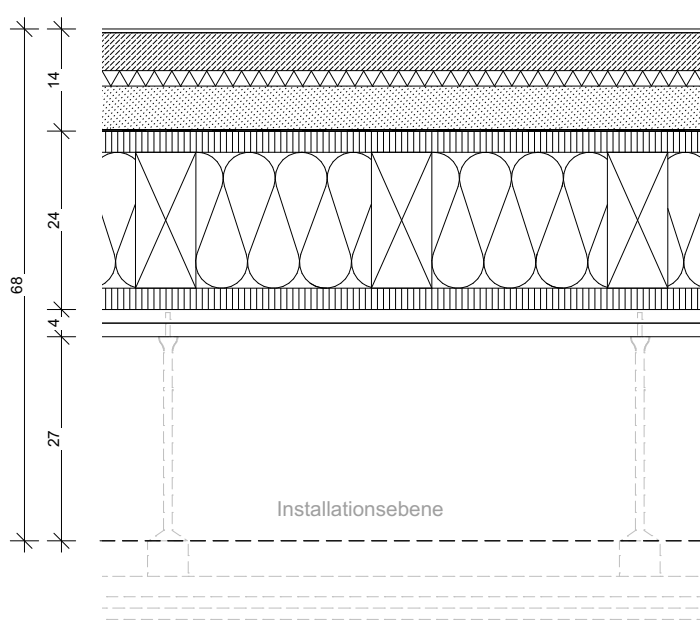
B_DA_R_fg_exDB		
Gebäudeabschluss	M 1:10	tragend
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">  </div> <div style="width: 50%; padding-left: 20px;"> <p>Brandschutz: Harte Bedachung</p> <hr/> <p>Wärmeschutz (siehe Hinweis): $U = 0,171 \text{ W/m}^2\text{K}$</p> <hr/> <p>Schallschutz (siehe Hinweis): $R_w = 49 \text{ dB } (-2;-7)$ Nach dataholz.eu Flachdach fdrhbi08a-02</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial: 10,80 kg CO₂-Äq./m²</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: 2094,50 MJ/m²</p> </div> </div>		
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
150,0	Extensive Dachbegrünung	D
3,0	Dachabdichtungsbahn ($s_d \geq 100 \text{ m}$)	E
30,0	Holz Fichte Vollschalung	D
80,0	Holz Fichte Konterlattung (40/80) – Hinterlüftung	D
0,5	Unterdeckbahn ($s_d \leq 0,3 \text{ m}$)	E
28,0	Dreischichtplatte auf Trägerplatte geklebt	D
220,0	Brettschichtholzträger GL 24h (80/220) ($e = 0,625$)	D
220,0	Holzfaserdämmung ($\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$)	E
0,5	Dampfbremse ($s_d \geq 1 \text{ m}$)	E
40,0	Holz Fichte Querlattung (40/60)	D
40,0	Holzfasermatte ($\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$)	E
12,5	Gipsbauplatte Typ A (1 x 12,5 mm)	A2
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Feuchteschutz: Das Diffusionsverhalten wird nach dataholz.eu Flachdach fdrhbi08a-02 nachgewiesen.		

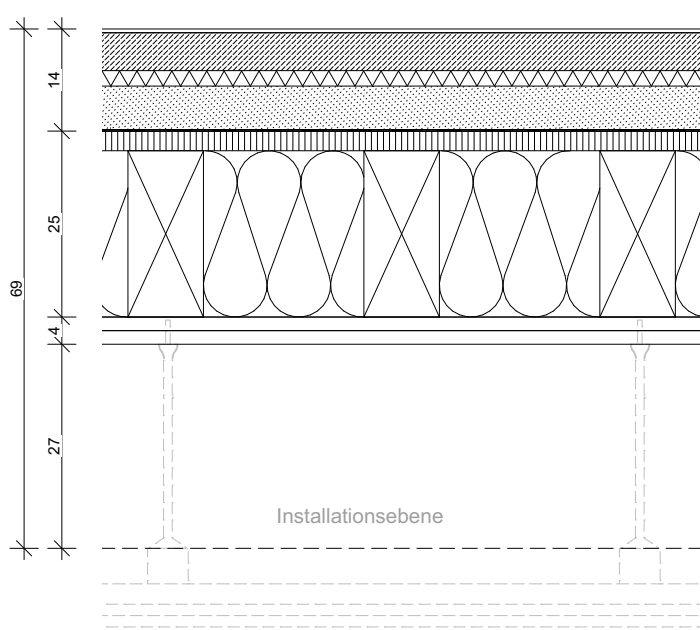
B_DE_BSP_nE		
Geschossdecke	M 1:10	tragend
		<p>Brandschutz (siehe Hinweis):</p> <p>REI90</p> <p>nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL 2022</p>
		<p>Wärmeschutz:</p> <p>keine Anforderung</p>
		<p>Schallschutz (siehe Hinweis):</p> <p>$R_w = 73 \text{ dB} (-16; -32)$</p> <p>$L_{n,w} = 40 \text{ dB} (9)$</p> <p>Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 26; Z. 8</p>
		<p>Treibhauspotenzial:</p> <p>93,77 kg CO₂-Äq./m²</p>
		<p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar:</p> <p>1898,10 MJ/m²</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
5,0	Bodenbelag Linoleum	C
50,0	Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)	A1
40,0	Trittschalldämmung ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)	A1
60,0	Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$)	A1
	Rieselschutz	B
200,0	Brettsperrholz 5-lagig CL24	D
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß und der bewertete Norm-Trittschallpegel können aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Brandschutz: Aufgrund des vorliegenden Sonderbautatbestands ist für die Anwendung dieses Bauteils nach MHolzBauRL 2022 und MHolzBauRL vsl.2023 eine Abweichung nach Art. 63 BayBo 2007 notwendig.		
Brandschutz: Bei Anordnung einer Installationsebene (abgehängte Decke) ist die Massivholzdecke wie eine Massivholzdecke nach MHolzBauRL 2022 mit brennbarer Bauteiloberfläche von unten zu betrachten. Trotz der baurechtlich möglichen Anwendung wird eine Bekleidung ^a empfohlen. (nicht kontrollierbarer Hohlraum)		
Brandschutz: Eine abweichungsfreie Anwendung ist nach MHolzBauRL vsl.2023 durch die Ergänzung einer brandschutztechnisch notwendigen Bekleidung ^a von 2 x 18 mm möglich.		
^a Gipskartonplatten Typ GKF nach DIN 18180 i.V.m. DIN EN 520 oder alternativ Gipsfaserplatten mit $\rho \geq 1100 \text{ kg/m}^3$ nach ETA		

B_DE_BST_nE		
Geschossdecke	M 1:10	tragend
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">  </div> <div style="width: 50%;"> <p>Brandschutz (siehe Hinweis): REI90 nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL 2022</p> <hr/> <p>Wärmeschutz: keine Anforderung</p> <hr/> <p>Schallschutz (siehe Hinweis): $R_w = 74 \text{ dB} (-9; -24)$ $L_{n,w} = 40 \text{ dB} (9)$ Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 24; Z. 5</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial: 94,76 kg CO₂-Äq./m²</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: 1919 MJ/m²</p> </div> </div>		
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
5,0	Bodenbelag Linoleum	C
50,0	Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)	A1
40,0	Trittschalldämmung ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)	A1
60,0	Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$)	A1
	Rieselschutz	B
200,0	Brettstapelholz, verleimt, GL 24h	D
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß und der bewertete Norm-Trittschallpegel können aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Brandschutz: Aufgrund des vorliegenden Sonderbautatbestands ist für die Anwendung dieses Bauteils nach MHolzBauRL 2022 und MHolzBauRL vsl.2023 eine Abweichung nach Art. 63 BayBo 2007 notwendig.		
Brandschutz: Bei Anordnung einer Installationsebene (abgehängte Decke) ist die Massivholzdecke wie eine Massivholzdecke nach MHolzBauRL 2022 mit brennbarer Bauteiloberfläche von unten zu betrachten. Trotz der baurechtlich möglichen Anwendung wird eine Bekleidung ^a empfohlen. (nicht kontrollierbarer Hohlraum)		
Brandschutz: Eine abweichungsfreie Anwendung ist nach MHolzBauRL vsl.2023 durch die Ergänzung einer brandschutztechnisch notwendigen Bekleidung ^a von 2 x 18 mm möglich.		
^a Gipskartonplatten Typ GKF nach DIN 18180 i.V.m. DIN EN 520 oder alternativ Gipsfaserplatten mit $\rho \geq 1100 \text{ kg/m}^3$ nach ETA		

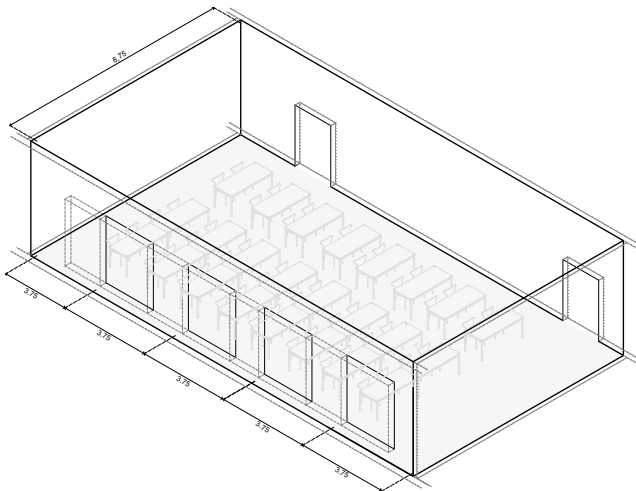
B_DE_HBV(BST)_nE																				
Geschossdecke	M 1:10	tragend																		
		<p>Brandschutz (siehe Hinweis):</p> <p>REI90 nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL 2022</p>																		
		<p>Wärmeschutz:</p> <p>keine Anforderung</p>																		
		<p>Schallschutz (siehe Hinweis):</p> <p>$R_w = 67 \text{ dB} (-9;-22)$ $L_{n,w} = 46 \text{ dB} (5)$ Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 29 Z. 1</p>																		
		<p>Treibhauspotenzial:</p> <p>113,10 kg CO₂-Äq./m²</p>																		
		<p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar:</p> <p>1925,90 MJ/m²</p>																		
<p>Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Dicke [mm]</th> <th>Baustoff</th> <th>BVK</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5,0</td> <td>Bodenbelag Linoleum</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>50,0</td> <td>Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)</td> <td>A1</td> </tr> <tr> <td>40,0</td> <td>Trittschalldämmung MW ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)</td> <td>A1</td> </tr> <tr> <td>80,0</td> <td>Beton C30/37</td> <td>A1</td> </tr> <tr> <td>120,0</td> <td>Brettstapelelement, gedübelt, GL 24h</td> <td>D</td> </tr> </tbody> </table>			Dicke [mm]	Baustoff	BVK	5,0	Bodenbelag Linoleum	C	50,0	Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)	A1	40,0	Trittschalldämmung MW ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)	A1	80,0	Beton C30/37	A1	120,0	Brettstapelelement, gedübelt, GL 24h	D
Dicke [mm]	Baustoff	BVK																		
5,0	Bodenbelag Linoleum	C																		
50,0	Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)	A1																		
40,0	Trittschalldämmung MW ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)	A1																		
80,0	Beton C30/37	A1																		
120,0	Brettstapelelement, gedübelt, GL 24h	D																		
<p>Hinweise:</p> <p>Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß und der bewertete Norm-Trittschallpegel können aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.</p> <p>Brandschutz: Aufgrund des vorliegenden Sonderbautatbestands ist für die Anwendung dieses Bauteils nach MHolzBauRL 2022 und MHolzBauRL vsl.2023 eine Abweichung nach Art. 63 BayBo 2007 notwendig.</p> <p>Brandschutz Bei Anordnung einer Installationsebene (abgehängte Decke) ist die Massivholzdecke wie eine Massivholzdecke nach MHolzBauRL 2022 mit brennbarer Bauteiloberfläche von unten zu betrachten. Trotz der baurechtlich möglichen Anwendung wird eine Bekleidung^a empfohlen. (nicht kontrollierbarer Hohlraum)</p> <p>Brandschutz: Eine abweichungsfreie Anwendung ist nach MHolzBauRL vsl.2023 durch die Ergänzung einer brandschutztechnisch notwendigen Bekleidung^a von 2 x 18 mm möglich.</p> <p>^a Gipskartonplatten Typ GKF nach DIN 18180 i.V.m. DIN EN 520 oder alternativ Gipsfaserplatten mit $\rho \geq 1100 \text{ kg/m}^3$ nach ETA</p>																				

B_DE_HBV(R)_nE		
Geschossdecke	M 1:10	tragend
		<p>Brandschutz (siehe Hinweis):</p> <p>REI90 nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL 2022</p> <hr/> <p>Wärmeschutz:</p> <p>keine Anforderung</p> <hr/> <p>Schallschutz (siehe Hinweis):</p> <p>$R_w = 69 \text{ dB} (-6; -20)$ $L_{n,w} = 49 \text{ dB} (2)$ Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 29 Z. 3</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial:</p> <p>108,70 kg CO₂-Äq./m²</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar:</p> <p>1803,70 MJ/m²</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
5,0	Bodenbelag Linoleum	C
50,0	Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)	A1
40,0	Trittschalldämmung MW ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)	A1
100,0	Beton C30/37	A1
260,0	Brettschichtholz, GL 24h (200/260, e = 0,94 m)	D
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß und der bewertete Norm-Trittschallpegel können aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Brandschutz: Aufgrund des vorliegenden Sonderbautatbestands ist für die Anwendung dieses Bauteils nach MHolzBauRL 2022 und MHolzBauRL vsl.2023 eine Abweichung nach Art. 63 BayBo 2007 notwendig.		
Brandschutz: Bei Anordnung einer Installationsebene (abgehängte Decke) ist die Massivholzdecke wie eine Massivholzdecke nach MHolzBauRL 2022 mit brennbarer Bauteiloberfläche von unten zu betrachten. Trotz der baurechtlich möglichen Anwendung wird eine Bekleidung ^a empfohlen. (nicht kontrollierbarer Hohlraum)		
Brandschutz: Eine abweichungsfreie Anwendung ist nach MHolzBauRL vsl.2023 durch die Ergänzung einer brandschutztechnisch notwendigen Bekleidung ^a von 2 x 18 mm möglich.		
^a Gipskartonplatten Typ GKF nach DIN 18180 i.V.m. DIN EN 520 oder alternativ Gipsfaserplatten mit $\rho \geq 1100 \text{ kg/m}^3$ nach ETA		

B_DE_K_nE		
Geschossdecke	M 1:10	tragend
		<p>Brandschutz (siehe Hinweis):</p> <p>REI90</p> <p>nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL 2022 VwV TB BW Anlage A2.2/BW2 Abschnitt 4.1/ EDIN 4102-2/A1</p>
		<p>Wärmeschutz:</p> <p>keine Anforderung</p>
		<p>Schallschutz (siehe Hinweis):</p> <p>$R_w = 74 \text{ dB} (-11; -26)$</p> <p>$L_{n,w} = 43 \text{ dB} (6)$</p> <p>Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 24; Z. 5</p>
		<p>Treibhauspotenzial:</p> <p>88,05 kg CO₂-Äq./m²</p>
		<p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar:</p> <p>1846,10 MJ/m²</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
5,0	Bodenbelag Linoleum	C
50,0	Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)	A1
20,0	Trittschalldämmung MW ($s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$)	A1
60,0	Splitschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$)	A1
	Rieselschutz	B
28,0	Dreischichtplatte, auf Träger geklebt	D
180,0	Brettschichtholz Träger GL 24h (80/180, $e = 0,3125 \text{ m}$)	D
180,0	Gefachdämmung Mineralwolle	A1
28,0	Dreischichtplatte, auf Träger geklebt	D
36,0	Gipskartonplatte Typ GKF (2 x 18 mm) ^a	A2
^a Gipskartonplatten Typ GKF nach DIN 18180 i.V.m. DIN EN 520 oder alternativ Gipsfaserplatten mit $\rho \geq 1100 \text{ kg/m}^3$ nach ETA		
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß und der bewertete Norm-Trittschallpegel können aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Brandschutz: Aufgrund des vorliegenden Sonderbautatbestands ist für die Anwendung dieses Bauteils nach MHolzBauRL 2022 i.V.m. VwVTBBW Anlage A2.2/ BW2 Abschnitt 4.1/ EDIN 4102-4 A1 eine Abweichung nach Art. 63 BayBo 2007 notwendig.		
Brandschutz: Eine abweichungsfreie Anwendung ist nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL vsl.2023 möglich.		

B_DE_R_nE		
Geschossdecke	M 1:10	tragend
		<p>Brandschutz (siehe Hinweis):</p> <p>REI90 nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL 2022 VwV TB BW Anlage A2.2/BW2 Abschnitt 4.1/ EDIN 4102-2/A1</p> <hr/> <p>Wärmeschutz:</p> <p>keine Anforderung</p> <hr/> <p>Schallschutz (siehe Hinweis):</p> <p>$R_w = 74 \text{ dB} (-11; -26)$ $L_{n,w} = 43 \text{ dB} (6)$ Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab.24; Z.5</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial:</p> <p>84,59 kg CO₂-Äq./m²</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar:</p> <p>1798,30 MJ/m²</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
5,0	Bodenbelag Linoleum	C
50,0	Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)	A1
20,0	Trittschalldämmung MW ($s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$)	A1
60,0	Splitschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$)	A1
	Rieselschutz	B
28,0	Dreischichtplatte, auf Träger geklebt	D
220,0	Brettschichtholz Träger GL 24h (100/220, $e = 0,3125 \text{ m}$)	D
220,0	Gefachdämmung Mineralwolle	A1
36,0	Gipskartonplatte Typ GKF (2 x 18 mm) ^a	A2
^a Gipskartonplatten Typ GKF nach DIN 18180 i.V.m. DIN EN 520 oder alternativ Gipsfaserplatten mit $\rho \geq 1100 \text{ kg/m}^3$ nach ETA		
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß und der bewertete Norm-Trittschallpegel können aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Brandschutz: Aufgrund des vorliegenden Sonderbautatbestands ist für die Anwendung dieses Bauteils nach MHolzBauRL 2022 i.V.m. VwV TB BW Anlage A2.2/ BW2 Abschnitt 4.1/ EDIN 4102-2/A1 eine Abweichung nach Art. 63 BayBo 2007 notwendig.		
Brandschutz: Eine abweichungsfreie Anwendung ist nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL vsI.2023 möglich.		

Raumtypologie Seminar



Nutzfläche: 151,81 m²

Nutzenergiebedarf:

Heizung: 42,6 kWh/m²a

Kühlung: 6,9 kWh/m²a

Treibhauspotenzial (GWP):

0,091 kg CO₂-Äq./m²a

Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT):

0,294 MJ/m²a

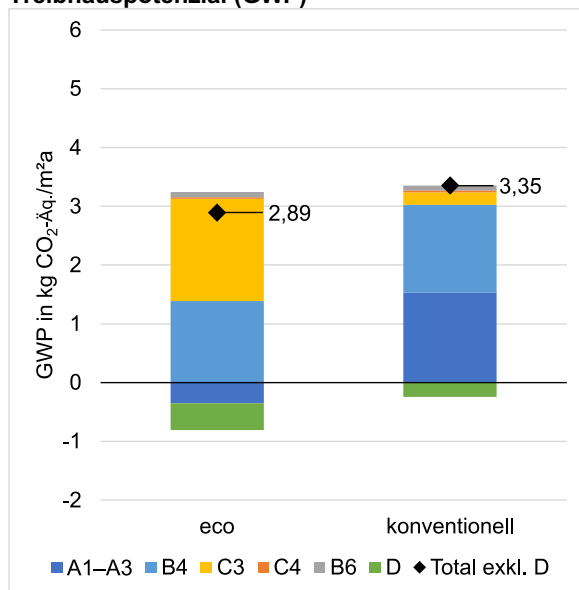
Angaben zu Bauteilen und Technischer Gebäudeausrüstung

	Bauteil	Bauteilkatalog	Technische Gebäudeausrüstung
Horizontale Bauteile	Decke	S_DE_K_nE	<ul style="list-style-type: none"> • Heizung / Kühlung: Heiz- und Kühldecken • Lüftung: Zentrales Lüftungsgerät • Beleuchtung: LED
	Dach	S_DA_K_exDB	
Vertikale Bauteile	Außenwand	AW_HTB	Statische Systemdarstellung
	Fenster	konv_FE	
	Innenwand	BW_MSt_LBP	
	Flurwand	FW_SB(HTB)_GKP	
	Stütze	B_Stütze	

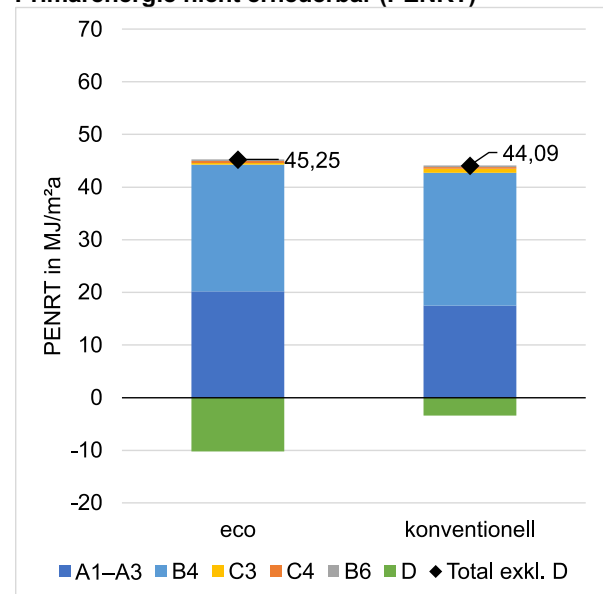
Lebenszyklusbetrachtung

Ökobilanz gemäß DIN EN 15804+A1 und DIN EN 15978

Treibhauspotenzial (GWP)



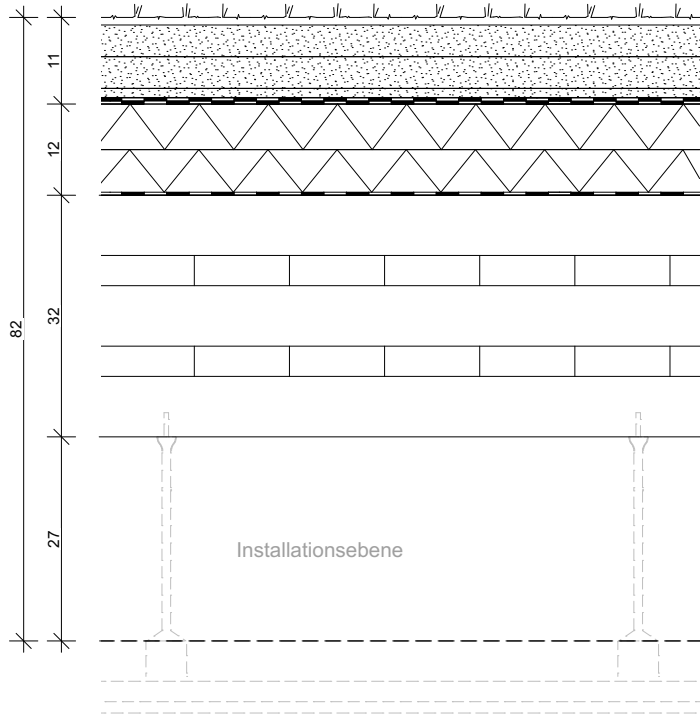
Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT)

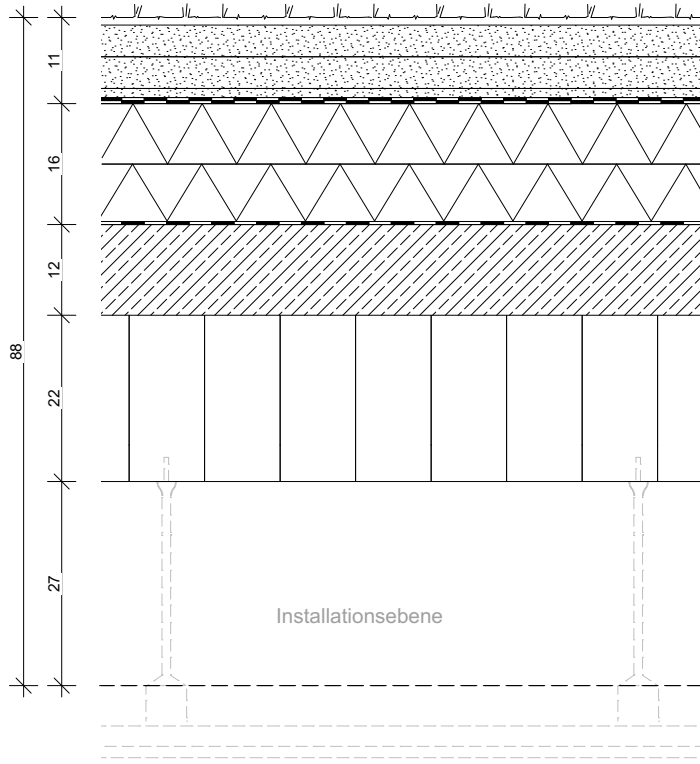


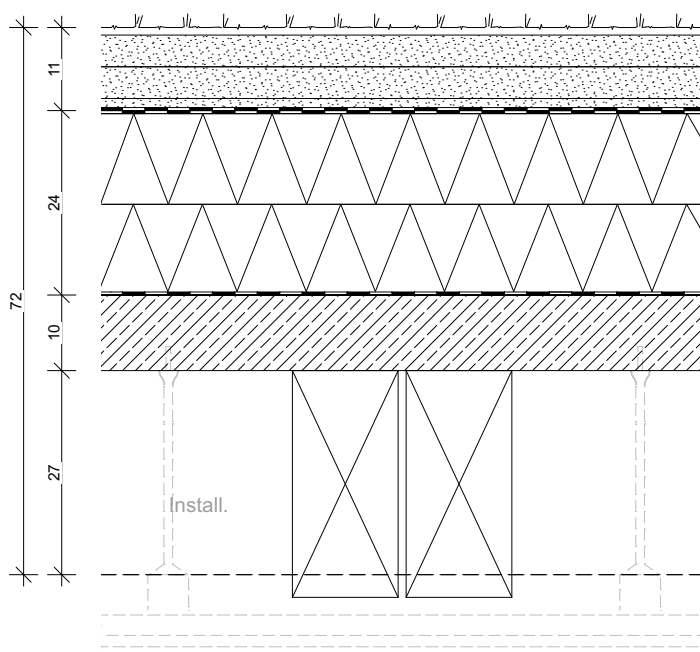
Hinweise:

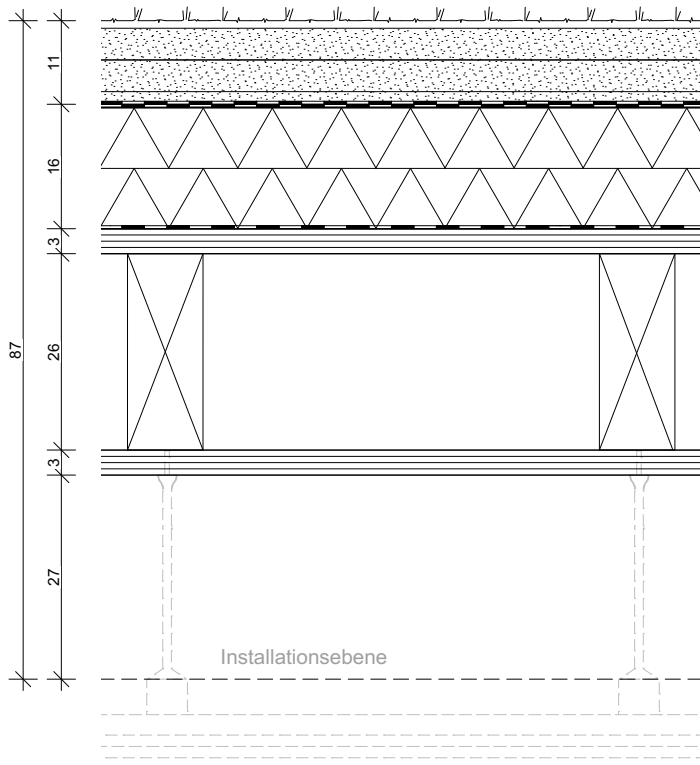
Die Ergebnisse der Ökobilanz gelten für einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren.

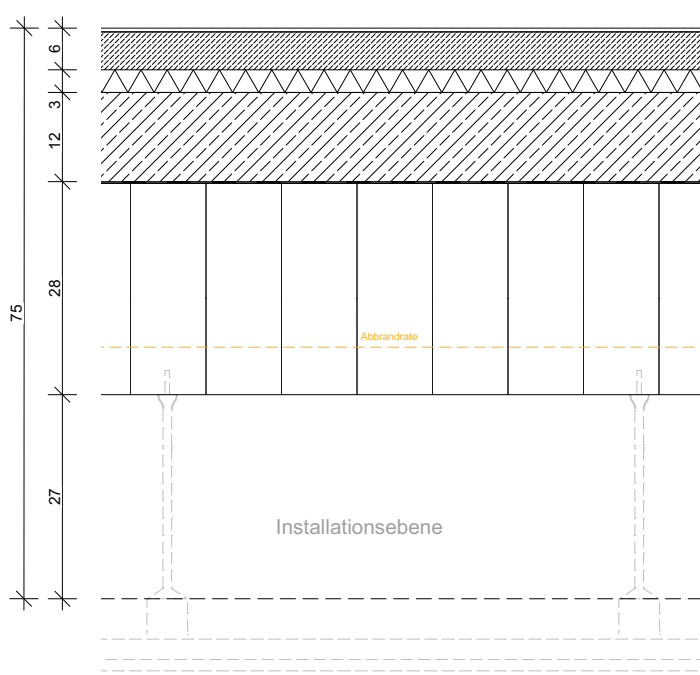
Die angegebenen Bauteile und Werte für GWP und PERNT beziehen sich auf die eco Variante der Raumtypologie.

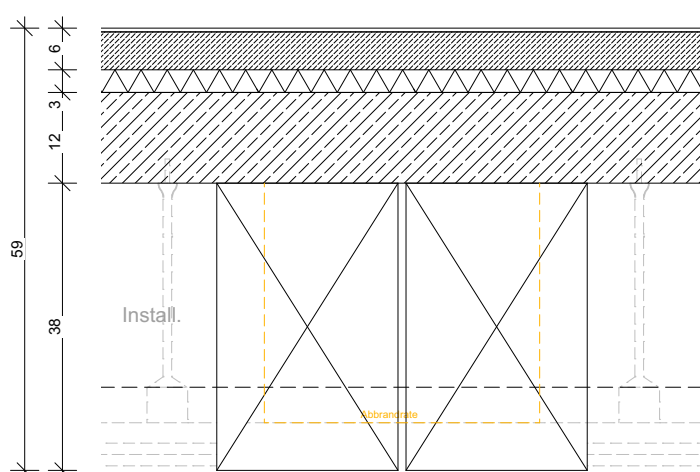
S_DA_BSP_exDB		
Gebäudeabschluss	M 1:10	tragend
		<p>Brandschutz : Harte Bedachung</p> <hr/> <p>Wärmeschutz (siehe Hinweis): $U = 0,175 \text{ W/m}^2\text{K}$</p> <hr/> <p>Schallschutz (siehe Hinweis): $R_w = 57 \text{ dB (0;0)}$ Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 33; Z. 3</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial: $57,21 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./m}^2$</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: $2900,10 \text{ MJ/m}^2$</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
150,0	Extensive Dachbegrünung	D
3,0	Dachabdichtungsbahn ($s_d \geq 100 \text{ m}$)	E
120,0	Dämmung, Holzfaserdämmung [$\lambda: 0,039 \text{ W/mK}$], mehrlagig, mit Gefälledämmung	E
0,05	Abdichtungsbahn ($s_d \geq 500 \text{ m}$)	E
320,0	Brettsperrholz 5-lagig CL24 (80,40,80,40,80)	D
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Wärmeschutz: Bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten ist ein Umkehrdachzuschlag und die unterschiedliche Dicke der Gefälledämmung berücksichtigt. Die Grafik zeigt den Schnitt des geringsten Aufbaus.		
Feuchteschutz: Das Diffusionsverhalten wird nach dataholz.eu Flachdach fdmko01-03 nachgewiesen.		

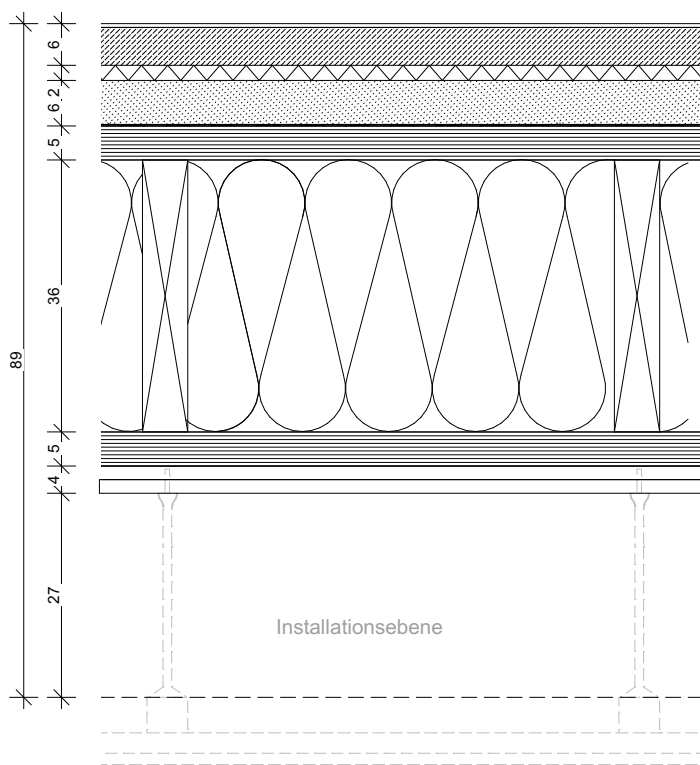
S_DA_HBV(BST)_exDB		
Gebäudeabschluss	M 1:10	tragend
		<p>Brandschutz: Harte Bedachung</p> <hr/> <p>Wärmeschutz (siehe Hinweis): $U = 0,1637 \text{ W/m}^2\text{K}$</p> <hr/> <p>Schallschutz (siehe Hinweis): $R_w = 48,4 \text{ dB (0;0)}$ Nach DIN 4109-32, nur Beton angesetzt</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial: $109,01 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./m}^2$</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: $3360,90 \text{ MJ/m}^2$</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
150,0	Extensive Dachbegrünung	D
3,0	Dachabdichtungsbahn ($s_d \geq 100 \text{ m}$)	E
160,0	Dämmung Holzfaserdämmung [$\lambda: 0,039 \text{ W/mK}$], mehrlagig, mit Gefälledämmung	E
0,05	Abdichtungsbahn ($s_d \geq 500 \text{ m}$)	E
120,0	Beton C30/37	A1
220,0	Brettstapelelement, gedübelt, GL 24h	D
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Wärmeschutz: Bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten ist ein Umkehrdachzuschlag und die unterschiedliche Dicke der Gefälledämmung berücksichtigt. Die Grafik zeigt den Schnitt des geringsten Aufbaus.		
Feuchteschutz: Das Diffusionsverhalten wird nach DIN 4108-3 5.3.3.2e) Bild 8 nachgewiesen.		

S_DA_HBV(R)_exDB		
Gebäudeabschluss	M 1:10	tragend
		<p>Brandschutz: Harte Bedachung</p> <hr/> <p>Wärmeschutz (siehe Hinweis): $U = 0,1808 \text{ W/m}^2\text{K}$</p> <hr/> <p>Schallschutz (siehe Hinweis): $R_w = 51,3 \text{ dB (0;0)}$ Nach DIN 4109-32, nur Beton angesetzt</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial: $107,30 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./m}^2$</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: $3583,60 \text{ MJ/m}^2$</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
150,0	Extensive Dachbegrünung	D
3,0	Dachabdichtungsbahn ($s_d \geq 100 \text{ m}$)	E
240,0	Dämmung Holzfaserdämmung [$\lambda: 0,039 \text{ W/mK}$], mehrlagig, mit Gefälledämmung	E
0,05	Abdichtungsbahn ($s_d \geq 500 \text{ m}$)	E
100,0	Beton C30/37	A1
300,0	Brettschichtholzträger GL 24h (2 x 140/300) ($e = 0,9375 \text{ m}$)	D
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Wärmeschutz: Bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten ist ein Umkehrdachzuschlag und die unterschiedliche Dicke der Gefälledämmung berücksichtigt. Die Grafik zeigt den Schnitt des geringsten Aufbaus.		
Feuchteschutz: Das Diffusionsverhalten wird nach DIN 4108-3 5.3.3.2.e) Bild 8 nachgewiesen.		

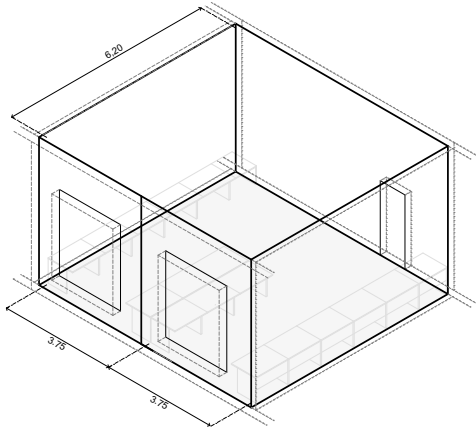
S_DA_K_exDB																										
Gebäudeabschluss	M 1:10	tragend																								
	<p>Brandschutz: Harte Bedachung</p>																									
	<p>Wärmeschutz (siehe Hinweis): $U = 0,1861 \text{ W/m}^2\text{K}$</p>																									
	<p>Schallschutz (siehe Hinweis): $R_w = 53 \text{ dB} (-9;0)$ Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 33; Z. 13</p>																									
	<p>Treibhauspotenzial: $62,09 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./m}^2$</p>																									
	<p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: $3118,40 \text{ MJ/m}^2$</p>																									
<p>Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Dicke [mm]</th> <th>Baustoff</th> <th>BVK</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>150,0</td> <td>Extensive Dachbegrünung</td> <td>D</td> </tr> <tr> <td>3,0</td> <td>Dachabdichtungsbahn ($s_d \geq 100 \text{ m}$)</td> <td>E</td> </tr> <tr> <td>160,0</td> <td>Dämmung, Holzfaserdämmung [$\lambda: 0,039 \text{ W/mK}$], mehrlagig, mit Gefälledämmung</td> <td>E</td> </tr> <tr> <td>0,05</td> <td>Abdichtungsbahn ($s_d \geq 500 \text{ m}$)</td> <td>E</td> </tr> <tr> <td>33,0</td> <td>Furnierschichtholz Kerto-Q Platten</td> <td>D</td> </tr> <tr> <td>260,0</td> <td>Brettschichtholzträger, GL 24h (260/100, $e = 0,625 \text{ m}$)</td> <td>D</td> </tr> <tr> <td>33,0</td> <td>Furnierschichtholz Kerto-Q Platten</td> <td>D</td> </tr> </tbody> </table>			Dicke [mm]	Baustoff	BVK	150,0	Extensive Dachbegrünung	D	3,0	Dachabdichtungsbahn ($s_d \geq 100 \text{ m}$)	E	160,0	Dämmung, Holzfaserdämmung [$\lambda: 0,039 \text{ W/mK}$], mehrlagig, mit Gefälledämmung	E	0,05	Abdichtungsbahn ($s_d \geq 500 \text{ m}$)	E	33,0	Furnierschichtholz Kerto-Q Platten	D	260,0	Brettschichtholzträger, GL 24h (260/100, $e = 0,625 \text{ m}$)	D	33,0	Furnierschichtholz Kerto-Q Platten	D
Dicke [mm]	Baustoff	BVK																								
150,0	Extensive Dachbegrünung	D																								
3,0	Dachabdichtungsbahn ($s_d \geq 100 \text{ m}$)	E																								
160,0	Dämmung, Holzfaserdämmung [$\lambda: 0,039 \text{ W/mK}$], mehrlagig, mit Gefälledämmung	E																								
0,05	Abdichtungsbahn ($s_d \geq 500 \text{ m}$)	E																								
33,0	Furnierschichtholz Kerto-Q Platten	D																								
260,0	Brettschichtholzträger, GL 24h (260/100, $e = 0,625 \text{ m}$)	D																								
33,0	Furnierschichtholz Kerto-Q Platten	D																								
<p>Hinweise:</p> <p>Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.</p> <p>Wärmeschutz: Bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten ist ein Umkehrdachzuschlag und die unterschiedliche Dicke der Gefälledämmung berücksichtigt. Die Grafik zeigt den Schnitt des geringsten Aufbaus.</p> <p>Feuchteschutz: Das Diffusionsverhalten wird nach DIN 68800-2 Anhang A Bild A.17 nachgewiesen.</p>																										

S_DE_HBV(BST)_nE		
Geschossdecke	M 1:10	tragend
		<p>Brandschutz (siehe Hinweis):</p> <p>REI90</p> <p>nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL 2022</p>
		<p>Wärmeschutz:</p> <p>keine Anforderung</p>
		<p>Schallschutz (siehe Hinweis):</p> <p>$R_w = 67 \text{ dB } (-9; -22)$</p> <p>$L_{n,w} = 46 \text{ dB } (5)$</p> <p>Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 29 Z. 1</p>
		<p>Treibhauspotenzial:</p> <p>153,60 kg CO₂-Äq./m²</p>
		<p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar:</p> <p>2370,90 MJ/m²</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
5,0	Bodenbelag Linoleum	C
50,0	Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)	A1
40,0	Trittschalldämmung MW ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)	A1
120,0	Beton C30/37	A1
280,0	Brettstapelelement, gedübelt, GL 24h	D
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß und der bewertete Norm-Trittschallpegel können aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Brandschutz: Aufgrund des vorliegenden Sonderbautatbestands ist für die Anwendung dieses Bauteils nach MHolzBauRL 2022 und MHolzBauRL vsl.2023 eine Abweichung nach Art. 63 BayBo 2007 notwendig.		
Brandschutz: Bei Anordnung einer Installationsebene (abgehängte Decke) ist die Massivholzdecke wie eine Massivholzdecke nach MHolzBauRL 2022 mit brennbarer Bauteiloberfläche von unten zu betrachten. Trotz der baurechtlich möglichen Anwendung wird eine Bekleidung ^a empfohlen. (nicht kontrollierbarer Hohlraum)		
Brandschutz: Eine abweichungsfreie Anwendung ist nach MHolzBauRL vsl.2023 durch die Ergänzung einer brandschutztechnisch notwendigen Bekleidung ^a von 2 x 18 mm möglich.		
^a Gipskartonplatten Typ GKF nach DIN 18180 i.V.m. DIN EN 520 oder alternativ Gipsfaserplatten mit $\rho \geq 1100 \text{ kg/m}^3$ nach ETA		

S_DE_HBV(R)_nE		
Geschossdecke	M 1:10	tragend
		<p>Brandschutz (siehe Hinweis):</p> <p>REI90</p> <p>nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL 2022</p>
		<p>Wärmeschutz:</p> <p>keine Anforderung</p>
		<p>Schallschutz (siehe Hinweis):</p> <p>$R_w = 69 \text{ dB} (-6; -20)$</p> <p>$L_{n,w} = 49 \text{ dB} (2)$</p> <p>Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 29 Z. 3</p>
		<p>Treibhauspotenzial:</p> <p>132,83 kg CO₂-Äq./m²</p>
		<p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar:</p> <p>2080,50 MJ/m²</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
5,0	Bodenbelag Linoleum	C
50,0	Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)	A1
40,0	Trittschalldämmung MW ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)	A1
120,0	Beton C30/37	A1
380,0	Brettschichtholzträger GL 24h (2 x 240/380) (e = 1,25 m)	D
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß und der bewertete Norm-Trittschallpegel können aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Brandschutz: Aufgrund des vorliegenden Sonderbautatbestands ist für die Anwendung dieses Bauteils nach MHolzBauRL 2022 und MHolzBauRL vsl.2023 eine Abweichung nach Art. 63 BayBo 2007 notwendig.		
Brandschutz: Bei Anordnung einer Installationsebene (abgehängte Decke) ist die Massivholzdecke wie eine Massivholzdecke nach MHolzBauRL 2022 mit brennbarer Bauteiloberfläche von unten zu betrachten. Trotz der baurechtlich möglichen Anwendung wird eine Bekleidung ^a empfohlen. (nicht kontrollierbarer Hohlraum)		
Brandschutz: Eine abweichungsfreie Anwendung ist nach MHolzBauRL vsl.2023 durch die Ergänzung einer brandschutztechnisch notwendigen Bekleidung ^a von 2 x 18 mm möglich.		
^a Gipskartonplatten Typ GKF nach DIN 18180 i.V.m. DIN EN 520 oder alternativ Gipsfaserplatten mit $\rho \geq 1100 \text{ kg/m}^3$ nach ETA		

S_DE_K_nE		
Geschossdecke	M 1:10	tragend
		<p>Brandschutz (siehe Hinweis):</p> <p>REI90</p> <p>nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL 2022 VwV TB BW Anlage A2.2/BW2 Abschnitt 4.1/ EDIN 4102-2/A1</p>
		<p>Wärmeschutz:</p> <p>keine Anforderung</p>
		<p>Schallschutz (siehe Hinweis):</p> <p>$R_w = 74 \text{ dB} (-11; -26)$</p> <p>$L_{n,w} = 43 \text{ dB} (6)$</p> <p>Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 24; Z. 5</p>
		<p>Treibhauspotenzial:</p> <p>125,16 kg CO₂-Äq./m²</p>
		<p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar:</p> <p>2427,30 MJ/m²</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
5,0	Bodenbelag Linoleum	C
50,0	Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)	A1
20,0	Trittschalldämmung MW ($s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$)	A1
60,0	Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$)	A1
	Rieselschutz	B
45,0	Furnierschichtholz Kerto-Q Platten	D
360,0	Brettschichtholzträger, GL 24h (360/80, $e = 0,625 \text{ m}$)	D
360,0	Gefachdämmung Mineralwolle	A1
45,0	Furnierschichtholz Kerto-Q Platten	D
36,0	Gipskartonplatte Typ GKF (2 x 18 mm) ^a	A1
^a Gipskartonplatten Typ GKF nach DIN 18100 i.V.m. DIN EN 520 oder alternativ Gipsfaserplatten mit $\rho \geq 1100 \text{ kg/m}^3$ nach ETA		
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß und der bewertete Norm-Trittschallpegel können aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Brandschutz: Aufgrund des vorliegenden Sonderbautatbestands ist für die Anwendung dieses Bauteils nach MHolzBauRL 2022 i.V.m. VwV TB BW Anlage A2.2/ BW2 Abschnitt 4.1/ EDIN 4102-2/A1 eine Abweichung nach Art. 63 BayBo 2007 notwendig.		
Brandschutz: Eine abweichungsfreie Anwendung ist nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL vsl.2023 möglich.		

Raumtypologie Labor



Nutzfläche: 46,50 m²

Nutzenergiebedarf:

Heizung: 64,24 kWh/m²a

Kühlung: 10,6 kWh/m²a

Treibhauspotenzial (GWP):

0,131 kg CO₂-Äq./m²

Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT):

0,425 MJ/m²

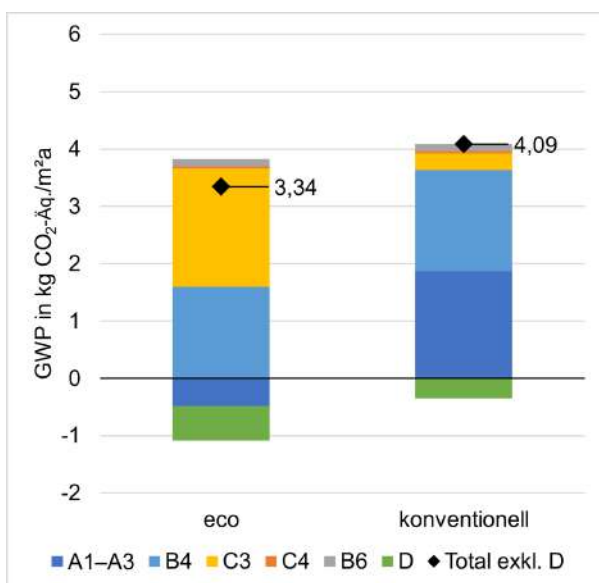
Angaben zu Bauteilen und Technischer Gebäudeausrüstung

	Bauteil	Bauteilkatalog	Technische Gebäudeausrüstung
Horizontale Bauteile	Decke	L_DE_K_nE_6.20	<ul style="list-style-type: none"> • Heizung / Kühlung: Heiz- und Kühldecken • Lüftung: Zentrales Lüftungsgerät • Beleuchtung: LED
Vertikale Bauteile	Außenwand	AW_HTB	
	Fenster	konv_FE	
	Innenwand	BW_MSt_LBP	
	Flurwand	FW_SB(HTB)_GKP	<p>Statische Systemdarstellung</p>

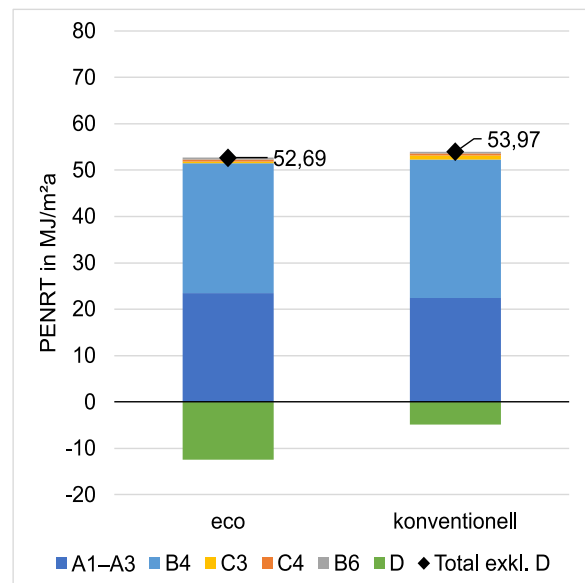
Lebenszyklusbetrachtung

Ökobilanz gemäß DIN EN 15804+A1 und DIN EN 15978

Treibhauspotenzial (GWP)



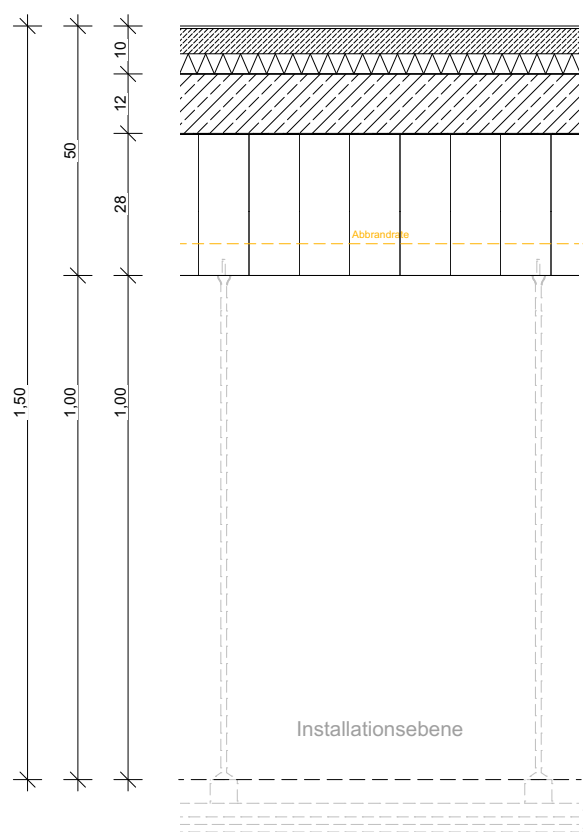
Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT)

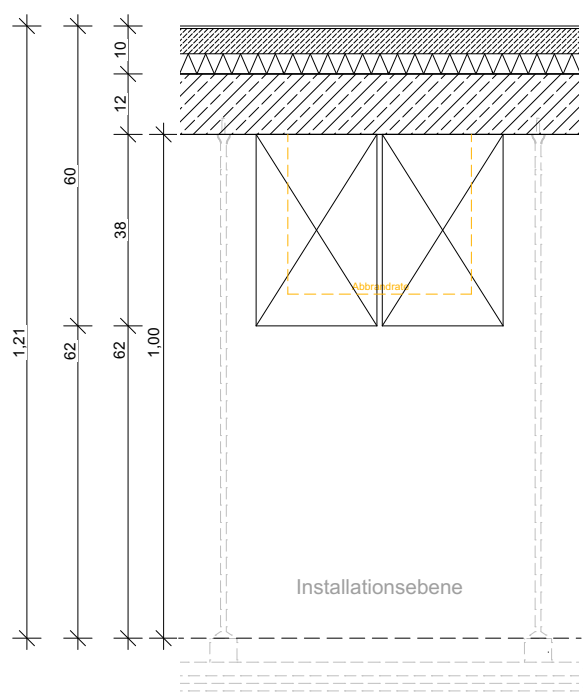


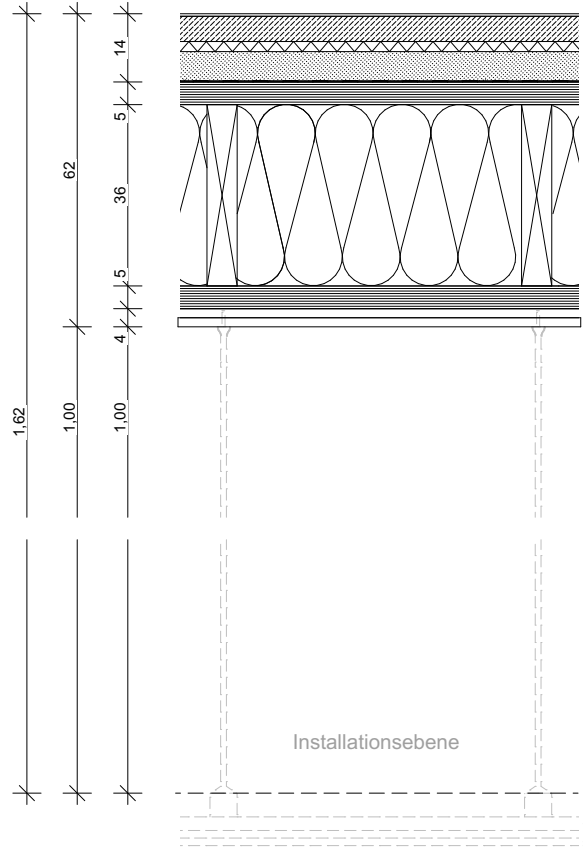
Hinweise:

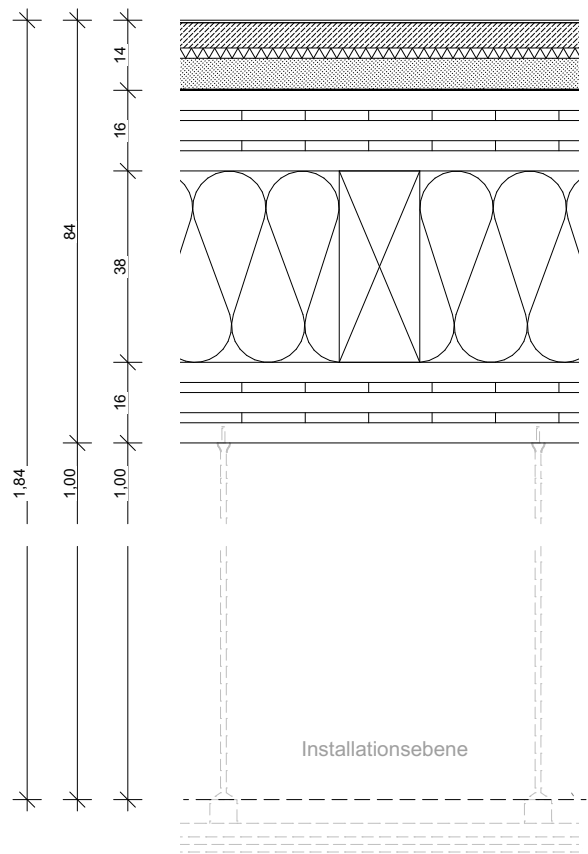
Die Ergebnisse der Ökobilanz gelten für einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren.

Die angegebenen Bauteile und Werte für GWP und PERNT beziehen sich auf die eco Variante der Raumtypologie.

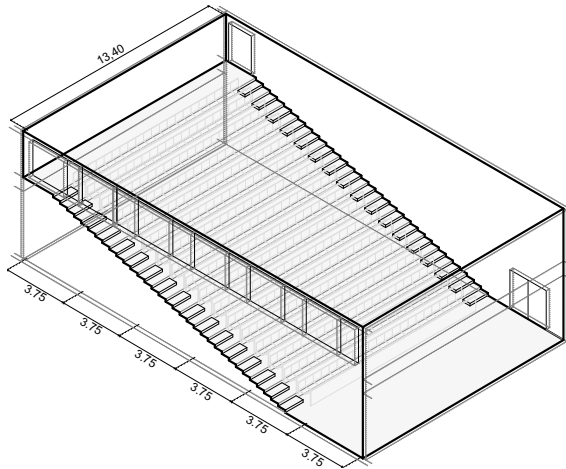
L_DE_HBV(BST)_nE_6.10		
Geschossdecke	M 1:15	tragend
		<p>Brandschutz (siehe Hinweis):</p> <p>REI90</p> <p>nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL 2022</p> <hr/> <p>Wärmeschutz:</p> <p>keine Anforderung</p> <hr/> <p>Schallschutz (siehe Hinweis):</p> <p>$R_w = 67 \text{ dB} (-9;-22)$</p> <p>$L_{n,w} = 46 \text{ dB} (5)$</p> <p>Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 29 Z. 1</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial:</p> <p>153,6 kg CO₂-Äq./m²</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar:</p> <p>2370,90 MJ/m²</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
5,0	Bodenbelag Linoleum	C
50,0	Zementestrich (m' ≥ 120 kg/m ²)	A1
40,0	Trittschalldämmung MW (s' ≤ 7 MN/m ³)	A1
120,0	Beton C30/37	A1
280,0	Brettstapelelement, gedübelt, GL 24h	D
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß und der bewertete Norm-Trittschallpegel können aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Brandschutz: Aufgrund des vorliegenden Sonderbautatbestands ist für die Anwendung dieses Bauteils nach MHolzBauRL 2022 und MHolzBauRL vsl.2023 eine Abweichung nach Art. 63 BayBo 2007 notwendig.		
Brandschutz: Bei Anordnung einer Installationsebene (abgehängte Decke) ist die Massivholzdecke wie eine Massivholzdecke nach MHolzBauRL 2022 mit brennbarer Bauteiloberfläche von unten zu betrachten. Trotz der baurechtlich möglichen Anwendung wird eine Bekleidung ^a empfohlen. (nicht kontrollierbarer Hohlraum)		
Brandschutz: Eine abweichungsfreie Anwendung ist nach MHolzBauRL vsl.2023 durch die Ergänzung einer brandschutztechnisch notwendigen Bekleidung ^a von 2 x 18 mm möglich.		
Brandschutz: Bei Laborarbeiten oder Lagerstoffen mit erhöhtem Gefahrenpotential wird eine Bekleidung gemäß MHolzBauRL 2022 bzw MHolzBauRL vsl.2023 mit einer Schutzzeit (t _{ch}) in Höhe der Klassifizierungszeit des Bauteils benötigt..		
^a Gipskartonplatten Typ GKF nach DIN 18180 i.V.m. DIN EN 520 oder alternativ Gipsfaserplatten mit ρ ≥ 1100 kg/m ³ nach ETA		

L_DE_HBV(R)_nE_5.90		
Geschossdecke	M 1:15	tragend
		<p>Brandschutz (siehe Hinweis):</p> <p>REI90</p> <p>nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL 2022</p>
		<p>Wärmeschutz:</p> <p>keine Anforderung</p>
		<p>Schallschutz (siehe Hinweis):</p> <p>$R_w = 69 \text{ dB} (-6; -20)$</p> <p>$L_{n,w} = 49 \text{ dB} (2)$</p> <p>Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 29 Z. 3</p>
		<p>Treibhauspotenzial:</p> <p>132,83 kg CO₂-Äq./m²</p>
		<p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar:</p> <p>2080,50 MJ/m²</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
5,0	Bodenbelag Linoleum	C
50,0	Zementestrich (m' ≥ 120 kg/m ²)	A1
40,0	Trittschalldämmung MW (s' ≤ 7 MN/m ³)	A1
120,0	Beton C30/37	A1
380,0	Brettschichtholzträger GL 24h (2 x 240/380) (e = 1,25 m)	D
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß und der bewertete Norm-Trittschallpegel können aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Brandschutz: Aufgrund des vorliegenden Sonderbautatbestands ist für die Anwendung dieses Bauteils nach MHolzBauRL 2022 und MHolzBauRL vsl.2023 eine Abweichung nach Art. 63 BayBo 2007 notwendig.		
Brandschutz: Bei Anordnung einer Installationsebene (abgehängte Decke) ist die Massivholzdecke wie eine Massivholzdecke nach MHolzBauRL 2022 mit brennbarer Bauteiloberfläche von unten zu betrachten. Trotz der baurechtlich möglichen Anwendung wird eine Bekleidung ^a empfohlen. (nicht kontrollierbarer Hohlraum)		
Brandschutz: Eine abweichungsfreie Anwendung ist nach MHolzBauRL vsl.2023 durch die Ergänzung einer brandschutztechnisch notwendigen Bekleidung ^a von 2 x 18 mm möglich.		
Brandschutz: Bei Laborarbeiten oder Lagerstoffen mit erhöhtem Gefahrenpotential wird eine Bekleidung gemäß MHolzBauRL 2022 bzw MHolzBauRL vsl.2023 benötigt.		
^a Gipskartonplatten Typ GKF nach DIN 18180 i.V.m. DIN EN 520 oder alternativ Gipsfaserplatten mit $\rho \geq 1100 \text{ kg/m}^3$ nach ETA		

L_DE_K_nE_6.20		
Geschossdecke	M 1:15	tragend
		<p>Brandschutz (siehe Hinweis):</p> <p>REI90</p> <p>nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL 2022 VwV TB BW Anlage A2.2/BW2 Abschnitt 4.1/ EDIN 4102-2/A1</p> <hr/> <p>Wärmeschutz:</p> <p>keine Anforderung</p> <hr/> <p>Schallschutz (siehe Hinweis):</p> <p>$R_w = 74 \text{ dB} (-11; -26)$</p> <p>$L_{n,w} = 43 \text{ dB} (6)$</p> <p>Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 24; Z. 5</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial:</p> <p>125,16 kg CO₂-Äq./m²</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar:</p> <p>2427,30 MJ/m²</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
5,0	Bodenbelag Linoleum	C
50,0	Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)	A1
20,0	Trittschalldämmung MW ($s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$)	A1
60,0	Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$)	A1
	Rieselschutz	B
45,0	Furnierschichtholz Kerto- Q Platten	D
360,0	Brettschichtholzträger, GL 24h (360/80, $e = 0,625 \text{ m}$)	D
360,0	Gefachdämmung Mineralwolle	A1
45,0	Furnierschichtholz Kerto- Q Platten	D
36,0	Gipskartonplatte Typ GKF (2 x 15 mm) ^a	A1
^a Gipskartonplatten Typ GKF nach DIN 18180 i.V.m. DIN EN 520 oder alternativ Gipsfaserplatten mit $\rho \geq 1100 \text{ kg/m}^3$ nach ETA		
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß und der bewertete Norm-Trittschallpegel können aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Brandschutz: Aufgrund des vorliegenden Sonderbautatbestands ist für die Anwendung dieses Bauteils nach MHolzBauRL 2022 i.V.m. VwV TB BW Anlage A2.2/ BW2 Abschnitt 4.1/ EDIN 4102-2/A1 eine Abweichung nach Art. 63 BayBo 2007 notwendig.		
Brandschutz: Eine abweichungsfreie Anwendung ist nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL vsI.2023 möglich.		

L_DE_K_nE_8.75		
Geschossdecke	M 1:15	tragend
		<p>Brandschutz (siehe Hinweis):</p> <p>REI90</p> <p>nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL 2022 VwV TB BW Anlage A2.2/BW2 Abschnitt 4.1/ EDIN 4102-2/A1</p> <hr/> <p>Wärmeschutz:</p> <p>keine Anforderung</p> <hr/> <p>Schallschutz (siehe Hinweis):</p> <p>$R_w = 74 \text{ dB} (-11; -26)$</p> <p>$L_{n,w} = 43 \text{ dB} (6)$</p> <p>Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab.24; Z.5</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial:</p> <p>132,87 kg CO₂-Äq./m²</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar:</p> <p>2420,90 MJ/m²</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
5,0	Bodenbelag Linoleum	C
50,0	Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)	A1
40,0	Trittschalldämmung MW ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)	A1
60,0	Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$)	A1
	Rieselschutz	B
160,0	Brettsperrholz, 5-lagig 40/20/40/20/40	D
380,0	Brettschichtholz, GL 24h (380/160, $e = 0,9375 \text{ m}$)	D
380,0	Gefachdämmung Mineralwolle	A1
160,0	Brettsperrholz, 5-lagig 40/20/40/20/40	D
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß und der bewertete Norm-Trittschallpegel können aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Brandschutz: Aufgrund des vorliegenden Sonderbautatbestands ist für die Anwendung dieses Bauteils nach MHolzBauRL 2022 i.V.m. VwV TB BW Anlage A2.2/ BW2 Abschnitt 4.1/ EDIN 4102-2/A1 eine Abweichung nach Art. 63 BayBo 2007 notwendig.		
Brandschutz: Bei Anordnung einer Installationsebene (abgehängte Decke) ist die darüberliegende Bauteiluntersicht wie eine Massivholzdecke nach MHolzBauRL 2022 mit brennbarer Bauteiloberfläche von unten zu betrachten. Trotz der baurechtlich möglichen Anwendung wird eine Bekleidung ^a empfohlen. (nicht kontrollierbarer Hohlraum)		
Brandschutz: Eine abweichungsfreie Anwendung ist nach MHolzBauRL vsl.2023 durch die Ergänzung einer brandschutztechnisch notwendigen Bekleidung ^a von 2 x 18 mm möglich.		
Brandschutz: Bei Laborarbeiten oder Lagerstoffen mit erhöhtem Gefahrenpotential wird eine Bekleidung gemäß MHolzBauRL 2022 bzw MHolzBauRL vsl.2023 benötigt.		
^a Gipskartonplatten Typ GKF nach DIN 18180 i.V.m. DIN EN 520 oder alternativ Gipsfaserplatten mit $\rho \geq 1100 \text{ kg/m}^3$ nach ETA		

Raumtypologie Veranstaltung



Nutzfläche: 302.06 m²

Nutzenergiebedarf:

Heizung: 58,7 kWh/m²a

Kühlung: 7,9 kWh/m²a

Treibhauspotenzial (GWP):

0,123 kg CO₂-Äq./m²

Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT):

0,398 MJ/m²

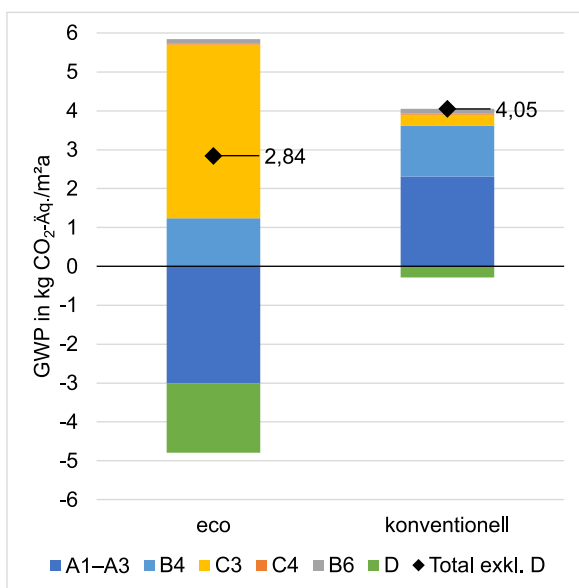
Angaben zu Bauteilen und Technischer Gebäudeausrüstung

	Bauteil	Bauteilkatalog	Technische Gebäudeausrüstung
Horizontale Bauteile	Decke	V_DE_HBV(R)_nE	<ul style="list-style-type: none"> • Heizung / Kühlung: Heiz- und Kühldecken • Lüftung: Zentrales Lüftungsgerät • Beleuchtung: LED
Vertikale Bauteile	Außenwand	AW_HTB	
	Fenster	konv_FE	
	Innenwand	BW_MSt_LBP	
	Flurwand	FW_SB(HTB)_GKP	<p>Statische Systemdarstellung</p>
	Stütze	V_Stütze	

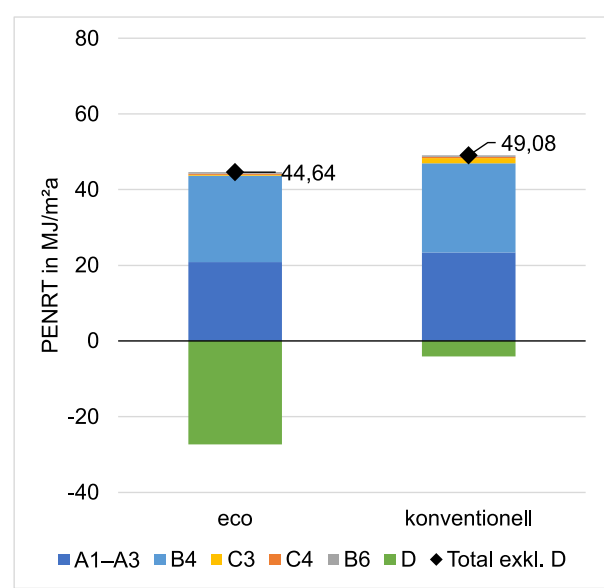
Lebenszyklusbetrachtung

Ökobilanz gemäß DIN EN 15804+A1 und DIN EN 15978

Treibhauspotenzial (GWP)



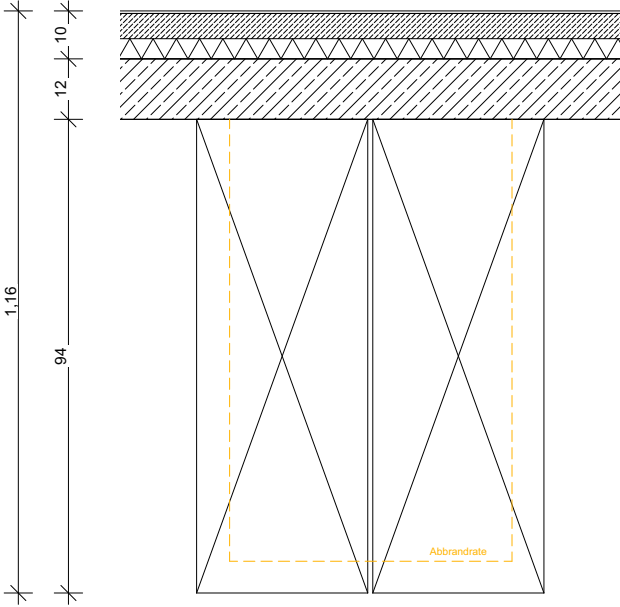
Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT)

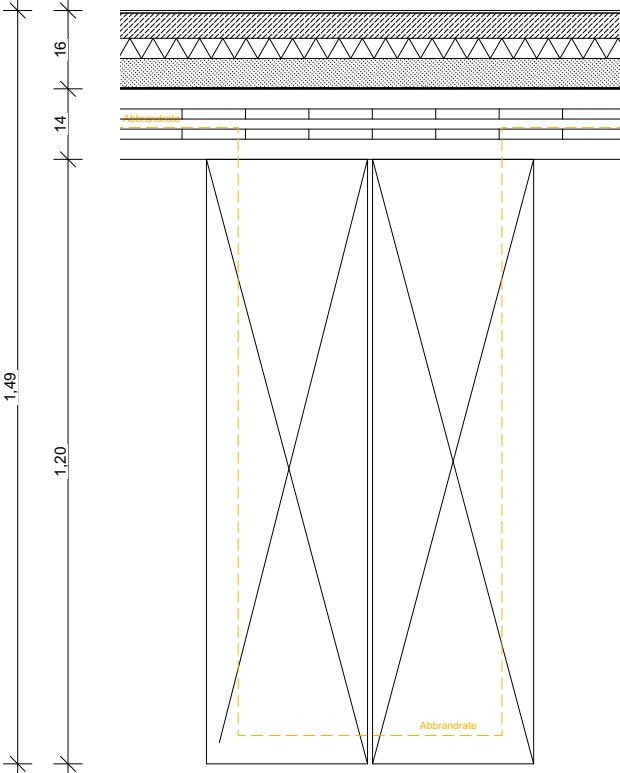


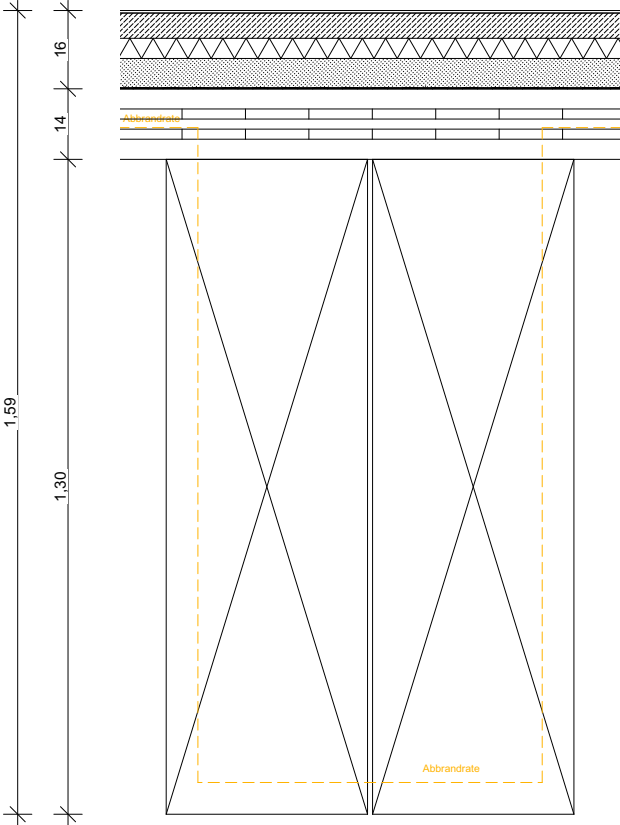
Hinweise:

Die Ergebnisse der Ökobilanz gelten für einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren.

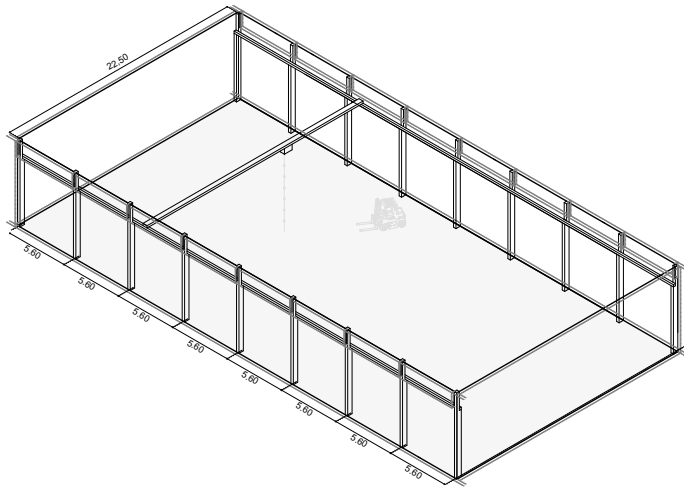
Die angegebenen Bauteile und Werte für GWP und PERNT beziehen sich auf die eco Variante der Raumtypologie.

V_DE_HBV(R)_nE		
Geschossdecke	M 1:15	tragend
		<p>Brandschutz (siehe Hinweis):</p> <p>REI90</p> <p>nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL 2022</p> <hr/> <p>Wärmeschutz:</p> <p>keine Anforderung</p> <hr/> <p>Schallschutz (siehe Hinweis):</p> <p>$R_w = 69 \text{ dB} (-6; -20)$</p> <p>$L_{n,w} = 49 \text{ dB} (2)$</p> <p>Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 29; Z. 1</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial:</p> <p>136,63 kg CO₂-Äq./m²</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar:</p> <p>2133,6 MJ/m²</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
5,0	Bodenbelag Linoleum	C
50,0	Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)	A1
40,0	Trittschalldämmung MW ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)	A1
120,0	Beton C30/37	A1
940,0	Brettschichtholzträger GL 24h (2 x 940/340) ($e = 3,75 \text{ m}$)	D
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß und der bewertete Norm-Trittschallpegel können aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Brandschutz: Aufgrund des vorliegenden Sonderbautatbestands ist für die Anwendung dieses Bauteils nach MHolzBauRL 2022 und MHolzBauRL vsl.2023 eine Abweichung nach Art. 63 BayBo 2007 notwendig.		
Brandschutz: Bei Anordnung einer Installationsebene (abgehängte Decke) ist die Massivholzdecke wie eine Massivholzdecke nach MHolzBauRL 2022 mit brennbarer Bauteiloberfläche von unten zu betrachten. Trotz der baurechtlich möglichen Anwendung wird eine Bekleidung ^a empfohlen. (nicht kontrollierbarer Hohlraum)		
Brandschutz: Eine abweichungsfreie Anwendung ist nach MHolzBauRL vsl.2023 durch die Ergänzung einer brandschutztechnisch notwendigen Bekleidung ^a von 2 x 18 mm möglich.		
Brandschutz: Die Anwendung des Bauteils ohne Bekleidung ist von der Positionierung des Raumes im Gebäude, Rettungswegen und möglichen Kompensationsmaßnahmen abhängig. (siehe Forschungsbericht Kapitel 9.2.1)		
^a Gipskartonplatten Typ GKF nach DIN 18180 i.V.m. DIN EN 520 oder alternativ Gipsfaserplatten mit $\rho \geq 1100 \text{ kg/m}^3$ nach ETA		

V_DE_HTB_Buche_nE		
Geschossdecke	M 1:15	tragend
		<p>Brandschutz (siehe Hinweis):</p> <p>REI90</p> <p>nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL 2022</p>
		<p>Wärmeschutz:</p> <p>keine Anforderung</p>
		<p>Schallschutz (siehe Hinweis):</p> <p>$R_w = 74 \text{ dB} (-11; -26)$</p> <p>$L_{n,w} = 43 \text{ dB} (6)$</p> <p>Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 24; Z. 5</p>
		<p>Treibhauspotenzial:</p> <p>113,14 kg CO₂-Äq./m²</p>
		<p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar:</p> <p>2165,3 MJ/m²</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
5,0	Bodenbelag Linoleum	C
50,0	Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)	A1
40,0	Trittschalldämmung MW ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)	A1
60,0	Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$) auf Rieselschutzvlies (PP)	A1
140,0	Brettspertholz, 5-lagig 40/20/20/20/40	D
1.200,0	Brettschichtholz, GL 75 (2 x 1200/320, e = 3,75 m)	D
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß und der bewertete Norm-Trittschallpegel können aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Brandschutz: Aufgrund des vorliegenden Sonderbautatbestands ist für die Anwendung dieses Bauteils nach MHolzBauRL 2022 und MHolzBauRL vsl.2023 eine Abweichung nach Art. 63 BayBo 2007 notwendig.		
Brandschutz: Bei Anordnung einer Installationsebene (abgehängte Decke) ist die Massivholzdecke wie eine Massivholzdecke nach MHolzBauRL 2022 mit brennbarer Bauteiloberfläche von unten zu betrachten. Trotz der baurechtlich möglichen Anwendung wird eine Bekleidung ^a empfohlen. (nicht kontrollierbarer Hohlraum)		
Brandschutz: Eine abweichungsfreie Anwendung ist nach MHolzBauRL vsl.2023 durch die Ergänzung einer brandschutztechnisch notwendigen Bekleidung ^a von 2 x 18 mm möglich.		
Brandschutz: Die Anwendung des Bauteils ohne Bekleidung ist von der Positionierung des Raumes im Gebäude, Rettungswegen und möglichen Kompensationsmaßnahmen abhängig. (siehe Forschungsbericht Kapitel 9.2.1)		
^a Gipskartonplatten Typ GKF nach DIN 18180 i.V.m. DIN EN 520 oder alternativ Gipsfaserplatten mit $\rho \geq 1100 \text{ kg/m}^3$ nach ETA		

V_DE_HTB_nE																							
Geschossdecke	M 1:15	tragend																					
		<p>Brandschutz (siehe Hinweis):</p> <p>REI90</p> <p>nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL 2022</p>																					
		<p>Wärmeschutz:</p> <p>keine Anforderung</p>																					
		<p>Schallschutz (siehe Hinweis):</p> <p>$R_w = 74 \text{ dB} (-11; -26)$</p> <p>$L_{n,w} = 43 \text{ dB} (6)$</p> <p>Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 24; Z. 5</p>																					
		<p>Treibhauspotenzial:</p> <p>122,41 kg CO₂-Äq./m²</p>																					
		<p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar:</p> <p>2293,2 MJ/m²</p>																					
<p>Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Dicke [mm]</th> <th>Baustoff</th> <th>BVK</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5,0</td> <td>Bodenbelag Linoleum</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>50,0</td> <td>Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)</td> <td>A1</td> </tr> <tr> <td>40,0</td> <td>Trittschalldämmung MW ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)</td> <td>A1</td> </tr> <tr> <td>60,0</td> <td>Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$) auf Rieselschutzvlies (PP)</td> <td>A1</td> </tr> <tr> <td>140,0</td> <td>Brettsper Holz, 5-lagig 40/20/20/20/40</td> <td>D</td> </tr> <tr> <td>1.300,0</td> <td>Brettschichtholz, GL 24h (2 x 1300/400, e = 3,75 m)</td> <td>D</td> </tr> </tbody> </table>			Dicke [mm]	Baustoff	BVK	5,0	Bodenbelag Linoleum	C	50,0	Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)	A1	40,0	Trittschalldämmung MW ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)	A1	60,0	Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$) auf Rieselschutzvlies (PP)	A1	140,0	Brettsper Holz, 5-lagig 40/20/20/20/40	D	1.300,0	Brettschichtholz, GL 24h (2 x 1300/400, e = 3,75 m)	D
Dicke [mm]	Baustoff	BVK																					
5,0	Bodenbelag Linoleum	C																					
50,0	Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)	A1																					
40,0	Trittschalldämmung MW ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)	A1																					
60,0	Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$) auf Rieselschutzvlies (PP)	A1																					
140,0	Brettsper Holz, 5-lagig 40/20/20/20/40	D																					
1.300,0	Brettschichtholz, GL 24h (2 x 1300/400, e = 3,75 m)	D																					
<p>Hinweise:</p> <p>Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß und der bewertete Norm-Trittschallpegel können aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.</p> <p>Brandschutz: Aufgrund des vorliegenden Sonderbautatbestands ist für die Anwendung dieses Bauteils nach MHolzBauRL 2022 und MHolzBauRL vsl.2023 eine Abweichung nach Art. 63 BayBo 2007 notwendig.</p> <p>Brandschutz: Bei Anordnung einer Installationsebene (abgehängte Decke) ist die Massivholzdecke wie eine Massivholzdecke nach MHolzBauRL 2022 mit brennbarer Bauteiloberfläche von unten zu betrachten. Trotz der baurechtlich möglichen Anwendung wird eine Bekleidung ^a empfohlen. (nicht kontrollierbarer Hohlraum)</p> <p>Brandschutz: Eine abweichungsfreie Anwendung ist nach MHolzBauRL vsl.2023 durch die Ergänzung einer brandschutztechnisch notwendigen Bekleidung ^a von 2 x 18 mm möglich.</p> <p>Brandschutz: Die Anwendung des Bauteils ohne Bekleidung ist von der Positionierung des Raumes im Gebäude, Rettungswegen und möglichen Kompensationsmaßnahmen abhängig. (siehe Forschungsbericht Kapitel 9.2.1)</p> <p>^a Gipskartonplatten Typ GKF nach DIN 18180 i.V.m. DIN EN 520 oder alternativ Gipsfaserplatten mit $p \geq 1100 \text{ kg/m}^3$ nach ETA</p>																							

Raumtypologie Technikum



Nutzfläche: 1.012,50 m²

Nutzenergiebedarf:

Heizung: 32,9 kWh/m²a

Kühlung: 29,6 kWh/m²a

Treibhauspotenzial (GWP):

0,098 kg CO₂-Äq./m²

Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT):

0,321 MJ/m²

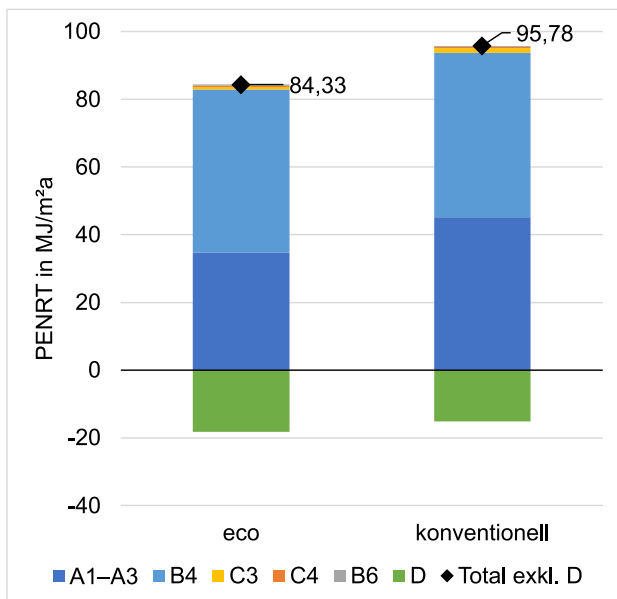
Angaben zu Bauteilen und Technischer Gebäudeausrüstung

	Bauteil	Bauteilkatalog	Technische Gebäudeausrüstung
Horizontale Bauteile	Dach	T_DA_uT_exDB	<ul style="list-style-type: none"> • Heizung / Kühlung: Heiz- und Kühldecken • Lüftung: Zentrales Lüftungsgerät • Beleuchtung: LED
Vertikale Bauteile	Außenwand	AW_HTB	
	Fenster	konv_FE	
	Stütze	T_Stütze	<p>Statische Systemdarstellung</p>

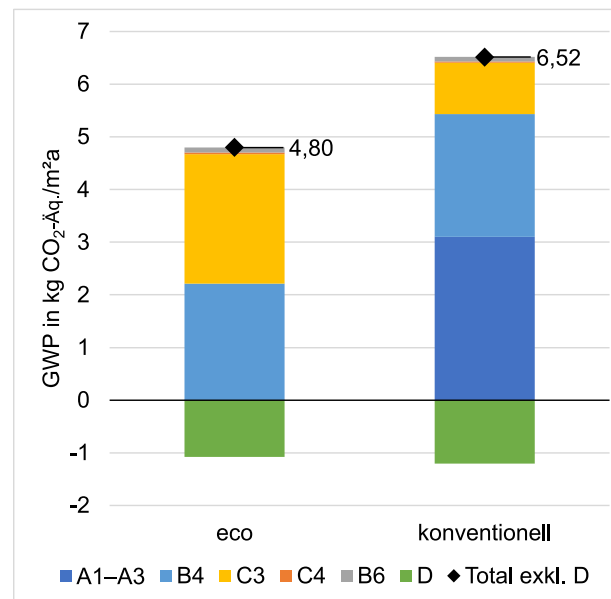
Lebenszyklusbetrachtung

Ökobilanz gemäß DIN EN 15804+A1 und DIN EN 15978

Treibhauspotenzial (GWP)



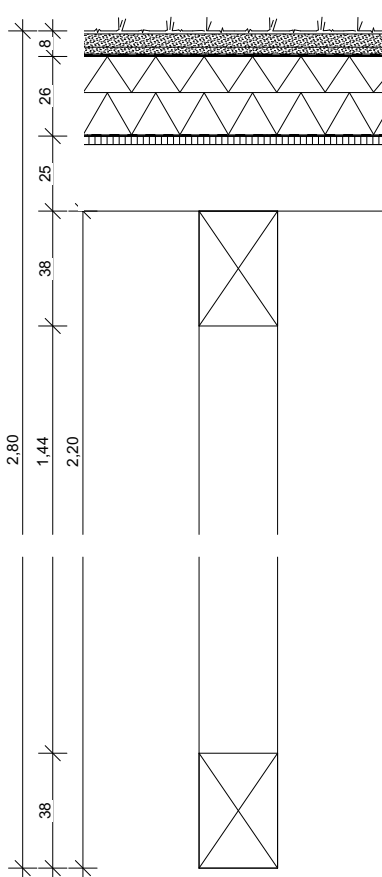
Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT)

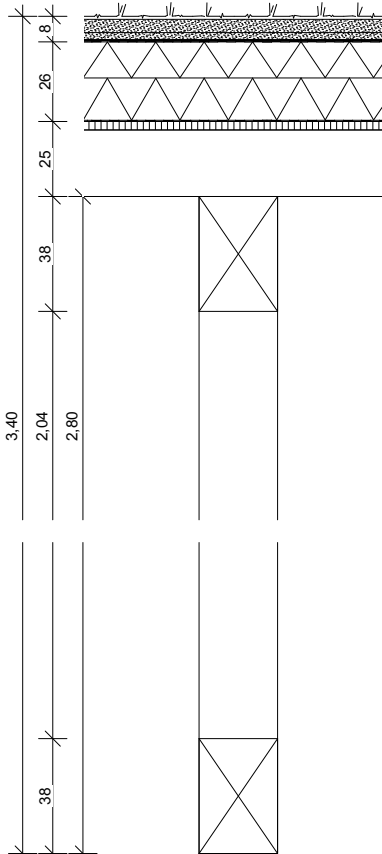


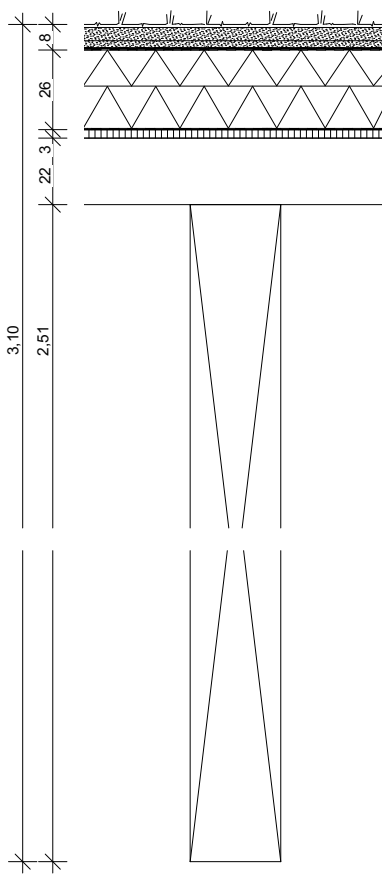
Hinweise:

Die Ergebnisse der Ökobilanz gelten für einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren.

Die angegebenen Bauteile und Werte für GWP und PERNT beziehen sich auf die eco Variante der Raumtypologie.

T_DA_HFWT(Buche)_exDB		
Gebäudeabschluss	M 1:25	tragend
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">  </div> <div style="width: 50%;"> <p>Brandschutz: Keine Anforderungen/ harte Bedachung</p> <hr/> <p>Wärmeschutz (siehe Hinweis): $U = 0,1523 \text{ W/m}^2\text{K}$</p> <hr/> <p>Schallschutz (siehe Hinweis): $R_w = 70 \text{ dB} (-22;0)$ Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 33; Z. 1</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial: 332,02 kg CO₂-Äq./m²</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: 5213,50 MJ/m²</p> </div> </div>		
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
80,0	Extensive Dachbegrünung	D
3,0	Dachabdichtungsbahn ($s_d \geq 100 \text{ m}$)	E
260,0	Holzfaserdämmung ($\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$), mehrlagig, mit Gefälledämmung	E
0,05	Abdichtungsbahn ($s_d \geq 500 \text{ m}$)	E
28,0	OSB	E
220,0	KVH Träger C24 (120/220) ($e = 0,625 \text{ m}$)	D
260,0	Obergurt GL 75 (260/260)	D
2.200,0	Druck/ Zugdiagonalen GL 75 (260/260)	D
260,0	Untergurt GL 75 (260/260)	D
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Wärmeschutz: Bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten ist ein Umkehrdachzuschlag und die unterschiedliche Dicke der Gefälledämmung berücksichtigt. Die Grafik zeigt den Schnitt des geringsten Aufbaus.		
Feuchteschutz: Das Diffusionsverhalten wird über DIN 68800-2 Anhang A Bild A.17 nachgewiesen.		

T_DA_HFWT_exDB		
Gebäudeabschluss	M 1:25	tragend
		<p>Brandschutz: Keine Anforderungen/ harte Bedachung</p> <hr/> <p>Wärmeschutz (siehe Hinweis): $U = 0,1523 \text{ W/m}^2\text{K}$</p> <hr/> <p>Schallschutz (siehe Hinweis): $R_w = 70 \text{ dB} (-22;0)$ Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 33; Z. 1</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial: 334,71 kg CO₂-Äq./m²</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: 5251,20 MJ/m²</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
80,0	Extensive Dachbegrünung	D
3,0	Dachabdichtungsbahn ($s_d \geq 100 \text{ m}$)	E
260,0	Holzfaserdämmung ($\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$), mehrlagig, mit Gefälledämmung	E
0,05	Abdichtungsbahn ($s_d \geq 500\text{m}$)	E
28,0	OSB	E
220,0	KVH Träger C24 (120/220) ($e = 0,625 \text{ m}$)	D
380,0	Obergurt GL 28h (260/380)	D
2.800,0	Druck/ Zugdiagonalen GL 28h (260/260)	D
380,0	Untergurt GL28 h (260/380)	D
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Wärmeschutz: Bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten ist ein Umkehrdachzuschlag und die unterschiedliche Dicke der Gefälledämmung berücksichtigt. Die Grafik zeigt den Schnitt des geringsten Aufbaus.		
Feuchteschutz: Das Diffusionsverhalten wird über DIN 68800-2 Anhang A Bild A.17 nachgewiesen.		

T_DA_SDT_gk_exDB		
Gebäudeabschluss	M 1:25	tragend
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">  </div> <div style="width: 50%;"> <p>Brandschutz: Keine Anforderungen/ harte Bedachung</p> <hr/> <p>Wärmeschutz: $U = 0,1523 \text{ W/m}^2\text{K}$</p> <hr/> <p>Schallschutz: $R_w = 70 \text{ dB} (-22;0)$ Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 33; Z. 1</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial: 105,49 kg CO₂-Äq./m²</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: 3140,50 MJ/m²</p> </div> </div>		

Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau

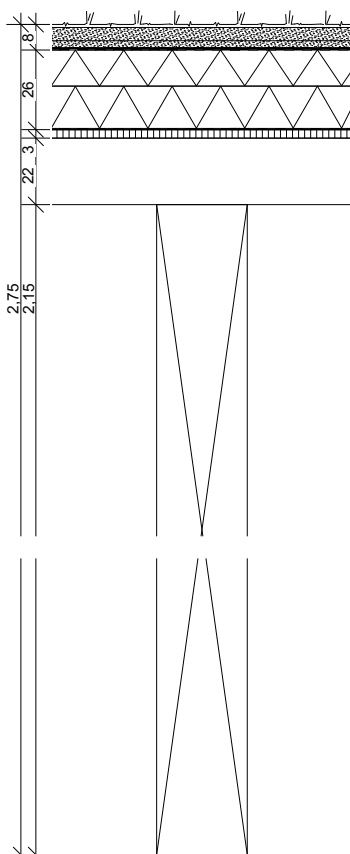
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
80,0	Extensive Dachbegrünung	D
3,0	Dachabdichtungsbahn ($s_d \geq 100 \text{ m}$)	E
260,0	Holzfaserdämmung ($\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$), mehrlagig, mit Gefälledämmung	E
0,05	Abdichtungsbahn ($s_d \geq 500 \text{ m}$)	E
28,0	OSB	E
220,0	Brettschichtholzträger C24 (120/220) ($e = 0,625 \text{ m}$)	D
2.508,0	Satteldachträger Brettschichtholz GL 24h (300 / 1100...2508)	D

Hinweise:

Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.

Wärmeschutz: Bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten ist ein Umkehrdachzuschlag und die unterschiedliche Dicke der Gefälledämmung berücksichtigt. Die Grafik zeigt den Schnitt des geringsten Aufbaus.

Feuchteschutz: Das Diffusionsverhalten wird über DIN 68800-2 Anhang A Bild A.17 nachgewiesen.

T_DA_SDT_gr_exDB		
Gebäudeabschluss	M 1:25	tragend
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">  </div> <div style="width: 50%;"> <p>Brandschutz: Keine Anforderungen/ harte Bedachung</p> <hr/> <p>Wärmeschutz (siehe Hinweis): $U = 0,1523 \text{ W/m}^2\text{K}$</p> <hr/> <p>Schallschutz (siehe Hinweis): $R_w = 70 \text{ dB} (-22;0)$ Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 33; Z. 1</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial: 105,29 kg CO₂-Äq./m²</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: 3137,90 MJ/m²</p> </div> </div>		

Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau

Dicke [mm]	Baustoff	BVK
80,0	Extensive Dachbegrünung	D
3,0	Dachabdichtungsbahn ($s_d \geq 100 \text{ m}$)	E
260,0	Holzfaserdämmung ($\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$), mehrlagig, mit Gefälledämmung	E
0,05	Abdichtungsbahn ($s_d \geq 500 \text{ m}$)	E
28,0	OSB	E
220,0	Brettschichtholzträger C24 (120/220) ($e = 0,625 \text{ m}$)	D
2.150,0	Satteldachträger Brettschichtholz GL 24h (300 / 1100...2150)	D

Hinweise:

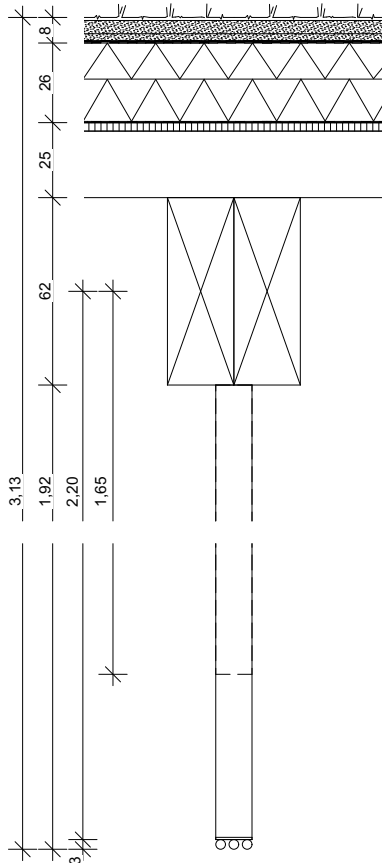
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.

Wärmeschutz: Bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten ist ein Umkehrdachzuschlag und die unterschiedliche Dicke der Gefälledämmung berücksichtigt. Die Grafik zeigt den Schnitt des geringsten Aufbaus.

Feuchteschutz: Das Diffusionsverhalten wird über DIN 68800-2 Anhang A Bild A.17 nachgewiesen.

T_DA_uT_exDB

Gebäudeabschluss	M 1:25	tragend
-------------------------	--------	----------------



Brandschutz:
Keine Anforderungen/ harte Bedachung

Wärmeschutz (siehe Hinweis):
 $U = 0,1523 \text{ W/m}^2\text{K}$

Schallschutz (siehe Hinweis):
 $R_w = 70 \text{ dB } (-22;0)$
Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 33; Z. 1

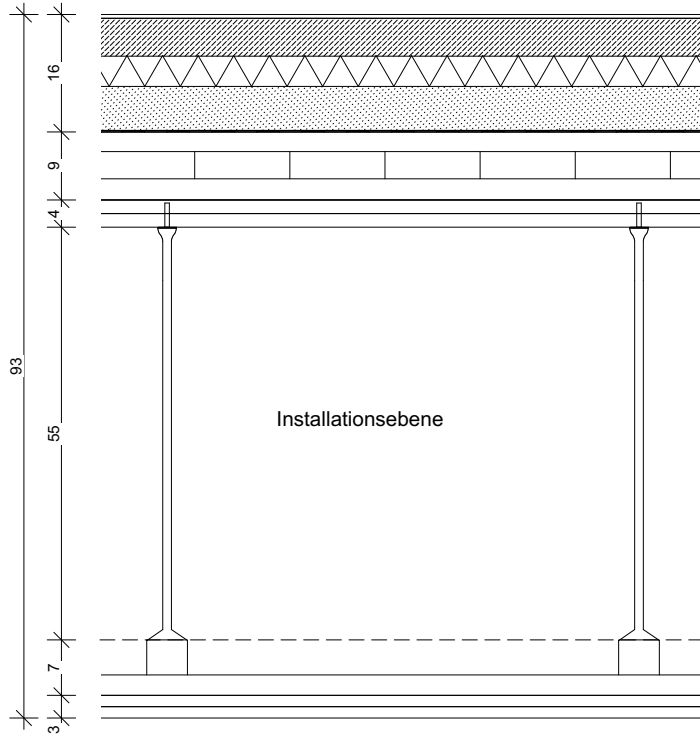
Treibhauspotenzial:
94,8 kg CO₂-Äq./m²

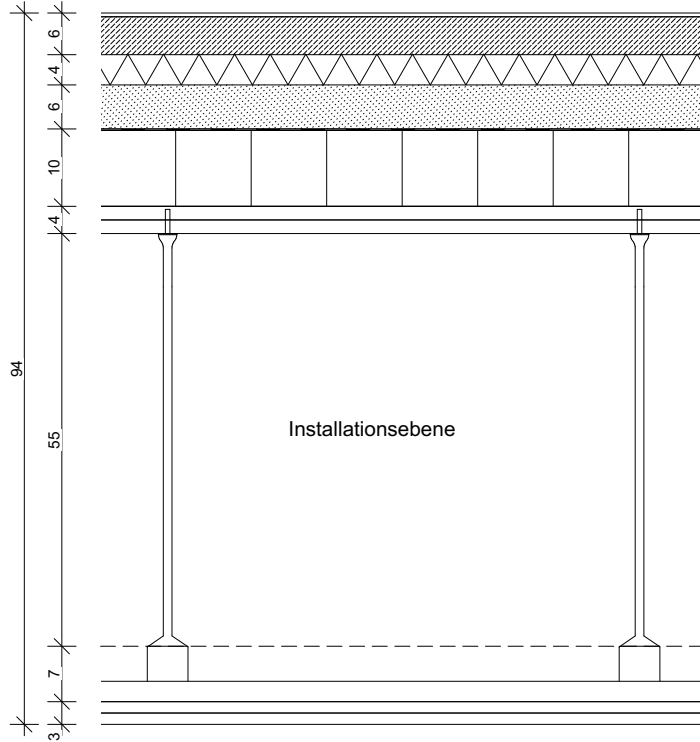
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar:
2988,30 MJ/m²

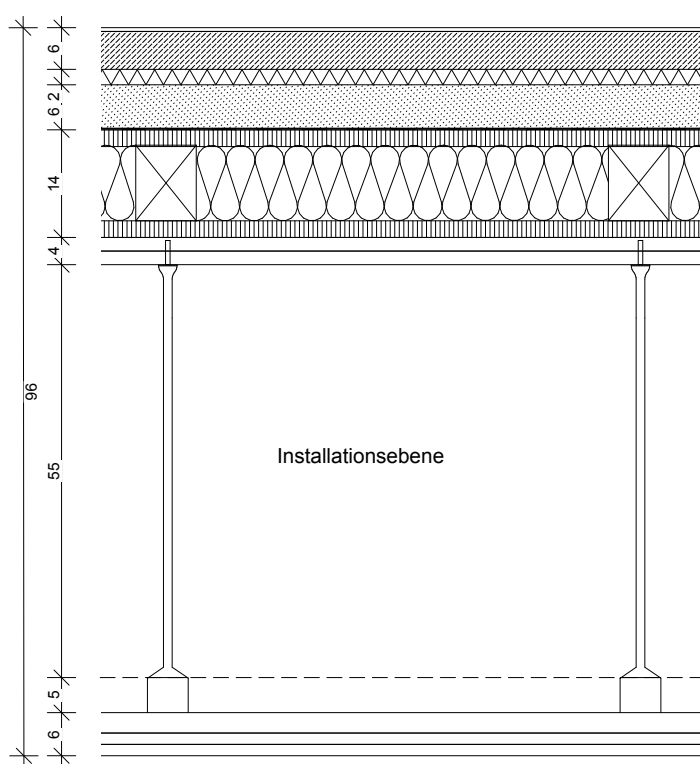
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau

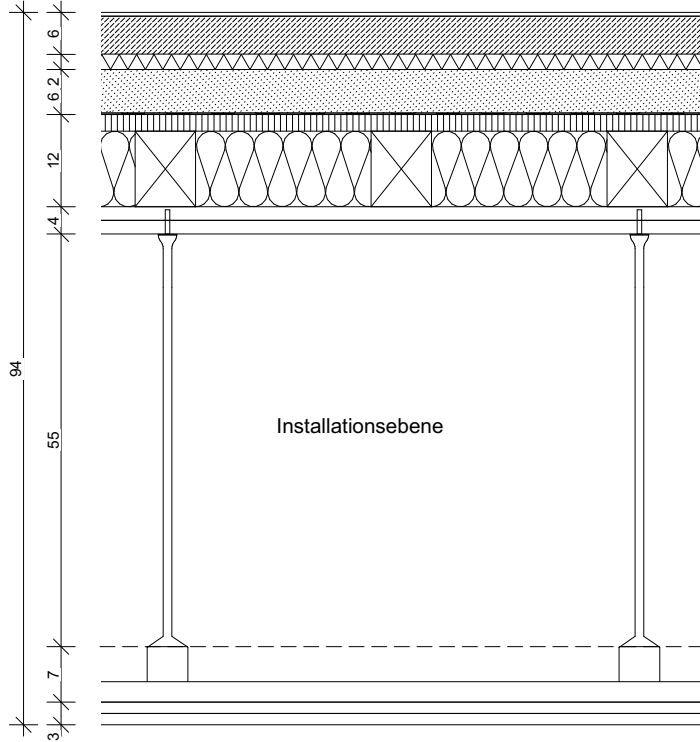
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
80,0	Extensive Dachbegrünung	D
3,0	Dachabdichtungsbahn ($s_d \geq 100 \text{ m}$)	E
260,0	Holzfaserdämmung ($\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$), mehrlagig, mit Gefälledämmung	E
0,05	Abdichtungsbahn ($s_d \geq 500\text{m}$)	E
28,0	OSB	E
220,0	Brettschichtholzträger C24 (120/220) ($e = 0,625 \text{ m}$)	D
620,0	Holzgurt BSH GL 28h (2 x 620/220)	D
2.200,0	Steher GL 28h (200/120)	D
32,0	Rundstahl S355 (3 x 32 mm Durchmesser)	A1

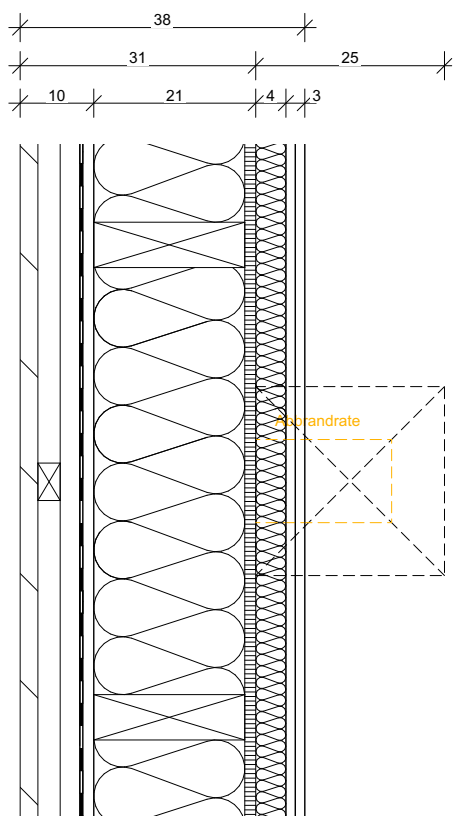
Hinweise:
 Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.
 Wärmeschutz: Bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten ist ein Umkehrdachzuschlag und die unterschiedliche Dicke der Gefälledämmung berücksichtigt. Die Grafik zeigt den Schnitt des geringsten Aufbaus.
 Feuchteschutz: Das Diffusionsverhalten wird über DIN 68800-2 Anhang A Bild A.17 nachgewiesen.

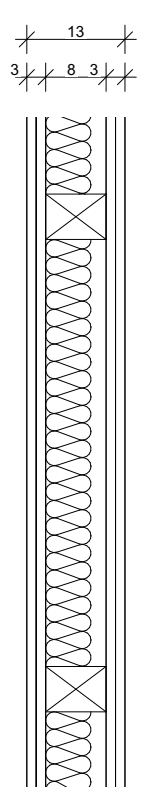
Flur		
F_DE_BSP_nE		
Geschossdecke	M 1:10	tragend
		<p>Brandschutz (siehe Hinweis): REI90 nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL 2022</p> <hr/> <p>Wärmeschutz: keine Anforderung</p> <hr/> <p>Schallschutz (siehe Hinweis): $R_w = 73 \text{ dB} (-16; -32)$ $L_{n,w} = 40 \text{ dB} (9)$ Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 26; Z. 8</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial: 93,77 kg CO₂-Äq./m²</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: 1898,10 MJ/m²</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
5,0	Bodenbelag Linoleum	C
50,0	Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)	A1
40,0	Trittschalldämmung ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)	A1
60,0	Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$)	A1
	Rieselschutz	B
90,0	Brettsperrholz 3-lagig CL24	D
36,0	Beplankung Gipskarton Feuerschutzplatten (2 x 18 mm) ^a	A2
a Gipskartonplatten Typ GKF nach DIN 18100 i.V.m. DIN EN 520 oder alternativ Gipsfaserplatten mit $\rho \geq 1100 \text{ kg/m}^3$ nach ETA		
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß und der bewertete Norm-Trittschallpegel können aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Brandschutz: Aufgrund des vorliegenden Sonderbautatbestands ist für die Anwendung dieses Bauteils nach MHolzBauRL 2022 eine Abweichung nach Art. 63 BayBo 2007 notwendig.		
Brandschutz: Eine abweichungsfreie Anwendung ist nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL vsl.2023 möglich.		

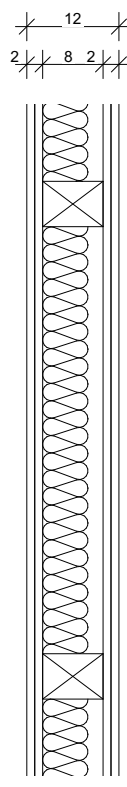
F_DE_BST_nE		
Geschossdecke	M 1:10	tragend
		<p>Brandschutz (siehe Hinweis):</p> <p>REI90 nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL 2022</p>
		<p>Wärmeschutz:</p> <p>keine Anforderung</p>
		<p>Schallschutz (siehe Hinweis):</p> <p>$R_w = 74 \text{ dB} (-9; -24)$ $L_{n,w} = 40 \text{ dB} (9)$ Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 24; Z. 5</p>
		<p>Treibhauspotenzial:</p> <p>94,76 kg CO₂-Äq./m²</p>
		<p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar:</p> <p>1919 MJ/m²</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
5,0	Bodenbelag Linoleum	C
50,0	Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)	A1
40,0	Trittschalldämmung ($s' \leq 7 \text{ MN/m}^3$)	A1
60,0	Splittschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$)	A1
	Rieselschutz	B
100,0	Brettstapelholz, verleimt, GL 24h	D
36,0	Beplankung Gipskarton Feuerschutzplatten (2 x 18 mm) ^a	A2
a Gipskartonplatten Typ GKF nach DIN 18100 i.V.m. DIN EN 520 oder alternativ Gipsfaserplatten mit $\rho \geq 1100 \text{ kg/m}^3$ nach ETA		
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß und der bewertete Norm-Trittschallpegel können aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Brandschutz: Aufgrund des vorliegenden Sonderbautatbestands ist für die Anwendung dieses Bauteils nach MHolzBauRL 2022 eine Abweichung nach Art. 63 BayBo 2007 notwendig.		
Brandschutz: Eine abweichungsfreie Anwendung ist nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL vsl.2023 möglich.		

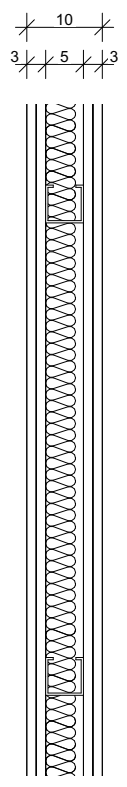
F_DE_K_nE		
Geschossdecke	M 1:10	tragend
 <p style="text-align: center;">Installationsebene</p>		<p>Brandschutz (siehe Hinweis):</p> <p>REI90</p> <p>nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL 2022 VwV TB BW Anlage A2.2/BW2 Abschnitt 4.1/ EDIN 4102-2/A1</p> <hr/> <p>Wärmeschutz:</p> <p>keine Anforderung</p> <hr/> <p>Schallschutz (siehe Hinweis):</p> <p>$R_w = 74 \text{ dB}$ (-11;-26)</p> <p>$L_{n,w} = 43 \text{ dB}$ (6)</p> <p>Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 24; Z. 5</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial:</p> <p>88,05 kg CO₂-Äq./m²</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar:</p> <p>1846,10 MJ/m²</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
5,0	Bodenbelag Linoleum	C
50,0	Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)	A1
20,0	Trittschalldämmung MW ($s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$)	A1
60,0	Splitschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$)	A1
	Rieselschutz	B
22,0	Dreischichtplatte, auf Träger geklebt	D
100,0	VH C24 (80/100, $e = 0,625 \text{ m}$)	D
100,0	Gefachdämmung Mineralwolle	A1
22,0	Dreischichtplatte, auf Träger geklebt	D
36,0	Beplankung Gipskarton Feuerschutzplatten (2 x 18 mm) ^a	A2
a Gipskartonplatten Typ GKF nach DIN 18100 i.V.m. DIN EN 520 oder alternativ Gipsfaserplatten mit $\rho \geq 1100 \text{ kg/m}^3$ nach ETA		
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß und der bewertete Norm-Trittschallpegel können aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Brandschutz: Aufgrund des vorliegenden Sonderbautatbestands ist für die Anwendung dieses Bauteils nach MHolzBauRL 2022 i.V.m. VwV TB BW Anlage A2.2/ BW2 Abschnitt 4.1/ EDIN 4102-2/A1 eine Abweichung nach Art. 63 BayBo 2007 notwendig.		
Brandschutz: Eine abweichungsfreie Anwendung ist nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL vsl.2023 möglich.		

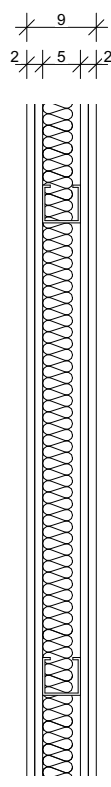
F_DE_R_nE		
Geschossdecke	M 1:10	tragend
		<p>Brandschutz (siehe Hinweis):</p> <p>REI90 nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL 2022 VwV TB BW Anlage A2.2/BW2 Abschnitt 4.1/ EDIN 4102-2/A1</p> <hr/> <p>Wärmeschutz:</p> <p>keine Anforderung</p> <hr/> <p>Schallschutz (siehe Hinweis):</p> <p>$R_w = 74 \text{ dB} (-11; -26)$ $L_{n,w} = 43 \text{ dB} (6)$ Nach Informationsdienst Holz Tab.24; Z.5</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial:</p> <p>84,59 kg CO₂-Äq./m²</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar:</p> <p>1798,30 MJ/m²</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
5,0	Bodenbelag Linoleum	C
50,0	Zementestrich ($m' \geq 120 \text{ kg/m}^2$)	A1
20,0	Trittschalldämmung MW ($s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$)	A1
60,0	Splitschüttung ($m' \geq 90 \text{ kg/m}^2$)	A1
	Rieselschutz	B
22,0	Dreischichtplatte, auf Träger geklebt	D
100,0	VH Träger (80/100, $e = 0,3125 \text{ m}$)	D
100,0	Gefachdämmung Mineralwolle	A1
36,0	Beplankung Gipskarton Feuerschutzplatten (2 x 18 mm) ^a	A2
a Gipskartonplatten Typ GKF nach DIN 18100 i.V.m. DIN EN 520 oder alternativ Gipsfaserplatten mit $\rho \geq 1100 \text{ kg/m}^3$ nach ETA		
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß und der bewertete Norm-Trittschallpegel können aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Brandschutz: Aufgrund des vorliegenden Sonderbautatbestands ist für die Anwendung dieses Bauteils nach MHolzBauRL 2022 i.V.m. VwV TB BW Anlage A2.2/ BW2 Abschnitt 4.1/ EDIN 4102-2/A1 eine Abweichung nach Art. 63 BayBo 2007 notwendig.		
Brandschutz: Eine abweichungsfreie Anwendung ist nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL vsl.2023 möglich.		

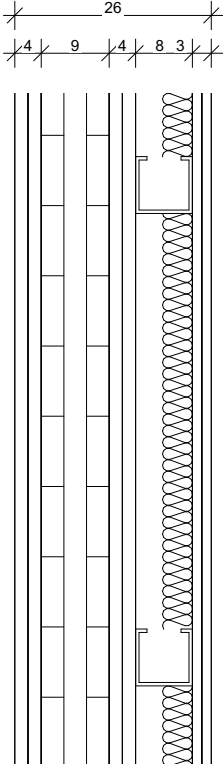
Außenwand		
AW_HTB		
Außenwand	M 1:10	nichttragend
 <p>Dimensions: 38, 31, 25, 10, 21, 4, 3</p> <p>Detail: Verbundrate</p>		<p>Brandschutz (siehe Hinweis): EI30 nach DIN EN 1995-1-2 Außenwandbekleidung nach MHolzBauRI2020</p> <hr/> <p>Wärmeschutz (siehe Hinweis): Keine Anforderungen</p> <hr/> <p>Schallschutz (siehe Hinweis): $R_w = 59$ dB Nach dataholz.eu Außenwand awrhh08a-05</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial: 77,44 kg CO₂-Äq./m²</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: 1235,30 MJ/m²</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
24,0	Holz Lärche Außenwandverkleidung	D
30,0	Holz Fichte Lattung versetzt (30/50; 30/80) -Hinterlüftung	D
30,0	Lattung Hinterlüftung	D
	Windbremse $s_d \leq 0,3$ m	E
15,0	Gipsfaserplatte Typ F ^a	A2
200,0	Konstruktionsholz (60/200; e = 0,625 m)	D
200,0	Mineralwolle, Schmelzpunkt < 1000°C	A1
15,0	OSB (luftdicht verklebt)	E
40,0	Installationsschicht: Holz Fichte Querlattung (a = 400)	D
40,0	Naturdämmstoff Holzfasermatten (alternativ: Zellulosefasern lose, wenn keine Installationen)	E
25,0	Gipsbauplatte Typ A, 2 x 12,5 mm	A2
a Gipskartonplatten Typ GKF nach DIN 18180 i.V.m. DIN EN 520 oder alternativ Gipsfaserplatten mit $\rho \geq 1100$ kg/m ³ nach ETA		
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Feuchteschutz: Das Diffusionsverhalten wird über dataholz.eu Außenwand awrhh08a-05 nachgewiesen.		
Brandschutz: In der MHolzBauRL vsl.2023 ist bei brennbaren Gefachdämmstoffen eine 18 mm dicke nichtbrennbare Trägerplatte ^a anzubringen.		
Brandschutz: Bei der Ausbildung der Außenwandbekleidung sind die Vorgaben der MHolzBauRL 2022 bzw. MHolzBauRL vsl.2023 zu beachten.		

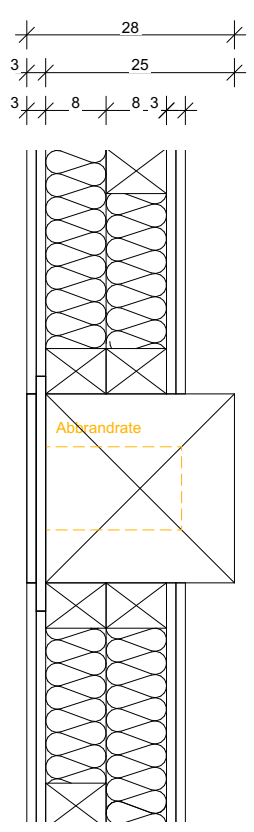
Bürowände		
BW_HTB_GKP		
Bürowand	M 1:10	nichttragend
		<p>Brandschutz: Keine Anforderungen</p> <hr/> <p>Wärmeschutz: Keine Anforderungen</p> <hr/> <p>Schallschutz (siehe Hinweis): $R_w = 42 \text{ dB}$ Nach Knauf Gips KG 2019 W122.de Einfachständer zweilagig beplankt S. 6</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial: $23,08 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./m}^2$</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: $481,47 \text{ MJ/m}^2$</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
25,0	Gipsbauplatte Typ A, 2 x 12,5 mm	A2
80,0	Holzständer (60/80, e = 0,625 m)	D
60,0	Naturdämmstoff Holzfasermatten	E
25,0	Gipsbauplatte Typ A, 2 x 12,5 mm	A2
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		

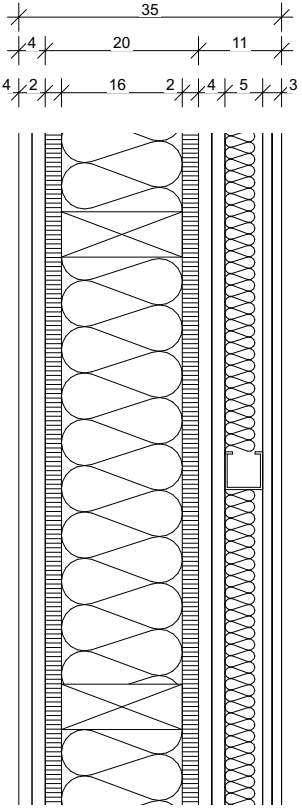
BW_HTB_LBP		
Bürowand	M 1:10	nichttragend
		<p>Brandschutz: Keine Anforderungen</p> <hr/> <p>Wärmeschutz: Keine Anforderungen</p> <hr/> <p>Schallschutz (siehe Hinweis): $R_w = 52 \text{ dB}$ Nach CLAYTEC GmbH & Co. KG 2022 Tabelle 13 Art. Nr. 09.014</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial: $13,35 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./m}^2$</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: $551,92 \text{ MJ/m}^2$</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
22,0	Lehmbauplatte schwer, D22	A1
80,0	Holzständer (60/80, e = 0,625 m)	D
80,0	Naturdämmstoff Holzfasermatten (alternativ: Zellulosefasern lose, wenn keine Installationen)	E
22,0	Lehmbauplatte schwer, D22	A1
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		

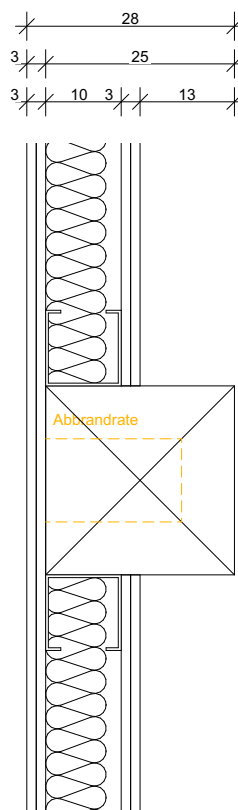
BW_MSt_GKP		
Bürowand	M 1:10	nichttragend
		Brandschutz: Keine Anforderungen
		Wärmeschutz: Keine Anforderungen
		Schallschutz (siehe Hinweis): $R_w = 54,1 \text{ dB}$ Nach Knauf Gips KG 2020 W112.de Einfachständerwerk Zweiseitig beplankt F30 S10
		Treibhauspotenzial: $21,2 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./m}^2$
		Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: $435,89 \text{ MJ/m}^2$
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
25,0	Gipsbauplatte Typ A, 2 x 12,5 mm	A2
50,0	Metallständer (CW-Profil, e = 0,625 m)	A1
40,0	Naturdämmstoff Holzfasermatten	E
25,0	Gipsbauplatte Typ A, 2 x 12,5 mm	A2
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		

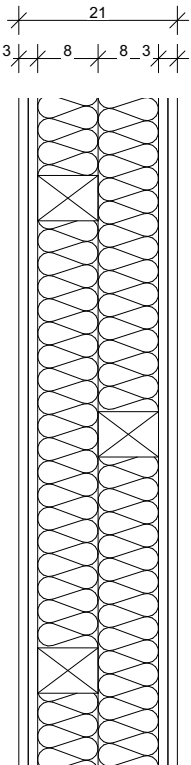
BW_MSt_LBP		
Bürowand	M 1:10	nichttragend
		<p>Brandschutz: Keine Anforderungen</p> <hr/> <p>Wärmeschutz: Keine Anforderungen</p> <hr/> <p>Schallschutz (siehe Hinweis): $R_w = 55 \text{ dB}$ Nach CLAYTEC GmbH & Co. KG 2022 Tabelle 13 Art. Nr. 09.014</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial: $8,09 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./m}^2$</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: $297,30 \text{ MJ/m}^2$</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
22,0	Lehmbauplatte schwer, D22	A1
50,0	Metallständer (CW-Profil, e = 0,625 m)	A1
40,0	Naturdämmstoff Holzfasermatten	E
22,0	Lehmbauplatte schwer, D22	A1
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		

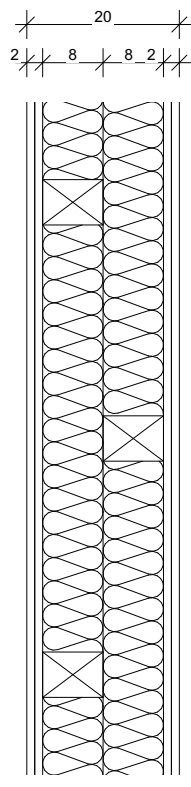
Flurwände		
FW_BSP_GKP_t		
Flurwand	M 1:10	tragend
		Brandschutz (siehe Hinweis): REI90 nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL 2022
		Wärmeschutz: Keine Anforderungen
		Schallschutz (siehe Hinweis): $R_w = 62$ dB Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 42 Z. 1
		Treibhauspotenzial: 46,18 kg CO ₂ -Äq./m ²
		Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: 872,96 MJ/m ²
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
36,0	Gipsbauplatte Typ F, 2 x 18 mm ^a	A2
90,0	Brettsper Holz 3-lagig	D
36,0	Gipsbauplatte Typ F, 2 x 18 mm ^a	A2
40,0	Naturdämmstoff Holzfasermatten	E
75,0	Metallständer CW-Profil	A1
25,0	Gipskartonplatte Typ F 2 x 12,5 mm	A2
a Gipskartonplatten Typ GKF nach DIN 18180 i.V.m. DIN EN 520 oder alternativ Gipsfaserplatten mit $\rho \geq 1100$ kg/m ³ nach ETA		
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Brandschutz: Aufgrund des vorliegenden Sonderbautatbestands ist für die Anwendung dieses Bauteils nach MHolzBauRL 2022 eine Abweichung nach Art. 63 BayBo 2007 notwendig.		
Brandschutz: Eine abweichungsfreie Anwendung ist nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL vsl.2023 möglich.		

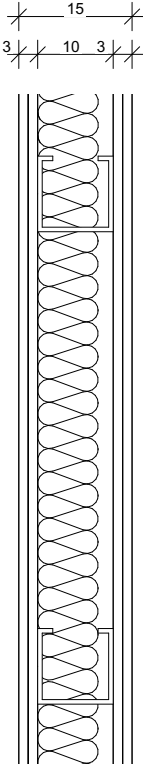
FW_HTB_GKP		
Flurwand	M 1:10	nichttragend
		Brandschutz (siehe Hinweis): EI30 nach prEN 1995-1-2 i.V.m Knauf Gips KG 2019 Stütze nach DIN EN 1995-1-2
		Wärmeschutz: Keine Anforderungen
		Schallschutz (siehe Hinweis): $R_w = 61$ dB Nach Knauf Gips KG 2019 W125.de Doppelständer nichttragend F90 S.7
		Treibhauspotenzial: $22,37$ kg CO ₂ -Äq./m ²
		Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: $398,52$ MJ/m ²
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
25,0	Gipsbauplatte Typ F, 2 x 12,5 mm	A2
(32)	alternativ Lehm- oder Gipsbauplatte D16 2 x 16 mm	A1
160,0	Holzständer versetzt, 2 x 60/80 (e = 0,625 m)	D
80,0	Mineralwolle	A1
25,0	Gipsbauplatte Typ F, 2 x 12,5 mm	A2
(32)	alternativ Lehm- oder Gipsbauplatte D16 2 x 16 mm	A1
250,0	Holzstütze, e = 3,75 m	D
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		

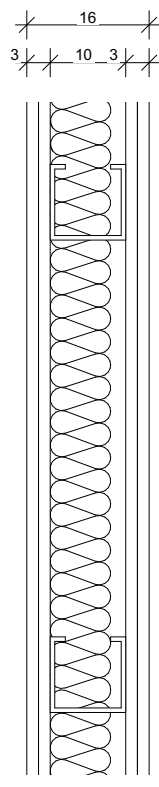
FW_HTB_GKP_t		
Flurwand	M 1:10	tragend
		<p>Brandschutz (siehe Hinweis):</p> <p>REI90</p> <p>nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL 2022 VwV TB BW Anlage A2.2/BW2 Abschnitt 4.1/ EDIN 4102-2/A1</p> <hr/> <p>Wärmeschutz:</p> <p>Keine Anforderungen</p> <hr/> <p>Schallschutz (siehe Hinweis):</p> <p>$R_w = 60$ dB</p> <p>Nach Informationsdienst Holz (2019) Tab. 41 Z. 3</p> <hr/> <p>Treibhauspotenzial:</p> <p>78,76 kg CO₂-Äq./m²</p> <hr/> <p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar:</p> <p>1.579,10 MJ/m²</p>
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
36,0	Gipsbauplatte Typ F, 2 x 18 mm ^a	A2
22,0	OSB	E
160,0	Konstruktionsholz (100/160, e = 0,625 m)	D
160,0	Mineralwolle, Schmelzpunkt > 1000°C	A1
22,0	OSB	E
36,0	Gipsbauplatte Typ F, 2 x 18 mm ^a	A2
50,0	Installationsschicht Metallständer CW-Profil	A1
40,0	Naturdämmstoff Holzfasermatten	E
25,0	Gipsbauplatte Typ A, 2 x 12,5 mm	A2
(22)	alternativ Lehmbauplatte D22	A1
a Gipskartonplatten Typ GKF nach DIN 18180 i.V.m. DIN EN 520 oder alternativ Gipsfaserplatten mit $\rho \geq 1100$ kg/m ³ nach ETA		
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		
Brandschutz: Aufgrund des vorliegenden Sonderbautatbestands ist für die Anwendung dieses Bauteils nach MHolzBauRL 2022 i.V.m. VwV TB BW Anlage A2.2/ BW2 Abschnitt 4.1/ EDIN 4102-2/A1 eine Abweichung nach Art. 63 BayBo 2007 notwendig.		
Brandschutz: Eine abweichungsfreie Anwendung ist nach DIN EN 1995-1-2 i.V.m MHolzBauRL vsl.2023 möglich.		

FW_MSt_GKP		
Flurwand	M 1:10	nichttragend
		Brandschutz (siehe Hinweis): EI30 nach prEN 1995-1-2 i.V.m Knauf Gips KG 2020
		Wärmeschutz: Keine Anforderungen
		Schallschutz (siehe Hinweis): $R_w = 54,1 \text{ dB}$ Nach Knauf Gips KG 2020 W112.de Einfachständerwerk Zweiseitig beplankt F30 S10
		Treibhauspotenzial: $23,06 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./m}^2$
		Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: $403,42 \text{ MJ/m}^2$
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
25,0	Gipsbauplatte Typ F, 2 x 12,5 mm	A2
(32)	alternativ Lehmbohle D16 2 x 16 mm	A1
100,0	Metallständer CW-Profil	A1
80,0	Mineralwolle	A1
25,0	Gipsbauplatte Typ F, 2 x 12,5 mm	A2
(32)	alternativ Lehmbohle D16 2 x 16 mm	A1
250,0	Holzstütze, e = 3,75 m	D
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		

Trennwände		
TW_HTB_GKP		
Trennwand	M 1:10	nichttragend
		Brandschutz : EI90 nach prEN 1995-1-2 i.V.m Knauf Gips KG 2019
		Wärmeschutz: Keine Anforderungen
		Schallschutz (siehe Hinweis): $R_w = 61 \text{ dB}$ Nach Knauf Gips KG 2019 W125.de Doppelständer nichttragend F90 S.7
		Treibhauspotenzial: 26,87 kg CO ₂ -Äq./m ²
		Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: 452,46 MJ/m ²
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
25,0	Gipsbauplatte Typ F, 2 x 12,5 mm	A2
160,0	Holzständer entkoppelt (2 x 60/80, e = 0,625 m)	D
160,0	Mineralwolle, Schmelzpunkt > 1000 °C	A1
25,0	Gipsbauplatte Typ F, 2 x 12,5 mm	A2
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		

TW_HTB_LBP		
Trennwand	M 1:10	nichttragend
		Brandschutz: EI90 nach prEN 1995-1-2 i.V.m CLAYTEC GmbH & Co. KG 2022
		Wärmeschutz: Keine Anforderungen
		Schallschutz (siehe Hinweis): $R_w = 65$ dB Nach CLAYTEC GmbH & Co. KG 2022 Tabelle 13 Art. Nr. 09.014
		Treibhauspotenzial: 14,19 kg CO ₂ -Äq./m ²
		Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: 460,78 MJ/m ²
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
44,0	Lehmbauplatte, schwer 2 x 22mm	A1
160,0	Holzständer entkoppelt (2 x 60/80, e = 0,625 m)	D
160,0	Mineralwolle, Schmelzpunkt > 1000 °C	A1
44,0	Lehmbauplatte, schwer 2 x 22 mm	A1
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		

TW_MSt_GKP		
Trennwand	M 1:10	nichttragend
	<p>Brandschutz (siehe Hinweis):</p> <p>EI90</p> <p>nach prEN 1995-1-2 i.V.m Knauf Gips KG 2020</p>	
	<p>Wärmeschutz:</p> <p>Keine Anforderungen</p>	
	<p>Schallschutz (siehe Hinweis):</p> <p>$R_w = 59,8 \text{ dB}$</p> <p>Nach Knauf Gips KG 2020 W112.de Einfachständerwerk Zweiseitig beplankt F90 S10</p>	
	<p>Treibhauspotenzial:</p> <p>21,59 kg CO₂-Äq./m²</p>	
	<p>Primärenergiebedarf nicht erneuerbar:</p> <p>383,45 MJ/m²</p>	
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
25,0	Gipsbauplatte Typ F, 2 x 12,5 mm	A2
100,0	Metallständer (CW-Profil, e = 0,625 m)	A1
80,0	Mineralwolle, Schmelzpunkt > 1000 °C	A1
25,0	Gipsbauplatte Typ F, 2 x 12,5 mm	A2
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		

TW_MSt_LBP		
Trennwand	M 1:10	nichttragend
		Brandschutz: EI90 nach prEN 1995-1-2 i.V.m CLAYTEC GmbH & Co. KG 2022
		Wärmeschutz: Keine Anforderungen
		Schallschutz (siehe Hinweis): $R_w = 56 \text{ dB}$ Nach CLAYTEC GmbH & Co. KG 2022 Tabelle 13 Art. Nr. 09.015
		Treibhauspotenzial: $13,73 \text{ kg CO}_2\text{-Äq./m}^2$
		Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: $399,94 \text{ MJ/m}^2$
Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau		
Dicke [mm]	Baustoff	BVK
32,0	Lehmbauplatte, schwer 2 x 16 mm	A1
150,0	Metallständer (CW-Profil, e = 0,625 m)	A1
140,0	Mineralwolle, Schmelzpunkt > 1000 °C	A1
32,0	Lehmbauplatte, schwer 2 x 16 mm	A1
Hinweise:		
Schallschutz: Das tatsächlich vorhandene bewertete Schalldämm-Maß kann aufgrund fehlender Messwerte nicht angegeben werden.		

Literaturverzeichnis

BayBo 2007, 2007: Bayerische Bauordnung (BayBO).

EDIN 4102-2/A1, April 2023: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen.

CLAYTEC GmbH & Co. KG (2022): Ökologische Trockenbauwände im System. Nachhaltige und wohngesunde Bauweisen der Zukunft.

dataholz.eu. Online verfügbar unter <https://www.dataholz.eu/>, zuletzt geprüft am 27.11.2023.

DIN EN 15804+A1, April 2012: DIN EN 15804:2012+A1:2013. Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte.

DIN EN 15978, Dezember 2012: DIN EN 15978:2012-12. Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation method; German version EN 15978:2011.

DIN EN 1995-1-2, 2010: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten.

prEN 1995-1-2, September 2023: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten.

DIN 18180, September 2014: Gipsplatten.

DIN EN 520, Dezember 2009: Gipsplatten.

DIN 68800-2, 2022: Holzschutz.

Informationsdienst Holz (Hg.) (2019): Schallschutz im Holzbau- Grundlagen der Vorbemessung. Informationsverein Holz e.V. (Reihe 3: Bauphysik, Teil 3: Schallschutz).

Knauf Gips KG (2019): Knauf Holzständerwände. Nichttragend. W12.de Detailblatt.

Knauf Gips KG (2020): Knauf Metallständerwände. Nichttragend. W11.de Detailblatt.

MHolzBauRL 2022, Oktober 2022: Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise (MHolzBauRL).

MHolzBauRL vsI.2023, 18.09.2023: Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise (MHolzBauRL).

DIN 4109-32, Juli 2016: Schallschutz im Hochbau.

VwV TB, 12.12.2022: Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Landesentwicklung und Wohnen über Technische Baubestimmungen.

DIN 4108-3, 2018: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden.