



DIPLOMARBEIT

less is more

Österreichische Architektur als Vorbild für Ressourceneffizienz

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs /

Diplom-Ingenieurin unter der Leitung Alireza Fadai

E 259.2

Abteilung für Tragswerksplanung und Ingenierholzbau

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Constanze Einhell

0626517

Wien, am 28.05.2014

Abstract

Der Ressourcenverbrauch unserer Generation ist im Moment derart ineffizient und verschwenderisch, dass im Jahre 2050 ein weiterer Planet erforderlich sein würde, um den Bedarf zu decken. Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit sind Themen, die folglich in der heutigen Zeit immer mehr Bedeutung erlangen. Das allgemeine Bewusstsein erkennt die Endlichkeit der natürlichen Ressourcen dieses Planeten und auch die Politik sieht Handlungsbedarf.

Die EU hat, gestützt auf ihren Gründungsvertrag, den Umweltschutz als eines ihrer primären Ziele festgelegt. Der Schutz der natürlichen Ressourcen, als wichtige Brennstoffe, aber auch enormem Faktor der Treibhausgasemissionen, sowie die Steigerung der Energieeffizienz zur Erfüllung des Kyoto-Protokolls sind Hauptthemen der europäischen Klimapolitik. Da 40 % des Gesamtenergieverbrauchs der EU durch den Gebäudesektor verursacht werden, ist dieser ein Hauptaugenmerk der europäischen Klimapolitik und wird mit speziellen Richtlinien und Strategien bedacht. Eine ressourceneffizientere Bauweise und Nutzung der Gebäude hätte Einsparungen des „Endenergiebedarfs“ von 42 % gegenüber dem Jahr 1990 zufolge. Zudem würden die Treibhausgasemissionen um 35 % gesenkt, 50% aller geförderten Werkstoffe wären beeinflusst und 30 % des Wasserverbrauchs könnten eingespart werden. Aus diesem Grund soll die bisherigen politische Strategie der Energieeffizienz und der Nutzung erneuerbarer Energien eine Erweiterung durch das Thema Ressourceneffizienz erfahren (1).

Aufgrund der fehlenden Normung wird der Planer in die Verantwortung gezogen, Ressourceneffizienz in seine Tätigkeit einzubeziehen. Dabei ist zu beachten, dass eine Gebäudestruktur, ein Material, eine Konstruktion oder ein Tragsystem per se nie Ressourceneffizienz garantiert. Erst die spezifische Anwendung, Materialbelegung, der Zusammenschluss, bzw. die Kombination all die-

ser Faktoren ist ausschlaggebend. Dabei ist der gesamte Lebenszyklus, von der Herstellung über die Nutzung und den Rückbau zu betrachten. Jede Phase beinhaltet eigene Anforderungen und Aspekte an Grundrissgestaltung, Konstruktion und Materialien. In der Herstellungsphase sind vor allem statische und materielle Überlegungen bezüglich des Tragsystems und der einzelnen Tragelemente sowie deren Materialisierung essentiell. Die Effizienz der Nutzungsphase wird maßgeblich von energetischen Anforderungen, wie z.B. der Konstruktion des thermischen Gebäudeabschlusses und der Speichermassen, geprägt.

Bauplatz 5 des Projektes Eurogate von Johannes Kaufmann erfüllt als Passivhaus die aktuelle europäische Normung. Zudem entspricht es durch die Verwendung erneuerbarer Ressourcen in der Tragkonstruktion dem künftigen Fokus der EU in Richtung Ressourceneffizienz. Eine Untersuchung dieses Projektes soll aufzeigen, wie sich Gesichtspunkte des mehrgeschossigen, urbanen Wohnbaus mit Wiener Wohnbauförderung und den daraus folgenden hohen Bandschutzaufgaben und minimalen wirtschaftlichen Spielräumen mit dem Thema Ressourceneffizienz vereinbaren lassen.

Als ein Optimierungsansatz in Bezug auf Konstruktion, Materialwahl und Gebäudestruktur wird eine Simulation der existierenden solaren Pufferäume durchgeführt. Verschiedene Konstruktionsvarianten sowie der Verlauf der thermischen Hülle werden, unter Betrachtung der sich einstellenden Temperaturen und des Heizwärmebedarfs, untersucht.

Due to the inefficient and thrifless resource consumption of our generation another planet would be required in the year 2050 to meet the demand. Therefore efficiency and sustainability have become increasingly important issues nowadays. Public awareness accepts the limited nature of natural resources and policy also has identified a need for action.

Based on its founding treaty, the EU has established environmental protection as one of its primary goals. The main topics of European politics to meet the Kyoto Protocol are the protection of natural resources as important fuel but also as an enormous reason for greenhouse gas emissions, and the increase of energy efficiency. Since 40% of the EU total energy consumption is caused by the building sector, this is major concern of European climate policy and is provided with specific guidelines and strategies. A resource-efficient construction and use of the buildings would result in a "final energy demand" of 42% in comparison to 1990. In addition, the greenhouse gas emissions would be cut by 35%, also 50% of all funded materials would be affected and 30% of the water consumption could be saved as well. For this reason, the former political strategy concerning energy efficiency and the use of renewable energy ought to find an extension by the issue of resource efficiency (1).

Due to the lack of standardization, the planner has to undertake the responsibility to include resource efficiency in his activities. Attention should be paid to the fact that building structure, material, design or supporting systems per se never guarantee resource efficiency. Only specific application, material assignment, integration or a combination of all these factors are crucial. Thereby, you have to take into consideration the entire life cycle from the production onto the use and demolition. Each period contains its own requirements and aspects of design, construction and material. During production, especial-

ly static and material considerations concerning the supporting system and the individual supporting elements as well as their materialization are essential. The efficiency of the use period will largely depend on energy requirements, such as the construction of the thermal building closure and storage masses.

As a passive house, building plot number 5 of the project eurogate by Johannes Kaufmann accomplishes the current European standardization. Moreover, the use of wood as a renewable resource in the supporting structure corresponds to the EU future focus towards resource efficiency. By studying this project, it has to be shown how multi-story urban housing with Viennese housing subsidy and thereout resulting high fire prevention requirements and minimum economic scope can be arranged with the issue of resource efficiency.

To optimize the design, the choice of materials and of the building structure, a simulation of the existing solar buffer spaces is performed. Concentrating on arousing temperatures and heating requirements, various design varieties are examined.

Inhalt

I. Strategien, Normen und Bilanzierung	12
I.1 Europäische Union	13
I.1.1 Die Entwicklung der Klimapolitik der Europäische Union	13
I.1.1.1 Lissabon-Strategie	13
I.1.1.2 Europa 2020	15
I.1.1.3 Energiefahrplan 2050	15
I.1.2 Gebäudesektor	16
I.1.2.1 Energy Performance in building Directive 2002	16
I.1.2.2 Energy Performance in building Directive 2010	16
I.1.2.3 Energy Performance in building Directive 2012	17
I.2 Österreich	19
I.2.1 Nationaler Plan Österreichs	19
I.2.2 Gebäudesektor	20
I.2.2.1 Wiener Bauordnung	20
I.2.2.2 Wiener Bautechnikverordnung (WBTv)	21
I.2.2.3 Techniknovelle 2012	21
I.2.2.4 OIB Richtlinie 6	21
I.2.2.4.1 Thermisch-energetische Anforderungen der OIB Richtlinie 6	22
I.2.2.4.2 Sonstige Anforderungen aus der OIB Richtlinie 6	22
I.3 Bilanzierungssysteme	23
I.3.1 Ganzheitliche Bilanzierung	24
I.3.1.1 DGNB - Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen	25
I.3.1.2 Klima:aktiv	25
I.3.2 Energetische Bilanzierung	26
I.3.2.1 Minenergie	26
I.3.2.2 Der Passivhausstandard	27
I.3.3 Ökologische Bilanzierung	28
I.3.3.1 Umwelt-Produktdeklaration (EPD)	28
I.3.3.1.1 Ökologische Indikatoren	29
I.3.3.1.2 Ökologischer Bilanzierungszeitraum	30
II. Gebäudesysteme	31
II.1 Gebäudeform und Grundrissgestaltung	33
II.1.1 Oberflächen-Volumen-Verhältnis	33
II.1.2 Thermische Zonierung und Pufferräume	34

II.2	Wärmedurchgang durch Bauteile	35
II.2.1	Verglasungsanteil und Ausrichtung	36
II.3	Minimierung der Lüftungswärmeverluste	37
II.4	Sommerlicher Überhitzungsschutz	38
II.4.1	Art der Verglasung	38
II.4.1.1	Variochrome Gläser	39
II.4.2	Anteil und Ausrichtung der Verglasungsflächen	40
II.4.3	Verschattungssysteme	41
II.4.3.1	Orientierung	41
II.4.3.2	Auswirkungen verschiedener Systeme auf die Raumtemperatur	43
II.4.4	Thermische Speichermasse	43
II.4.4.1	Speichermassenpositionierung	43
II.4.4.2	Vorteile einer Nachtlüftung	44
II.5	Minimierung des Haushaltstrombedarfs	44
II.5.1	Tageslichtnutzung	44
II.5.1.1	Lichtlenksysteme	46
II.5.2	Belüftung	46
II.5.2.1	Windkräfte und Thermik	47
II.5.2.2	Lüftungskonzepte eines Gebäudes	47
II.5.2.3	Natürliche Lüftungskonzepte in Räumen	48
III.	Tragsystem, Konstruktion und Materialwahl	49
III.1	Einflussfaktoren der Herstellungsphase	50
III.1.1	Optimierung gebräuchlicher Materialien	51
III.1.1.1	Ökobeton	51
III.1.1.1.1	Forschungsansätze	51
III.1.1.1.2	Slagstar	52
III.1.1.2	Recyclingbeton	53
III.1.2	Funktionstrennung von Tragsystemen und Elementen	54
III.1.2.1	Leistungsfähigkeit	55
III.1.2.1.1	Ultrahochfester Beton	55
III.1.2.1.2	Thermo-hygro-mechanisch verdichtetes Holz	57
III.1.2.2	Funktionsäquivalent	57
III.1.2.3	Hybridkonstruktionen	60
III.1.2.3.1	Holz-Glas	60
III.1.2.3.2	Holz-Stahl	62
III.1.2.3.3	Holz-Beton	63

Inhalt

III.1.2.3.4	Holz-Holzleichtbeton-Beton	63
III.2	Einflussfaktoren der Nutzungsphase	64
III.2.1	Energetische Optimierung	65
III.2.1.1	Konstruktive Maßnahmen	65
III.2.1.1.1	Wärmebrücken	65
III.2.1.1.2	Grundregeln	66
III.2.1.1.3	Luftdichtheit	67
III.2.1.2	Materialwahl	69
III.2.1.2.1	Wärmedurchgang durch Bauteile	69
III.2.1.2.2	Optimierung der Speichermassen	73
III.2.2	Nutzungsflexibilität und Dauerhaftigkeit	77
III.2.2.1	Optimierung der Flexibilität	78
III.2.2.1.1	Flexibilität der Gesamtkonstruktion	78
III.2.2.1.2	Flexibilität eines Bauteils	79
III.2.2.2	Optimierung der Dauerhaftigkeit	79
III.3	Einflussfaktoren am Lebensende	80
III.3.1	Verwertung	80
III.3.1.1	Wiederverwendung	81
III.3.1.2	Energetische Verwertung	81
III.3.1.3	Upcycling	82
III.3.1.4	Downcycling	82
III.3.1.5	Recycling	82
III.3.2	Recyclinggerechte Konstruktion	83
IV.	Fallbeispiel Eurogate	85
IV.1	Überblick	86
IV.1.1	Entstehungsgeschichte	86
IV.1.2	Städtebau	87
IV.1.3	Erscheinungsbild	87
IV.1.4	Grundrissbeschreibung	87
IV.1.5	Aufbauten	91
IV.1.6	Brandschutzanforderungen	91
IV.1.7	Energiebilanz	93
IV.2	Optimierung der Gebäudestruktur	95
IV.2.1	Das Oberflächen-Volumen Verhältnis (A/V)	95
IV.2.2	Thermische Zonierung	96
IV.2.3	Wärmedurchgang durch transparente Bauteile	97

IV.2.3.1	Rahmenanteil	99
IV.2.3.2	Ausrichtung	99
IV.2.4	Wärmedurchgang durch opake Bauteile	99
IV.3	Tragsystem, Konstruktion und Materialwahl	99
IV.3.1	Analyse des Tragsystems	101
IV.3.1.1	Funktionale Aufteilung	101
IV.3.1.2	Ausbildung des Tragelemente	102
IV.3.2	Nutzungsflexibilität und Rückbau	103
IV.4	Bauteilanalyse	104
IV.4.1	Leichtbau - Außenwand	104
IV.4.1.1	Herstellungsphase	105
IV.4.1.1.1	Energetische Optimierung der Nutzungsphase	106
IV.4.1.2	Lebensende	107
IV.4.2	Stahlbeton - Innenwand	108
IV.4.2.1	Herstellungsphase	108
IV.4.2.2	Nutzungsphase	109
IV.4.2.3	Lebensende	109
IV.4.3	Stahlbeton - Geschossdecken	109
IV.4.3.1	Herstellungsphase	109
IV.4.3.2	Nutzungsphase	110
IV.4.3.3	Lebensende	110
IV.5	Schlussfolgerung	111
IV.6	Simulation	112
IV.6.1	Fragestellung	113
IV.6.2	Variationen	115
IV.6.3	Aufbauvariationen	115
IV.6.4	Aussagekräftige Tage	117
IV.6.5	thermischer Gebäudeabschlusses	117
IV.6.6	Randbedingungen	119
IV.6.6.1	Grundriss und Aufbauten	119
IV.6.6.2	Innere Lasten	119
IV.6.6.3	Luftwechsel	120
IV.6.6.4	Klimatische Gegebenheiten	120
IV.6.7	Auswertung	121
IV.6.7.1	Wohnraumerweiterung	121
IV.6.7.1.1	15. Januar	121
IV.6.7.1.2	15. April	123
IV.6.7.1.3	15. Juli	123

Inhalt

IV.6.7.1.4	15. Oktober	125
IV.6.7.2	Heizwärmebedarf	127
IV.6.7.3	Schlussfolgerung:	127
V.	Anhang	130
V.1	Wärmedurchgang durch Bauteile	130
V.2	Ganzheitliche Bilanzierung	132
V.2.1	LEED - Leadership in Energy and Environmental Design	132
V.2.2	BREEAM - Building Research Establishment Environmental Assessment Method	132
V.3	Energieausweis	134
V.4	Aufbauten Eurogate	135
V.5	Aufbauten Simulation	139
V.6	Randbedingungen	143
V.6.1	Randbedingungen zu Abbildung II-6	143
V.6.2	Randbedingungen zu Abbildung II-9	143
V.6.3	Randbedingungen zu Abbildung II-12	144
V.6.4	Randbedingungen zu Abbildung III-22	144
V.6.5	Randbedingungen zu Abbildung III-23(32 S. 127)	147
V.6.6	Randbedingungen zu Abbildung II-14(32 S. 128)	147
V.6.7	Randbedingungen zu Abbildung II-15	147
VI.	Verzeichnisse	148
VI.1	Tabellenverzeichnis	148
VI.2	Abbildungsverzeichnis	149
VI.3	Literaturverzeichnis	152

Glossar

Abkürzung/ Symbol	Einheit	Bezeichnung
τ	-	Lichttransmissionsgrad
λ	W/mK	Wärmeleitfähigkeit
A/V-Verhältnis	-	Oberflächen-Volumen-Verhältnis
AP	kg SO ² äquiv	Versauerungspotential von Boden und Luft
B.A.I.		Austria Immobilien GmbH
BIG		Bundesimmobiliengesellschaft
BMVBS	-	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMVIT	-	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
BO	-	Wiener Bauordnung
b-Wert	-	Durchlassfaktor Shading coefficient
d	-	Tageslichtquotient
DGNB	-	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
EDF	m ²	Energiebezugsfläche
EEB	kWh/a	Endenergiebedarf
EP	kg (PO ₄) ³ -äquiv	Eutrophierungspotential
EPBD		Energy Performance of buildings Directive
EPD	-	Umweltprodukt-Deklaration (Environmental Product Declaration)
EPS	-	expandierten Polystyrol
EU		Europäische Union
f _{GEE}		Gesamtenergieeffizienz-Faktor
g-Wert	-	Gesamtenergiedurchlässigkeit
GWP	kg CO ₂ äquiv	Treibhauspotential
HFA	-	Holzforschung Austria
HFL	-	Hochleistungs-Feinkorn-Beton
HHSB	kWh/a	Haushaltsstrombedarf
H _t	-	Transmissionswärmetransferkoeffizient
HWB	kWh/a	Heizwärmebedarf
IBO	-	Österreichisches Institut für Baubiologie
ITI	-	Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau
KB	kWh/a	Kühlbedarf
MDF	-	mitteldichte Faserplatte
ODP	kg CFC 11 äquiv	Abbau der stratosphärischen Ozonschicht
OIB	-	Österreichisches Institut für Bautechnik

Abkürzung/ Symbol	Einheit	Bezeichnung
OSB	-	oriented strand board
PCM	-	Latente Wärmespeicher Phase Chang Materials
PEB	kWh/a	Primärenergiebedarf (laut OIB)
PEI e	MJ	erneuerbaren Energieträgern (laut EPD)
PEI ne	MJ	nicht erneuerbaren Energieträgern (laut EPD)
PHPP	-	Passivhausprojektierungspaket
POCP	kg Ethen äquiv	Potential für die Bildung von troposphärischen Ozon
PTFE	-	Polytetrafluorethylen
RPC	-	Reactive Powder Concrete
TGH	-	Trockengradstunden
UHPC	-	Ultra High Performance Concrete
U-Wert	W/m ² K	Wärmedurchgangskoeffizienten
V/A-Verhältnis	-	charakteristischen Länge -
WBTv	-	Wiener Bautechnikverordnung
XPS	-	Polystyrolschaum

I. Strategien, Normen & Bilanzierung

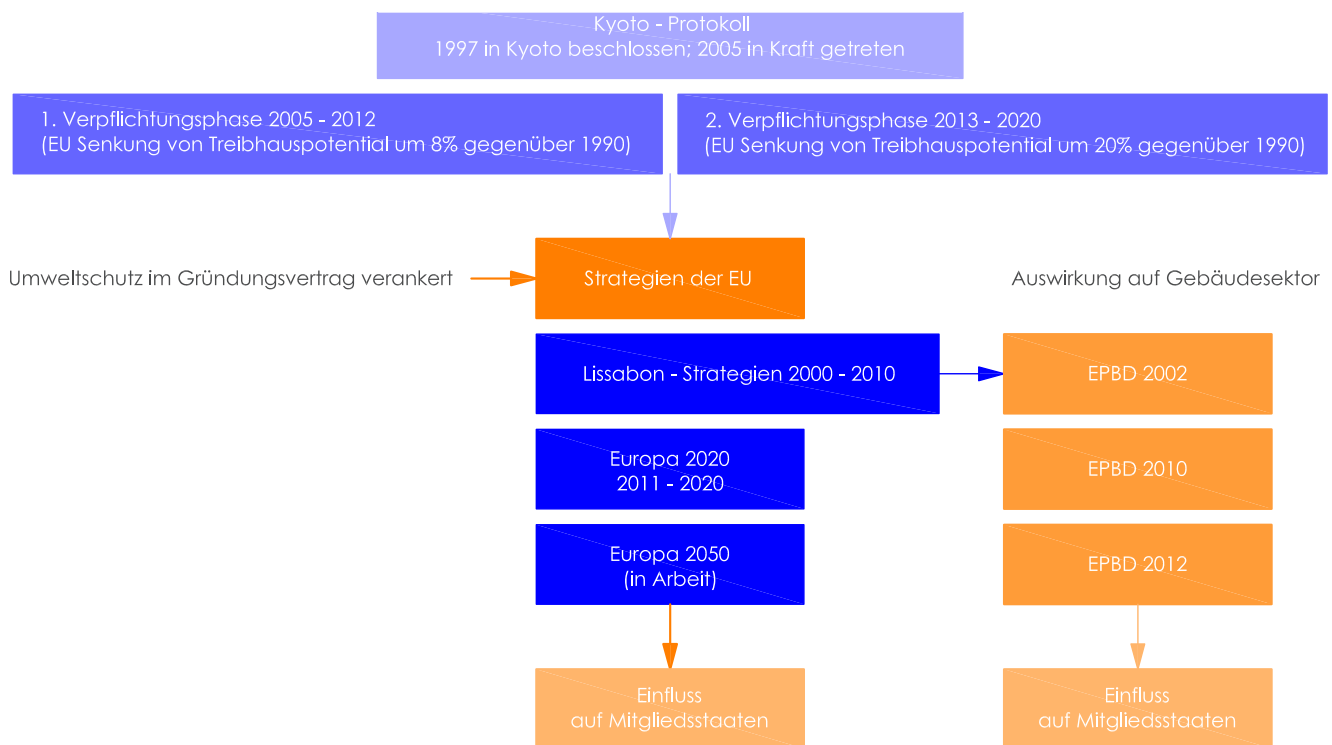


Abbildung I-1: Strukturaufbau der europäischen Klimapolitik

Da 40 % des Gesamtenergieverbrauchs der Europäischen Union (EU) durch den Gebäudesektor verursacht werden, ist dieser ein Hauptaugenmerk der europäischen Klimapolitik. Zur Analyse der aktuellen, möglichen und künftigen klimapolitische Anforderungen der EU an seine Mitgliedsstaaten, wird in diesem Abschnitt die europäische Klimapolitik beleuchtet und ihre Entstehung aufgezeigt. Die Folgen dieser Entwicklung auf die österreichische Klimapolitik, sowie der nationale Plan Österreichs zur Umsetzung der Anforderungen der Europäischen Union und die im Jahre 2013 eingeführten Neuerungen der Bauordnung werden erläutert. Zudem werden verschiedene ganzheitliche, energetische und ökologische Bilanzierungssysteme und ihre Wirkindikatoren dargestellt (1).

I.1

EUROPÄISCHE UNION

Die EU hat, gestützt auf ihren Gründungsvertrag, den Umweltschutz als eines ihrer primären Ziele festgelegt. Der Schutz der natürlichen Ressourcen, als wichtige Brennstoffe, aber auch enormer Faktor der Treibhausgasemissionen und die Steigerung der Energieeffizienz zur Erfüllung des Kyoto-Protokolls sind Hauptthemen der europäischen Politik. Abbildung I-1 zeigt den Strukturaufbau der europäischen Klimapolitik und seinen Einfluss auf den Gebäudesektor (2 Punkt 1-6).

I.1.1

DIE ENTWICKLUNG DER KLIMAPOLITIK DER EUROPÄISCHE UNION

I.1.1.1

LISSABON-STRATEGIE

Im Jahre 2000 wurde die „Lissabon-Strategie“ vom Europäischen Rat, als europäische Wirtschafts- und Wettbewerbsstrategie, mit Fokus auf Globalisierung, Klimawandel und Überalterung beschlossen. Die Erhöhung der Energieeffizi-

Kyoto-Protokoll

Das Kyoto-Protokoll wurde 1997 zur Sicherung des Klimaschutzes von den Vereinten Nationen beschlossen und trat im Jahre 2005 in Kraft. Wesentliches Ziel war die Reduktion des Treibhauspotentials (CO₂ äquiv) bis zum Jahre 2012 um durchschnittlich 5,2 %, gegenüber dem Niveau von 1990 zu senken. Die erste „Verpflichtungsperiode“ von 2008 bis 2012 verpflichtete die EU zu einer Senkung des Treibhauspotentials um 8%. Auf der Klimakonferenz in Katar im Jahre 2012, wurde die Verlängerung des Kyoto-Protokolls bis zum Jahre 2020, der zweiten „Verpflichtungsperiode“, beschlossen. Die EU muss im Zuge dieser Verlängerung 20 % der Treibhausgasemissionen, gegenüber dem Jahre 1990, einsparen (3 S. 2)(4).

Europäische Union

Die Entwicklung der Klimapolitik der Europäischen Union

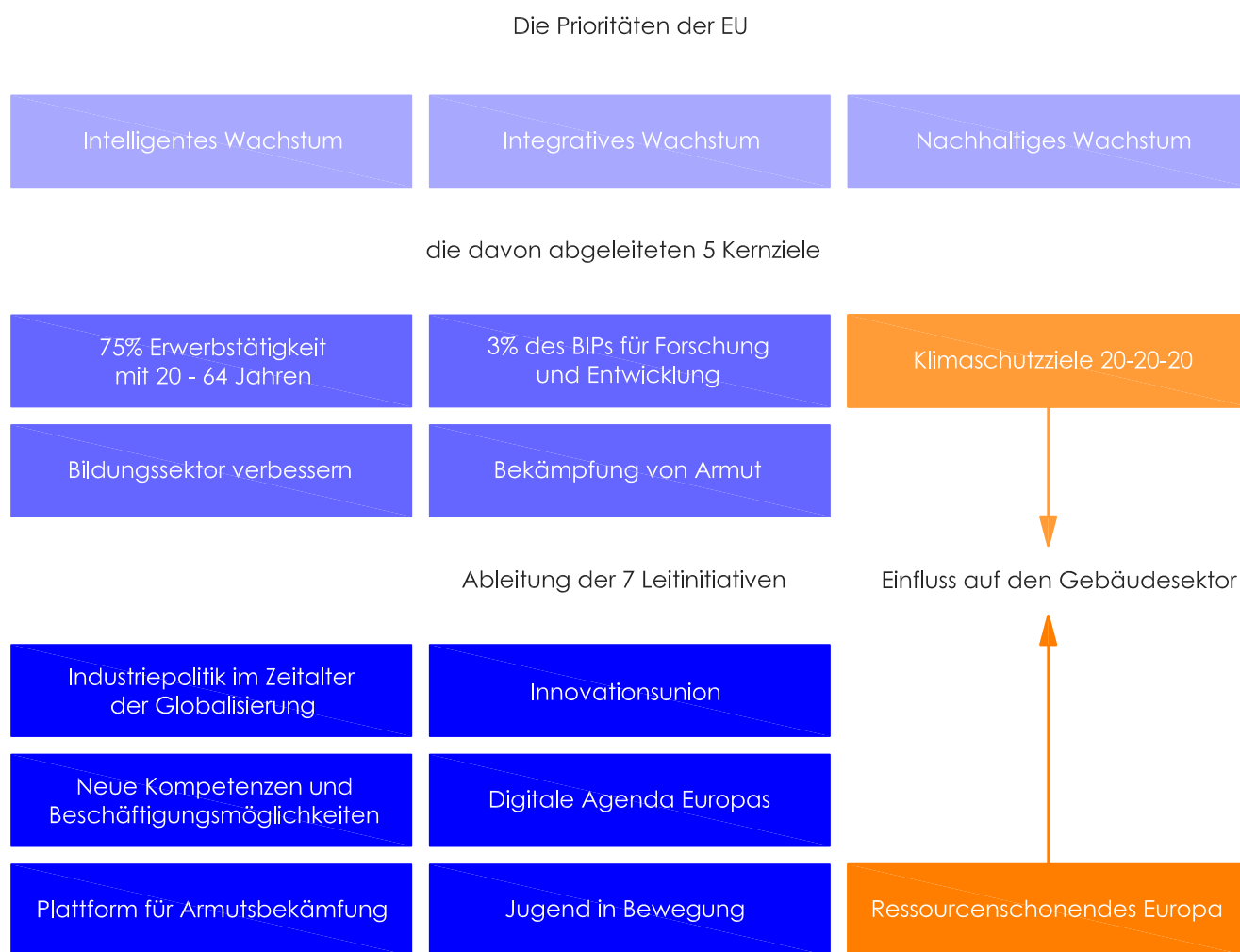


Abbildung I-2: Strukturaufbau von Europa 2020

enz und spezifische Maßnahmen für den Gebäudesektor, in der Richtlinie „Energy Performance of buildings Directive“ (EPBD) festgelegt, wurden gefordert. In Folge einer nüchternen Zwischenbilanz im Frühjahr 2005 wurde der Fokus der EU auf Wachstum und Beschäftigung gelenkt (5)(2 Punkt 1-6).

I.1.1.2

EUROPA 2020

Nach Auslaufen des ersten Zyklus der „Lissabon-Strategie“ 2010, startete im Jahre 2011 der neue Reformzyklus „Europa 2020“. In der am 10. November 2010 veröffentlichten „Energiestrategie 2020“ wurde die Energieeffizienz als der Mittelpunkt der europäischen Energiestrategie gesetzt, um die Rückstände in Bezug auf das Gesamteffizienzziel aufzuholen. Wie Abbildung I-2 zeigt, sind neben Themen wie die Beschäftigungsrate, Forschung und Entwicklung, Bildung, Armut und soziale Ausgrenzung der Klimawandel und eine nachhaltige Energiewirtschaft eines der fünf EU-Kernziele, welches als einprägsame 20-20-20-Ziele bekannt wurde. Bis in das Jahr 2020 sollen 20 % der Treibhausgasemissionen, gegenüber dem Jahre 1990, eingespart werden. Der Anteil an erneuerbaren Energieträgern und die Energieeffizienz sollen auf 20 % gesteigert werden. Neben den fünf Kernzielen wurden sieben Leitinitiativen der Strategie abgeleitet, unter anderem die Initiative „ressourcenschonendes Europa“. Die bisherige Klimapolitik der EU beschränkt sich jedoch noch hauptsächlich auf Energieeffizienz und alternative Energiesysteme (6 S. 4, 5)(7)(1).

I.1.1.3

ENERGIEFAHRPLAN 2050

Im Jahre 2011 wurde der „Energiefahrplan 2050“ von der Europäischen Kommission vorgestellt. Dieser sieht eine Senkung der Emissionen der EU im Jahre 2050 von 80 - 95 % gegenüber dem

Stand 1990 vor. Neben Themen wie dem Umbau der Energiesysteme, Energiemärkte, Lebensmittel und Mobilität ist auch der Gebäudesektor ein Teil der Folgestrategie „Energiefahrplan 2050“ nach der Strategie „Europa 2020“.

Die europäische Kommission stellt fest, dass eine ressourceneffizientere Bauweise und Nutzung der Gebäude Einsparungen des „Endenergiebedarfs“ von 42 % gegenüber dem Jahr 1990 zur Folge hätte. Die Treibhausgasemissionen würden um 35 % gesenkt, 50 % aller geförderten Werkstoffe wären beeinflusst und 30 % des Wasserverbrauchs könnten zudem eingespart werden. Aus diesem Grund soll die bisherigen politische Strategie, der Energieeffizienz und der Nutzung erneuerbarer Energien, eine Erweiterung durch das Thema Ressourceneffizienz erfahren. Dies muss in einem breiten Spektrum, bezogen auf alle Umweltauswirkungen während des gesamten Lebenszyklus, von dem Rohstoffabbau bis zum Abriss und der Verwertung des Gebäudes, geschehen. Neben den Umweltauswirkungen sollen künftig auch die Kosten des Gebäudes über den gesamten Lebenszyklus errechnet werden (8 S. 22)(9 S. 2).

Da im Moment keine gemeinsamen Kriterien zur Messung der Umweltleistung von Gebäuden bestehen, ersucht die EU in dieser Frage um Daten, beehrt Bewertung zur Umweltleistung und Ansichten über Umweltfragen. In der Pressemitteilung vom 9. Juli 2013 holt die europäische Kommission Meinung zur Verringerung der Umweltauswirkungen von Gebäuden ein. Der Hintergrund dieser Befragung ist der am 20. September 2011 von der Europäischen Kommission angenommenen Fahrplan für ein „ressourcenschonendes Europa“. In diesem Fahrplan wurde festgestellt, dass die Strategie der Energieeffizienzförderung und der Förderung erneuerbarer Energien durch eine Strategie für Ressourceneffizienz ergänzt werden muss (11).



Abbildung I-3: Beispiel alternativer Energiesysteme:
Solarzellen (15)

I.1.2

DER GEBÄUDESEKTOR

I.1.2.1

ENERGY PERFORMANCE IN BUILDING DIRECTIVE 2002

Um die Ziele der Lissabon-Strategie zu erreichen, wurde im Jahre 2002 die „Energy Performance in building Directive“ (EPBD 2002), die Richtlinie 2002/91/EG über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden beschlossen. Das „Ziel dieser Richtlinie ist es, die Verbesserung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden in der Gemeinschaft unter Berücksichtigung der jeweiligen äußeren klimatischen und lokalen Bedingungen sowie der Anforderungen an das Innenraumklima und der Kostenwirksamkeit zu unterstützen.“ (2 Art. 1) Diese erste Richtlinie schafft die Grundlage eines Energiebilanzierungsverfahrens unter Berücksichtigung der Klimatisierung, Beleuchtung und der Nutzung erneuerbarer Energiesysteme. Erstmals müssen die Energiebedarfswerte eines Gebäudes in Form eines Energieausweises ausgewiesen werden. Durch diese vereinfachte Darstellung lassen sich Gebäude auch von Laien miteinander vergleichen und der Bedarf einschätzen (12 S. 51)(2).

I.1.2.2

ENERGY PERFORMANCE IN BUILDING DIRECTIVE 2010

2010 wurde in der Neufassung der Richtlinie 2010/31/EU (EPBD 2010) von der Europäischen Union der Begriff „nearly zero-energy building“, mit der deutschen Übersetzung „Niedrigstenergiegebäude“, eingeführt und zeitliche Angaben zur Umsetzung dieses Gebäudestandards festgelegt. Artikel 9 der Richtlinie regelt den zeitlichen Ablauf, wodurch sich die Mitgliedstaaten verpflichten ab 31. Dezember 2020 alle Gebäude als Niedrigstenergiegebäude auszuführen. Schon ab 31. Dezember 2018 müssen alle neuen

Gebäude als Niedrigstenergiegebäude ausgeführt werden, welche als Eigentum des Staates ausgewiesen sind. Die Definition eines „Niedrigstenergiegebäude“ ermöglicht den verschiedenen Staaten nationale Maßnahmen und Berechnungsverfahren((13 S. Anhang 1)(14 S. 12 f.) (13 S. Art. 9).

ALTERNATIVE ENERGIEVERSORGUNGSSYSTEME

Die EPBD 2010 verschärft die vorgegangene Richtlinie zudem in Punkt 15, dem Einsatz von alternativen Energiesystemen, wie z.B. Solarzellen (siehe Abbildung I-3). „Da die Einsatzmöglichkeiten alternativer Energieversorgungssysteme im Allgemeinen nicht voll ausgeschöpft werden, sollten alternative Energieversorgungssysteme für neue Gebäude, unabhängig von ihrer Größe, in Betracht gezogen werden, unter Beachtung des Grundsatzes, dass zuerst der Energiebedarf für die Heizung und Kühlung auf ein kostenoptimales Niveau zu senken ist.“(13 Punkt 15). In der Richtlinie 2002/91/EG waren alternative Energiesysteme erst ab einer Gesamtnutzfläche von 1000 m² vorgesehen (2 Art. 5).

I.1.2.3

ENERGY PERFORMANCE IN BUILDING DIRECTIVE 2012

Am 25.10.2012 wurde im Amtsblatt der Europäischen Union die Richtlinie 2012/27/EU erlassen. Diese Richtlinie zur Energieeffizienz verschärft nochmals die vorherige Richtlinie, um die Ziele, in Bezug auf die Energieeffizienz der Europäischen Union, einzuhalten. (6 Art. 2).

Niedrigstenergiegebäude

Laut Artikel 2.2. des EPBD 2010 ist ein Niedrigstenergiegebäude „ein Gebäude, das eine sehr hohe, nach Anhang 1 bestimmte Gesamtenergieeffizienz aufweist. Der fast bei Null liegende oder sehr geringe Energiebedarf sollte zu einem ganz wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen - einschließlich Energie aus erneuerbaren Quellen, die am Standort oder in der Nähe erzeugt wird, gedeckt werden.“ (13 Art. 2.2).

Hocheffiziente, alternative Systeme sind (16 § 118 Punkt 3):

- Ein dezentrales Energie-Versorgungssystem, welches ihre Grundlage aus erneuerbaren Quellen schöpft.
- Eine Kraft-Wärme-Kopplung.
- Fern- oder Nahwärme sowie Fern- und Nahkälte, besonders wenn diese ganz oder zum Teil aus erneuerbaren Quellen berufen oder aus einer hocheffizienten Kraft-Wärme-Kopplung stammen.
- Einsatz von Wärmepumpen.

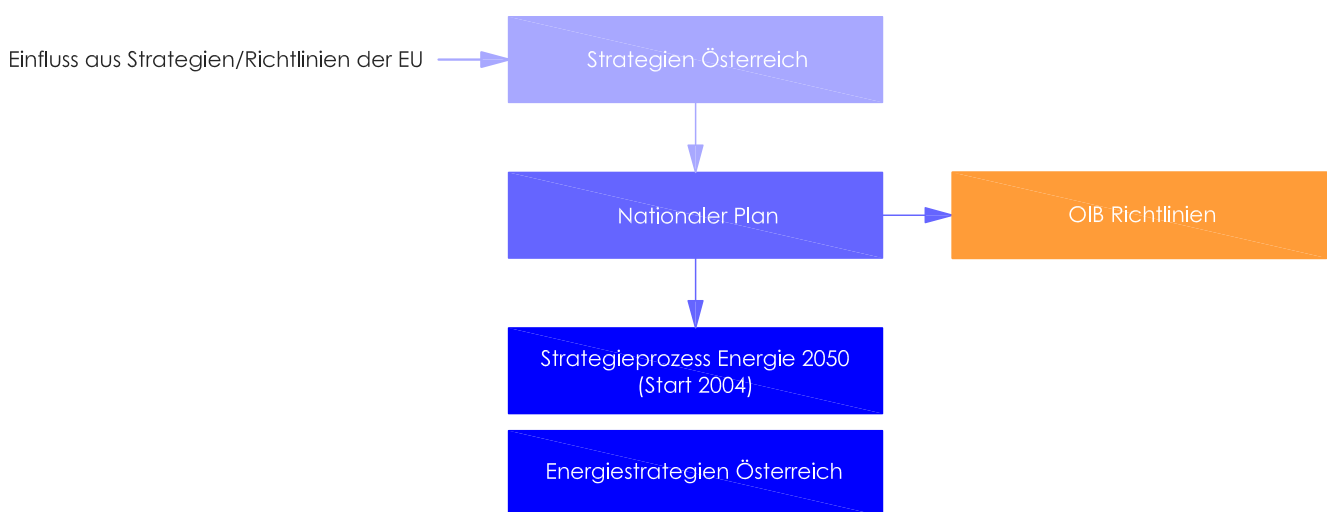


Abbildung I-4: Strukturaufbau der österreichischen Normenlandschaft

I.2

ÖSTERREICH

Die EU legt zwar die Strategieziele fest, die Mitgliedstaaten sind aber zur Festlegung nationaler Energieeffizienzziele, verschiedener Programme und Systeme verpflichtet, welche von der Union beobachtet und bewertet werden. Artikel 3 Punkt 1 der EPBD 2012 besagt, dass jeder Mitgliedstaat ein nationales Effizienzziel festlegen muss, dass sich auf den Primärenergieverbrauch, den Endenergieverbrauch oder die Energieintensität bezieht. Es wird zudem darauf hingewiesen, dass es sich in den Anforderungen um Mindeststandards handelt, welche von den Mitgliedstaaten verschärft werden können. Abbildung I-4 zeigt, die in folgendes Kapitel erläuterte Umsetzung der Europäischen Richtlinien in die österreichische Normenlandschaft. Beispielhaft für die Normung der verschiedenen Bundesländer, wird das Bundesland Wien mit der Wiener Bauordnung (BO) und ihren Verordnungen und Normen aufgeführt (6 S. 13)(6 Art.1.2).

I.2.1

NATIONALER PLAN ÖSTERREICHS

Das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) startete im Jahre 2004 den „Strategieprozess Energie 2050“. Als Fokus sind Energieeffizienz, erneuerbare Energieträger und intelligente Energiesysteme in den sieben Themenschwerpunkten zu finden. Einer dieser Schwerpunkte befasst sich mit der Energie in Gebäuden (14 S. 14 f.).

Um die von der EU festgelegten Ziele bis in das Jahr 2020 zu erfüllen, wurden 2010 im Zuge des „Strategieprozess Energie 2050“ die „Energiestrategie Österreich“ entwickelt und ein Maßnahmenkatalog erstellt. Als Ziel für in Österreich im Jahre 2020, wurde die Stabilisierung des Energieverbrauchs auf dem Niveau von 2005 von 1100 PJ festgelegt (17 S. 38).

Der **Heizwärmebedarf (HWB)** beschreibt jene Wärmemenge, die einen Raum zugeführt werden muss, um die vorgegebene Solltemperatur einzuhalten, während der Kühlbedarf (KB) die Wärmemenge bestimmt, welche dem Räumen entzogen werden muss (10).

Als **Endenergiebedarf (EEB)** ist die Energiemenge zu verstehen, welche zur Deckung des Heizwärmebedarfs benötigt wird. Dies gilt einschließlich des Bedarfs für Befeuchtung, Kühlung, Warmwassererzeugung, der Beleuchtungsenergie, des Haushaltsstroms sowie aller Hilfsenergiebedarfe für Heizungs- und Kühlmedien als auch für die Luftförderung (10).

Der **Haushaltsstrombedarf (HHSB)** wird mit 50% der internen Wärmegewinne infolge Personen und Geräte im Heizfall unter Heranziehung der Nutzungsdauer berechnet (10).

Der **Primärenergiebedarf** wurde zwar in den Energieausweis als neuer Indikator aufgenommen, eine Anforderung an dessen Höhe wird jedoch noch nicht gestellt. Er setzt sich aus den gewichteten Anteilen des Endenergiebedarfes je Energieträger mit den Konversionsfaktoren für die Primärenergie zusammen (10).

Die **CO₂-Emissionen (Treibhauspotential)** werden aus der Multiplikation des Endenergiebedarfes je Energieträger mit den Konversionsfaktoren für die CO₂-Emissionen zusammensetzen (10).

Der **Gesamtenergieeffizienz-Faktor (f_{GEE})** wird als Verhältnis des Endenergiebedarfs und des Referenzwertes ermittelt. Der Referenzwert wird mit einer fiktiven haustechnischen Anlage, nach dem aktuellen Stand der Technik, berechnet (10).

1.2.2

DER GEBÄUDESEKTOR

Für den Gebäudesektor bei Wohn-, Dienstleistungs- und Gewerbegebäuden entsprechen die Ziele des Nationalen Plans bis zum Jahre 2020, einer Absenkung des Energieverbrauchs für Raumwärme und Kühlung von ca. 10 % von 337 PJ im Jahre 2005 auf 303 PJ. Dieses Ziel soll durch die österreichische Definition eines Niedrigenergiegebäudes mit Augenmerk auf den Heizwärmebedarf (HWB), den Endenergiebedarf (EEB), dem Gesamtenergieeffizienz-Faktor (f_{GEE}), dem Primärenergiebedarf (PEB) und des Treibhauspotentials (CO_2 äquiv) erfüllt werden. Abbildung I-5 zeigt die kontinuierliche Senkung HWB in Schritten von je zwei Jahren (18 S. 2) (17 S. 38)

In Bezug auf das Baurecht gliedert sich die Gesetzgebung Österreichs in vier Hauptteile. Die Bauordnung (BO) der einzelnen Bundesländer legen die grundlegenden Ziele fest, welche eingehalten werden müssen. Verordnungen bestimmen unter welchen Bedingungen diese Ziele als erfüllt gelten. Verschiedene Novellen können wiederum die Verordnungen und somit die Bauordnungen ändern. In folgendem Abschnitt wird anhand des Bundeslandes Wien, der Aufbau des Baurechts und der Einfluss der europäischen Klimapolitik aufgezeigt.

1.2.2.1

WIENER BAUORDNUNG

In Wien gilt die Wiener Bauordnung. Die Anforderungen dieser werden von der Wiener Bautechnikverordnung (WBTV) bestimmt. Diese besagt wiederum, dass die Auflagen als erfüllt gelten, wenn die Richtlinien des "Österreichischen Institutes für Bautechnik" (OIB) angewandt werden. Diese Richtlinien beziehen sich wiederum auf verschiedene Normen. Eine Techniknovelle ändert die WBTV und somit die Richtlinien des OIB.

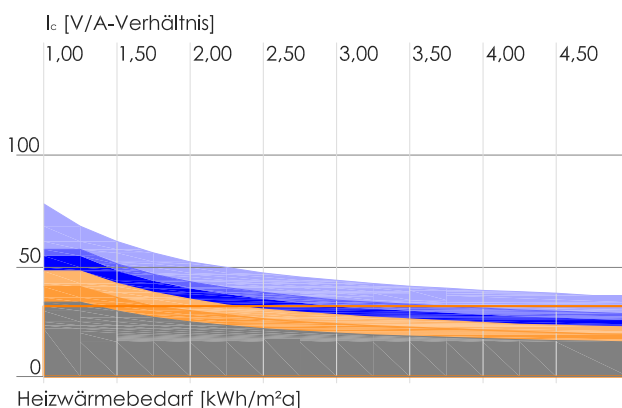


Abbildung I-5: Zwischenziele des Heizwärmebedarfs für Neubauten (18 S. 4)

Am 1.1.2012 trat die Technikonovelle 2012 in Kraft, welche die Einhaltung der OIB Richtlinien 2011 bestimmt und somit die Wiener Bauordnung verändert (10)(19)(20)(16).

Teil 9, Abschnitt 7 der Wiener Bauordnung regelt die Energieeinsparung und die Wärmeschutzbestimmung im Bauwesen. Im § 118 wird angemerkt, dass die benötigte Energiemenge eines Bauwerkes nach dem Stand der Technik begrenzt wird. Die Energiemenge ist an den Verwendungszweck des Bauwerkes und den damit verknüpften Bedürfnissen an Heizung, Warmwasseraufbereitung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung gebunden. Es sollte immer ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Aufwand und Nutzen, hinsichtlich der Energieeinsparungen bestehen, damit die Wirtschaftlichkeit gesichert bleibt. Punkt 3 des § 118 besagt, dass bei Neu-, Zu- und Umbauten, sowie bei Änderungen und Instandsetzung von mindestens 25 % der Gebäudehüllenoberfläche hocheffiziente und alternative Systeme zu verwirklichen sind, falls diese technisch, ökologisch und wirtschaftlich realisierbar sind (16).

1.2.2.2

WIENER BAUTECHNIKVERORDNUNG (WBTV)

Die Wiener Bautechnikverordnung setzt die bautechnischen Anforderungen der Bauordnung in Wien um. § 1 der Wiener Bautechnikverordnung bestimmt, dass Teil 9 der Bauordnung für Wien entsprochen wird, wenn die Richtlinien des OIB und ihren bautechnischen Anforderungen erfüllt werden. Von den Richtlinien kann laut § 2, abgewichen werden, wenn nachgewiesen wird, dass dasselbe Schutzniveau wie bei Anwendung der Richtlinien erreicht wird (16)(20).

1.2.2.3

TECHNIKNOVELLE 2012

Im Landesgesetzblatt für Wien, vom 21. Dezember 2012, wurde die Wiener Bautechnikverordnung und die darin festgelegten OIB Richtlinien geändert. Die Verordnung trat am 1. Januar 2013 in Kraft. Ein großes Augenmerk der Technikonovelle 2012 liegt auf dem Energieausweis dessen Aushangpflicht und Inhalt. Zudem ist der Nachweis des Schallschutzes und die Erfordernis eines Nachweises zu hocheffizienten, alternativen Systemen gemäß § 118 der Wiener Bauordnung geregelt (19).

1.2.2.4

OIB RICHTLINIE 6

Die OIB Richtlinien harmonisieren die bautechnischen Vorschriften der einzelnen Bundesländer. Außer von Niederösterreich und Salzburg sind die OIB Richtlinien 1-5 der Ausgabe 2011, in allen Bundesländern in Kraft getreten. Um die Richtlinien der EU in Bezug auf den Gebäudesektor umzusetzen, wurde die Richtlinie 6 des OIB entworfen. Diese ist in allen Ländern per Gesetz oder Verordnung in Kraft getreten. Außer in Salzburg, wo noch die OIB Richtlinie 2007 gilt, wurde die OIB Richtlinie 6 Ausgabe 2011 von allen Bundesländern angenommen. In ihr werden alle Anforderungen zur „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ zusammengefasst und mit den Berechnungsleitfaden „Energietechnisches Verhalten von Gebäuden“ ergänzt. Richtlinie 6 definiert die Anforderungen an die thermisch-energetische Gebäudehülle, formuliert Energiekennwerte und Emissionen, überprüft die Einsetzbarkeit alternativer Energiesysteme und legt die Darstellung des in Österreich gültigen Energieausweis fest. Im Zuge der Technikonovelle 2012 ist die Auflage 2011 der Richtlinien 6 in Kraft getreten (14 S. 46)(21)(10).

Die Primärenergie steht durch natürlich vorkommende Energieträger wie Erdgas, Kohle oder Holz zur Verfügung. Als Energiebedarf versteht man die Energiemenge, welche benötigt wird, um die Räume des Gebäudes in Bezug auf Beleuchtungsstärke, Raumtemperatur und z.B. Luftfeuchtigkeit zu konditionieren. Dazu ist der Energieaufwand zu unterscheiden, welcher von der Haustechnik verbraucht wird, um den Energiebedarf zu decken, also die Energiemenge die von einem Versorgungsunternehmen bezogen wird. Werden die vorangegangenen Verbräuche von der Rohstoffgewinnung der Primärenergieträger über den Transport, die Umwandlung bis zum Gebäude mit eingerechnet, spricht man von Primärenergieaufwand. Um die verschiedenen Energieträger, sowie die unterschiedlichen Transporte in den einzelnen Ländern mit zu berücksichtigen, wird der Primärenergieaufwand mit dem Konversionsfaktor umgerechnet. Auch Schadstoffe und die Unterscheidung zwischen erneuerbaren und nicht erneuerbaren Energieträgern ist in diesem Faktor mit einbezogen. Um eine einheitliche Bewertung europäischer Gebäude zu erzielen, werden einheitliche Faktoren, für Strom 2,7 und für Wärme 1,1 verwendet (12 S. 53)(23 S. 6).

1.2.2.4.1

THERMISCH-ENERGETISCHE ANFORDERUNGEN DER OIB RICHTLINIE 6

Die thermisch-energetische Qualität eines Gebäudes wird, laut OIB Richtlinie 6, von den Anforderungen an den Heizenergiebedarf mit Bezug auf die Nutzung, Endenergiebedarf, Haushaltsstrombedarf, Primärenergiebedarf, Kohlendioxidbedarf, Gesamtenergiefaktor, Anforderungen an Bauteile und an Teile des gebäudetechnischen Systems bestimmt (10). In die Bilanzierung werden folgende Energieaufwendungen aufgenommen (22):

- Heizung (inkl. Befeuchtung und Hilfsenergie für Heizung, ausgenommen Hilfsenergie für das Medium Luft)
- Warmwasserversorgung (inkl. Hilfsenergie)
- Kühlung (inkl. Hilfsenergie)
- Lüftung (inkl. Hilfsenergie für Luftstrom)
- Beleuchtung
- Haushaltsstrombedarf

1.2.2.4.2

SONSTIGE ANFORDERUNGEN AUS DER OIB RICHTLINIE 6

Folgendes Kapitel stellt eine Zusammenfassung der sonstigen Anforderungen aus der OIB Richtlinie 6 mit Bezug auf Wohnungsneubauten (10).

LUFT- UND WINDDICHTHEIT

Die Gebäudehülle muss luft- und winddicht ausgeführt sein und laut ÖNORM EN 13829 geprüft werden (100).

Luftwechselrate $n_{50} = \leq 3$ 1/h
Mit Wärmerückgewinnung $\leq 1,5$ 1/h

WÄRMEBRÜCKENREDUKTION

Es ist darauf zu achten Wärmebrücken möglichst zu minimieren. Im Fall von zweidimensionalen Wärmebrücken ist die ÖNORM B 8110-2 einzuhalten (96).

SOMMERLICHER ÜBERHITZUNGSSCHUTZ

Aufgrund der erforderlichen Energieeinsparungen ist ein Kühlbedarf im Wohnbau auszuschließen. Es ist ein Nachweis des sommerlichen Überwärmeschutzes, laut ÖNORM B 8110-3, zu liefern.

EINSATZ HOCHEFFIZIENTER ALTERNATIVER ENERGIESYSTEME

Vor Baubeginn muss die technische, ökologische und wirtschaftliche Realisierbarkeit in Betracht gezogen, berücksichtigt und dokumentiert werden.

ZENTRALE WÄRMEBEREITSTELLUNGSANLAGE

Bei mehr als drei Wohneinheiten, muss eine zentrale Wärmebereitstellungsanlage errichtet werden.

THERMISCHE ANFORDERUNGEN AN WÄRMEÜBERTRAGENDE BAUTEILE

Die Anforderungen an wärmeübertragende Bauteile werden durch den Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) bestimmt und sind in Anhang V.1 dieser Arbeit abzulesen. Bei geometrischer Begrenzung ist die höchst mögliche Dämmstärke mit einer Wärmeleitfähigkeit von $0,040$ W/m²K einzubauen. Erdberührte Bauteile müssen zudem anhand des maximal zulässigen Leitwert nachgewiesen werden. Dies ist das Produkt aus erdberührter Fläche und höchstzulässigem U-Wert und dem Temperaturkorrekturfaktor (10).

I.3

BILANZIERUNGSSYSTEME

In der österreichischen Normenlandschaft wird hauptsächlich die Nutzungsphase und der damit verknüpfte Energiebedarf betrachtet. Wie schon Kapitel I.1.2 beschreibt, werden die übrigen Lebenszyklen eines Gebäudes kaum beachtet. Der Energieverbrauch in der Nutzungsphase, sprich jene zur Konditionierung der Räume notwendige Energiemenge, ist zwar ca. zehnmal höher als der zur Herstellung des Gebäudes benötigte Verbrauch, der s.g. „Grauen Energie“, jedoch müssen bei einer ganzheitlichen Betrachtung auch die übrigen Lebensphasen einbezogen werden. Viele Zertifizierungssysteme, wie das Bewertungssystem der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) bewerten, im Sinne der Nachhaltigkeit, Gebäude aufgrund ihrer ökologischen, ökonomischen und sozialen Faktoren. Energetische Bewertungssysteme, wie der Passivhausstandard, beschränken sich nur auf den Energieaufwand des Bauwerks in der Nutzungsphase (24).

Die Umwelt-Produktdeklaration, oder Environmental Product Declaration (EPD), bewertet ein Baumaterial oder Bauteil über den gesamten Lebenszyklus. Wie Abbildung I-6 zeigt, werden alle Nutzungsphasen von der Rohstoffgewinnung, Herstellung, Einbau, Nutzung, Abriss und der Verwertung oder des Recycling beachtet. In jeder Phase können Immissionen und Emissionen den Umweltkreislauf schädigen. Während die Rohstoffgewinnung und die Herstellungsphase schon durchgelaufen sind, ist die weitere Verwendung des Baustoffes meist spekulativ (25 S. 120 ff.)(24).

Weder in den Normen noch in Zertifizierungssystemen wird auf die Ressourceneffizienz einer Tragkonstruktion oder eines Tragsystems eingegangen. Von der Wahl des Materials, einer angepassten Konstruktion bis zur Anpassung der

Bilanzierungssysteme

Ganzheitliche Bilanzierung

geeigneten Tragstruktur ist eine durchdachte Planung von Seiten des Architekten wesentlich, um eine ressourceneffiziente Bauweise zu garantieren. Architektonischen Grundriss- und Gebäudegestaltung und die Verknüpfung der einzelnen Einflussebenen und verschiedene Einflussbereiche, z.B. die richtige Materialwahl in Bezug auf die Tragkonstruktion, muss zudem berücksichtigt werden.

1.3.1

GANZHEITLICHE BILANZIERUNG

Es gibt es eine Reihe nicht normativer Zertifizierungssysteme, die das Ziel verfolgen, die Qualität der Nachhaltigkeit in allen Aspekten zu beleuchten. Durch verschiedene Kriterien und Indikatoren können die messbaren Auswirkungen exakt ermittelt und die Gebäude, innerhalb der Systeme, verglichen werden (12 S. 15).

Die unterschiedlichen Aspekte der Nachhaltigkeit werden meist in Hauptkategorien, wie Material und Ressourcen, Energie und Atmosphäre, Transport, Wasser, Abfall oder Umweltverschmutzung unterteilt. Innerhalb dieser Kategorien sichern zu erfüllende Benchmarks die Qualität der Bewertung. In den verschiedenen Zertifizierungsprogrammen werden die Punkte addiert oder nach einer Gewichtung summiert. Bei allen Programmen spricht eine höhere Punktezahl für eine bessere Auszeichnung (12 S. 16).

Nachfolgend werden verschiedene Bilanzierungssysteme im deutschsprachigen Raum erläutert. Diese beinhalten teilweise die Umwelt-Produktdeklarationen verschiedener Materialien, aber auf Tragwerke, Konstruktionen und dem entsprechenden Zusammenspiel dieser Faktoren wird nicht eingegangen. Ein Bilanzierungssystem, welches alle Aspekte der Ressourceneffizienz beinhaltet, ist noch nicht etabliert. Weitere Zertifizierungssysteme sind in Anhang V.2 dieser Arbeit zu finden.

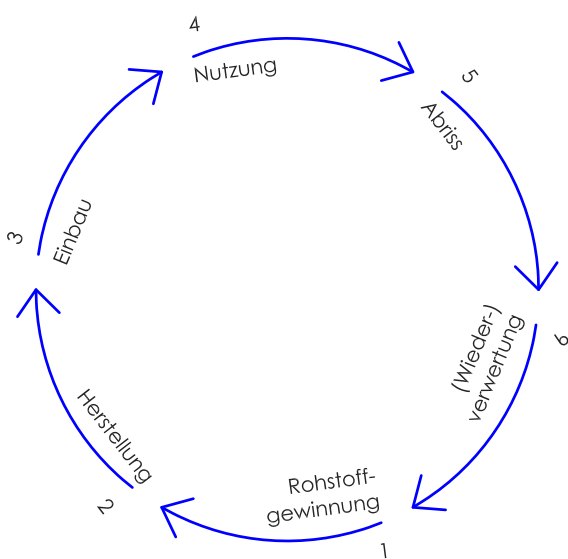


Abbildung I-6: Lebenszyklus eines Baustoffes

I.3.1.1

DGNB - DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR NACHHALTIGES BAUEN

2007 wurde die Zertifizierung der deutschen Gesellschaft für nachhaltiges Bauen in Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) entwickelt. Die Grundlage dieser Zertifizierung sind europäische und internationale Normungen. Nachhaltigkeit wird in drei Hauptkategorien Ökologie, Ökonomie und soziale Aspekte unterteilt. Übergeordnet dazu werden technische Aspekte in der Querschnittskategorie „Technische Qualität“ bewertet. Eine weitere eigene Gattung ist die „Prozessqualität“ mit Kriterien aus Planung, Bau und Betrieb. Obwohl die Standortqualität beachtet wird, geht diese nicht in die Gesamtbewertung ein. Innerhalb der Kriterien sind, wie Abbildung I-7 darstellt, bis auf die Prozessqualität mit 10 %, alle Unterteilungen mit 22,5 % gewichtet. Dadurch schafft es das System, möglichst hohe Qualität in vielen einzelnen Kategorien zu sichern. Die Gesamtauszeichnung ist zudem nur möglich, wenn die Einzelkriterien nur eine Note schlechter bewertet werden, als die Gesamtnote (12 S. 17).

Jedes Kriterium wird mit einer Punktzahl von 1 bis 10 bewertet, wobei es Pflicht-Kriterien gibt. Das Zertifikat wird erst nach Fertigstellung übergeben, jedoch ist es möglich ein Vor-Zertifikat zu erlangen, um Projektentwickler, Investoren und Bauherren zu werben (12 S. 17 f.)

I.3.1.2

KLIMA:AKTIV

In Österreich gibt es die Klimaschutzinitiative Klima:aktiv des Bundesministerium für Land- und Forst-, Umwelt- und Wasserwirtschaft. Der Klima:aktiv Gebäudestandard ist in Wohngebäude und verschiedenen Dienstleistungsgebäudetypen, mit der Gliederung in Neubau und

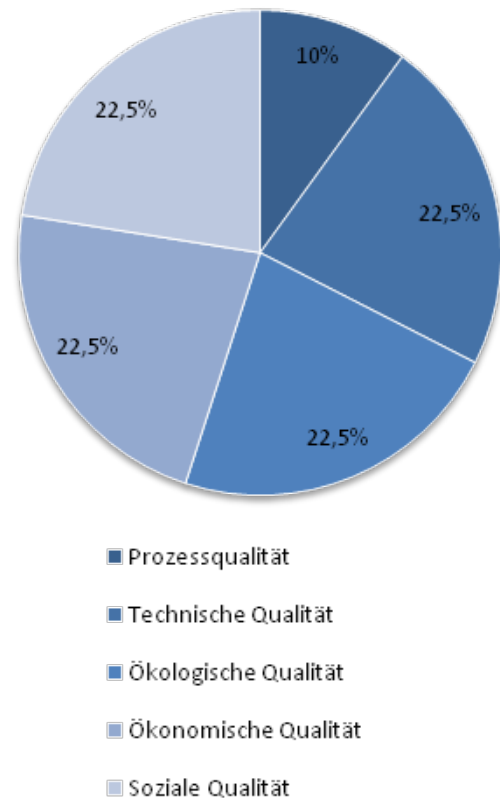


Abbildung I-7: DGNB-Gewichtung in Prozent (auf Grundlage von (12 S. 17))

Bilanzierungssysteme

Energetische Bilanzierung

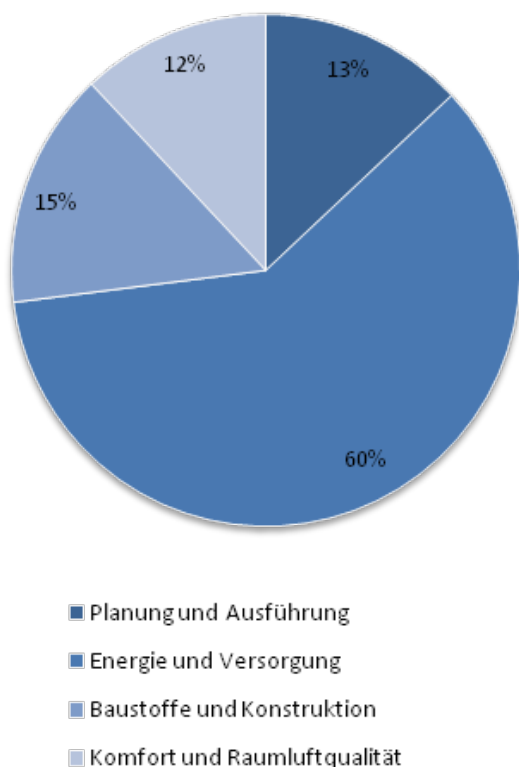


Abbildung I-8: Klima:aktiv Gewichtung in Prozent (auf Grundlage von (26 S. 7))

Sanierung unterteilt. Die Unterteilung der Kriterien erfolgt in vier Bewertungskategorien, Planung und Ausführung, Energie und Versorgung, Baustoffe und Konstruktion sowie Komfort und Raumqualität. Um nach den 1000 Punkte-System die Qualitätsstufe Bronze zu erlangen, sind alle Pflichtkriterien zu erfüllen. Wenn neben diesen zudem noch mindestens 750 Punkte erreicht werden, wird die Qualitätsstufe Silber erreicht. Ein Zertifikat der Stufe Gold, wird mit 900 Punkten erreicht. Durch den Kriterienkatalog wird die Qualität messbar und transparent und die Gebäude miteinander vergleichbar. Die Punkteverteilung im Bereich Neubau lässt den Fokus der Beurteilung erkennen. Die Kategorie „Energie und Versorgung“ ist, mit maximal 600 Punkten, der größte Faktor der Bewertung. Dies entspricht 60 % der erreichbaren Punkte. Die Basiskriterien, zudem auch Pflichtkriterien der Zertifizierung, setzen sich aus Energieeffizienz, erneuerbare Energieträger, ökologische Baustoffe und Wirtschaftlichkeit zusammen. Zudem müssen Nachweisen der Luftdichtheit und des Energieverbrauchsmonitorings erbracht werden (26 S. 3, 7) (27 S. 4).

I.3.2

ENERGETISCHE BILANZIERUNG

I.3.2.1

MINENERGIE

Die Marke Minenergie wird von der Schweizer Wirtschaft, den Kantonen und dem Bund, in Zusammenarbeit mit Fachplanern, Architekten, Ingenieuren und Produzenten getragen. Das Hauptaugenmerk der Zertifizierung liegt im Komfort des Menschen, welcher durch hochwertige Gebäudehüllen und eine hohe Luftwechselrate erreicht werden soll. Der Hauptindikator für die Qualität ist der Energiebedarf. Durch eine zusätzliche Verringerung des Bedarfs kann das Zertifikat Minenergie-P erreicht werden. Dieses ist zudem eine Voraussetzung für die Minenergie-ECO Bewertung, in der die Kategorien Gesundheit

und Ökologie zu dem bestehenden Anforderungen hinzugefügt wurden. Im Zuge der Bewertung müssen Fragen zur Beleuchtung, Belüftung oder Lärm zu mindestens 67% positiv beantwortet werden (12 S. 17 f.).

I.3.2.2

DER PASSIVHAUSSTANDARD

Das Passivhausinstitut ist ein unabhängiges Forschungsinstitut, welches Zertifizierungen für höchst energieeffiziente Gebäude ausarbeitet. Mit dem Passivhausprojektierungspaket (PHPP) wurden eine eigene Software und Algorithmen für die Berechnung der Energiebilanz geschaffen. Als Passivhäuser werden Bauwerke definiert, welche über das ganze Jahr ein behagliches Innenraumklima mit äußerst niedrigem Energieaufwand bietet. Für die Kategorie Wohngebäude sind die Bewertungskriterien in Tabelle I-1 dargestellt.

Für die Berechnung ist die Gesamtheit der geschlossenen Gebäudehülle notwendig. Einzelne thermisch getrennte Gebäude zusammenzufassen ist nicht zulässig. Um das Zertifikat zu erlangen, müssen die Kriterien der jeweils aktuellen Version des PHPP angewendet werden. Der Energiekennwert Heizwärme wird im Monatsverfahren gemäß dem aktuellen PHPP-Handbuch in Bezug auf die Energiebezugsfläche (EDF) berechnet. Weitere Kriterien, wie der thermischen Komfort, eine hohe Nutzerzufriedenheit sowie

Heizen	
Heizwärmebedarf	$\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Kühlbedarf gesamt	$\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) + 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{aK}) \times \text{TGH}$
Primärenergiebedarf für Heizen, Kühlen, Trinkwärmewasser, Hilfsstrom, Haushalts- und Gemeinstrom	$\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Drucktestluftwechsel n50	$\leq 0,6 \text{ l/h}$
TGH: Trockengradstunden (Zeitintegral der Differenz von Taupunkttemperatur und einer Bezugstemperatur von 13 °C, über alle Zeiträume, in denen diese Differenz positiv ist)	

Tabelle I-1: Bewertungskriterien für die Zertifizierung nach PHPP (28 S. 1)

Bauschadensfreiheit müssen, falls Bedenken bestehen, ausgeräumt werden. Zu öffnende Fenster der Aufenthaltsräume oder geringe Über-temperaturhäufigkeit ($\leq 10\%$ über $25\text{ }^{\circ}\text{C}$) sind Beispiele hierfür. Notwendige Unterlagen für den Nachweis sind zum Beispiel das Klima, die verschiedenen Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) der Regelbauteile, die Flächenzusammenstellung, die U-Wert der Fenster, Verschattungen oder solare Warmwasseraufbereitung. All diese Unterlagen müssen neben Dokumenten wie Lagepläne, Ausführungspläne oder Positionspläne, sowie Detailzeichnungen eingereicht (28 S. 2, 3).

1.3.3

ÖKOLOGISCHE BILANZIERUNG

1.3.3.1

UMWELT-PRODUKTDEKLARATION (EPD)

Die in zwei Bereiche gegliederte Umwelt-Produktdeklaration besteht zum einen aus einer Energie- und Stoffflussbilanz mit Ressourcennachweis und Primärenergiebedarf aus erneuerbaren (PEI e) und nicht erneuerbaren Energieträgern (PEI ne). Diese werden in MJ angegeben. Zum anderen aus der in Tabelle I-2 aufgelisteten Wirkbilanz mit Indikatoren wie globale Erwärmung, Ozonabbau, Versauerung von Boden und Wasser, Eutrophierung und photochemische Ozonbildung (29).

Wirkungskategorie	Parameter	Abkürzung	Einheit
Globale Erwärmung	Treibhauspotential	GWP	kg CO ₂ äquiv
Ozonabbau	Abbau der stratosphärischen Ozonschicht	ODP	kg CFC 11 äquiv
Versauerung von Boden und Luft	Versauerungspotential von Boden und Luft	AP	kg SO ₂ äquiv
Eutrophierung	Eutrophierungspotential	EP	kg (PO ₄) ³ äquiv
Photochemische Ozonbildung	Potential für die Bildung von troposphärischen Ozon	POCP	kg Ethen äquiv

Tabelle I-2: Parameter zur Beschreibung der Umweltwirkungen (29 S. 33)

I.3.3.1.1

ÖKOLOGISCHE INDIKATOREN

TREIBHAUSPOTENTIAL (GWP)

Als Treibhauspotential wird der anthropogene (vom Menschen verursachte) Anteil an der Erwärmung des Erdklimas bezeichnet. Die Wirkungsweise kann im Kleinen in Gewächshäusern oder Automobilen beobachtet werden. Kurzwellige UV-Strahlung dringt durch transparente Bauteile ein und trifft dort auf opake Materialien. Diese wandeln kurzwellige in langwellige Infrarotstrahlung um, welche den Raum nicht mehr ungehindert verlassen kann. Die Folge ist eine Erwärmung des Raumes. Global gesehen treffen kurzwellige Strahlen auf die Erde und werden teilweise direkt absorbiert oder als langwellige Infrarotstrahlen zurückgeworfen. Erst in ca. 10 km Höhe (Troposphäre) wird die Reflektion von Treibhausgasen absorbiert und richtungsunabhängig wieder zurückgestrahlt. Dies führt zu einer erneuten Erwärmung der Erde. Diese Treibhausgase werden als Kohlendioxid-Äquivalent (CO_2 äquiv) ausgedrückt (30).

OZONABBAU (ODP)

Die Bestrahlung von Sauerstoffmolekülen mit kurzwelligem UV-Licht produziert in der 15-50 km hohen Stratosphäre Ozon. Dieses bildet die Ozonschicht aus, welche kurzwelligem UV-Strahlen absorbiert und als längerwellige Strahlung wieder richtungsunabhängig abgibt. Dadurch gelangt nur ein geringerer Strahlungsanteil zur Erde. Zwei Stoffgruppen, Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) und Stickoxide (NOX) führen zum anthropogenen Abbau der Ozonschicht. Dies führt zu einer Erwärmung der Erdoberfläche. Zudem können Ernteerträge gemindert, das Meeresplankton verringert und bei Menschen Tumorausbildungen die Folge sein. Der Charakterisierungsfaktor für den Ozonabbau wird aus den ozonschädlichen Emissionen als anthropo-

gene Halogenkohlenwasserstoffe erfasst. Dies wird als Trichlorfluormethan-Äquivalent (CFC 11 äquiv) angegeben (30)(24).

VERSAUERUNGSPOTENTIAL VON BODEN UND LUFT (AP)

Durch Schwefel in der Atmosphäre kommt es zu einer Verringerung des PH-Wertes in der Luft, was sich vor allem als saurer Regen bemerkbar macht. Dabei werden die Luftschadstoffe in Säure umgewandelt. Das Versäuerungspotential wird als Schwefeldioxid-Äquivalent (SO_2 äquiv) angegeben (30).

EUTROPHIERUNGSPOTENTIAL (EP)

Als Überdüngung oder Eutrophierung versteht man eine Anreicherung von Nährstoffen eines Standortes. Ein verstärktes Algenwachstum und die daraus folgende Reduktion der Sauerstoffproduktion in Gewässern sind die Folge. Fischsterben und eine anaerobe (sauerstofffreie) Zersetzung folgen. Zudem stellt man eine verstärkte Anfälligkeit der Pflanzen gegenüber Krankheiten und eine Schwächung des Festigkeitstissues fest. Für den Menschen ist zudem Nitrit, welches als Reaktionsprodukt entsteht, wenn Nitrat aus dem Boden in das Grundwasser gewaschen wird, toxisch. Die Effekte dieser Wirkbilanz sind, wie beim Versäuerungspotential, regional sehr unterschiedlich. Als Äquivalent wird Phosphat ($(\text{PO}_4)^3$ äquiv) angegeben (24)

POTENTIAL FÜR DIE BILDUNG VON TROPOSPHÄRISCHEN OZON (POCP)

In hohen Atmosphäre-Schichten wirkt Ozon als schützende Filterschicht (siehe Ozonabbaupotential). Im Gegensatz dazu wirkt eine zu hohe Ozonkonzentration in Bodennähe als Schadstoff. Vor allem Lösemittel aus Beschichtungen und Verklebungen gelten als Ursache für einen erhöhten Ozonausstoß. Problematisch bei der Berechnung ist wiederum, dass in den heutigen Be-

Bilanzierungssysteme

Ökologische Bilanzierung

rechnungsmethoden kein Unterschied zwischen natürlichen und künstlichen Lösemittel gemacht wird. So haben mit Naturharzen beschichtete Oberflächen höhere Werte als mineralisch beschichtete. Das, auch als Sommersmogpotential bezeichnete Potential für die Bildung von troposphärischem Ozon, wird das Ethen-Äquivalent (Ethen äquiv) angegeben (30)

1.3.3.1.2

ÖKOLOGISCHER BILANZIERUNGSZEITRAUM

Diese Module werden in die Herstellungsphase Modul A1 - A3, in die Errichtungsphase Modul A4 -A5, in die Nutzungsphase Modul B1 - B7 und in die Entsorgungsphase Modul C1 - C4 unterteilt. Zudem kann das Modul D einen Teil der Umweltproduktdeklaration, mit ergänzenden Informationen bilden. Diese kommen nicht innerhalb des Lebenszyklus eines Gebäudes vor, wie die Wiederverwendung und das Recyclingpotenzial, bilden (29 S. 14).

Es werden drei Bilanzierungszeiträume unterschieden. „Von der Wiege bis zum Werktor“ (cradle to gate) ist der erste Zeitrahmen, welcher auf den Informationsmodulen A1 - A3 beruht. Diese beinhaltet die Rohstoffgewinnung und Verarbeitung, den Transport zum Hersteller, die Herstellung und sämtliche damit verknüpften Prozesse. Dieser Bilanzierungszeitraum endet vor dem Transport des Produktes zur Baustelle und ist als einziger in der EN 15804 verpflichtend (29 S. 12; 16)(101).

Der zweite Bilanzierungszeitraum nennt sich „von der Wiege bis zum Werktor mit Optionen“. Diese Umweltproduktdeklaration bezieht sich auf die Informationsmodule A1 bis A3, wobei weitere optionale Module zugefügt werden können. Dies sind zum Beispiel die Entsorgung mit den Modulen C1 bis C4, aber auch das Informationsmodul D (29 S. 12).

„Von der Wiege bis zur Bahre“ (cradle to grave) bildet den ausführlichsten Bewertungszeitraum. Hier wird der gesamte Lebenszyklus eines Produktes, von der Herstellung, dem Einbau ins Gebäude, der Nutzung und mögliche Instandhaltung, Ersatz, Abriss, Abfallbehandlung für die Wiederverwertung, Rückgewinne, Recycling und Beseitigung betrachtet. Dies sind alle Informationsmodule A1 bis C4, inklusive dem Modul D (29 S. 12).

Informationsmodul

Ein Informationsmodul ist ein „Datensatz, der die Grundlage einer Typ III Umweltdeklaration für Produkte bildet und ein oder mehrere, den Lebenszyklus eines Produktes in Teilen beschreibende Prozessmodule umfasst.“ (29 S. (Art. 3.13)).

II. Gebäudestruktur

Mehrere Gebäudeebenen wirken sich auf die Effizienz eines Gebäudes aus. Als übergeordnete Ebene steht der Entwurf der Gebäudestruktur. Diese beeinflusst vor allem die Energieeffizienz des Bauwerkes. Dabei wird übergeordnet zur Konstruktion, das Gebäude als Einheit anhand seiner architektonischen und gestalterischen Merkmale betrachtet. Bauweise, Konstruktion und Materialisierung spielen in dieser Betrachtungsebene noch keine Rolle. Fragen wie, die Anordnung und Qualität der verglasten Flächen, die Gebäudeform und Ausrichtung oder die Anordnung speicherfähiger Massen müssen vorerst als Einflussfaktoren geklärt werden.

Die zweite Betrachtungsebene bezieht sich auf das Tragwerk, die Konstruktion und die Materialisierung dieser Elemente. Dabei der gesamte Lebenszyklus des Gebäudes, von der Herstellungs- und Nutzungsphase, bis zum Lebensende ausschlaggebend. In der Herstellungsphase spielen Aspekte wie, die Materialwahl, das Tragsystem oder die einzelnen Tragelemente und deren Materialisierung eine entscheidende Rolle. Innerhalb der Nutzungsphase muss auf die Energieeffizienz des Gebäudes und eine Flexibilität der Nutzung eingegangen werden. Die Verwertung der Materialien, vor allem durch Recycling ist der ausschlaggebende Faktor am Lebensende eines Gebäudes.

Dieser Teil der Arbeit ist die angesprochenen Gebäudeebenen unterteilt. Dies ist zum einen „Die Gebäudestruktur“ und zum anderen „Tragsystem, Konstruktion und Materialwahl“ Abschnitte.

Vor allem im Bereich der Energieeffizienz lassen sich, durch geeignete architektonische Optimierung der Gebäudestruktur, große Qualitäten schaffen. Die Ausrichtung der Fensterflächen, die Zonierung des Grundrisses oder z.B. die Anordnung der speicherfähigen Masse beeinflussen den Energiebedarf eines Bauwerkes. Dieses Kapitel befasst sich mit der übergeordneten Ge-

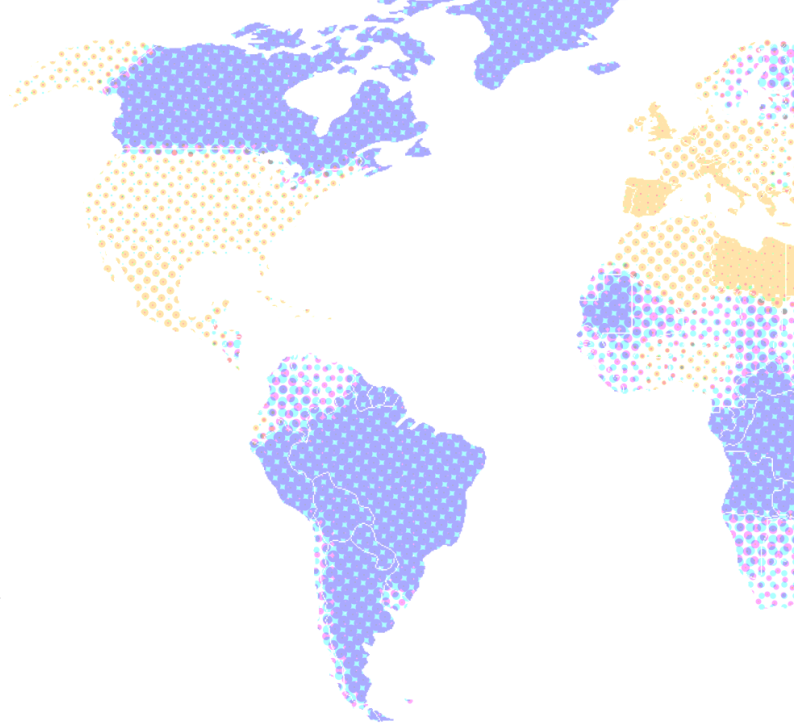


Abbildung II-1: Einflussfaktoren einer ressourceneffizienten Bauweise

Gebäudeform und Grundrissgestaltung

Oberflächen-Volumen-Verhältnis

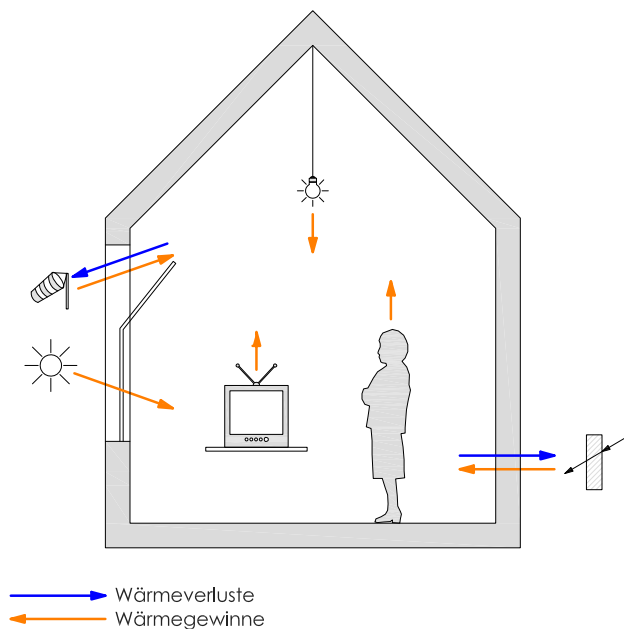


Abbildung II-2: Schematische Darstellung der Energiebilanz eines Gebäudes

Transmissionswärmeverluste

Die Energieverluste durch Bauteile wird Transmissionswärmeverlust genannt. Dieser ist vom Transmissionswärmetransferkoeffizient H_T und der Temperaturdifferenz abhängig. Der Transmissionswärmetransferkoeffizient wird wiederum vom Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) eines Bauteils, bestehende Wärmebrücken und der umschließenden Flächen (A/V-Verhältnis) des Baukörpers beeinflusst (33 S. 147).

bäudestruktur und zeigt dessen Einfluss auf die Energiebilanz auf.

Wie Abbildung II-2 zeigt, gehen in die energetische Bilanzierung eines Gebäudes Wärmegewinne und Verluste ein. Die Verluste setzen sich aus Transmissions- und Lüftungswärmeverluste zusammen. Interne Gewinnfaktoren sind Wärmeabgabe durch Beleuchtung, Personen oder elektrische Geräte. Solare Strahlung, hauptsächlich durch transparente Bauteile, zählt als externer Gewinnfaktor. Um den thermischen Komfort der Bewohner zu sichern, muss die Differenz der Faktoren durch Wärmezufuhr ausgeglichen werden. Dies beeinflusst den Endenergiebedarf und folglich den Primärenergiebedarf eines Gebäudes. In der Energiebilanz werden vor allem die Reduzierung der Verluste und die Erhöhung der Gewinne aus solarer Strahlung zu entscheidenden Faktoren. Interne Wärmequellen sind immer nutzungsabhängig und spielen vor allem in Bürogebäuden eine entscheidende Rolle (31 S. 86).

Ausschlaggebende Faktoren der Energieverluste sind:

- Gebäudeform und Grundrissgestaltung
- Wärmedurchgang durch opake und transparente Bauteile
- Lüftungswärmeverluste

Zur Energiegewinnung sind folgende Faktoren entscheidend:

- Passive Nutzung von solarer Strahlung
- Aktive solare Gewinne, z.B. Solarthermie

II.1

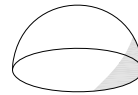
GEBÄUDEFORM UND GRUNDRISSGESTALTUNG

II.1.1

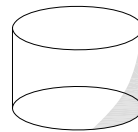
OBERFLÄCHEN-VOLUMEN-VERHÄLTNIS

Die Gestaltung der Hüllfläche wirkt sich unmittelbar auf die Transmissionswärmeverluste des Gebäudes aus. Je kleiner die Oberfläche eines Gebäudes ist, desto kleiner ist auch der erforderliche Heizwärmebedarf. Dieser Zusammenhang wird vom Formfaktor, dem Oberflächen-Volumen-Verhältnis (A/V-Verhältnis) oder der charakteristischen Länge (V/A-Verhältnis) ausgedrückt. Die Kompaktheit wird, laut OIB Richtlinie 6 über das Verhältnis der begrenzenden Hüllflächen der Bruttofläche (A) zum Gebäudevolumen (V) bestimmt. Eine Kugel stellt im A/V-Verhältnis ein optimales Volumen dar. Als orthogonale Struktur ist dies der Würfel. Die Kompaktheit eines Gebäudes verbessert sich prinzipiell, rein mathematisch begründet, bei zunehmendem Gesamtvolumen. Ein Beispiel hierfür ist der Vergleich zwischen einem Einfamilien- und einem Mehrfamilienhaus (31 S. 86 f.).

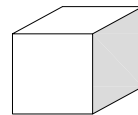
Abbildung II-3 zeigt, wie bei gleichem Volumen aber unterschiedlicher Oberfläche der Heizwärmebedarf optimiert werden kann. Ein gleichseitiger Würfel gilt als Ausgangsform. Durch eine zylindrische oder Halbkugel-Volumenform wird der Heizwärmebedarf auf 96 % reduziert. Bei Aufspaltung des Volumens in Einzelvolumina steigt der Heizwärmebedarf enorm, z.B. um 200 %, wenn aus einem gleichseitigen Würfel acht einzelne, gleichseitige Baukörper entwickelt werden (32 S. 62 f.).



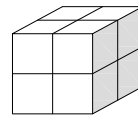
96 %



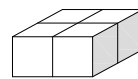
98 %



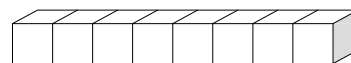
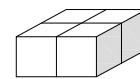
100 %



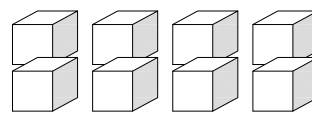
100 %



113 %



142 %



200 %

Abbildung II-3: Heizwärmebedarf bei gleichem Volumen und veränderter Oberfläche (modifiziert übernommen (32 S. 62 f.))

Gebäudeform und Grundrissgestaltung

Thermische Zonierung und Pufferräume

II.1.2

THERMISCHE ZONIERUNG UND PUFFERRÄUME

Neben der Optimierung des Gebäudevolumens, sind auch im Bereich des Grundrisses thermisch relevante Überlegungen anzustellen. Durch eine thermische Zonierung und Raumaufteilung lässt sich der Heizwärmebedarf eines Gebäudes beeinflussen. Dazu müssen die Räume anhand ihrer Nutzung in verschiedene Temperaturbereiche gegliedert werden, wie Abbildung II-4 zeigt. Bereiche mit hohen thermischen Anforderungen, wie Aufenthaltsräume sollten südseitig angeordnet werden, um die solaren Gewinne dieser Zonen zu erhöhen. Räume mit niedrigen thermischen Anforderungen, wie z.B. Erschließungszonen oder Lagerräume, sollten nordseitig als Pufferbereich angelegt werden. (31 S. 86 f.).

Bereiche ohne thermische Anforderungen können durch überlegte Anordnung das Gebäude energetisch optimieren. Dies sind z.B. klassische Wintergärten, verglaste Atrien und Loggien oder Doppelfassaden. Als Grundkonzept wird ein ausschließlich solar erwärmter Zwischenraum zwischen der thermischen Hülle und dem Außenraum geschaffen, welcher durch passive solare Strahlung höhere Temperaturen als der Außenbereich aufweist. Um eine Wirtschaftlichkeit zu rechtfertigen, sollten diese Zonen weitere Funktionen bedienen. Dies kann eine Erweiterung des Wohnraumes sowie weitere Funktionen, wie Sonnenschutz, Belüftung oder die Integration aktiver solarer Gebäudetechnik sein. Zu beachten ist, dass sich in den Sommermonaten eine hohe thermische Belastung in diesem Bereich ergeben kann, was sich ungünstig auf den sommerlichen Überhitzungsschutz auswirkt (31 S. 90 ff.)(31 S. 92).

Je nach Jahreszeit sollten diese Zonen, wie Abbildung II-5 darstellt, von Nutzer unterschiedlich gehandhabt werden. Durch die Möglichkeit, Fensterflächen im Sommer großflächig zu öffnen,

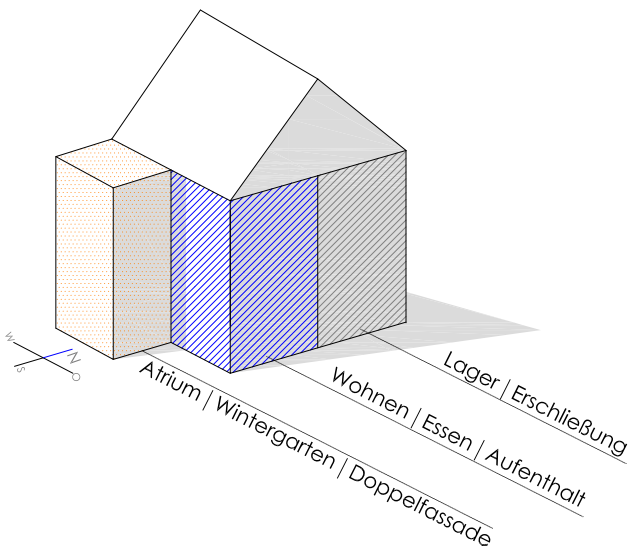


Abbildung II-4: Schematische thermische Zonierung eines Gebäudes

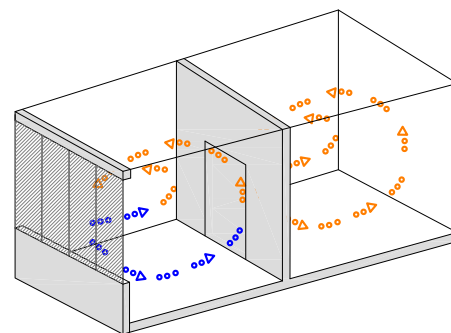
wird eine ausreichende Belüftung des Raumes sichergestellt, wodurch eine Überhitzung vermieden wird. Thermisch gesehen ist die Pufferzone im Sommer somit als Freifläche zu betrachten und trägt nicht zur Regulierung des Raumklimas bei. Im Winter wird durch den Abschluss ein Pufferraum geschaffen, welcher sich durch die solare Strahlung erwärmt. Dieser erhöht die Lufttemperatur der Pufferzone zwar meist nicht ausreichend, um den Innenraum zu konditionieren, jedoch führte die geringere Temperaturdifferenz zwischen Innenraum und Pufferzone zu geringeren Transmissionswärmeverlusten durch die Außenhaut. In den Übergangszeiten, im Frühjahr und Herbst, lässt sich die Pufferzone am effektivsten nützen. Die Lufttemperatur kann bei ausreichender Sonneneinstrahlung zur Konditionierung des Innenraums genutzt werden.

Im Zuge der Fallanalyse im Kapitel IV, werden solare Pufferräume analysiert und die Auswirkungen verschiedener Speichermassen aufgezeigt. Auch der Einfluss von Pufferräumen auf den Heizwärmebedarf wird genauer betrachtet.

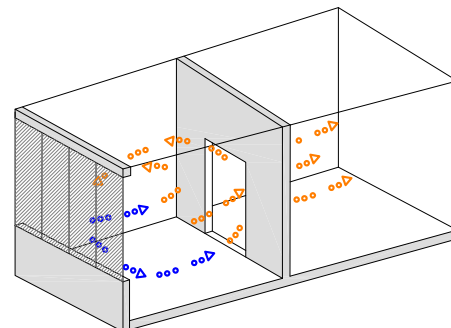
II.2 WÄRMEDURCHGANG DURCH BAUTEILE

Der Wärmedurchgang durch opake und transparente Bauteile bestimmt maßgeblich die Transmissionswärmeverluste eines Gebäudes. Die Auswahl der Dämmmaterialien, Verringerung der Wärmebrückenverluste und eine luftdichte Hülle sind ausschlaggebende Aspekte. Da diese einen Teil der Konstruktion darstellen, wird im Abschnitt „Tragsystem, Konstruktion und Materialwahl“, unter dem Kapitel III.2 näher auf diese Gesichtspunkte eingegangen.

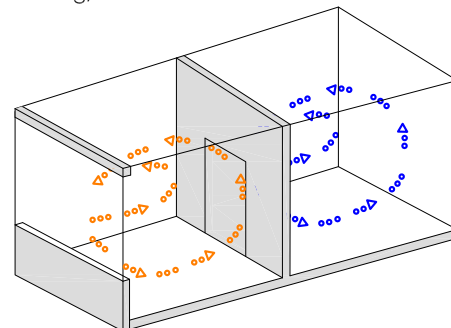
Das Material Glas erhöht, infolge solarer Einstrahlung, die externen Gewinne eines Gebäudes. Neben diesen positiven Eigenschaften und Anforderungen wie Tageslichtnutzung, Durchblick



Winter



Frühling/Herbst



Sommer
Abbildung II-5: Verwendungsmöglichkeiten von Pufferräumen

Wärmedurchgang durch Bauteil

Verglasungsanteil und Ausrichtung

und sommerliche Überhitzungsschutz, muss bei transparenten Bauteilen auch der Wärmeverlust durch Transmission berücksichtigt werden. Materialbedingt weisen Glasflächen einen schlechteren Wärmeschutz als opake Wandflächen auf. Aufgrund der immer verbesserten Materialeigenschaften der Verglasung gilt jedoch mittlerweile der Rahmen eines Fensters als thermische Schwachstelle. Die Reduzierung des Rahmenanteils, durch einen geringen Sprossenanteil, ist eine Maßnahme diese Schwachstelle zu minimieren (31 S. 90)(35 S. 44).

Einflussfaktoren auf die von verglasten Flächen verursachten Verluste sind:

- Der Verglasungsanteil und Qualität
- Der Fensterrahmenanteil und Qualität

Vor allem das Klima und die Nutzung sind Faktoren, welche die Wahl der Glasqualität beeinflusst. Von Einfachverglasung bis zu hoch entwickelten Isolierverglasungen kann aus einem Katalog vieler Fenster- und Rahmensysteme, sowie Verglasungsarten gewählt werden. Zwei-, drei- und sogar vierfach Wärmeschutzverglasung mit U-Werten bis zu $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ sind auf dem Markt verfügbar und bilden die Grundlage des thermischen, transparenten Gebäudeabschlusses (31 S. 90 ff.).

II.2.1

VERGLASUNGSANTEIL UND AUSRICHTUNG

Neben dem U-Wert der Verglasung wirkt sich der Verglasungsanteil direkt auf den Heizwärmebedarf eines Gebäudes aus. Abbildung II-6 zeigt den Heizwärmebedarf, in Abhängigkeit des Verglasungsanteils der Fassade und der Ausrichtung

Wärmedurchgangskoeffizient
U-Wert [$\text{W/m}^2\text{K}$]

In der Literatur wird der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) meist als der Wärmestrom, welche durch einen Quadratmeter eines Bauteils fließt beschrieben, wenn eine Temperaturdifferenz von 1 Kelvin (K) besteht. Zudem kann der U-Wert als ausgleichender Faktor der Wärmestromdichte und der Temperaturdifferenz beschrieben werden. Je kleiner der U-Wert eines Bauteils, desto besser sind die wärmedämmenden Eigenschaften (34 S. 40).

der verglasten Flächen. Deutlich zu erkennen ist, dass der Heizwärmebedarf bei geringerem Verglasungsanteil niedriger ausfällt. Dabei fallen auch die solaren Gewinne in Abhängigkeit zur Ausrichtung der Verglasung ins Gewicht. Durch die erhöhten Gewinne im Süden, sinkt der Bedarf (35 S. 45).

II.3

MINIMIERUNG DER LÜFTUNGSWÄRMEVERLUSTE

Auf Grund der, von der OIB Richtlinie 6 geforderten thermischen Anforderungen an wärmeübertragende Bauteile, stellen Lüftungswärmeverluste einen erhöhten Anteil der Energieverluste dar. Zur Reduzierung dieser Verluste sollten vier verschiedene Aspekte beachtet werden. Der erste Aspekt ist die allgemeine Luftdichtheit des Gebäudes, wodurch ein unkontrollierter Luftaustausch verhindert wird. Ein weiterer Aspekt, die Verluste durch Lüftung zu minimieren, ist die Steuerung des Nutzerverhaltens. Dies ist vor allem bei Gebäuden mit reiner Fensterlüftung notwendig. Durch die Wahl und Anordnung der zu öffnenden Elementen, wie zum z.B. Öffnungsflügel ohne Kippstellung oder die Bereitstellung einer Querlüftung, um einen effektiven Luftaustausch zu ermöglichen, wird das Auskühlen der Speichermassen und der somit erhöhte Energiebedarf verhindert. Ein weiterer Punkt bei natürlichen Lüftungskonzepten ist die Verwendung von Pufferräumen, wie in vorangegangenem Kapitel beschrieben, welche die Außenluft vorwärmen. Als vierter Aspekt ist die maschinelle Unterstützung von Lüftungssystemen zu sehen. Diese ist bei der Konzeption eines Passivhauses notwendig. Ein Wärmetauscher kann die Verluste zusätzlich um bis zu 90 % reduzieren (31 S. 93)(31 S. 86).

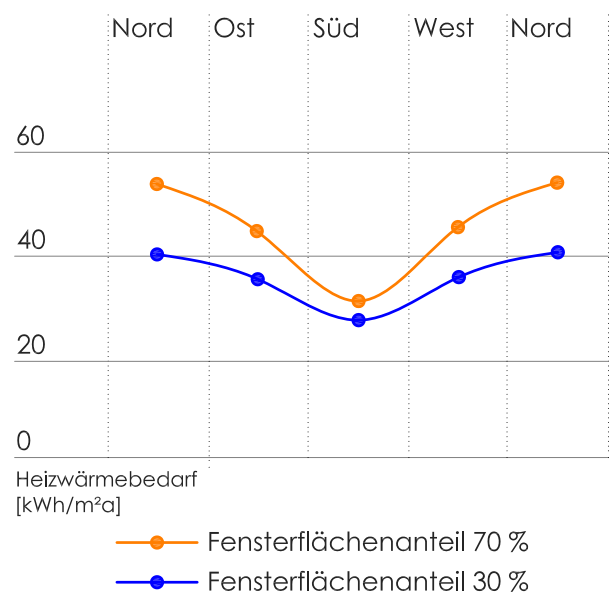


Abbildung II-6: Abhängigkeit des Heizwärmebedarfs [kWh/m²a] vom Verglasungsanteil und der solaren Gewinne (modifiziert übernommen (35 S. 45); Randbedingungen (siehe Anhang V.5))

Sommerlicher Überhitzungsschutz

Art der Verglasung

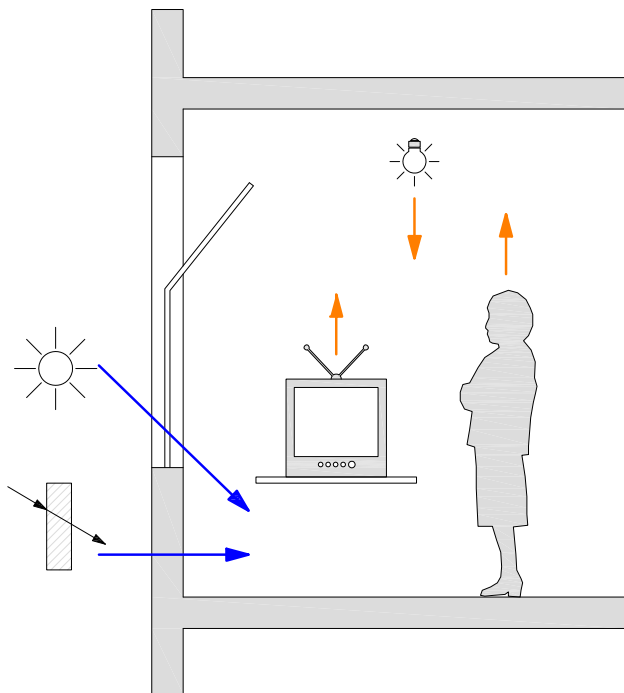


Abbildung II-7: Wärmegewinne im Raum

Energiedurchlassfaktoren g-Wert/b-Wert
Die Gesamtenergiedurchlässigkeit g wird im Wellenlängenbereich von 320-2500 angegeben und beschreibt die Summe der direkten Energiedurchlässigkeit und der sekundären Wärmeabgabe in den Innenraum (Abstrahlung und Konvektion). Der mittlere Durchlassfaktor b (shading coefficient) gibt den prozentualen Energiedurchgang einer Doppelscheibe an (80 %). Der Zusammenhang der Durchlassfaktoren ist somit (32 S. 136 f.):
 $g = b \times 0,8$

II.4

SOMMERLICHER ÜBERHITZUNGSSCHUTZ

In der kühlen Jahresperiode ist das Gebäude durch die thermische Hülle vor zu hohen Transmissionswärmeverlusten zu schützen. Zudem ist auch eine Überhitzung des Gebäudes im Sommer zu vermeiden. Grundsätzlich sind die Differenzen zur Idealtemperatur im Sommer grundsätzlich geringer als im Winter. Der Mensch kann sich jedoch vor niedrigen Temperaturen besser schützen als vor hohen. Um ein möglichst behagliches Innenraumklima sicherzustellen und die Anforderungen des sommerlichen Überhitzungsschutzes, laut OIB Richtlinie 6, zu erfüllen, müssen einige architektonische, sowie konstruktive Maßnahmen beachtet werden. Die im Gebäude vorliegende Größe und Qualität der transparenten Hüllflächen sowie deren Orientierung, speicherwirksame Masse sowie Raumlüftung spielen dabei eine wesentliche Rolle. Zudem müssen die in Abbildung II-7 dargestellten internen und externen Wärmegewinne geachtet werden (31 S. 95).

II.4.1

ART DER VERGLASUNG

Möglichst viel eindringendes Tageslicht mit zugleich wenig unerwünschten sommerlichen und erwünschten winterlichen Wärmegewinnen sind, im Bezug auf Verglasungen, nur schwer zu vereinbaren. Der Gesamtenergiedurchlassgrad g sollte für hohe solare Energiegewinnung im Winter möglichst hoch sein, während ein niedriger g-Wert für die Verhältnisse im Sommer anzustreben ist (35 S. 146).

II.4.1.1

VARIOCHROME GLÄSER

Die Problematik von gewünschten Wärmege-
winnen im Winter und unerwünschten Gewin-
nen im Sommer, wird durch variochrome Gläser
gelöst. Diese variabel steuerbaren Verglasun-
gen ermöglichen eine temporäre Änderung ih-
rer Licht- und Strahlungstransmissionen. Dadurch
verbinden sie einen Raumabschluss mit einem
steuerbaren und witterungsgeschützten Son-
nenschutz. Es wird zwischen aktiven Systemen,
welche ihre thermischen und optischen Bedin-
gungen durch aktives Schalten ändern, und
selbstständig agierenden, passiven Systemen
unterschieden. Durch Kombination, wie z.B. mit
transluzenter Wärmedämmung sind weitere Ein-
satzmöglichkeiten zur gezielten Wärmesteue-
rung möglich (35 S. 147).

ELEKTROCHROME GLÄSER

Dieses in Abbildung II-8 dargestellte aktive Sys-
tem, wird durch eine Folie zwischen zwei Schei-
ben eines Verbundglases hergestellt. Im ge-
schalteten Zustand verfärbt sich das Element
nach einer Zeitverzögerung bläulich. Die Durch-
sicht bleibt auch im geschalteten Zustand gege-
ben und ein zusätzlicher Blendschutz muss vor-
gesehen werden (35 S. 147).

GASCHROME GLÄSER

Auch bei diesem aktiven System bleibt die
Durchsicht im geschalteten Zustand erhalten. Im
Scheibenzwischenraum angebrachte Schichten
reagieren mit Stickstoffmolekülen. Durch Schal-
tung wird die Sauerstoffkonzentration angeho-
ben und der Vorgang reversibel gemacht. Pro-
blematisch sind die bläuliche Einfärbung, sowie
die verfälschten Farben der Umgebung (35 S.
147).

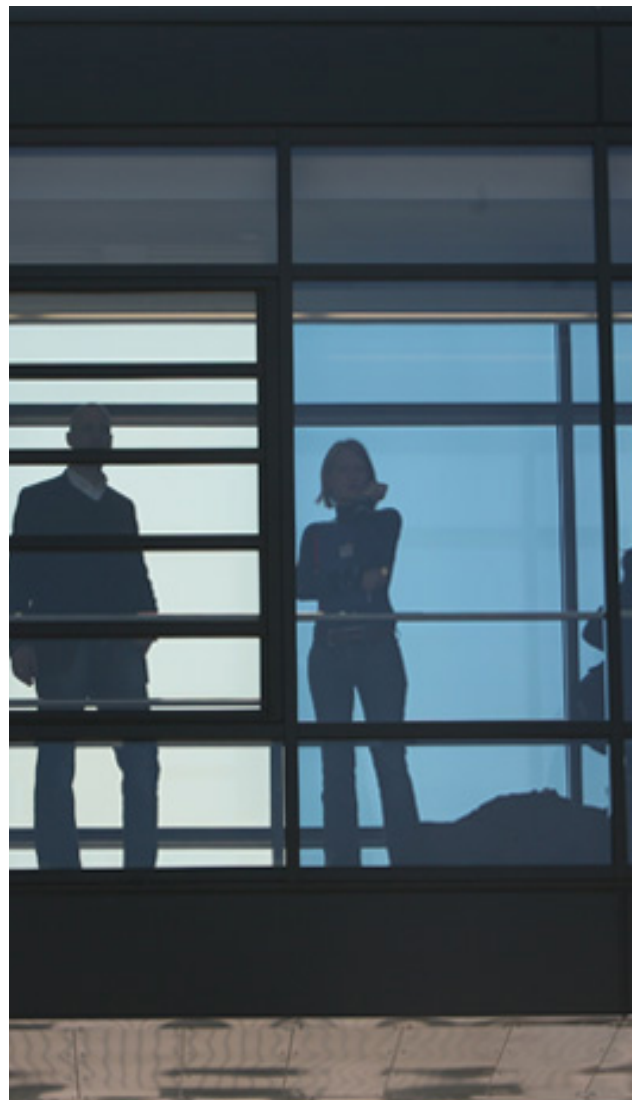


Abbildung II-8: Variochrome Verglasung des
Fraunhofer Institut in Braunschweig (36)

Sommerlicher Überhitzungsschutz

Anteil und Ausrichtung der Verglasungsflächen

THERMOTROPE GLÄSER

Im Scheibenzwischenraum dieses Passivsystems befinden sich zwei Schichten mit unterschiedlichem Brechungsindex, welche sich bei verschiedenen Temperaturen mischen oder entmischen. Dadurch wird das Licht unterschiedlich gebrochen, gestreut oder reflektiert. Die Eintrübung findet ab einer bestimmten Schwellentemperatur statt, welche durch die Materialmischung festgelegt werden kann. Eine Durchsicht ist im lichtstreuenden Zustand nicht mehr möglich (35 S. 147).

PHOTOCHROME SCHICHTEN

Diese Systeme kombinieren elektrochrome Schichten mit elektrochemischen Solarzellen. Durch Schaltung wird eine externe Spannung erzeugt, welche für den Entfärbungsvorgang nötig ist. Bei geöffneter Schaltung verfärbt sich das Element blau, sobald solare Strahlung auf sie trifft. Dadurch können solare Gewinne im Winter durch das Element geführt werden (35 S. 147).

II.4.2

ANTEIL UND AUSRICHTUNG DER VERGLASUNGSFLÄCHEN

Der Eintrag der solaren Strahlung ist direkt proportional zum Anteil der Fensterflächen an der Fassade. Große verglaste Flächen der Südfassade müssen durchdacht geplant werden. Besonders ost- und westseitige Verglasungsflächen sind meist nur durch geeignete Verschattungen zu realisieren. In Bezug auf sommerliche Überhitzung, sind nordseitige Verglasungen unproblematisch. Beispielhaft wird in Abbildung II-9 der Zusammenhang von Verglasungsflächenanteil und Übertemperaturstunden eines südorientierten Raumes mit einer Fassadenfläche von 13,5 m² aufgezeigt. Bei Fensterflächen bis zu 50 % Fassadenanteil sind in Kombination mit einem effizienten Sonnenschutz akzeptable klimatische Verhältnisse gewährleistet (35 S. 42 f.).

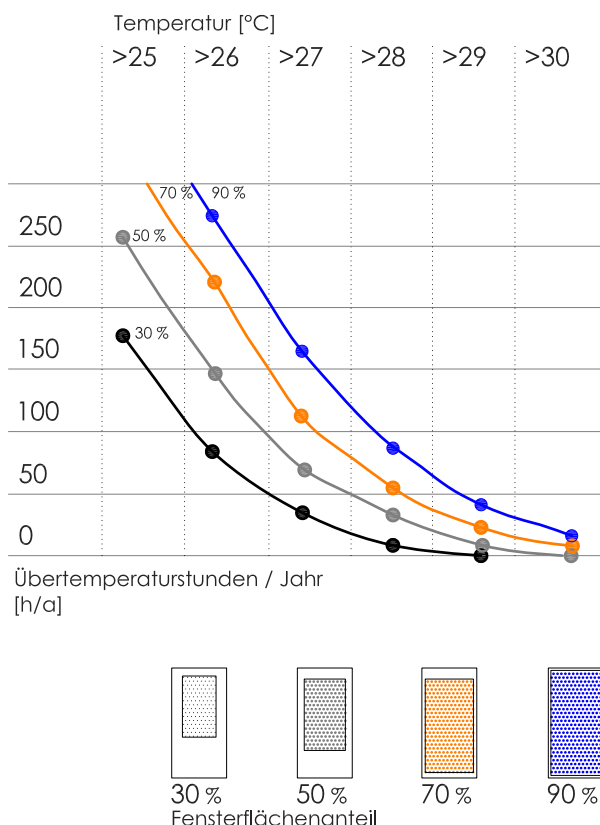


Abbildung II-9: Zusammenhang von Verglasungsflächenanteil und Übertemperaturstunden (modifiziert übernommen (35 S. 43); Randbedingungen (siehe Anhang V.5))

II.4.3

VERSCHATTUNGSSYSTEME

II.4.3.1

ORIENTIERUNG

Bei einer Süd-Orientierung ist, in unseren Breitengraden, nur die Südseite besonnt. Dadurch wird im Sommer, durch die hochstehende Sonne, ein spitzer Einstrahlwinkel der Solarstrahlung mit hohen Reflexionen erreicht. Wie Abbildung II-10 zeigt, blenden horizontale Sonnenschutzlamellen die direkte Strahlung aus und schaffen einen freien Durchblick. Diffuses Tageslicht wird jedoch in den Raum gelassen, wodurch der Haushaltsstrombedarf für Beleuchtung reduziert wird. Im Winter können die flach eintreffenden Sonnenstrahlen in den Raum eindringen und die gewünschten solaren Wärmegevinne erzielt werden. Rücksprünge, Überstände, tiefe vertikale oder horizontale Laibungen oder günstige Neigungswinkel der Verglasung schützen transparente Bauteile zudem vor direkter Sonneneinstrahlung (31 S. 97)(35 S. 42 f.).

Bei einer Ost- oder West-Orientierung des Gebäudes sind die Einstrahlwinkel, wie Abbildung II-11 zeigt, immer niedrig. Dies führt zu wenig Reflexionen an der Scheibe und hohen externen Energiegewinnen. Durch vertikale, schräggestellte Verschattungselemente lässt sich die direkte Strahlung ausblenden und ein partieller Ausblick bleibt erhalten. Jedoch ist dadurch die winterlichen Einstrahlung in der Ost oder Westfassade sehr gering (35 S. 42 f.).

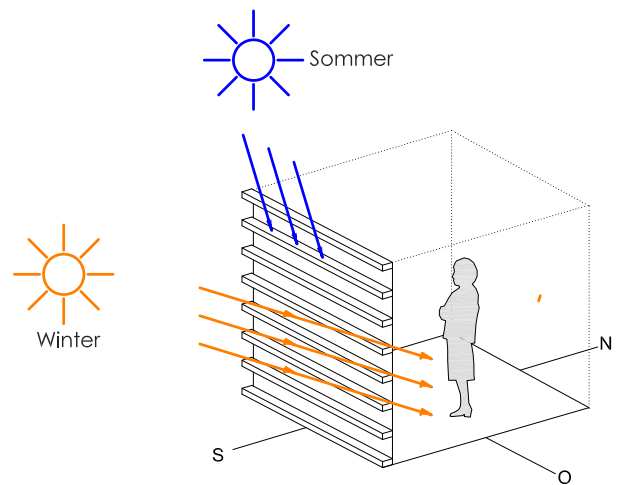


Abbildung II-10: Horizontale Sonnenschutzlamellen bei Nord-Süd-Orientierung

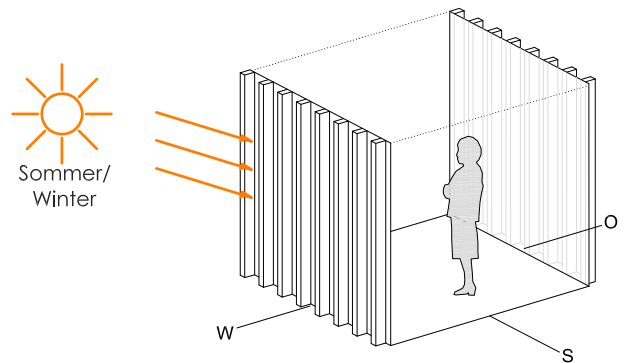
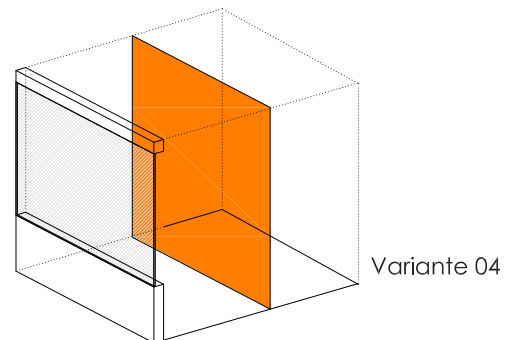
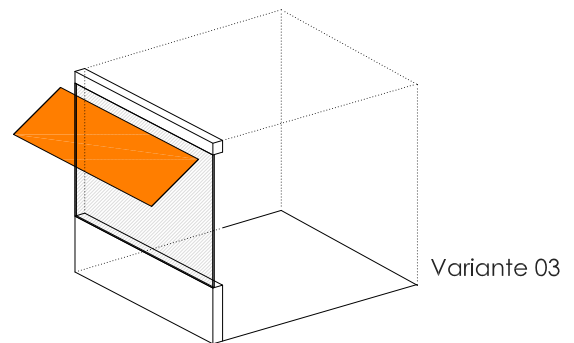
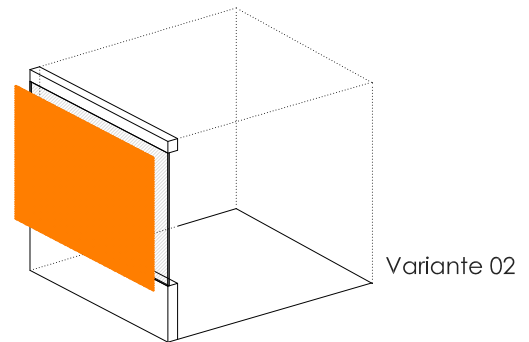
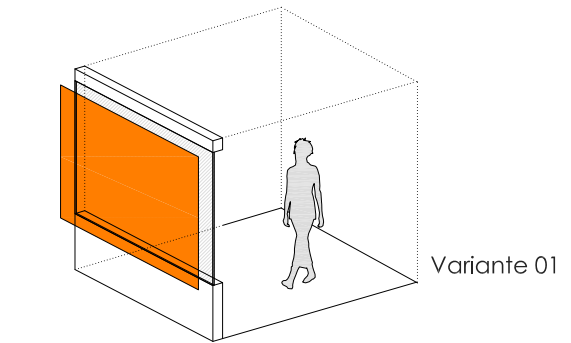
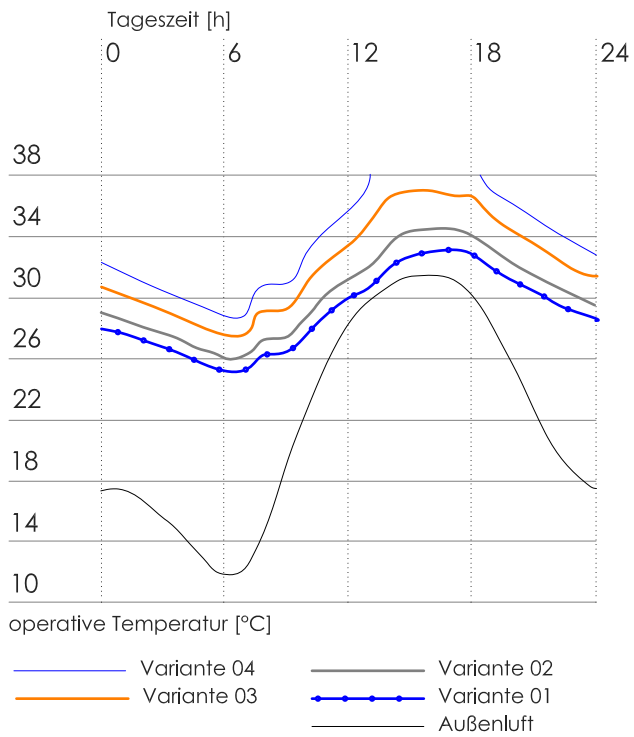


Abbildung II-11: Vertikale Sonnenschutzlamellen bei Ost-West-Orientierung

Sommerlicher Überhitzungsschutz

Verschattungssysteme



- Variante 01 Sonnenschutz außen $g = 0,12$
 - Variante 02 Sonnenschutz außen $g = 0,20$
 - Variante 03 Sonnenschutz außen $g = 0,35$
 - Variante 04 Sonnenschutz innen $g = 0,60$
- Randbedingungen (siehe Anhang V.5))

Abbildung II-12: operative Temperaturen der Verschattungssysteme (modifiziert übernommen (32 S. 138); Randbedingungen (siehe Anhang V.5))

II.4.3.2

AUSWIRKUNGEN VERSCHIEDENER SYSTEME AUF DIE RAUMTEMPERATUR

Vor allem die Lage des Sonnenschutzes spielt eine entscheidende Rolle. Neben dem Schutz vor unerwünschten Wärmegewinnen, sind Vor- aber auch Nachteile mit den verschiedenen Sonnenschutzsystemen verbunden. Ein Vorteil eines außenliegenden Sonnenschutzes ist, dass auch bei aktiver Verschattung das Fenster nach innen geöffnet werden kann. Lamellenjalousien, welche sich flexibel auf die Situation anpassen, sind ein typisches Beispiel für außenliegenden Sonnenschutz. Jedoch ist die Windanfälligkeit problematisch, wodurch ein Einsatz in Hochhäusern nicht möglich ist. Um dieses Problem zu beheben, wird oftmals eine Doppelfassade zur Windabschottung errichtet. Diese können zudem als thermische Pufferzonen fungieren, wie Kapitel II.1.2 darstellt. Die Alternative zu außenliegenden Sonnenschutz stellen im Innenraum angebrachte Systeme dar. Hohes Windaufkommen oder Verschmutzung sind bei dieser Lösung nicht relevant. Es ist zwar möglich einen gewissen Anteil der eintreffenden Strahlung wieder nach außen zu reflektieren, jedoch erreicht weit mehr solare Energie den Innenraum als bei außenliegenden Schutz (31 S. 97 f.).

Abbildung II-12 zeigt beispielhaft die Auswirkungen der Lage verschiedener Sonnenschutzelemente auf die operative Innentemperatur. Dabei sind die Variationen zwischen günstigen und ungünstigen Sonnenschutz deutlich anhand der Kurven aufgezeigt. Es ist deutlich zu erkennen, dass ein außenliegender Sonnenschutz mit einem niedrigen Lichttransmissionsgrad am besten vor zu hohen Innenraumtemperaturen schützt (32 S. 139).

II.4.4

THERMISCHE SPEICHERMASSE

Die operative Temperatur wird wesentlich durch die Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes bestimmt. Während bei Gebäuden in Leichtbauweise die Innentemperaturen an die Außentemperaturschwankungen gekoppelt sind, werden diese Kurven von massiver Bauweisen abgedämpft. Die in dem Raum eindringende Wärme wird von den Bauteilen aufgenommen und zeitverzögert wieder abgegeben. Die Nachtlufttemperaturen im mitteleuropäischen Raum sinken meist soweit ab, um die so gespeicherte Energie wieder abzugeben. Zu beachten ist, dass im Tagesverlauf nur Bauteiltiefen von 10-15 cm speicherfähig sind. Die dahinterliegende Masse kann im Tagesverlauf nicht aktiviert werden. Kapitel III.2.1.2.2 liefert weiterführende Informationen und Konstruktionsvorschläge zu den erwähnten Bereichen (12 S. 101 f.).

II.4.4.1

SPEICHERMASSENPOSITIONIERUNG

Eine gezielte Anordnung der Speichermasse, wie Abbildung II-13 zeigt, kann eine sommerliche Überhitzung vermeiden. Um externe Lasten durch Sonnenstrahlen zu kompensieren, sollte vor allem bei hoch stehender Sonne die Fassade eine hohe Speicherfähigkeit aufweisen. Bei tief stehender Sonne im Winter sollten vor allem der Fußboden, aber auch der verglasten Fassade gegenüber liegende Wände aktiviert werden. Hohe interne Lasten in bestimmten Gebäudebereichen sollten Speichermasse im Fußbodenaufbau sowie an der Unterseite der Deckenansicht aufweisen (31 S. 69).

Sommerlicher Überhitzungsschutz

Thermische Speichermasse

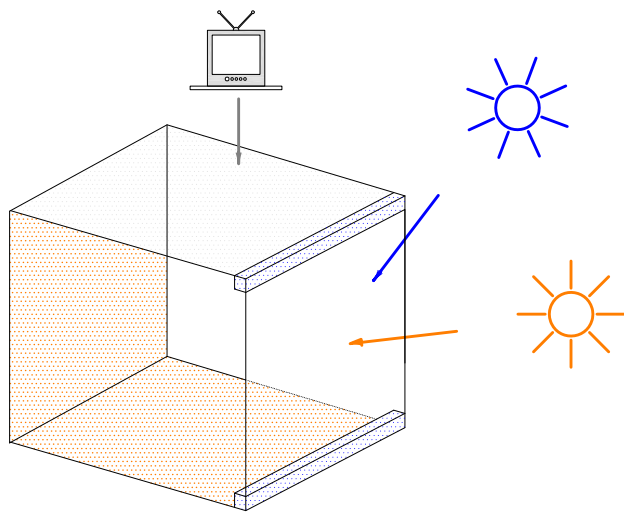


Abbildung II-13: Positionierung speicherfähiger Masse

Tageslichtquotient d

Als Tageslichtquotient wird das Verhältnis der Beleuchtungsstärke einer horizontalen Ebene in einem Raum im Verhältnis zu einer horizontalen Ebene im Freien, bei vollständig bedecktem Himmel, ausgedrückt. Um überschlagsmäßig die mögliche Raumtiefe zu berechnen, welche natürlich belichtet werden kann, ist das 1,5-fache der Fenstersturzhöhe anzusetzen (35 S. 50).

$$d = E_p / E_a \times 100 [\%]$$

E_p Beleuchtungsstärke im Raum [lx]

E_a Beleuchtungsstärke im Freien [lx]

II.4.4.2

VORTEILE EINER NACHTLÜFTUNG

Die Vorteile einer großen Speichermasse sind nur durch eine gezielte Nachtlüftung mit kalter Außenluft gewährleistet. Abbildung II-14 zeigt beispielhaft Temperaturkurven mit und ohne Nachtlüftung. Die Luftwechselrate wird mit dem dreifachen Luftwechsel berechnet. Dies ist üblicherweise bei mittleren Außenluftgeschwindigkeiten und gekippten Fenstern anzutreffen. Ein Raum mit schwer speichernden Bauteilen mit und gemauerten Seitenwänden, wird mit einer Nachtlüftung um 3-4 °C reduziert (32 S. 128).

II.5

MINIMIERUNG DES HAUSHALTSTROMBEDARFS

II.5.1

TAGESLICHTNUTZUNG

Eine weitere Möglichkeit die internen Gewinne und den Haushaltsstrombedarf eines Gebäudes zu optimieren, ist eine effiziente Tageslichtnutzung. Abbildung II-15 zeigt den Tageslichtquotient d in Abhängigkeit zur Lage des Fensters und zur Raumtiefe. Um eine möglichst effektive Ausnutzung des Tageslichtes zu gewährleisten, ist ersichtlich, dass sich ein im oberen Bereich des Raumes angeordnetes Fenster vorzuziehen ist. Dieses sollte sich möglichst über die gesamte Fassadenbreite erstrecken. Muss aufgrund des sommerlichen oder winterlichen Wärmehaushaltes der verglaste Anteil der Fassade gering gehalten werden, sind mehrere schmale Fenster im Oberlichtbereich einem einzelnen, mittig angeordneten Fenster vorzuziehen. Der Brüstungsbereich spielt in Bezug auf die Tageslichtnutzung eine sehr geringe Rolle (35 S. 46).

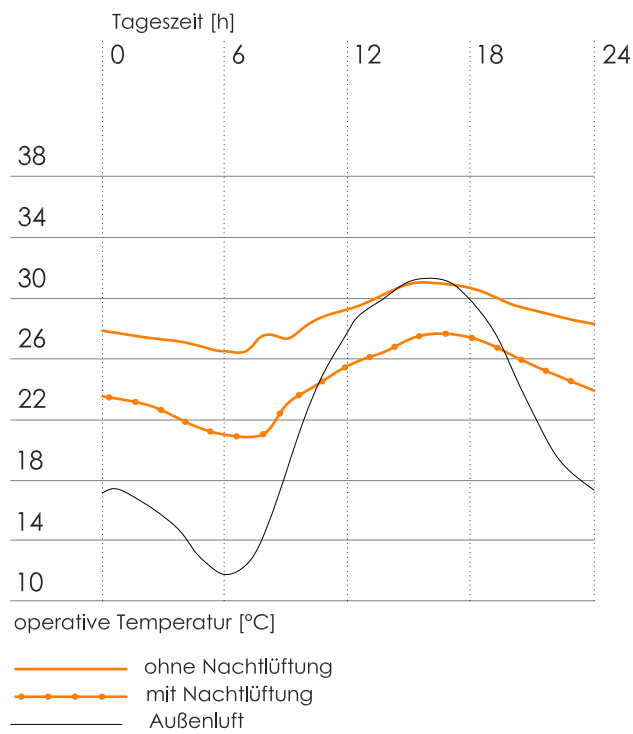


Abbildung II-14: Auswirkungen einer Nachtlüftung auf die Temperatur (modifiziert übernommen (32 S. 128); Randbedingungen (siehe Anhang V.5))

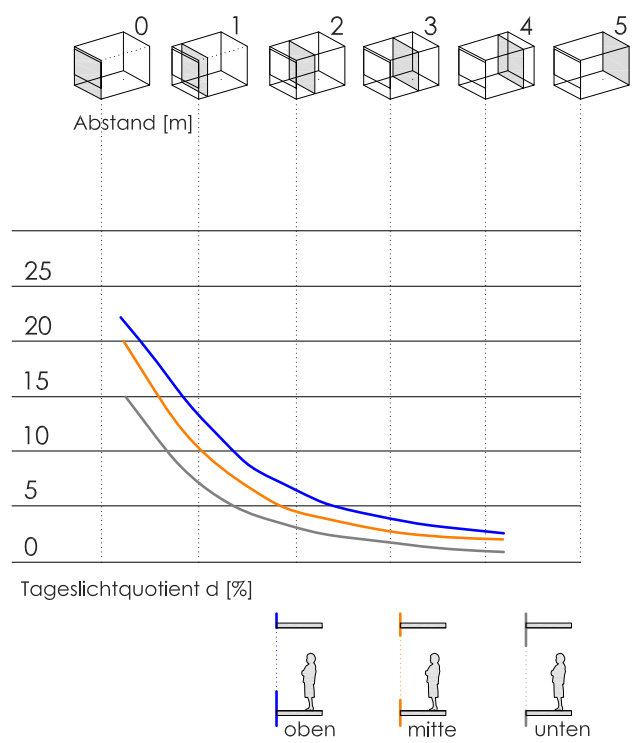


Abbildung II-15: Tageslichtquotient d in Abhängigkeit zur Lage des Fensters und zur Raumtiefe (modifiziert übernommen (35 S. 46); Randbedingungen siehe Anhang V.5)

Minimierung des Haushaltsstrombedarfs

Belüftung

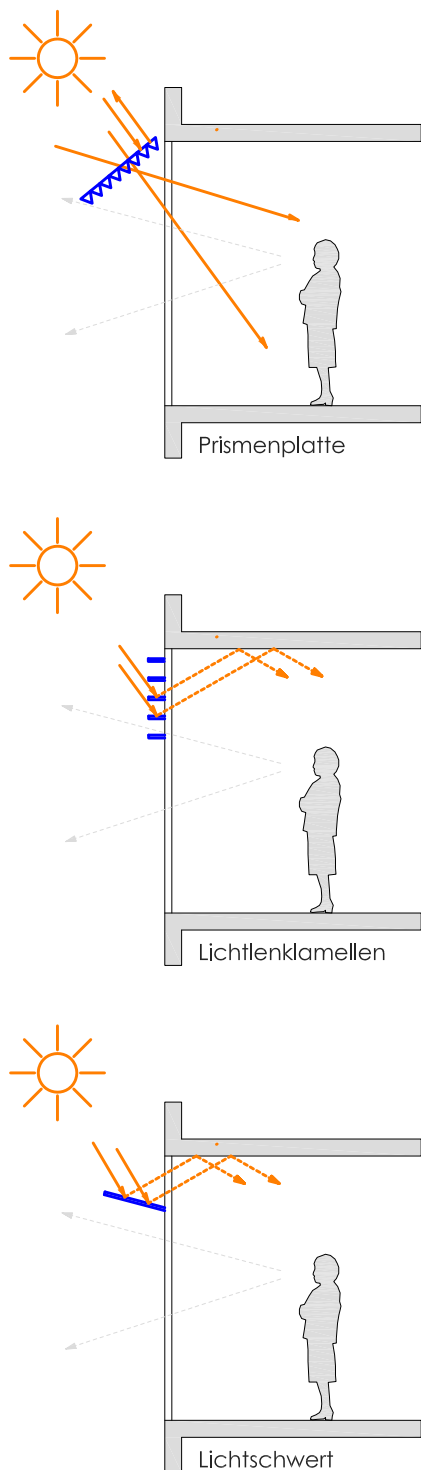


Abbildung II-16: Lichtlenksysteme

II.5.1.1

LICHTLENKSYSTEME

Verschiedene Systeme zur Steuerung der einfallenden solaren Strahlung sind am freien Markt erhältlich. Das effektivste System wäre ein in den Sonnenschutz integriertes Element. Während starre Systeme nicht auf den Sonnenstand reagieren, gewährleisten bewegliche Systeme eine optimale Lichtlenkung. Jedoch müssen diese durch eine energieaufwändige Gebäudetechnik gesteuert werden. Systeme zur Lichtlenkung sind zum Beispiel Lichtschwerter, Lichtlenklamellen, Prismenplatten oder Hologrammfolien. Abbildung II-16 zeigt ausgesuchte Systeme und ihre Funktionen. Die Wirkweise der Systeme ist allgemein eine Steuerung oder Reflexion der Strahlung, wodurch das Tageslicht weiter in den Raum eingeleitet wird (35 S. 46).

II.5.2

BELÜFTUNG

Durch die, von der OIB-Richtlinie 6 geforderte, Wind- und Luftdichtheit, ist ein unkontrollierter Luftaustausch in einem Bauwerk nicht möglich. Dadurch steigt die Bedeutung der sorgfältigen Planung des Lüftungssystems. Um die Aspekte der Nachhaltigkeit zu beachten, ist eine natürliche Lüftung vorzuziehen. In Mitteleuropa ist das Potenzial, natürliche Lüftung durch Außenluft zum Kühlen der Gebäude zu nutzen, enorm. Bei entsprechenden Konzepten kann bei über 70% des Jahres auf eine maschinelle Lüftung verzichtet werden. Natürliche Lüftung wird durch thermische Auftriebskräfte oder Druckkräfte, aufgrund von Windbewegung verursacht. Die Konzepte müssen jedoch im Hinblick auf Temperatur, Windgeschwindigkeit und Windrichtung variabel sein. Zudem ist eine elektrische Steuerung der Lüftungselemente oft sinnvoll (31 S. 99 ff.)(12 S. 100 f.)

II.5.2.1

WINDKRÄFTE UND THERMIK

Wie Abbildung II-17 darstellt, gibt es zwei verschiedene Arten der natürlichen Lüftung. Eine Art der natürlichen Lüftung entsteht durch Strömungsverhältnisse am Gebäude und somit hervorgerufene Windkräfte. Diese setzen sich aus Winddruck und Windsogkräften zusammen und werden durch die Höhe und Geometrie des Baukörpers beeinflusst. Durch speziell geformte Baukörper kann Unterdruck erzeugt werden, wodurch auch großvolumige Räume natürlich entlüftet, beziehungsweise die Luftwechselraten gesteigert werden können (31 S. 101 f.).

Eine weitere Art der natürlichen Lüftung entsteht durch die thermischen Eigenschaften der Luftbewegung, wobei eine Sogwirkung durch thermischen Auftrieb erzeugt wird. Diese ist abhängig von der Temperaturdifferenz der Luftschichten und der wirksamen Höhe. Folglich ist bei Zu- und Abluftschächten darauf zu achten, dass die Zu- und Abluft immer in Bodennähe und Abluft an der Decke geführt werden (31 S. 101 f.).

II.5.2.2

LÜFTUNGSKONZEPTE EINES GEBÄUDES

Durch eine optimierte Luftführung kann Energie eingespart und eine Erhöhung der Behaglichkeit geschaffen werden. In der Ausarbeitung eines Lüftungskonzeptes spielt die Gebäudegeometrie eine ausschlaggebende Rolle. Durch eine Optimierung des Grundrisses kann der Anteil an Räumen, welche natürlich belüftet werden können, erhöht werden. Dies geschieht durch Vermeidung tief liegender Raumzonen und großer Raumtiefen. Die Gebäudestruktur wie Treppenhäuser oder Atrien können in die Luftführungskonzepte einbezogen werden, wodurch natürliche Antriebskräfte, wie Wind und Thermik ausgenutzt werden. Für eine natürliche Lüftung benötigt man weder zusätzliche Installationen

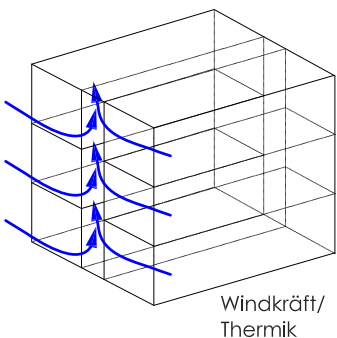
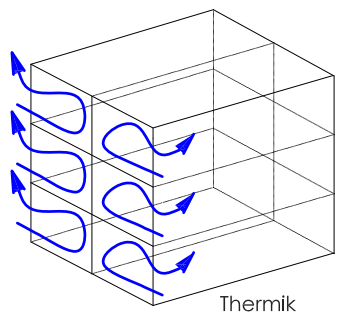
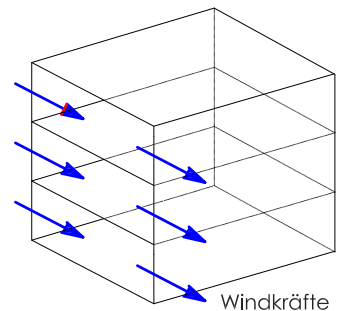


Abbildung II-17: Arten der natürlichen Lüftung

noch Antriebsenergie. Die aktuelle Tendenz der Gebäudetechnik geht in Richtung gesteuerte natürlicher Lüftung, also eine natürliche Lüftung, welche durch maschinelle Unterstützung, wie steuerbarer Lüftungsklappen, ergänzt wird. Eine maschinelle Lüftung kann mit Wärmerückgewinnung oder Kühlsystemen kombiniert werden (35 S. 61).

II.5.2.3

NATÜRLICHE LÜFTUNGSKONZEPTE IN RÄUMEN

Der Luftaustausch bei Fensteröffnungen wird durch aneinander vorbeiströmende Luftbewegung gewährleistet. Der Luftwechsel variiert stark in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenlufttemperatur und des daraus entstehenden Druckunterschiedes. Abbildung II-18 veranschaulicht, dass im Winter aufgrund des hohen Temperaturdifferenz zwischen Innenraum- und Außenluft nur wenigen Minuten genügen, um die Luft eines Raumes über eine Fensteröffnung komplett auszutauschen. Bei annähernd gleicher Temperatur steigt die dazu benötigte Lüftungszeit an. Durch eine Querlüftung kann der Luftwechsel beschleunigt werden, da Windbewegungen eine Antriebswirkung auslösen. Eine elektronische Steuerung der natürlichen Lüftung hat einige Vorteile, z.B. eine Schutzfunktion für das Schließen der Elemente bei Regen oder im Brandfall, sowie die automatische Lüftung zur Nachtzeit (31 S. 99 f).

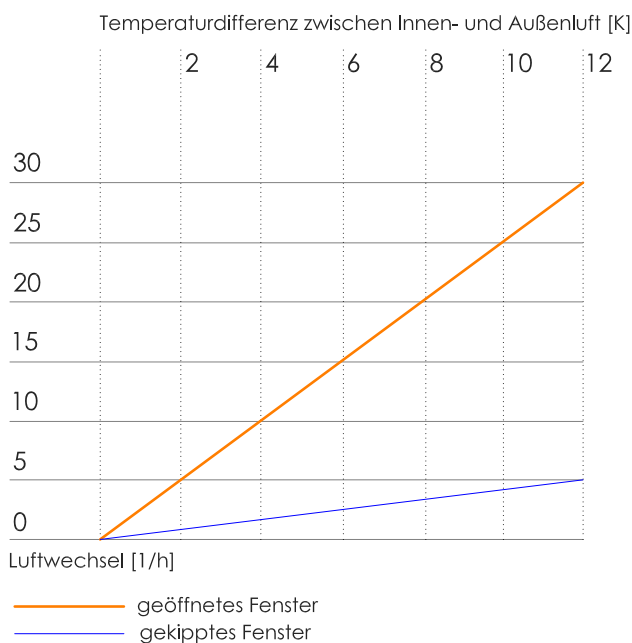
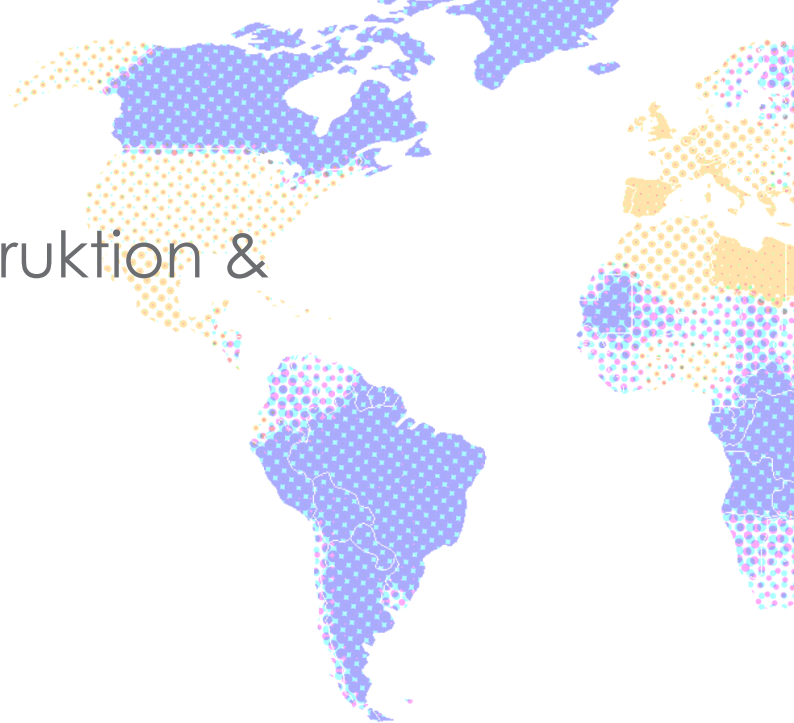


Abbildung II-18: Luftwechselrate in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz; Fenstergröße 1,2 m², Raumgröße 30 m³ (modifiziert übernommen (31 S. 100))

III. Tragsystem, Konstruktion & Materialwahl



In der zweiten Ebene der Einflussfaktoren einer ressourceneffizienten Bauweise sind das Tragwerk, die Konstruktion und die Materialwahl angesiedelt. Dieser Abschnitt beschäftigt sich nicht mehr mit allgemeinen architektonischen oder gestalterischen Aspekten einer Gebäudestruktur, sondern geht konkret auf die Bauteile und ihre Materialisierung ein.

Ein Material, eine Konstruktion oder ein Tragsystem sind für sich betrachtet nie ressourceneffizient oder ineffizient. Erst die spezifische Anwendung, Materialbelegung, der Zusammenschluss, bzw. die Kombination all dieser Faktoren ist ausschlaggebend für die Effizienz. Dabei ist der gesamte Lebenszyklus, von der Herstellung über die Nutzung und den Rückbau zu betrachten. Jede Phase beinhaltet eigene Anforderungen und Aspekte an Konstruktion und Materialien.

In der Herstellungsphase sind vor allem statische und materielle Überlegungen bezüglich des Tragsystems und der einzelnen Tragelemente und deren Materialisierung wesentlich. Die Effizienz der Nutzungsphase wird maßgeblich von energetischen Anforderungen, wie z.B. der Konstruktion des thermischen Gebäudeabschlusses und Speichermassen, geprägt. Die Nutzungsflexibilität spielt in der Nutzungsphase zudem eine wichtige Rolle. Die Verwertung der verwendeten Materialien ist der wesentliche Aspekt am Lebenszyklusende.

Die Gliederung des folgenden Abschnittes orientiert sich an den erwähnten Lebensphasen eines

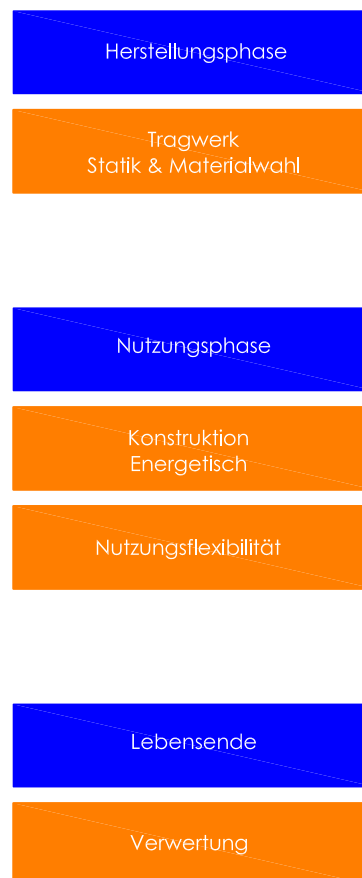


Abbildung III-1: Einflussfaktoren über den Lebenszyklus eines Gebäudes

Einflussfaktoren der Herstellungsphase

Optimierung gebräuchlicher Materialien

Gebäudes. Einflussfaktoren und Maßnahmen, welche die Ressourceneffizienz des Bauwerkes beeinflussen, werden in Zusammenhang mit diesen Lebensphasen erläutert.

III.1

EINFLUSSFAKTOREN DER HERSTELLUNGSPHASE

Schon Henry Navier sagte 1826: „Ist die Natur der Kräfte bekannt, welche auf die einzelnen Stücke einer Konstruktion wirken, so kann man für jedes Teil das vorteilhafteste Material wählen. Die Wahl wird durch die Bedingung bestimmt, einen gegebenen Widerstand bei möglichst geringen Kosten zu erhalten.“ (37 S. 1452) Dieses Prinzip lässt sich heute nicht nur zur Kosteneinsparung, sondern auch im Hinblick auf Ressourceneffizienz umsetzen.

Um ein Gebäude ressourceneffizient zu errichten sind die Wahl und der spezifische Einsatz der Baumaterialien entscheidend. Unabhängig zur Konstruktion sollten Alternativen zu herkömmlichen Baumaterialien in Betracht gezogen werden. Dies bedeutet jedoch nicht, dass ein Material ohne Bezug auf die Konstruktion gewählt werden soll. Vielmehr sollten innerhalb einer Materialgattung Alternativen in Betracht gezogen werden. Dies sind z.B. Betonsorten mit einem reduzierten Portlandzementklinkeranteils, oder Recyclingmaterialien. Betonwerkstoffe bieten in dieser Hinsicht ein enormes Potenzial und werden vorangestellt in diesem Kapitel näher erläutert. Neben diesen Überlegungen, ist bei der Errichtung einer Konstruktion immer auf den minimalen Verbrauch der Materialien zu achten. Dies wird einerseits durch die statischen Eigenschaften eines Tragwerkes, andererseits durch die Verknüpfung der statischen Gegebenheiten und den materialspezifischen Charaktere der Baustoffe sichergestellt. Der zweite Abschnitt der Einflussfaktoren in der Herstellungsphase beschäftigt sich somit mit einer Optimierung des Tragsystems an sich,

sowie der spezifischen Materialbelegung der einzelnen Elemente.

III.1.1

OPTIMIERUNG GEBRÄUCHLICHER MATERIALIEN

III.1.1.1

ÖKOBETON

Mit circa 5 % des weltweiten Kohlendioxidausstoßes ist die Zementproduktion der drittgrößte Einzelmittler an Kohlendioxid (CO_2). Dies und das allgemeine gesteigerte Nachhaltigkeitsbewusstsein zwingt die Zementindustrie, aber auch Forschung und Entwicklung, den Baustoff zu optimieren. 90 % des Betonvolumens bestehen aus Gesteinskörnung und Wasser, welche nur geringe Umweltbelastungen hervorrufen. Allein der als Bindemittel eingesetzte Zement hat erhebliche umweltschädliche Auswirkungen (38 S. 23).

III.1.1.1.1

FORSCHUNGSANSÄTZE

Durch die Reduzierung des Portlandzementklinkeranteils kann das Treibhauspotential von Beton positiv beeinflusst werden. Dies kann durch die Verwendung neuer Zemente, zum Beispiel Komposit- und Multikompositzemente oder auch durch betontechnologische Maßnahmen erfolgen. Abbildung III-2 verdeutlicht wie durch Zugabe von Hochleistungsfließmitteln der Wasser-Mehlkorngehalt verringert werden kann. Folglich besteht die Möglichkeit den Zementklinker durch Mehlkornbestandteile wie Gesteismehle oder reaktive Abfallprodukte wie Steinkohlenflugasche, zu substituieren (38 S. 4 f.).

Durch den Einsatz reaktive Abfallprodukte, wie z.B. Hüttensand, die Verwendung von Zement mit geringem Anteil an Portlandzementklinkern wie z.B. Hochofenzement, Portlandkalksandsteinzementen oder Geopolymerzemente,

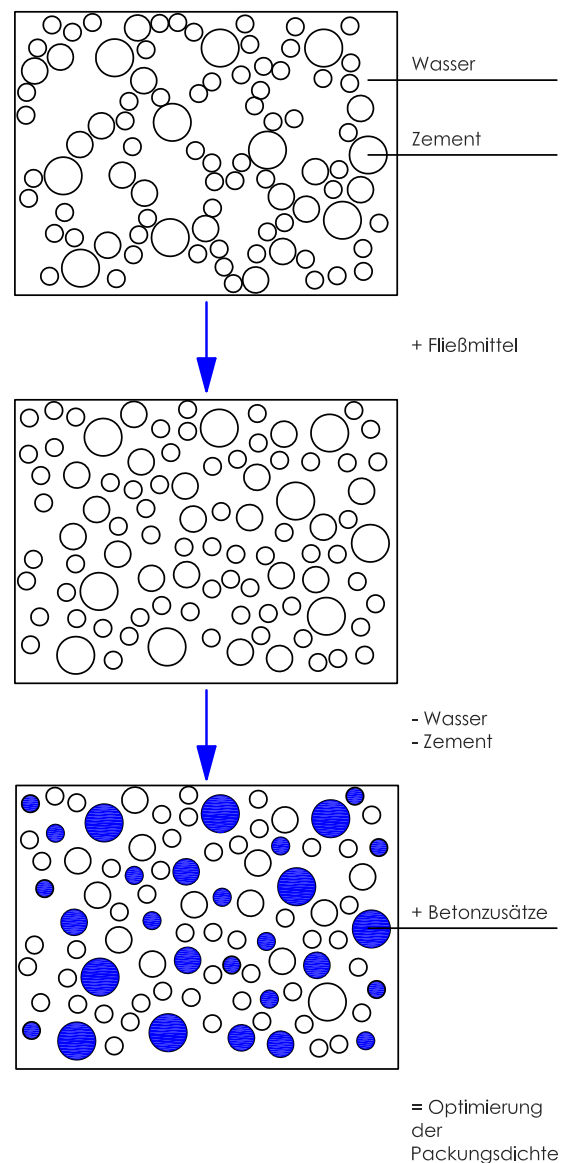


Abbildung III-2: Optimierung des Zementanteils (modifiziert übernommen (38 S. 5))

Einflussfaktoren der Herstellungsphase

Optimierung gebräuchlicher Materialien

wird die Ökobilanz von Beton verbessert. Aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit reaktiver Abfallprodukte, werden zudem Zementarten mit geringem Klinkergehalt, welche eine hohe Verfügbarkeit aufweisen und eine allgemeine Reduzierung des Zementeinsatzes in der Forschung betrachtet (38 S. 5).

III.1.1.1.2

SLAGSTAR

Hochofenschlacke fällt als Nebenprodukt der Roheisenherstellung an. Pro Tonne Roheisen sind dies etwa 220-300 kg. Durch schnelles Abkühlen der Gesteinsschmelze entsteht Hüttensand, während durch langsames Abkühlen kristalline Hochofenstückschlacke erzeugt wird. In Österreich werden circa 1 Million Tonnen Hüttensand, dies entspricht 25 % des Zementverbrauchs, erzeugt (39 S. 1)(40).

Der Spezialzement Slagstar besteht aus mineralischen Rohstoffen auf Basis von Hüttensand und entspricht der gültigen ÖNORM B 4710-1. Ökobeton mit Slagstar wird wie Normalbeton verarbeitet und eingesetzt. Produktseitig lassen sich bei der Verwendung von Sulfathüttenzement bis zu 90 % des Treibhauspotentials gegenüber Portlandzementen einsparen. Als erstes Bindemittel der Betonherstellung wurde Slagstar vom österreichischen Institut für Baubiologie (IBO) bewertet und erhielt das IBO-Gütesiegel (41)(42).

Die Spezialzement Slagstar aus dem Hause BAUMIT enthält neben Hüttensand mineralische Nebenbestandteile, Gips und Spezialzusätzen. Diese sind in ökologischer und gesundheitlicher Hinsicht unbedenklich, jedoch ähnlich wie Zement ist Slagstar für Haut und Augen reizend. Günstige Materialeigenschaften von Betonergüssen mit Slagstar sind (39 S. 3):

- sehr niedrige Hydrationswärmeentwicklung
- hoher Sulfatwiderstand

Cradle to cradle

Der Begriff cradle to cradle (deutsch: von der Wiege zur Wiege) steht für recyclinggerechte Konstruktionen und nachhaltige Bauweise. Die zwei Hauptziele der Bewegung sind Energie, Wasser und Materialkreisläufe zu schließen, sowie Schadstoffe zu vermeiden. Konsequenterweise verlangt dies eine sortenreine Trennung der Baukonstruktion bei eventuellem Rückbau. Auch müssen die Materialien ohne größere Qualitätsverluste recycelt werden können. Dies ist jedoch aufgrund des Mangels an recyclingfähigen Baustoffen noch nicht für alle Anwendungen gewährleistet (46 S. 20-22).

- hohe Säurebeständigkeit
- große Nacherhärtung
- hohe Dichtigkeit im hohen Betonalter
- geringe Blutneigung

III.1.1.2

RECYCLINGBETON

Nachdem die Verwendung von Recyclingbeton vorerst nur auf nicht tragende Elemente beschränkt war, werden zunehmend auch Tragstrukturen aus Recyclingbeton hergestellt. Tabelle III-1 zeigt beispielhaft eine mögliche Betonmischung, die mit einem Wasser-Zementgehalt von 0,5 und einer 28 Tage Druckfestigkeit von 45 N/mm² mit Normalbeton C 25/30 vergleichbar ist. Problematisch ist der geringe Frostwiderstand und sein hoher Wasserzementgehalt, wo durch eine Verwendung im Außenbereich nicht geeignet scheint. Zudem weist Recyclingbeton ein relativ geringes E-Modul (siehe Tabelle III-1) und eine starke Kriechneigung auf. Dadurch muss die Deckenstärke gegenüber Normalbeton überdimensioniert werden. Zudem sind Mehrkosten durch die Überdimensionierung des Bauteils und somit des erhöhten Materialverbrauchs problematisch. Der Rohstoffpreis von Recyclingbeton und Normalbeton weist, laut Herstellerangaben, jedoch nur geringe Unterschiede auf (43 S. 30)(44)(45).

In Kapitel III.3.2 wird eine recyclebare Konstruktion besprochen, jedoch ist dafür der Einsatz eines kreislauffähigen Materials die Grundvoraussetzung. Problematisch sind vor allem die spärlichen Informationen zur möglichen Nachnutzung und die oft nur lückenhaft bereitgestellten Angaben der Recyclingeigenschaften der Materialien in den Umwelt-Produktdeklarationen (EPDs). Konzepte wie, das vor allem in den Niederlanden avancierte „cradle to cradle“ sind nur mit zeitintensiver Recherche bei Herstellern, Experten und Recyclingbetrieben von Seiten der Planer möglich. Generell ist darauf zu achten, Ma-

Bestandteile	Massenanteil
Portlandkalksateinzement (CEM II/A-LL 42,5 N)	325 kg/m ³
Flugasche	50 kg/m ³
Recyclingbetongranulat	885 kg/m ³
Natürliche Gesteinskörnung	
0/4	354 kg/m ³
8/16	106 kg/m ³
16/32	425 kg/m ³
Wasser gesamt	228 kg/m ³
Wirksamer Wassergehalt W/Z = 0,5	174 kg/m ³
Betonverflüssiger	27 kg/m ³
Rohdichte Frischbeton	2340 kg/m ³
Druckfestigkeit	45 N/mm
28 Tage	
E-Modul	27000 N/mm
28 Tage	

Tabelle III-1: Recyclingbetonrezeptur (auf Grundlage von (43 S. 30))

Einflussfaktoren der Herstellungsphase

Funktionstrennung von Tragsystemen und Elementen

Materialien zu wählen, welche biologisch abbaubar sind oder durch bereits erprobte Verfahren zu einem hochwertigen Recyclingbaustoff umgewandelt werden können.

III.1.2

FUNKTIONSTRENNUNG VON TRAGSYSTEMEN UND ELEMENTEN

Jedes Bauwerk kann in statische Teilbereiche gegliedert werden, welche unterschiedlichen Beanspruchungen ausgesetzt sind. Eine geeignete Materialbelegung dieser Teilbereiche einer Tragstruktur oder eines Elementes sichert die Effizienz des Systems. In diesem Kapitel werden mögliche Funktionstrennungen eines Tragsystems besprochen, Einflussfaktoren und Möglichkeiten der Materialbelegungen, sowie Beispiele dieses Prinzips gezeigt.

Die in Abbildung III-3 gezeigte Funktionstrennung beschreibt das Prinzip der Lastentrennung. Durch eine konstante Gleichlast aus Eigengewicht und eine Verkehrslast, ergibt sich ein ungleichmäßiger Momentenverlauf. Durch eine Trennung der unterschiedlichen Lasten in Eigengewicht und Verkehrslast, kann im Falle des Eigengewichts ein sehr gleichförmiger Momentenverlauf erzeugt werden. Das an diese Belastung angepasste Tragsystem wäre z.B. ein Träger in Kombination mit einer dünnen, zugbeanspruchten parabelförmigen Unterspannung. Die veränderliche Verkehrslast kann z.B. durch einen biegesteifen Balken abgetragen werden. Durch die Kombination dieser beiden Tragsysteme wird ein optimales System geschaffen, welches die Lasten mit geringstem Materialaufwand abträgt (37 S. 1452).

Jedes Element erfüllt innerhalb des Tragsystems eine oder mehrere statische Aufgaben. Der Planer muss sich dieser bewusst sein, um das Element ressourcenschonend zu materialisieren. Dabei ist auf den Kräfteverlauf innerhalb des Ele-

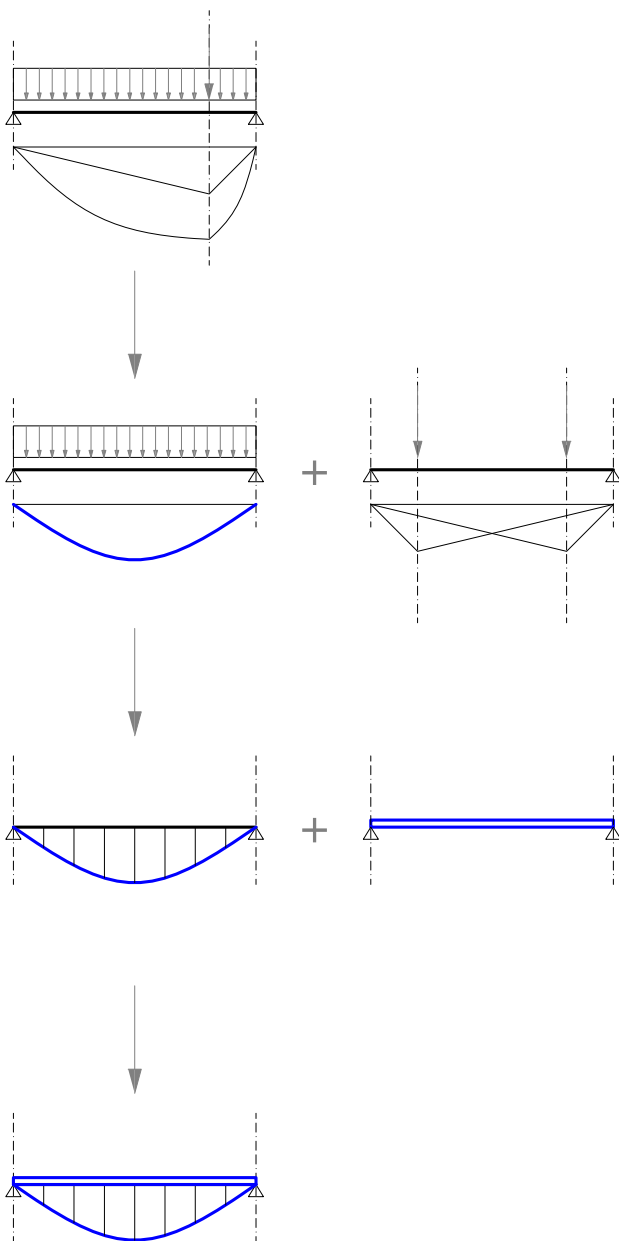


Abbildung III-3: Grundprinzip der statischen Lastentrennung (modifiziert übernommen (37 S.1452))

menten und auf eine Trennung in einzelne Beanspruchungsbereiche zu achten. Der in Abbildung III-4 dargestellte Biegeträger ist wohl das einfachste Beispiel hierfür. Der Balken wird in einzelne Teilbereiche, welche vornehmlich durch Quer-, Druck-, oder Zugkräfte belastet werden, aufgeteilt. Durch die anschließende Wahl der Materialien, welche Eigenschaften wie z.B. eine hohe Druckfestigkeit aufweisen, können die einzelnen Bereiche des Tragelementes zweckmäßig materialisiert werden (37 S. 1452).

In folgendem Abschnitt wird genauer auf Materialisierung einzelner Tragelemente eingegangen. Die Leistungsfähigkeit und dessen Verknüpfung mit ökologischen Kennzahlen eines Materials ist dabei ausschlaggebend. Vor allem Hybridkonstruktionen können bei durchdachter Planung dieses Prinzip der Funktionstrennung verfolgen. Daher werden einige Hybridkonstruktionen erläutert (37 S. 1452).

III.1.2.1

LEISTUNGSFÄHIGKEIT

Bei der Materialisierung eines Tragelementes sind auf die materialspezifischen Eigenschaften der Materialien zu achten. Tabelle III-2 zeigt charakteristische Rechenwerte für typische Konstruktionsmaterialien.

Die Leistungsfähigkeit eines Materials zu steigern, ist eine Möglichkeit dessen Effizienz zu erhöhen. Durch z.B. eine erhöhte Druckfestigkeit kann der benötigte Querschnitt des Elementes verringert werden. Ultrahochfeste Betone oder Thermo-hygro-mechanisch verdichtetes Holz sind Beispiele hierfür.

III.1.2.1.1

ULTRAHOCHFESTER BETON

Ultrahochfester Beton wird auch als „Ultra High Performance Concrete“ (UHPC), „Hochleis-

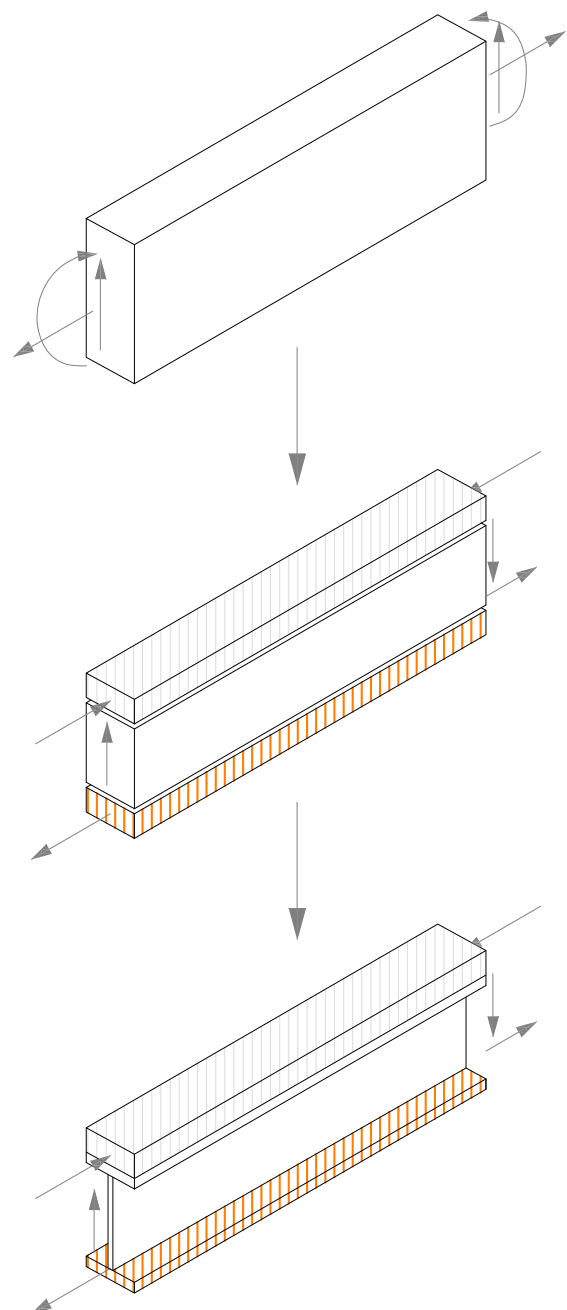


Abbildung III-4: Teilbereiche eines Biegeträgers, die hauptsächlich auf Druck oder Zug beansprucht sind (auf Grundlage von (37 S. 1452))

Einflussfaktoren der Herstellungsphase

Funktionstrennung von Tragsystemen und Elementen

Holz	Rohdichte ρ [kg/m ³]	Druckfestigkeit f_c [N/mm ²]		Zugfestigkeit f_t [N/mm ²]		Biegung f_m [N/mm ²]		Elastizitätsmodul E [N/mm ²]
			⊥		⊥		⊥	
Nadelholz	290 - 460	16 - 29	2,0 - 3,2	8 - 30	0,4	14 - 50		11000-14700
Laubholz	475 - 900	18 - 34	7,5 - 13,5	11 - 42	0,6	18 - 70		
OSB	550	14,8-15,9	12,4-12,9	9,0-9,9	6,8-7,2	14,8-18,0	7,4-9,0	3000 - 4930
Span- platten	500 - 650	6,1 - 12,0		4,4 - 8,9		5,8 - 14,2		550 - 3200
Faser- platten ¹⁾	600 - 650	8 - 9		8 - 9		15 - 17		2900 - 3100
MDF	500 - 650	10,0 - 13,0		10,0 - 13,0		19,0 - 21,0		2400 - 3700
Massivholzplatten	410	10 - 16	10 - 16	6 - 16	6	12 - 35	5 - 9	550 - -10000

Beton	Rohdichte ρ [kg/m ³]	Druckfestigkeit $f_{c,k}$ [N/mm ²]	Zugfestigkeit f_{ctm} [N/mm ²]	Biegung $f_{m,k}$ [N/mm ²]	Elastizitätsmodul E [N/mm ²]
Leichtbeton	800-2000	9-88	25,8 - 45,2	-	2700 - 4500
Normalbeton	2000-2600	10-60		2,6-17,9	
Schwerbeton	<2600	60-115			

Stahl	Rohdichte ρ [kg/m ³]	Druckfestigkeit f_c [N/mm ²]	Zugfestigkeit $f_{u,k}$ [N/mm ²]	Steckgrenze $f_{y,k}$ [N/mm ²]	Elastizitätsmodul E [N/mm ²]
S 235	7850	240	360	240	210000
S 335		-	470	360	

Tabelle III-2: Charakteristische Rechenwerte (47)(48) (49) (50) (51)

tungs-Feinkorn-Beton“ (HFL-Beton) oder „Reactive Powder Concrete“ (RPC) bezeichnet. Dieses sich noch in der Entwicklung befindende Material, weist Druckfestigkeiten von über 200 N/mm² und Biegezugfestigkeiten von mehr als 20 N/mm² auf. Dadurch können hochfeste und zudem leichte Bauteile erstellt werden. Durch das dichte Gefüge mit einem sehr kleinen Anteil an Kapillarporen, ist dieser Beton zudem fast vollständig wasserdicht und wird durch chemische Stoffe oder Frost kaum beansprucht. Tabelle III-3 zeigt beispielhaft die Zusammensetzung und Eigenschaften eines an der Universität der Bundeswehr München entwickelten HFL-Betons (52 S. 57)

III.1.2.1.2

Thermo-hygro-mechanisch verdichtetes Holz

Um die mechanischen Eigenschaften von Vollholz zu steigern, hat sich die thermo-hygro-mechanische Verdichtung bewährt. Heimische Nadelhölzer werden unter Druckeinwirkung von 5 MPa und Temperaturen von 140° C behandelt. Durch die Reduzierung um die Hälfte des ursprünglichen Holzvolumens, lässt sich die Festigkeit und Steifigkeit der Hölzer deutlich erhöhen. Es entstehen dabei Profile mit einer Materialein-

sparung, im Vergleich zu Rundhölzern, von rund 80 %. Zudem erhöht sich die Witterungsbeständigkeit und biologische Resistenz bei einer thermischen Behandlung von über 200 °C. So kann vielfach auf einen chemischen Holzschutz verzichtet werden (53 S. 49).

III.1.2.2

FUNKTIONSÄQUIVALENT

Um eine ressourceneffiziente Tragstruktur zu sichern, ist nicht nur die Leistungsfähigkeit eines Materials gesondert zu beachten, sondern auch ihre ökologischen Eigenschaften. Ein wesentlicher Aspekt, innerhalb der Herstellungsphase, ist die Betrachtung eines Baustoffes in Bezug auf sein Funktionsäquivalent. Dieses gibt den Primärenergiebedarf (PEI) eines Baustoffes, in Zusammenhang mit der Materialschichtdicke, bei gleicher Leistungsfähigkeit an. Ein Beispiel hierfür ist der Vergleich von als Teflon bekanntem Polytetrafluorethylen (PTFE), mit Bitumen. Bei der Untersuchung des PEI gilt PTFE als einer der energieaufwändigsten Baustoffe. Bitumen, ein deutlich energieärmerer Stoff, kann jedoch alternativ mit PTFE ersetzt werden, da sich der hohe Energieeinsatz aufgrund der sehr geringen Materialstärke des leistungsfähigen Teflon relativiert (31 S. 160).

CEM I 42,5 R HS	500 bis 800 kg/m ²
Silicastaub	100 bis 230 kg/m ³
Feinstes Steinmehl (Quarz)	150 bis 300 kg/m ³
Sand	600 bis 1000 kg/m ³
Fließmittel	25 bis 60 kg/m ³
Wasserzugabe	160 bis 190 kg/m ³
ggf. Stahlfasern	0 bis 230 kg/m ³
w/z	0,22 bis 0,28
Ausbreitmaß	50 bis 65 cm

Tabelle III-3: Zusammensetzung und Eigenschaften eines Ultrahochfesten Betons (52 S. 57)

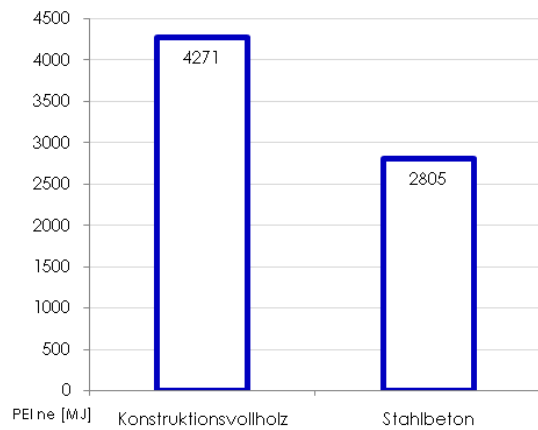
Einflussfaktoren der Herstellungsphase

Funktionstrennung von Tragsystemen und Elementen

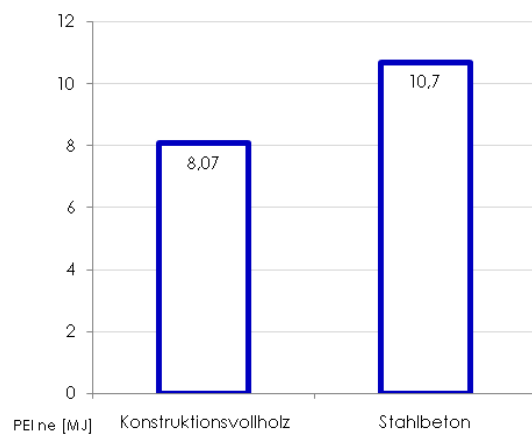
Abbildung III-5 verdeutlicht beispielhaft den Einfluss des Funktionsäquivalents verschiedener Materialien. Stützen aus typischen Konstruktionsmaterialien wie Holz und Stahlbeton werden, auf Grundlage derselben Belastung und Knicklänge, verglichen. Betrachtet man zum Vergleich, die Immissionen der Materialien gesondert, wie Abbildung III-5 darstellt, zeigt sich, dass zur Produktion von 1 m³ Konstruktionsvollholz 1,5 mal mehr PEI ne benötigt wird, als zur Herstellung von 1 m³ Stahlbeton. Bei der Betrachtung von 1 kg der Materialien, verschiebt sich die Staffelung des Bedarfs, da der Verbrauch an PEI ne von Konstruktionsvollholz niedriger ist als der von Stahlbeton. Bezieht man den Materialverbrauch ein, welcher benötigt wird um eine Belastung von 400 N mit einer Knicklänge $l_k = 3$ m abzutragen, ist der Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie der Stahlbetonstütze über 2,5 mal geringer als der Verbrauch einer Holzstütze unter den selben Bedingungen. Es geht dabei hervor, dass Materialien immer in Bezug auf ihren konkreten Einsatz im Bauwerk betrachtet werden müssen. Tabelle III-4 zeigt den Verbrauch an PEI ne und die Emissionen von GWP der besprochenen Holz- und Stahlbetonstütze, sowie einer weiteren Stahlstütze unter den selben Bedingungen (54).

	1m ³	1kg	Funktionsbezogen
Konstruktionsvollholz PEI _{ne}	4271,00	8,07	738,00
Konstruktionsvollholz GWP	-822,00	-1,55	-142,00
Stahl PEI _{ne}	231575,00	29,50	1945,00
Stahl GWP	16799,00	2,14	141,00
Stahlbeton PEI _{ne}	2805,00	10,70	259,00
Stahlbeton GWP	334,00	0,73	31,00

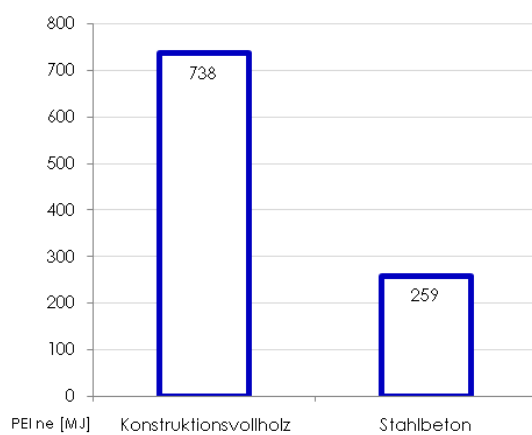
Tabelle III-4: Vergleich der Leistungsfähigkeit, des PEI_{ne} [MJ] und des Treibhauspotential [kg CO₂ äquiv] verschiedener Stützen (54)



Vergleich des PEI ne von 1m³ Material



Vergleich des PEI ne von 1kg Material



Vergleich des PEI ne von Stützen bei selber Belastung

lk = 3 m; N = 400 kN

Holz: 24 cm x 24 cm

Stahlbeton: C25/30 d = 20 cm 2% Bewehrung

Abbildung III-5: Vergleich des PEI ne verschiedener Materialien (auf Grundlage von (54))

Einflussfaktoren der Herstellungsphase

Funktionstrennung von Tragsystemen und Elementen

III.1.2.3

HYBRIDKONSTRUKTIONEN

Hybridkonstruktionen setzen die erwähnten Prinzipien der Funktionstrennung um und stellen ein enormes Potential dar, Ressourceneffizienz in der Konstruktion umzusetzen. Dabei sind die materialspezifischen Charaktere, wie ihre spezifische Leistungsfähigkeit und das Funktionsäquivalent, der unterschiedlichen Verbundmaterialien nie aus dem Auge zu verlieren. Nur wenn die einzelnen Materialien unter Beachtung ihrer Eigenschaften eingesetzt und verbunden werden, ist eine Hybridkonstruktion sinnvoll.

III.1.2.3.1

HOLZ-GLAS

In Kombination mit einer vorherrschend aus Aluminium gefertigten Tragkonstruktion mit lastabtragender und aussteifender Wirkung, wird Glas üblicherweise nur als Raumabschluss und zur Belichtung des Innenraumes genützt. Wird die materialspezifische Eigenschaft des spröden Materials, die gute Druckfestigkeit, berücksichtigt, kann es als statisches Element eingesetzt werden. Dies ist z.B. durch eine Verklebung und Verklotzung des Materials mit einer Unterkonstruktion aus Holz möglich. Die Verklebung von Glas ist schon lange in der Autoindustrie bekannt. Dort übernehmen die Scheiben auch eine aussteifende Wirkung (55)(56).

Die Holzforschung Austria (HFA) und das Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau (ITI) der Technischen Universität Wien forschen seit 2002 an einer aussteifenden, lastabtragenden Holz-Glas-Verbundkonstruktion. Berechnungskonzepte und Langzeitstudien für geklebte Koppelrahmen aus Holz mit Schubverklebung und zusätzlicher Verklotzung der Eckbereiche zur Ausbildung von Druckdiagonalen (siehe Abbildung III-6) wurden erforscht und in Protoprojekten verwirklicht. Derzeit wird das System auf



Abbildung III-6: Konstruktionsbeispiel Holz-Glas-Verbund (55)



Abbildung III-7: Holz-Glas-Verbundkonstruktion (57)

Einflussfaktoren der Herstellungsphase

Funktionstrennung von Tragsystemen und Elementen

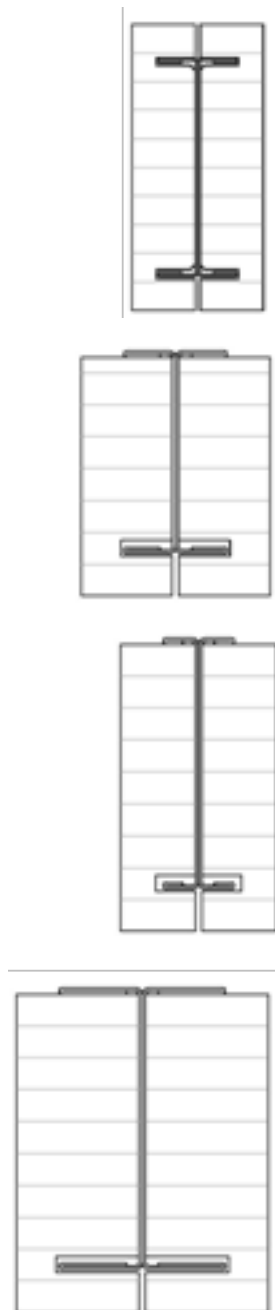


Abbildung III-8: Mögliche Querschnitte von Holz-Stahl-Verbundträgern (58)

mehrgeschossige Fassaden übertragen (55)(56).

Die Materialien der Konstruktion ergänzen sich in ihren positiven Eigenschaften und bilden somit einen leistungsfähigeren Verbund als einzeln betrachtet. Das Holz fungiert als Bewehrung und Kantenschutz, während die hohe Druckfestigkeit des Glases als Aussteifung dient. Das 2009, in Abbildung III-7 dargestellte, mit dem niederösterreichischen Holzbaupreis ausgezeichnete Projekt „Schattenbox“ von Christoph Feldbacher realisierte diese neue Verbundkonstruktion (55)(56).

III.1.2.3.2

HOLZ-STAHL

Obwohl der Verbund von Holz und Stahl in der heutigen Zeit alltäglich ist, werden üblicherweise nur die Verbindungsmittel einer Holzkonstruktion aus Stahl hergestellt. Auch Hybridtragwerke, in denen Holz die Druckbeanspruchung und Stahl die Zugbeanspruchung übernehmen, sind gängige Tragwerkssysteme. Statisch wirksame Holz-Stahl-Konstruktionen sind jedoch erst in der Forschung anzutreffen (58).

Eine Kooperation des ITI, der Camillo Sitte Lehranstalt unter Förderung des Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft untersucht den Verbund von Hybridelementen aus Holz und Stahl. Gekantete C-Profile aus Stahl wurden mechanisch durch Nägel mit Brettschichtholzträgern verbunden. Die den Stahl einbettenden Holzwerkstoffe fungieren als Schutzschicht im Brandfall. Zudem ist der Zusammenschluss der Baumaterialien Stahl und Holz, aufgrund der steigenden Rohstahlpreise, ökonomisch sinnvoll. Aber auch die ökologischen Auswirkungen, die Reduzierung des Treibhauspotentials und der verwendeten nachwachsenden und recyclingfähigen Materialien des Verbundes, sind positiv zu bewerten. Das System bleibt zudem durch die Vernagelung sortenrein rückbaubar und somit recyclingfähig. Zudem bildet das Holz eine

brandschutztechnisch sinnvolle Schutzschicht um den eingebetteten Stahl. Das Langzeitverhalten und Optimierung der verbindenden Elemente sind noch zu untersuchende Probleme des Systems (58).

III.1.2.3.3

HOLZ-BETON

Ressourceneffiziente Materialisierung bedeutet, ein Material nur dort einzusetzen, wo es auch sinnvoll ist, wie Hybriddecken aus Holz und Stahlbeton. Eines vieler Beispiele dieser Hybridkonstruktion wird im LifeCycle Tower ONE von Hermann Kaufmann genützt, um die Festigkeiten sowie Schall- und Brandschutzanforderungen im ersten achtgeschossigen Holzgebäude in Österreich zu optimieren (59 S. 48).

Abbildung III-9 zeigt die Deckenelemente dieses Projektes, mit Längsbalken aus Brettschichtholz (24 cm x 28 cm), welche die Funktion eines Unterzuges erfüllen, eingesetzt. Darauf liegt eine 8 cm starke Fertigbetonplatte (2,7 m x 8,1 m), welche die Druckkräfte aufnimmt. Zudem wurden die Randbereiche der Verbundplatten aus Stahlbeton ausgeführt. Dies vermeidet eine Belastung der Holzunterzüge quer zur Faserrichtung, der Schwachstelle eines Holzbau-elementes. Neben der statischen Optimierung, Aufnahme der Zugkräfte durch Holz- und der Druckkräfte durch Betonelemente, wurden auch die Brandschutzanforderungen mit dieser Konstruktion erfüllt (59 S. 49 f.).

III.1.2.3.4

HOLZ-HOLZLEICHTBETON-BETON

Die Abteilung Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau (ITI) der Technischen Universität Wien (TU Wien) entwickelt einen Holz-Beton-Verbund mit einer Zwischenlage aus Holzleichtbeton. Die Vorteile der verschiedenen Materialien werden dabei effektiv genützt. Zugkräfte werden bei die-



Abbildung III-9: Holz-Beton-Verbunddecke (60)

Einflussfaktoren der Nutzungsphase

Energetische Optimierung

sem System durch eine Brettsperrholzlage und Druckkräfte von einer Lage selbstverdichtendem Beton aufgenommen. Durch die Mittelschicht aus Holzleichtbeton wird das thermische und schalltechnische Verhalten verbessert sowie das Gewicht des Sandwichelementes reduziert. Leichte und vor allem wirtschaftliche Konstruktionen mit Spannweiten von über 7 m sollen durch diese Entwicklung möglich werden (61).

III.2

EINFLUSSFAKTOREN DER NUTZUNGSPHASE

Um Ressourceneffizienz in der Nutzungsphase eines Gebäudes sicherzustellen, sind zwei Grundaspekte zu unterscheiden. Zum einen ist dies der Energiebedarf des Gebäudes, welcher durch einen effektiven thermischen Gebäudeabschluss reduziert werden kann. Dabei muss konstruktiv auf den Wärmedurchgang durch Bauteile, Wärmebrücken sowie eine luftdichte Hülle geachtet werden. Auch der Schutz vor sommerlicher Überhitzung und somit die Reduzierung des Kühlbedarfs ist nicht zu vernachlässigen. Um eine Ressourceneffizienz nicht nur im Bezug auf den Energiebedarf sicherzustellen, sollte auch die Materialwahl, von z.B. Dämmstoffen oder der Materialeinsatz zur Bereitstellung von Speichermassen unter ökologischen Gesichtspunkten beachtet werden. Neben den energetischen Anforderungen ist vor allem die Nutzungsflexibilität ein Grundaspekt dieser Lebensphase eines Gebäudes essenziell. Durch grundlegende Überlegungen zur Lebensdauer einzelner Materialien und der Flexibilität von Bauelementen lässt sich eine Umnutzung und Adaptierung des Bauwerkes bereitstellen, wodurch die Lebensdauer des gesamten Gebäudes erhöht werden kann. Der zweite Abschnitt dieses Kapitels beschäftigt sich somit mit Überlegungen zur Nutzungsflexibilität und Dauerhaftigkeit von Bauteilen.



Abbildung III-10: Aufbau einer Holz-Holzleichtbeton-Beton-Hybridkonstruktion (61)

III.2.1

ENERGETISCHE OPTIMIERUNG

III.2.1.1

KONSTRUKTIVE MAßNAHMEN

Um die Wärmeverluste, und somit den Energiebedarf der Nutzungsphase eines Bauwerks möglichst gering zu halten, müssen einige konstruktive Maßnahmen ergriffen werden. Wie schon in Abschnitt „Gebäudestruktur“ besprochen, sind die Gebäudeform und Grundrissgestaltung, der Wärmedurchgang durch Bauteile, der Einfluss von Wärmebrücken und die Luftdichtheit der Hülle ausschlaggebend für die Energieverluste eines Bauwerks. In Bezug auf die Konstruktion sind dabei die Reduzierung der Wärmebrückenverluste und die Sicherstellung einer luftdichten Hülle zu beachten. Diese Aspekte werden somit in folgenden Abschnitt näher erläutert.

III.2.1.1.1

WÄRMEBRÜCKEN

Wärmebrücken sind energetische Schwachstellen einer Gebäudehülle. Sie verursachen eine geringe raumseitige Oberflächentemperatur. Dies führt zu zusätzlichen Wärmeverlusten. Zudem können auf Grund von Tauwasseranfall Bauschäden wie u.a. Pilzbefall entstehen. Das Verhältnis des Anteils der Wärmebrücken an den Transmissionswärmeverlusten wird durch immer effizientere Wärmedämmungen erhöht. Der Bauteilübergang von zwei bis drei Bauteilen mit unterschiedlichen Schichten und Funktionen stellt bei der Planung ein wesentliches Problem dar (12 S. 77 f.)(25 S. 45)(34 S. 127).

Abbildung III-11 zeigt eine Auswahl von problematischen Bauteilübergängen und Anschlüssen der Gebäudehülle, welche bei einer effizienten Bauweise genauer betrachtet werden müssen.

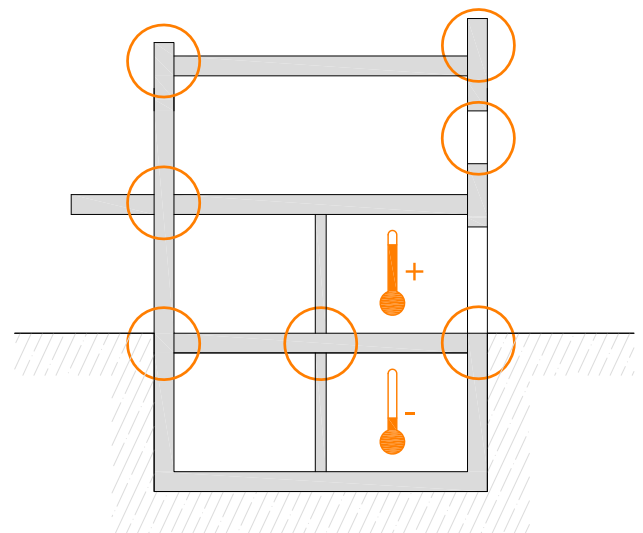


Abbildung III-11: Auswahl von problematischen Bauteilübergängen und Anschlüssen

Einflussfaktoren der Nutzungsphase

Energetische Optimierung

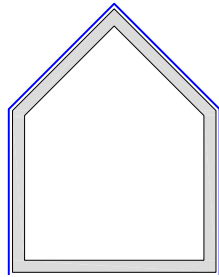


Abbildung III-12: Umschließende Dämmebene

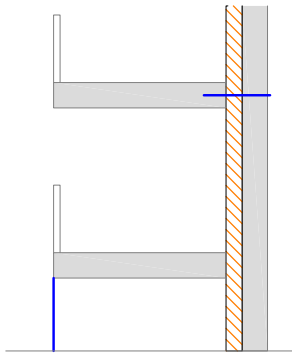


Abbildung III-13: Auskragungen

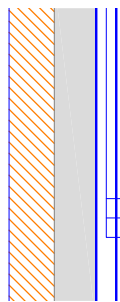


Abbildung III-14: Installationsebene

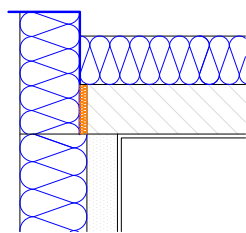


Abbildung III-15: Wärmebrücken am Dachrand

III.2.1.1.2

GRUNDREGELN

UMSCHLIEBENDE DÄMMEBENE

Als Grundlage einer wärmebrückenfreien Konstruktion muss die Dämmebene das gesamte Gebäudevolumen umschließen (62 S. 116 ff.).

AUSKRAGUNGEN

Im Allgemeinen sollten Auskragungen der Baukörper immer außerhalb der Dämmebene montiert werden, um eine energetische Trennung vom Baukörper zu schaffen (62 S. 116 ff.).

Wenn aus konstruktiven oder bautechnischen Gründen, Auskragungen nicht vom Gebäude entkoppelt werden können, müssen diese thermisch entkoppelt mit dem Tragsystem des Gebäudes verbunden werden (62 S. 116 ff.).

INSTALLATIONSEBENE

Durch eine raumseitig, separate Installationsebene werden viele Probleme, wie Durchstöße von Kabelleitungen usw., vermieden (62 S. 116 ff.).

WÄRMEBRÜCKEN AM DACHRAND

Tragleche, welche die Wärmedämmschicht durchdringen, sind heutzutage immer noch ein häufig gesehenes Problem von Wärmebrücken im Bereich des Dachrandes. Durch eine thermische Entkopplung der Tragfläche mit z.B. 30 mm starken Wärmedämmstoffen kann der Wärmebrückenverlust um zwei Drittel verringert werden (63 S. 133 ff.).

WÄRMEBRÜCKEN BEI ATTIKABRÜSTUNG

Abbildung III-16 zeigt zwei typische Problemlösungen dieses Gebäudeteils. Variante 01, eine Überdämmung der Brüstung, verringert die Wärmebrückenverluste um etwa 270 % in Vergleich zu einer nur außenseitigen Dämmung. Jedoch

kann nur eine thermische Entkopplung der Brüstung, wie Variante 02 zeigt, den linearen Wärmeverlustkoeffizient in einen Bereich von 0,040 W/mK senken. Dies entspricht einer Reduktion von 670 % gegenüber einer außenseitigen Dämmung (63 S. 135).

WÄNDE ÜBER AUßENKLIMA ODER UNBEHEIZTEN RÄUMEN

Bei diesem Bauteil müssen einige Konstruktionsmerkmale beachtet werden. Eine nur über der Decke aufgebrachte Wärmedämmschicht führt, aufgrund der durchdringenden Innen- und Außenwände, zu großen Wärmebrückenverlusten und sollte somit vermieden werden. Zur Reduzierung dieser Verluste ist es meist sinnvoll die Wärmedämmschicht ober- und unterhalb der Decke anzuordnen.

Betrachtet man Holzbalkendecken mit dazwischen verlegter Dämmschicht, ist es wichtig, die Schichtdicke auf die minimalerforderliche statische Höhe zu reduzieren. Durch eine über der Konstruktion verlegte weitere Schicht wird die Wärmeleitfähigkeit verbessert. Bei Massivholzdecken ist die Problematik der Wärmebrücken durch die geringere Leitfähigkeit des Materials entschärft (64 S. 77).

III.2.1.1.3

LUFTDICHTHEIT

Wind und niedrige Außentemperaturen führen bei einer undichten Gebäudehülle zu hohen Wärmeverlusten. Besonders an Fugen, Fenster- und Türanschlüssen, undichten Fenstern und Türen selbst, sowie an Bauteilanschlüssen und Durchdringungen ist auf eine luftdichte Ausführung zu achten (32 S. 48).

Die Qualitätssicherung der Dichtheit wird meist durch einen Blower-Door-Test gewährleistet. Dabei wird ein Ventilator in die Eingangstüre des

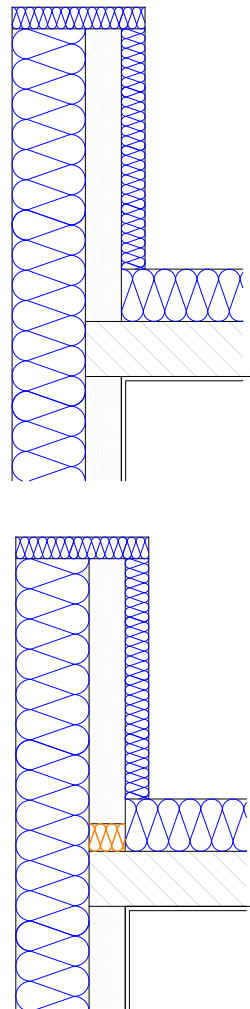


Abbildung III-16: Wärmebrücken bei Attikabrüstung

Einflussfaktoren der Nutzungsphase

Energetische Optimierung

Gebäudes eingebaut, welcher einen definierten Unterdruck im Gebäude erzeugt. Durch Leckagen nachströmende Luftmassen werden gemessen und auf das Gesamtvolumen des Gebäudes bezogen. Besonders Bauten mit kontrollierter Lüftung und Wärmerückgewinnung müssen eine ausreichende Dichtheit aufweisen, da es sonst zu unkontrollierten Luftströmen und Luftaustausch kommt. Zudem entsteht, wie Abbildung III-17 darstellt, durch die aufsteigende, warme Innenluft ein Überdruck im oberen Gebäudeteil. Bestehen Undichtheiten, so wird die warme Luft nach Außen gedrückt, was zu einem Unterdruck im unteren Teil des Gebäudes führt. Hier wird wiederum Luft von außen nach innen gepresst. Windkräfte der Außenluft verstärken diesen Effekt wiederum (34 S. 119)(32 S. 48).

Die Luftdichtheit eines Gebäudes ist ein wichtiges Kriterium, welches mit Wärmeverlusten und damit in direkten Zusammenhang mit dem Primärenergieverbrauch steht. Durch einen Luftstrom vom Gebäudeinneren nach Außen kann es zudem, durch die Abkühlung der feuchten, warmen Innenluft, zu Tauwasserbildung und somit zu Bauteilschäden kommen (34 S. 119).

OPTIMIERUNG DER LUFTDICHTEN HÜLLE

Im folgenden Kapitel werden die problematischsten Bereiche, im Bezug auf Luftdichtheit der Gebäudehülle genauer betrachtet und konkrete Maßnahmen vorgeschlagen.

Eine innenliegende Putzschicht über die gesamte Bauteilfläche, auch in uneinsehbaren Bereichen, muss ausgeführt werden, um die Luftdichtheit zu gewährleisten. Die Schicht sollte vom Rohfußboden bis zur Rohdecke verlaufen, selbst wenn dies aus optischen Gründen nicht notwendig erscheint. Es ist auch die Verputzung am Giebel, am Kniestock, bei Übermauerungen oder bei Brüstungen sicherzustellen. Später nicht mehr einsehbare Bereiche, wie hinter Sanitäreinrich-

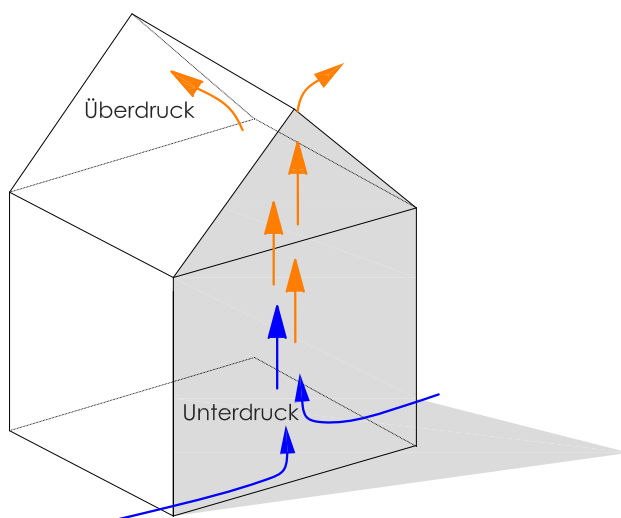


Abbildung III-17: Druckverteilung bei Undichtheiten

tungen oder im Montagebereich der Lüftungskanäle, sind zu verputzen. Wird die Innenfläche einer massiven Mauerwerkswand nicht verputzt, sondern mit Ausbauplatten verkleidet, sind diese zu verputzen oder mit einer Dampfbremse zu versehen (62 S. 123).

Bei Leichtbauweise wird die Luftdichtheit mit Dampfbremsen bzw. Dampfsperren gewährleistet. Folien überdecken lückenlos den gesamten Bereich und werden luftdicht an angrenzende Anschlussbereiche angebracht. Durchdringungen, wie Sanitär- und Elektroversorgung, Beleuchtungen, und andere Rohrsysteme müssen sorgfältig luftdicht angebracht werden. Auch Bauteilanschlüsse wie Fenster, Geschoßwände müssen sorgfältig angeschlossen werden. Der Anschluss der Dampfbremse an das Mauerwerk sollte ausreichend verputzt werden. Streckmetalle als Putzträger müssen mit eingebaut werden und dürfen nicht abgeschnitten werden. Unsaubere Verklebung und Überlappungen in den Eckbereichen sind problematisch und sollten durch dichte Verklebung oder verschweißen vermieden werden. Ein fester Untergrund sorgt für einen ausreichenden Anpressdruck beim Verkleben. Ist dieser nicht vorhanden, muss eine zusätzliche Unterkonstruktion angebracht werden. Die Installationsebene ist möglichst vor der Dampfbremse zu legen, da damit viele Fehlerquellen vermieden werden. Der Anschluss der Kehlbalkeanlage an die Sparren ist ein weiterer kritischer Punkt der beachtet werden muss (62 S. 23 ff.).

Falls Undichtheiten auftreten, können kleinere Leckagen mit speziellem Zweikomponentenschäum abgedichtet werden. Silikon oder Bauschaum ist als dauerhaftes Dichtungsmittel nicht geeignet (62 S. 125).

III.2.1.2

MATERIALWAHL

Um die energetische und ökologische Qualität eines Gebäudes zu sichern sind nicht nur konstruktive Maßnahmen ausschlaggebend. Vor allem im Bezug auf Dämmmaterialien und speicherfähige Masse sind Überlegungen bezüglich der Materialwahl essentiell. In folgendem Kapitel werden Aspekte bei der Wahl von Dämmmaterialien besprochen, sowie der Einfluss unterschiedlicher speicherfähiger Massen aufgezeigt.

III.2.1.2.1

WÄRMEDURCHGANG DURCH BAUTEILE

Opake Bauteile wie Außenwände, Dächer und Decken dürfen einen bestimmten U-Wert nicht überschreiten. Diese, laut OIB-Richtlinie 6 definierte Werte sind in Anhang V.1 aufgelistet. Die wärmedämmenden Eigenschaften der Bauteile können durch verschiedene Dämmstoffe erreicht werden. Die Auswahl geht von geschäumten Kunststoffen über Stein- oder Glaswolle bis hin zur Zellulose- oder Vakuumdämmung. Jedes Dämmmaterial hat seine materialspezifischen Vor- und Nachteile sowie Wärmeleitfähigkeit (64 S. 56 f.).

Vor allem der Vergleich von Stoffen mit ähnlicher oder gleicher Wärmeleitfähigkeit ist wichtig. Abbildung III-18 beschreibt den Energiebedarf drei verschiedener Dämmstoffarten für ein Flachdach mit Gefälle. Auf Grund derselben Wärmeleitfähigkeit von $0,035 \text{ W/m}^2\text{K}$, ergeben sich bei allen drei Materialien die gleiche Schichtdicke von $0,3 \text{ m}$ und somit desselben U-Wertes des Bauteils. Durch den Einsatz von Mineralwolle im Vergleich zu extrudierten Polystyrolschaum (XPS) und expandierten Polystyrol (EPS) werden erhebliche Energieeinsparungen bei der Herstellung des Bauteils bewirkt, ohne wesentlich die Konstruktion des Bauteils ändern zu müssen (65 S. 96 ff.).

Einflussfaktoren der Nutzungsphase

Energetische Optimierung

Bei der Wahl des Dämmmaterials sind nicht nur die Immissionen und Emissionen der Herstellung zu beachten, sondern auch der Amortisierungszeitraum. Dieser Zusammenhang zwischen aufgewendeter Energie der Herstellung und eingesparter Energie der Nutzungsphase wird in folgendem Abschnitt erläutert. Zudem werden neue Dämmmaterialien und Entwicklungen aufgezeigt.

AMORTISIERUNGSZEITRAUM

Um Dämmstoffe hinsichtlich ihrer energetischen Effizienz zu analysieren, ist ein Vergleich der enthaltenen Gesamtenergie nicht aussagekräftig. Die energetische Amortisierungszeit, in welcher der aufgewendete Energiebedarf der Herstellungsphase durch Energieeinsparungen der Wärmedämmeigenschaften in der Nutzungsphase aufgehoben wird, hängt je nach Bauteil von Produktmerkmalen, wie der Wärmeleitfähigkeit und der Stärke des Dämmstoffes ab. Dieser Zeitraum kann von wenigen Wochen, zum Beispiel bei pflanzlichen Fasern, bis zu zehn Jahre und mehr variieren. Vor allem Dämmstoffe, welche bei sehr gut gedämmten Bauteilen eingesetzt werden müssen, z.B. Perimeterdämmung, müssen genau betrachtet werden (65 S. 96 ff.).

Abbildung III-19 zeigt, dass der Amortisierungszeitraum stark mit dem Wärmedurchgangskoeffizient eines Bauteils und der daraus resultierenden Schichtdicke des Materials variiert. Ein beliebiges Bauteil (U -Wert $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$) wird mit drei unterschiedlich Dicken Dämmstoffschichten ergänzt. Die Schichtdicke des Dämmmaterials variieren, um Wärmeleitfähigkeiten von $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ und $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ des gesamten Bauteils zu erreichen. Der Primärenergieaufwand für die Herstellung der jeweiligen Schicht wurde schließlich mit ihrer erzeugten Energieeinsparung pro Jahr aufgewogen. Diese Einsparung ist aufgrund des selben U -Wertes bei allen Bauteilvariationen gleich. Je höher die energetischen Anfor-

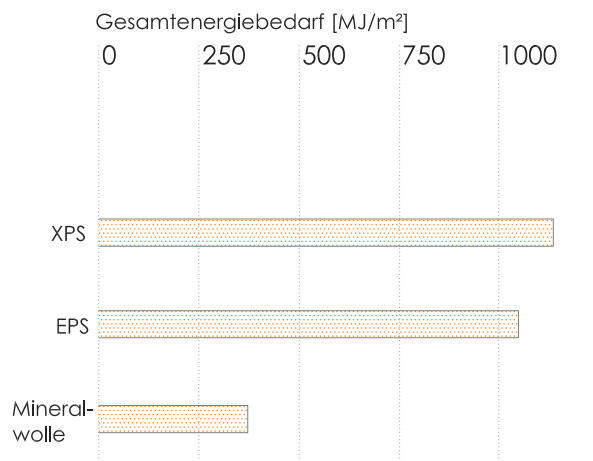


Abbildung III-18: Gesamtenergiebedarf (PEI) pro m^2 (MJ/m^2) verschiedener Dämmmaterialien eines Flachdaches (Randbedingungen: $d=0,3 \text{ m}$; $\lambda=0,035 \text{ W/mK}$; auf Grundlage von (65 S. 96 ff.))

derungen und somit die Dämmstoffdicke, desto ausschlaggebender ist die Wahl des Materials. Dämmungen mit Stärken über 20 cm sollten deshalb aus ökologischen Materialien, wie Holzfaserplatten, Zellulose oder auch mit Mineralwolle ausgeführt werden.

INNOVATIVE NEUE ENTWICKLUNGEN

Im Bereich der Dämmmaterialien gibt es neben den gebräuchlichen Baustoffen eine Reihe neuer Entwicklungen, welche sich mit der Energieeffizienz eines Bauwerkes beschäftigen. Viele noch in der Forschung befindende Materialien versuchen nicht nur die Dämmeigenschaften der Materialien, sondern auch ihre ökologischen Qualitäten zu verbessern. Folgend werden einige neue Materialien erläutert.

TRANSLUZENTE WÄRMEDÄMMUNG (TWD)

Durch die transluzente Ebene dringt solare Strahlung bis auf eine Absorberfläche ein. Dadurch entsteht im Inneren des Bauteils eine Wärmequelle. Diese Wärme kann durch die Dämmeigenschaften der transluzenten Schicht nicht mehr nach außen entweichen und strömt somit in Richtung des Innenraums. Das Konstruktionsprinzip der Dämmebene sind Kapillare oder Waben mit Hohlkammerstrukturen aus Glas, Kunststoff oder ähnlichen Materialien (siehe Abbildung III-20). Diese parallel zum Absorber senkrecht angeordneten Röhren unterbinden den Wärmetransport. Der Wärmedämmeffekt wird durch die ruhende Luft in den Kammern verursacht. Verschiedene Systeme wie Massivwandssysteme, Hybridsysteme oder direkte Gewinnssysteme sind zu unterscheiden. Bei einem Massivwandssystem wird die solare Strahlung durch einen, hinter der transparenten Dämmschicht angeordneten, dunkel gestrichenen, massiven Bauteile absorbiert und Wärme an die angrenzenden Räume abgegeben. Bei Hybridsystemen wird die gewonnene Energie über einen separaten Wärmeträger

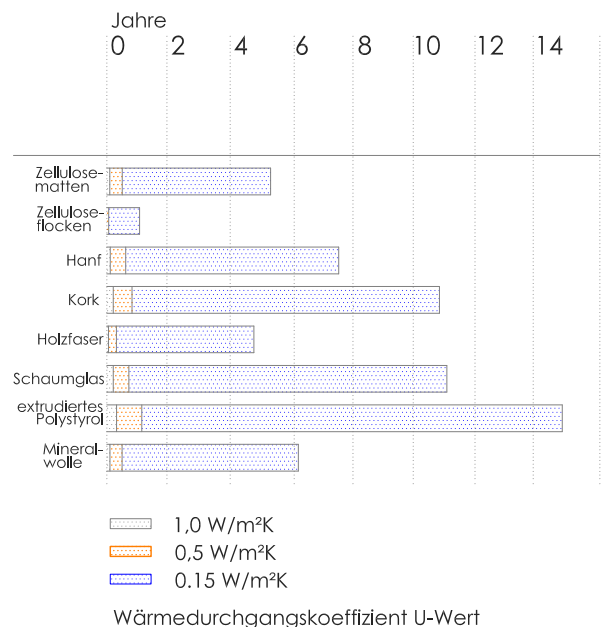


Abbildung III-19: Amortisierungszeitraum (Jahre) verschiedener Materialien in Abhängigkeit zum Wärmedurchgangskoeffizient (W/m²K) (auf Grundlage von (65 S. 96 ff.))

Einflussfaktoren der Nutzungsphase

Energetische Optimierung



Abbildung III-20: Transluzente Wärmedämmung (66)

wie Luft oder Wasser der Gebäudeversorgung zugeführt. Zur Beleuchtung von Räumen angebrachte Oberlichter oder Dachfenster werden bei direkten Gewinnssystemen ohne Speicherkomponente zur Raumerwärmung genützt. Der Nachteil dieses Systems ist, dass die Materialien oft nicht hitzebeständig sind und somit bei hohen Wärmegewinnen beschädigt wird (35 S. 144).

VAKUUMISOLIER PANEELE (VIP)

Der Kern eines VIP besteht aus microporösen Materialien, zum Beispiel Kieselsäure, Polystyrol- oder Polyurethanschaum sowie Aerogele. Diese sind von einer gasdichtengeschweißten Folie umhüllt. Unter verringertem Gasdruck gasdicht abgeschlossen, besitzen sie, bei gleich bleibender Dämmstärke, fünf- bis zehnfach erhöhte Dämmwirkung gegenüber konventionellen Baustoffen. Kieselsäure wird im Hochbau aufgrund der hohen Lebensdauer als VIP-Dämmung häufig eingesetzt. Besonders bei Sanierungen im Altbau sind VIP-Dämmungen aufgrund der sehr geringen Materialstärke vorteilhaft. Zudem können die Paneele, zwischen Glasscheiben eingebettet, in das Fassadensystem integriert werden. Im Innenraum angebrachte Paneele müssen durch eine Vorsatzschalung vor Beschädigungen, wie Nägel oder Schrauben, geschützt werden. Eine VIP besitzt auch, wie Tabelle III-5 zeigt, als z.B. durch Nägel beschädigtes Paneel, bei nicht bestehendem Vakuum, durch die Materialien, wie Aerogele oder pyrogene Kieselsäure, sehr gute Dämmeigenschaften (35 S. 144).

WÄRMEDÄMMMATERIAL AUF BASIS VON ALGEN

Alginsulat-Schaumstoffe können als Ersatz für extrudiertes Polystyrol verwendet werden. Die Technische Universität Graz forscht an einem Schaumstoff auf Basis von Algen, Alginsulat. Dieser wird nur unter Zuführung von Luft aufgeschäumt und ist am Ende des Lebenszyklus kompostierbar oder wie Altpapier recycelbar. Zudem ist seine



Abbildung III-21: herkömmliche Anwendungsmöglichkeiten (67)

Wasserunlöslichkeit, die Resistenz gegen Insekten-, Schimmel- und Pilzbefall für das Bauwesen interessant. Außerdem weist das Material flammhemmende Eigenschaften auf (53 S. 42).

WÄRMEDÄMMATERIAL AUF BASIS VON PILZEN

Ein weiterer Dämmstoff wird von der Forschung als Verbund von pflanzlichen Abfallmaterialien und Pilzen erforscht. Die natürlichen Abfälle wie Hülsen von Reis und Weizen werden über ein neues Verfahren mit Pilzen besiedelt, welche auf natürliche Weise Hartschaumstoffe herstellen. Das Geflecht aus mikroskopisch kleinen Fäden der Pilze verbindet sich mit den biologischen Abfallstoffen und bildet so ein Wärmedämmmaterial ähnlich Styropor. Das sich noch in der Forschung befindende Material wird im Moment vor allem als ökologisch abbaubares Verpackungsmaterial (siehe Abbildung III-21) verwendet (53 S. 54).

III.2.1.2.2

OPTIMIERUNG DER SPEICHERMASSEN

Um eine sommerliche Überhitzung und somit den Energiebedarf für die Kühlung eines Gebäudes zu minimieren, bzw. ganz auszuschließen, ist der Einsatz von speicherfähiger Masse in der Konstruktion ausschlaggebend. Nachfolgend werden verschiedene Konstruktionen miteinander verglichen und neue Materialien vorgestellt.

EINFLUSS DER MATERIALWAHL

Sechs verschiedene Vergleichsräume wurden in Bezug auf die Auswirkungen ihres Speicherverhaltens auf die empfundene Innenraumtemperatur miteinander verglichen. In Abbildung III-22 sind die Aufbauten der verschiedenen Varianten dargestellt.

Variante 01 beschreibt eine leicht bis mittel schwere Bauweise mit raumhoher Verglasung. Ein ca. 70 cm hohes Brüstungselement wurde in

Elementdicke [mm]	Vakuum U-Wert [W/m ² K]	ohne Vakuum U-Wert [W/m ² K]	Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK]
4	0,14	0,40,4	0,0060,006
6	0,1	0,29,29	0,0060,006
8	0,072	0,22,22	0,0060,006

Tabelle III-5: Thermische Eigenschaften eines Vakuumisolier Paneels (35 S. 144)

Einflussfaktoren der Nutzungsphase

Energetische Optimierung

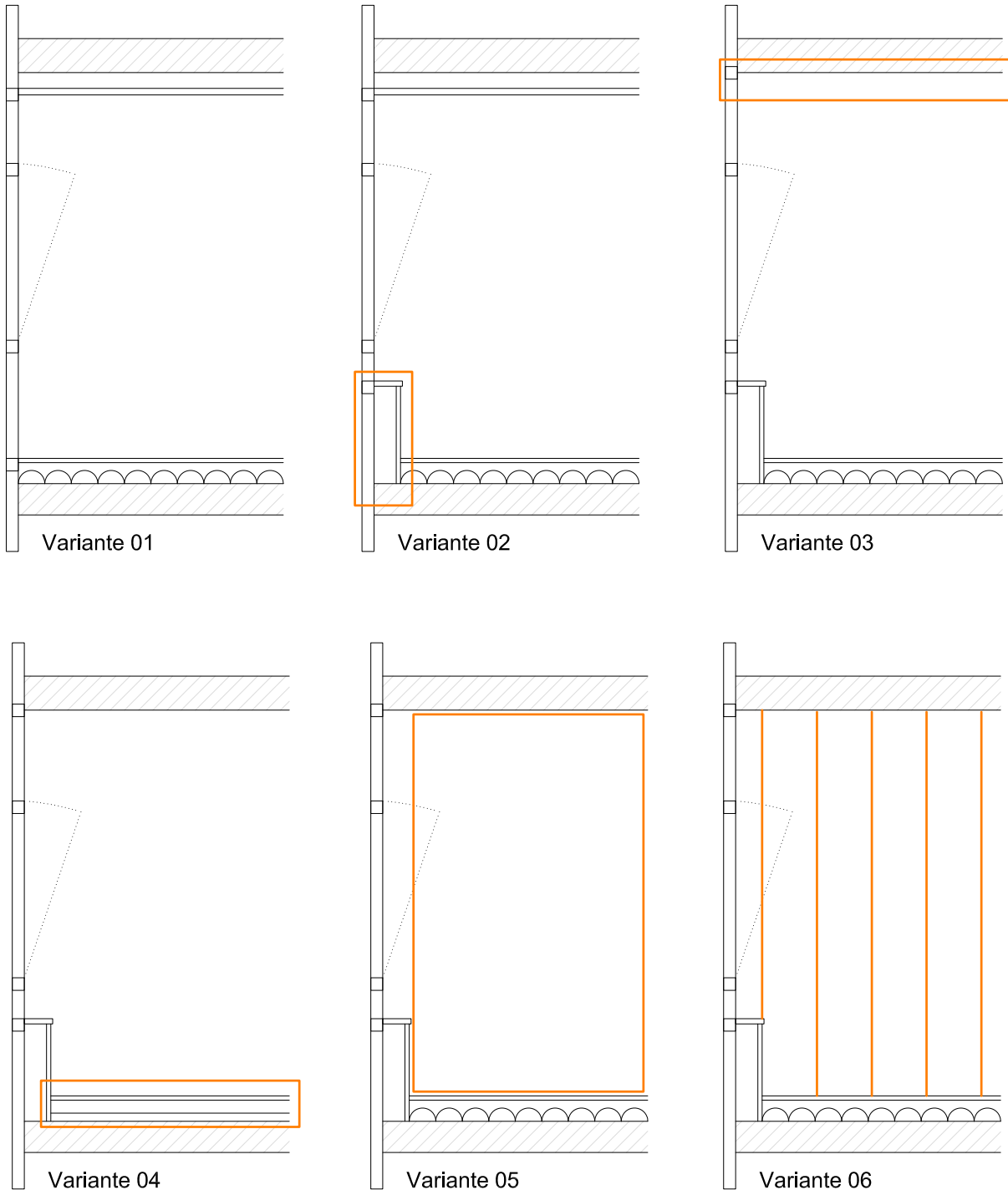


Abbildung III-22: Varianten der thermisch speicherfähigen Masse (modifiziert übernommen (32 S. 126); Randbedingungen (siehe Anhang V.5))

Variante 02 hinzugefügt. Beide Varianten besitzen abgehängte Decken. Diese wurde in Variante 03 entfernt und der Raum wurde aus mittelschwerer Baumasse ausgeführt. Variante 04 beschreibt einen schwer speichernden Raum mit Brüstungselement, jedoch ohne abgehängte Decke und nur mit bedingt speicherbarem Boden. Variante 05 ist wiederum aus schwer speichernden Materialien mit Brüstungselement und gemauerten Seitenwänden. In Variante 06 sind mittelschwer speichernde Materialien eingesetzt, mit Rüstungselement und versetzbaren Seitenwänden aus

Vergleicht man Variante 01 mit Variante 02 ergibt sich, durch den Einsatz einer Brüstung eine Temperaturabsenkung von 1,2 °C gegenüber der Vollverglasung in Variante 01. Die Verminderung der Sonneneinstrahlung durch die verkleinerte Glasfläche spielt hierbei die bedeutendste Rolle, die Speicherfähigkeit der Außenwand besitzt nur kleinere Auswirkungen.

Der Vergleich von Variante 02 und Variante 03 ist zudem sehr aufschlussreich. Durch eine abgehängte Decke wird die Raumtemperatur um maximal 1 °C angehoben. Dies ist ausschließlich auf die erhöhte Speicherfähigkeit der Decke zurückzuführen ist.

Wird Variante 03 und Variante 04 miteinander verglichen, beträgt der Unterschied nur ca. 0,2 °C. Der Teppichboden hebt die erhöhte Speicherfähigkeit des Fußbodens gegenüber einem Hohlraumboden annähernd auf. Wäre der Bodenbelag mit einem speicherfähigeren Material ausgeführt, wie zum Beispiel mit mineralischen Belag wäre eine deutlichere Verbesserung von speicherfähigem Fußboden gegenüber Hohlraumboden zu beobachten.

Variante 05 zeigt aufgrund der gemauerten Zwischenwände die größte Differenz zu den vorher besprochenen Varianten. Die Temperaturmin-

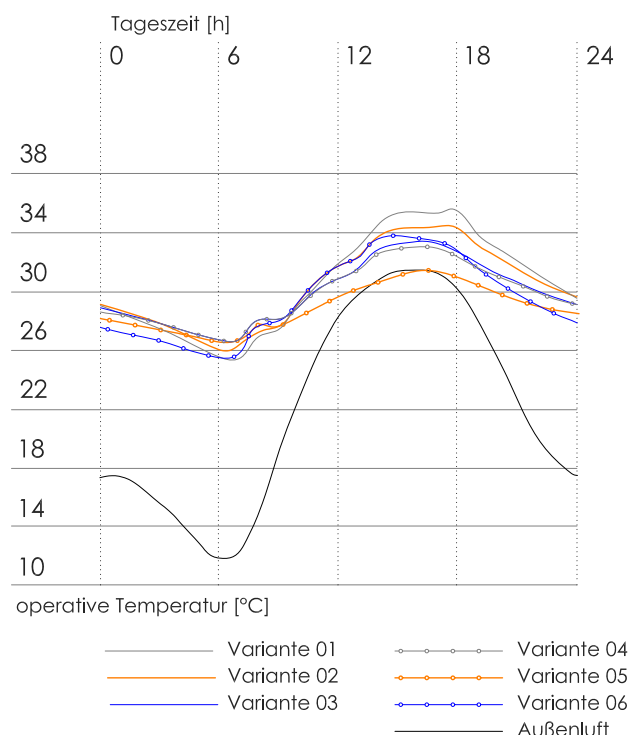


Abbildung III-23: Operative Temperatur [°C] der Speichermassenvariationen (modifiziert übernommen (32 S. 126); Randbedingungen (siehe Anhang V.5))

Einflussfaktoren der Nutzungsphase

Nutzungsflexibilität und Dauerhaftigkeit

derung beträgt ca. 2-3 °C, gegenüber den aufgeführten vorherigen Varianten. Variante 01 ist hierbei ausgenommen, da diese erhöhte Strahlungsgewinne durch die Raumhöhen Verglasung aufweist.

Variante 06 lässt sich mit Variante Nummer 03 vergleichen. Jedoch ist diese durch die geringe Speicherwirkung der Metallständerwände minimal ungünstiger (32 S. 126 f.).

NEUE TECHNOLOGIEN

LATENTE WÄRMESPEICHER (PCM)

Es lassen sich zwei verschiedene Arten von Wärmespeichermaterialien unterscheiden. Dies sind zum einen herkömmliche, sensible Speichermaterialien, zum anderen latente Wärmespeicher. Bei sensiblen Wärmespeichern steigt die Temperatur des Bauteils spürbar an. Bei PCM (Phase Change Materials) ist die aufgenommene Wärme, wie Abbildung III-24 zeigt, bis zum Abschluss des Phasenübergangs nicht im Material spürbar. Diese Materialien nützen den Phasenübergang von einem Aggregatzustand in den anderen, um Wärme zu speichern beziehungsweise wieder abzugeben. Der bekannteste Phasenübergang zwischen einem physikalischen Zustand in einen anderen ist das Erstarren beziehungsweise das Schmelzen von Eis. Durch ihre physikalischen Eigenschaften sind diese Materialien in der Lage, große Wärmemengen bei einem kleinen Temperaturanstieg des Materials zu speichern. Die meisten PCM bestehen aus Wasser mit Salzhydraten oder Paraffinen als Zuschlag. Konstruktive Eigenschaften können von dem Material nicht übernommen werden. Der Phasenübergang von fest nach flüssig setzt auch eine Verkapselung des Materials oder eine Vermischung mit konventionellen Baustoffen voraus (siehe Abbildung III-25). Vor allem im Gebiet der Brennbarkeit stellen PCM auf Basis von Paraffinen ein Problem dar. Im Bereich des sommerlichen Überhitzungs-

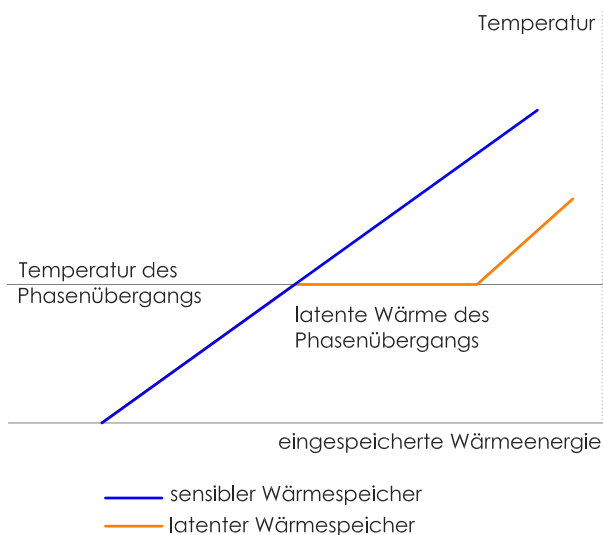


Abbildung III-25: Wärmespeicherverhalten von latenten und sensiblen Wärmespeichern (modifiziert übernommen (35 S. 145))

schutzes sind latente Wärmespeicher besonders interessant. Aus diesem Grund wurden PCM mit Schmelzpunkten zwischen 24 und 26 °C entwickelt. Besonders bei Gebäuden mit geringer Speichermasse können interne und externe Lasten, wie die Wärmeabgabe von Personen und Geräten sowie solarer Strahlung, durch den Einsatz latenter Wärmespeicher aufgenommen werden. Um die aufgenommene Wärme wieder abzugeben, muss die Lufttemperatur unterhalb des Schmelzpunktes liegen. Deshalb ist bei diesen Systemen eine Nachtlüftung entscheidend. Bei Mischung eines PCM Granulates, zum Beispiel im Fußboden, kann die Speicherkapazität des Materials bis zu 50 % im Vergleich zur gleichen Estrichschichtdicke, erhöht werden. Auch der Einsatz im Fassadenbereich ist sinnvoll (35 S. 145)(69 S. 82).

III.2.2

NUTZUNGSFLEXIBILITÄT UND DAUERHAFTIGKEIT

Das zweite Kapitel des Abschnittes „Optimierung der Nutzungsphase“ beschäftigt sich mit der Flexibilität und Dauerhaftigkeit von Materialien. Technisch, sicherheitstechnische sowie ästhetische Faktoren sind oft Gründe für einen vorzeitigen Austausch eines Gebäudeelementes. Dies sind vor allem Oberflächen und raumabschnittsbildende Elemente, wie Bodenbeläge oder Trennwände in Wohnungen. Die Tragkonstruktion hingegen bleibt meist über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerkes unverändert. Daher sollte bei der Auswahl der Materialien darauf geachtet werden, ob diese innerhalb des Lebenszyklus ausgetauscht werden. Bei der Materialisierung eines Bauteils sollte, je nach erwarteter Lebensdauer, entweder seine Flexibilität oder seine Dauerhaftigkeit gefördert werden. In diesem Kapitel werden die Zusammenhänge zwischen Flexibilität und Dauerhaftigkeit aufgezeigt (25 S. 125).

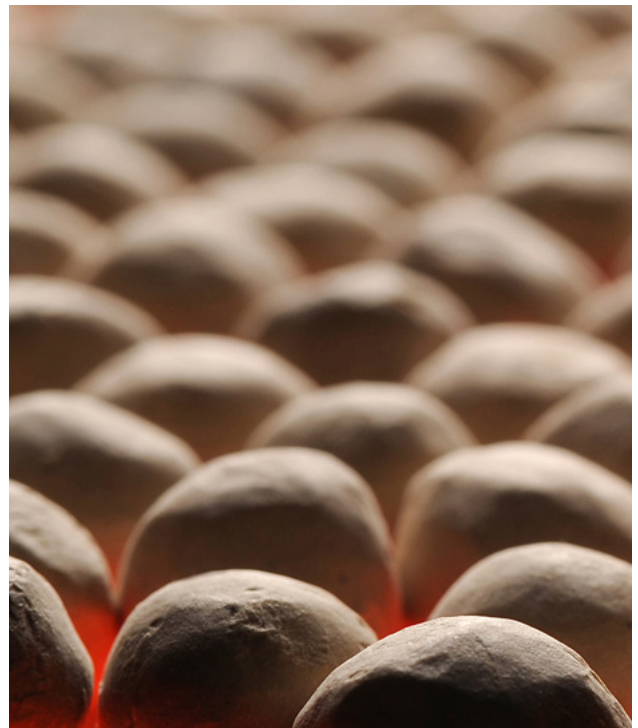


Abbildung III-25: Beispiel eines latenten Wärmespeichermaterials (68)

Einflussfaktoren der Nutzungsphase

Nutzungsflexibilität und Dauerhaftigkeit

III.2.2.1

OPTIMIERUNG DER FLEXIBILITÄT

III.2.2.1.1

FLEXIBILITÄT DER GESAMTKONSTRUKTION

Eine Optimierung der Nutzungsflexibilität im Bezug auf das Gesamtgebäude sollten durch den Planer bewerkstelligt werden, um ein Gebäude möglichst Ressourcenschonend zu konstruieren. Dies kann zum einen z.B. durch großzügige Raumhöhen, welche wohnen oder arbeiten ermöglichen, zum anderen durch eine Systemtrennung innerhalb der Konstruktion gewährleistet werden. Durch die Trennung von Tragkonstruktion, Gebäudehülle, Innenausbau und Haustechnik lassen sich die einzelnen Elemente leicht Rückbauen und können somit unabhängig voneinander verändert oder erneuert werden. Dadurch lässt sich das Gebäude effektiv an neue Gegebenheiten adaptieren, wodurch die Dauerhaftigkeit des Gebäudekomplexes verlängert wird. Abbildung III-26 zeigt beispielhaft einen Deckenaufbau indem die haustechnischen Leitungen in der Decke integriert sind, jedoch nicht mit ihr dauerhaft verbunden sind. Dadurch lässt sich nicht nur der Rückbau und die Adaptierung des Gebäudes, sondern auch eine die Wiederverwendung der Bauteile sicherstellen (59 S. 48 f.) (70 S. 56).

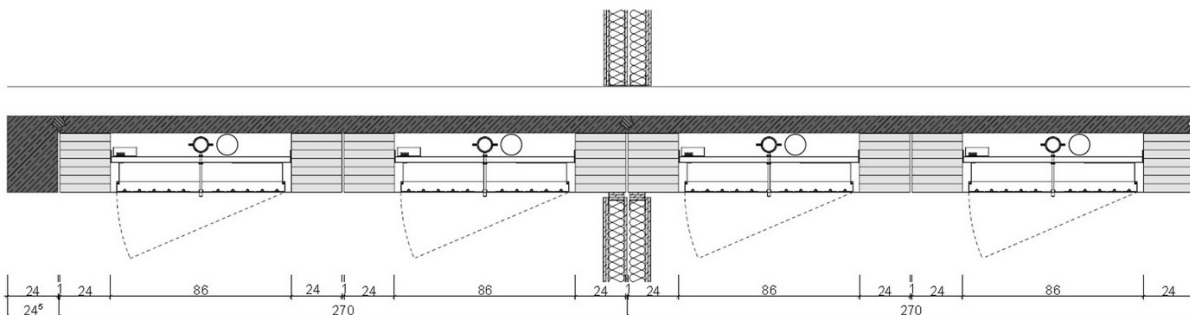


Abbildung III-26: Systemtrennung innerhalb eines Deckenaufbaus (71)

III.2.2.1.2

FLEXIBILITÄT EINES BAUTEILS

Wenn ein Produkt den doppelten Energie- und Ressourcenverbrauch eines Vergleichsproduktes besitzt, aber die vierfache Lebensdauer, wie z.B. die Tragkonstruktion im Vergleich zu einem Bodenbelag, so ist die Umweltverträglichkeit bei gleichen Emissionen halb so hoch wie bei dem Vergleichsprodukt. Je kürzer die Lebensdauer eines Bauteils ist, desto ausschlaggebender werden Emissionen und Stoffverbräuche. Abbildung III-27 behandelt das Treibhauspotential (GWP) eines Deckenaufbaus. Betrachtet man den Aufbau im Zeitraum des Einbaus, sind 37 % der grauen Energie in der Konstruktion und 40 % im Bodenbelag gebunden. Dieses Verhältnis ändert sich, wenn das Bauteil über eine Lebensdauer von 100 Jahren betrachtet wird. Während die tragende Konstruktion dauerhaft im Gebäude bleibt, wird der Bodenbelag über diesen langen Zeitraum mehrmals ausgetauscht. Dadurch verändert sich der Anteil der grauen Energie im Bauteil. Etwa 80 % der gesamten aufgewendeten Energie werden nun durch den Bodenbelag hervorgerufen. Je häufiger ein Bauteil ausgetauscht werden muss, desto höher ist sein Anteil an den Emissionen. Daher muss bei der Materialwahl von kurzlebigen Elementen auf möglichst geringe Immissionen und Emissionen geachtet werden (31 S. 163).

III.2.2.2

OPTIMIERUNG DER DAUERHAFTIGKEIT

Wie schon in dem vorgegangenen Kapitel besprochen ist die Tragkonstruktion eines Bauwerkes von einer großen Dauerhaftigkeit gekennzeichnet und wird bis zum Lebenszyklusende selten adaptiert. Vor allem Oberflächen müssen, aufgrund ihrer Abnutzung öfters ausgetauscht oder instandgesetzt werden.

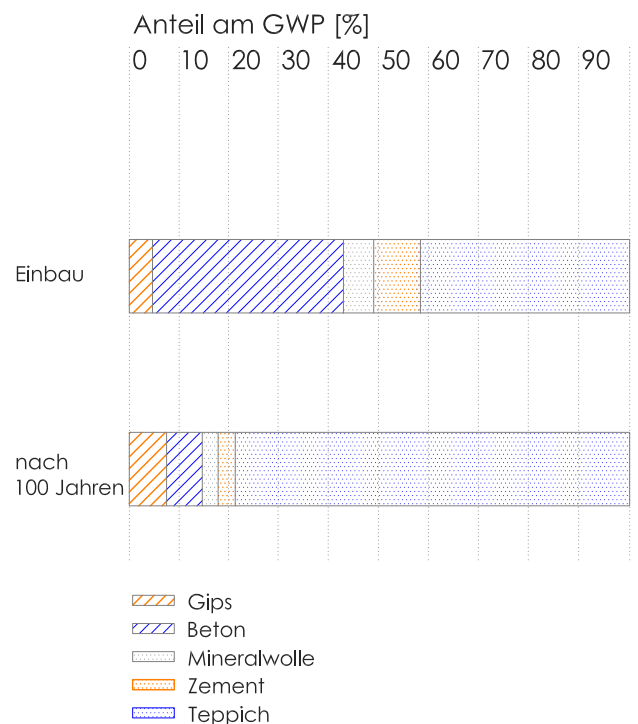


Abbildung III-27: Das Treibhauspotential [CO₂ äquiv] eines Fußbodenaufbaus beim Einbau und nach 100 Jahren (auf Grundlage von(31 S. 164))

Einflussfaktoren der Nutzungsphase

Einflussfaktoren am Lebensende

Abbildung III-28 zeigt ein Sägezahnmodell, eine Darstellungsform des Zusammenhangs von Primärenergieverbrauch und Dauerhaftigkeit von Baustoffen. Dieses Modell besteht auf der Annahme, dass ein Bauteil bis zum Ende seiner Dauerhaftigkeit verwendet und anschließend ausgetauscht wird. Beispielhaft werden die nicht erneuerbaren Primärenergieverbräuche verschiedener Bodenbeläge in Abhängigkeit mit ihrer Lebensdauer aufgezeigt. Die Summierung der Emissionen und Aufwendungen zeigen, dass Beläge wie Naturstein, mit einer hohen Dauerhaftigkeit auf den Lebenszeitraum gesehen, einen deutlich geringeren Verbrauch mit sich ziehen, jedoch machen technische, sicherheitstechnische oder ästhetische Faktoren einen Austausch oftmals schon vor der dem Erreichen der eigentlichen Lebensdauer notwendig (31 S. 163).

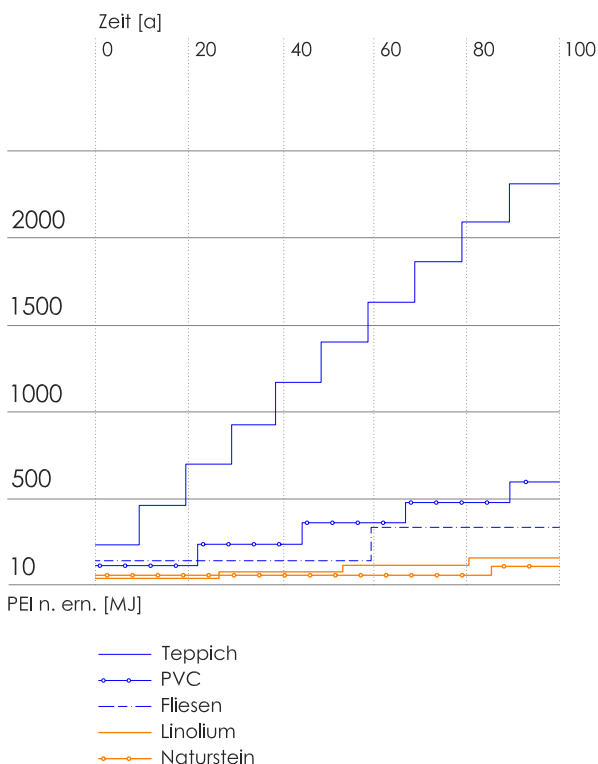


Abbildung III-28: Sägezahnmodell verschiedener Bodenbeläge (auf Grundlage von (31 S. 164))

III.3

EINFLUSSFAKTOREN AM LEBENSSENDE

Das Lebensende eines Bauwerkes ist meist nur spekulativ zu betrachten. Jedoch schaffen geeignete Materialien, Konstruktionen und der Zusammenschluss der Elemente Qualitäten, welche die Effizienz nachhaltig beeinflussen können. Dabei sind vor allem die Verwertung der Materialien und der recyclinggerechte Zusammenschluss einzelner Schichten sowie Elemente ausschlaggebend. Nachfolgend werden Maßnahmen eines ressourceneffizienten Lebensendes eines Bauwerkes erläutert.

III.3.1

VERWERTUNG

Die Vermeidung nicht verwertbarer Abfälle ist die oberste Priorität einer umweltfreundlichen Baustruktur. Produkte sollten entweder wieder verwertet, weiterverarbeitet oder energetisch verwertet werden. Obwohl die häufigste Entsorgungsart für Bauabfälle derzeit eine Deponie-

zung ist, sollte auf eine Nutzung der Materialien geachtet werden. Dabei ist zwischen Wiederverwendung, energetischer Verwertung, Recycling, Upcycling sowie Downcycling zu unterscheiden, wobei eine Wiederverwendung, Upcycling oder Recycling vorzuziehen sind (25 S. 133).

III.3.1.1

WIEDERVERWENDUNG

Bei einer Wiederverwendung eines Bauteils, werden gesamte Bauteile nur leicht mechanisch verändert, aufgearbeitete und für ihren ursprünglichen Zweck wiederverwendet. Dies wird heutzutage meist nur für historische Baustoffe vollzogen, welche bei denkmalpflegerischen Projekten neue Verwendung finden. Große Lagerflächen und eine gute Logistik sind Probleme dieser Verwertung. Auch Halbfertigerzeugnisse und Bauelemente, Dachziegel, Zelluloseflocken oder Holzleimbinder könnten theoretisch sehr gut wiederverwendet werden. Jedoch sind der hohe Aufwand beim materialreinen Rückbau, die mangelnde Logistik und Gewährleistungsansprüche Gründe, warum diese Bauteile meist deponiert werden (25 S. 134).

III.3.1.2

ENERGETISCHE VERWERTUNG

Die Verbrennung von Abfall und die Verwertung der daraus gewonnenen Energie sind bei allen brennbaren Baustoffen möglich. Jedoch sind Mischabfälle, wegen ihrer geringeren Energieausbeute, sowie den eventuellen anfallenden toxischen Gasen zu hinterfragen. Einfache Verbrennungsanlagen dürfen zudem nur Holzabfälle ohne Holzschutzmittel und Anstriche verwerten. Alle anderen Hölzer müssen in Anlagen mit aufwändigen Rauchgasreinigungssystemen verbrannt werden. Im Allgemeinen sollte darauf geachtet werden, dass vor einer energetischen Verwertung die Materialien sonstige Verwendung finden (25 S. 135).

Heizwert

Ein weiterer Aspekt, welcher bei der Wahl des Baustoffes beachtet werden muss, ist der Heizwert. Nachwachsende Rohstoffe binden während des Wachstums viel Energie, welche bei der Verwertung mit den klimaschädlichen Treibhausgasen wieder freigesetzt wird. Somit kann man nachwachsende Rohstoffe als CO₂ Speicher bezeichnen. Unter diesem Gesichtspunkt ist der verstärkte Einsatz nachwachsender Rohstoffe zu fördern. Jedoch wirken sich die künstlichen Trocknungsprozesse des Holzes negativ auf die Bilanz aus (31 S. 161).

Einflussfaktoren der Nutzungsphase

Einflussfaktoren am Lebensende

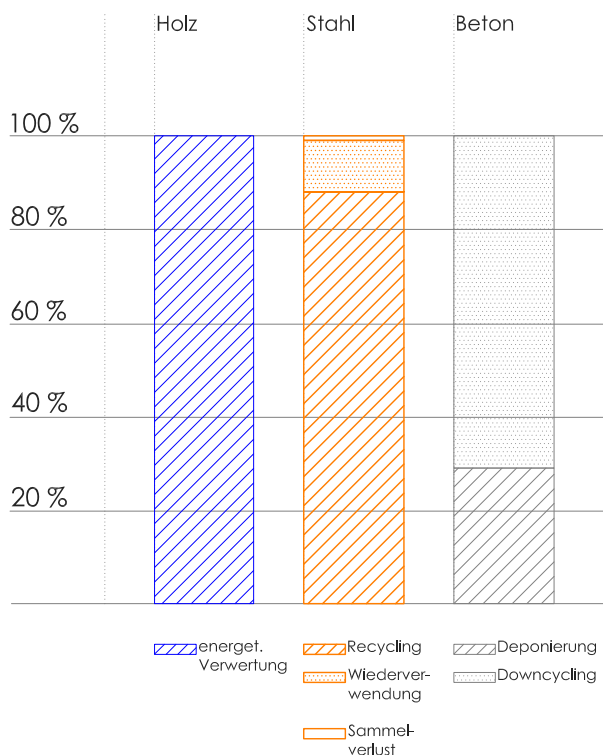


Abbildung III-29: Verwertung typischer Konstruktionsmaterialien (74 S. 13)

Deponierung

Baurestmassen werden auf Deponien gelagert, welche zur endgültigen Ablagerung mineralischer Stoffe ausgelegt sind. Dabei müssen diese Stoffe nicht mehr recyclebar sein, oder eine Recycling nicht zielführend. Altholz darf, laut Altholzverordnung (AltholzV) nicht deponiert werden, sondern muss einer thermischen Verwertung unterliegen. Die genaue Zuordnung der verschiedenen Abfälle wird im Sinne der Abfallverzeichnisverordnung geregelt (72)(73)

III.3.1.3

UPCYCLING

Upcycling ist nur dann gegeben, wenn ein Stoff von einer niederwertigen Nutzung in eine höherwertige überführt werden kann. Metalle eignen sich hierfür sehr gut, da die Energieeinsparung gegenüber einer Herstellung aus Erzen sehr groß ist und meist nur sehr minimale oder keine Qualitätseinbußen bestehen. 90-95 % Energieeinsparung gegenüber den Erstprodukten könnten so gewährleistet werden (25 S. 135).

III.3.1.4

DOWNCYCLING

Downcycling beschreibt die Wiederverwertung eines Materials auf einem geringeren Qualitätsniveau mit nur einem oder wenigen Wiederaufbereitungszyklen. Typische Materialien sind Ziegel und Mauerwerksabbruch und Kunststoffe. Die sortenreine Gewinnung, wie z.B. Ziegel- und Mauerwerksabbruch ohne Putz- oder Mörtelreste oder die Gewinnung gipshaltiger reiner Bauabfälle stellen das größte Problem dar (25 S. 137).

III.3.1.5

RECYCLING

Recycling bedeutet einen Stoff ständig in einem Kreislauf zu halten, ohne oder nur mit sehr minimalen Verbrauch an neuen Rohstoffen bzw. Erzeugung von Abfällen. Durch das erneute Recycling des neu entstandenen Produktes wäre der Kreislauf geschlossen. Heutzutage sind die Energieverluste beim Recycling sehr hoch, die technischen Kreisläufe kaum geschlossen und somit ist diese Art der Verwertung im Bauprozess sehr selten anzutreffen. Weitere Probleme ergeben sich dabei, die Materialien sortenrein abzubereiten, beziehungsweise die Aufschlüsselung aller Inhaltsstoffe des Abbruchs. Verklebte Materialien und Verbundbaustoffe stellen hier ein zudem Problem dar. Zudem können Schadstoffe in ein

Bauprodukt gelangen, da die Ausgangsstoffe nicht deklariert werden müssen (25 S. 135).

Die Recyclingfähigkeit verschiedener Materialien ist sehr unterschiedlich. Abbildung III-29 beschreibt die Verwertung der primären Werkstoffe einer Tragkonstruktion. Stahl ist das einzige Material, das eine extrem hohe Recyclingfähigkeit ausweist. Beton wird meist deponiert oder durch Downcycling im Straßenbau oder bei Lärmschutzeinrichtungen verwendet. Ein geschlossener Recyclingkreislauf, ist nur durch die Wiederverwendung gesamter Betonelemente möglich. Durch das Deponierungsverbot von Holzbaustoffen ist der Anteil der energetischen Verwertung dieses Materials sehr hoch. Nur rund ein Drittel der rückgebauten Holzwerkstoffe werden stofflich in Form von z.B. Holzspanprodukten wiederverwendet (74 S. 13)

III.3.2

RECYCLINGGERECHTE KONSTRUKTION

Neben der Wahl der Materialien, ist vor allem die Konstruktion in Bezug auf eine recyclebare Bauweise essenziell. Die sortenreine, ohne nennenswerte Rückstände, Trennung der Materialien ist der Grundstein eines Recyclingprozesses. Dabei sind die Füge-technik und das Vermeiden von geklebten, nicht lösbaren Verbindungen essenziell. Geklemmt, gesteckte sowie geschraubte Verbindungen, lose Auflage und Schüttungen sind vorzuziehen. Zudem sind nasse Füge-techniken und Montageschäume, z.B. durch den Einsatz von Trockenestrichplatten, zu vermeiden. Durch überlegte Konstruktionen lassen sich wertvolle Rohstoffe im Gebäude speichern, Deponiekapazitäten und Rohstofflager werden geschont sowie ein erheblicher Teil der grauen Energie für die Herstellung der Materialien eingespart (75 S. 48 ff.).

Weitere Maßnahmen sind, z.B. Stegträger und Plattenelemente sollten statt der üblichen Nä-

Elementbausysteme

Elementbausysteme arbeiten nach einem Baukastenprinzip. Im Werk vorgefertigte Wand- oder Deckensysteme besitzen nur die notwendige Anzahl an Detaillösungen und müssen auf der Baustelle nur zusammengesetzt werden, wodurch ein schneller Aufbau des Gebäudes möglich ist. Durch Standardlösungen der Detailanschlüsse ist ein Rückbau der Elemente, ohne dieses zu zerstören, durchführbar. Das Ziel dieses Systems ist somit langlebigere Bauteile im Vergleich zum eigentlichen Gebäude zu verwenden, da die rückgewonnenen Elemente wiederverwendet werden können. Eine Weiterentwicklung dieser Bauweise ist der Modulare Holzbau, wobei ganze Räume vorgefertigt werden. Die Maße der Module beschränken sich meist auf die Ausmaße des für den Transport benötigten Lastwagens. Die einfache Handhabung der Module, ermöglicht einen raschen Auf- bzw. Abbau und somit eine ungebundene, ortsneutrale Verwendung. Die Holzmodule sind unabhängig zum Gebäude jederzeit weiter zu verarbeiten und ermöglichen eine Anpassung der Architektur an geänderte Nutzungsbedürfnisse. Ein Beispiel hierfür ist das SUSI-Haus von Johannes Kaufmann oder das von Lukas Lang und Christoph Prutscher 1995 entwickelte modulare Bausystem (98) (99).

gel, mit einfach lösbaren Schrauben verbunden. Auch Dämmstoff sollten nach Möglichkeit nur lose eingelegt werden. Eine nur schwer recycelbare gebundene Schüttung kann durch ein lose aufgelegtes Wabenelement auf Zellulosebasis mit mineralischer, loser Schüttung ersetzt werden. Leitungen von Fußbodenheizung können in ausgefrästen Holzfaserelementen mit Aluminiumkaschierung integriert und mit Trockenstrich-Platten bedeckt. Damit kann auf eine nasse Verlegung des Estrichs verzichtet werden (75 S. 51).

IV. Fallbeispiel Eurogate

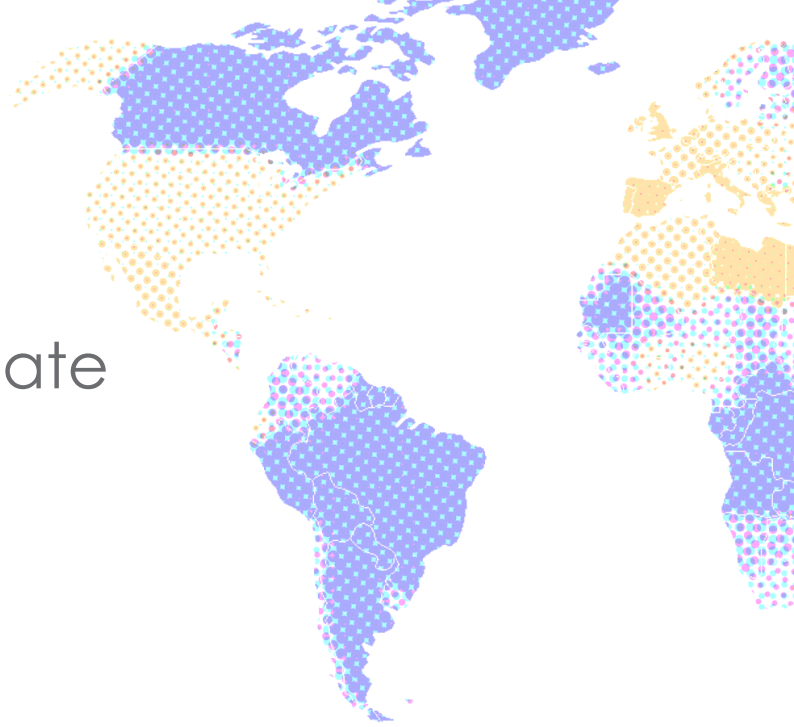


Abbildung IV-1: Darstellung von Süden (76)

Überblick

Entstehungsgeschichte

Als abschließendes Kapitel wird ein ausgewähltes Gebäude anhand der bereits aufgestellten Thesen analysiert. Die Wahl des Fallbeispiels fiel auf das Projekt Eurogate von Johannes Kaufmann. Als Passivhaus erfüllt es die aktuelle europäische Normung in Bezug auf den Primärenergiebedarf und Energieeffizienz. Zudem entspricht das Holz-Beton-Hybridtragwerk, durch die Verwendung erneuerbarer Ressourcen in der Tragkonstruktion, der künftigen Orientierung der EU in Richtung Ressourceneffizienz. Dies ist vor allem unter dem Gesichtspunkten des mehrgeschossigen, urbanen Wohnbau mit Wiener Wohnbauförderung und den daraus folgenden hohen Bandschutzaufgaben und minimale wirtschaftliche Spielräumen interessant.

Neben einer allgemeinen Einführung in das Projekt, wird das Gebäude anhand seiner Qualitäten der Gebäudestruktur sowie des Tragsystems, der Konstruktion und der Materialwahl analysiert. Zudem wird als Optimierungsansatz eine Simulation mittels des Programms GEBA durchgeführt. Dabei werden die im Gebäude existierenden solaren Pufferräume, mit verschiedenen Konstruktionsvarianten, in Bezug auf die sich einstellenden Temperaturen und des Heizwärmebedarfs gerechnet.

IV.1

ÜBERBLICK

IV.1.1

ENTSTEHUNGSGESCHICHTE

Die Brachfläche des ehemaligen Aspangbahnhofes wurde seit der Kaiserzeit bis in die 1990er Jahre diversen Planungen unterzogen, welche jedoch nie realisiert wurden. Die initiierte Tieferlegung der Schnellbahnlinie S7, welche das Gebiet durchläuft und die Errichtung der neuen Schnellbahnstation Sankt Marx, rückte die Entwicklungsfläche wieder in den Fokus der Stadtplaner. Die Aktionsgemeinschaft „Eurogate“, in

Abstimmung mit dem 3. Wiener Gemeindebezirk und dem Magistrat, beauftragte im Jahre 1999 den Architekt Sir Norman Forster (Forster + Partners) einen Masterplan zu erstellen. Durch Veränderungen der Rahmenbedingungen, vor allem im Verkehrssektor, musste die formulierte Planung adaptiert werden. Zur Bewältigung der, in städtebaulichen und stadtgestalterischen Aspekten wichtigen Geländetopographie, wurde von der Bundesimmobiliengesellschaft (BIG), der Austria Immobilien GmbH (B.A.I.), dem wohnfond_wien und der MA 21A, ein städtebaulicher Wettbewerb ausgelobt. Als Sieger ging der, in Abbildung IV-2 gezeigte, Entwurf von Architekt Albert Wimmer hervor (77 S. 2 ff.).

Bis in das Jahr 2016 soll durch rund 1700 Wohnungen, neuer Wohnraum für etwa 4000-5000 Menschen errichtet werden. Zusätzlich werden Büro- und Einkaufszentren, soziale Strukturen, wie Schulen oder Kindergärten sowie Betriebe mit etwa 8000 Arbeitsplätzen geschaffen. Durch den, von wohnfond_wien ausgeschriebenen, öffentlichen Bauträgerwettbewerb, wurden nicht nur die qualitativen Aspekte des geförderten Wiener Wohnbaus, wie hohe Wohnqualität, leistbares Wohnraumangebot, guter Anschluss an die öffentlichen Verkehrsmittel und eine gute soziale Durchmischung entsprochen. Zudem werden auch energetische Qualitäten gewährleistet. Mit der Errichtung der so entstandenen größten Passivhaussiedlung Europas, leistet die Stadt Wien einen wesentlichen Beitrag in Bezug auf die österreichischen, nationalen Klimaschutzziele. Die allgemeinen ökonomischen und architektonischen Aspekte der Wohnbauförderung wurden bei diesem Projekt durch die Disziplin Ökologie ergänzt (77 S. 2).

In dem öffentlichen, nicht anonymen, einstufigen Bauträgerwettbewerb „Eurogate“, wurden die Bauplätze 1-3 ausgelobt. Die Bauplätze 4-7 wurden durch Fixstarterteams projektiert. Bauplatz 4 und 5 wurde dem Architekt Johannes



Abbildung IV-2: Der adaptierte Masterplan von Albert Wimmer (76)

Überblick

Städtebau

Kaufmann zugewiesen. Das zentrale Thema des Wettbewerbs war „das Niedrigstenergie- und Passivhaus und seine typologische Weiterentwicklung im großvolumigen, urbanen Wohnbau“ (77 S. 11). Besonderes Augenmerk wurde auf die energetische Effizienz, die Wirkung auf Klima und Luftreinhaltung, den Primärenergieverbrauch und die Gesamtemissionsbilanz aus Bau und Betrieb gelegt (77 S. 11).

IV.1.2

STÄDTEBAU

Wie Abbildung IV-3 zeigt, wurde Bauplatz 5 in 4 Bauteile, A, B, C und D, mit insgesamt 183 Wohnungen gegliedert. Bauteil B und C bilden zusammen ein Gebäude. Prominent am Ziakplatz gelegen, bestimmen die Baukörper das Erscheinungsbild des gesamten Gebietes. Drei Rampen, bzw. Freitreppen, nördlich und südlich des Bauteils B/C, führen die Erschließung zur westlichen Querstraße. An der Schnittstelle der internen Wegführung des Quartiers, wurde eine gemeinschaftliche, öffentliche Fläche angelegt. Großflächige Grünzonen und Platzsituationen prägen das Stadtbild. Mittig befindet sich der größte der vier Baukörper, Bauteil B/C, ein nach Nord-Ost und Süd-West ausgerichteter L-förmiger Komplex, mit einem nach Nord-Ost strebenden Schenkel. Die weiteren Baukörper A und D sind nach Süd-West ausgerichtet (auf Grundlage von (76)).

IV.1.3

ERSCHEINUNGSBILD

Das äußere Erscheinungsbild ist, mit seiner starken horizontalen Gliederung, von monolithischem Eindruck geprägt. Die glatte, weiß gestrichene Außenhaut, steht in starkem Kontrast zu den dunkelbraunen Fensterbändern, mit ihren ebenfalls dunklen, außenliegenden Verschattungselementen. Teilweise durch Glaselemente verschließbare Loggien, verstärken den monolithischen Gesamteindruck. Das Dachgeschoss

des Gebäudes wurde abgestuft, nach innen versetzt, wodurch sich eine große Dachterrasse bildet. Die grüne Fassade des Dachgeschosses hebt sich scharf von der restlichen Bebauung ab. Die im südwestlichen Gebäudeteil angesiedelten Eckloggien verlängern die horizontale Gliederung der Längsfassaden.

IV.1.4

GRUNDRISSBESCHREIBUNG

Die Verbindungsstelle der zwei Seitenschinkel des Komplexes, ist im Erdgeschoss von einer überdachten Freifläche geprägt. Von dieser gelangt man durch eine Mittelgangerschließung, jeweils in die Flügel des Gebäudes. Neben Fahrrad- und Kinderwagenabstellplätzen, sowie Kellerabteilen, sind in diesem Geschoss ebenerdige Wohnungen zu finden. Diese sind, außer die Wohnungen in den Eckbereichen, nur einseitig belichtet. In den Regelgeschossen differenziert sich die Erschließungssituation der zwei Bauteile. Der nach Süd-Westen ausgerichtete Teil C des Komplexes, wird durch zwei separate Treppenhäuser erschlossen. Diese sind im Erdgeschoss durch den Mittelgang erreichbar. Pro Geschoss werden zwei beidseitig belichtete Wohnungen von je einem Treppenhaus erschlossen. Die Wohnungen werden nicht wie gewöhnlich durch einen Vorraum betreten, sondern über die Loggien. Diese sind durch Verglasungen schließbar und somit als thermische Pufferräume anzusehen. Der nach Süd-Ost ausgerichtete Teil B der Bebauung, sowie die Schnittstelle der beiden Flügel, sind durch eine Mittelgangerschließung geprägt. Von diesen, so erschlossenen sechs Wohnungen pro Regelgeschoss, sind nur zwei nicht zweiseitig belichtet. Die restlichen Wohnungen öffnen sich durch überlegte Anordnung in den Eckbereichen des Komplexes, jeweils zu zwei Himmelsrichtungen. Das Dachgeschoss weicht im nordwestlichen Flügel durch einen Rücksprung der nordwestlichen Fassade ab, wodurch großflächige Terrassenbereiche geschaffen werden (auf Grundlage von (76)).



Abbildung IV-3: Lageplan (76)

Überblick

Grundrissbeschreibung

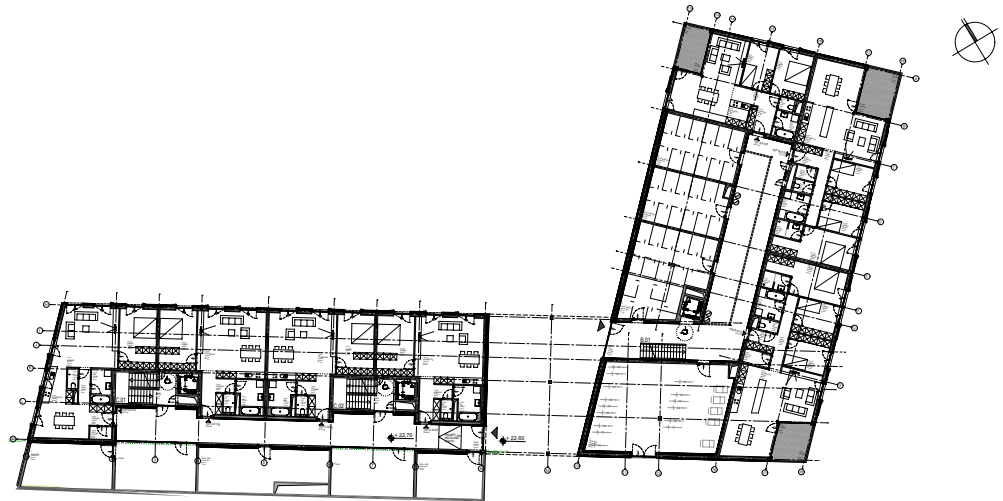


Abbildung IV-4: Grundriss Erdgeschoss (76)

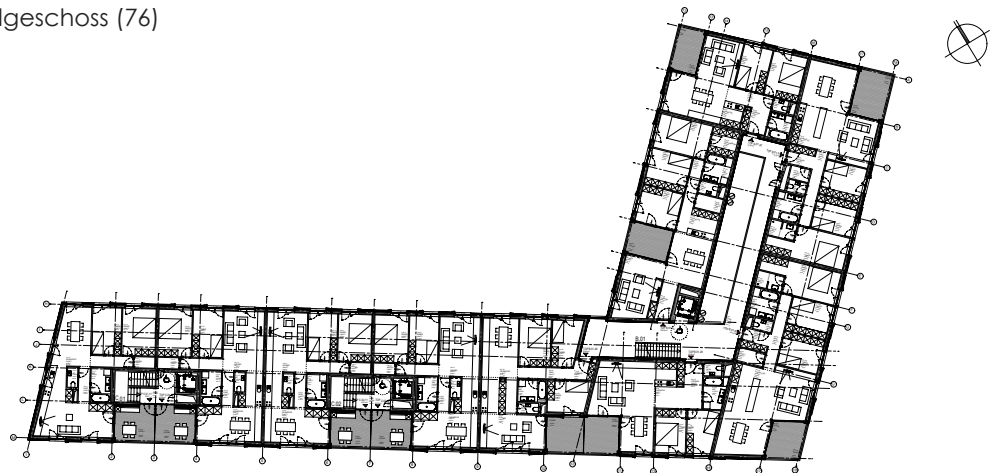


Abbildung IV-5: Grundriss Regelgeschoss (76)

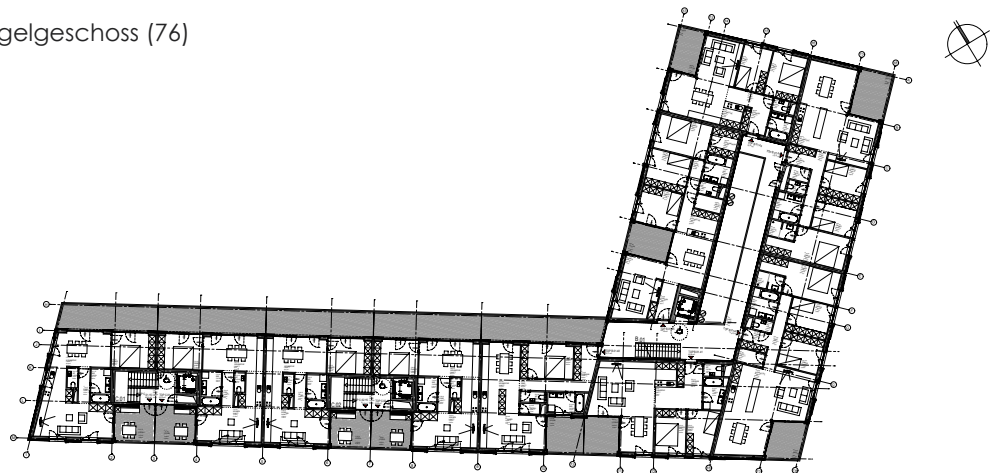


Abbildung IV-6 Grundriss Dachgeschoss (76)

IV.1.5

AUFBAUTEN

Das Gebäude wurde als Holz-Beton-Mischbau konzipiert. Dabei ist einzig die äußere thermische Gebäudehülle als Holzriegelkonstruktion ausgeführt. Die sonstigen tragenden Bauteile bestehen aus Ortbetonelementen. Außer bei erdanliegenden Bauteilen, welche XPS als Dämmebene aufweisen, wurde Mineralwolle als Dämmstoff verwendet. Die nicht tragenden Bauteile bestehen aus, mit Gipsfaserplatten beplankten, Metallständern. Auch die Beplankung der Holzriegelkonstruktion und der Vorsatzschalen wurden aus Gipsfaserplatten ausgeführt. In Anhang V.4 ist der Leitkatalog mit allen relevanten Bauteilaufbauten zu finden (auf Grundlage von(76)).

IV.1.6

BRANDSCHUTZANFORDERUNGEN

Das Fallbeispiel Eurogate entspricht der Gebäudeklasse 5. Im Bundesland Wien gelten in Bezug auf Brandschutz, die Bestimmungen der OIB Richtlinie 2. In Tabelle IV-1 werden die, für die folgende Analyse wichtigen Brandschutzanforderungen, aufgelistet.

Von den Bestimmungen der OIB Richtlinie 2 kann abgewichen werden, wenn die Schutzziele auf gleichem Niveau erreicht werden. Dabei ist der OIB-Leitfaden „Abweichungen im Brandschutz und Brandschutzkonzepte“ anzuwenden.

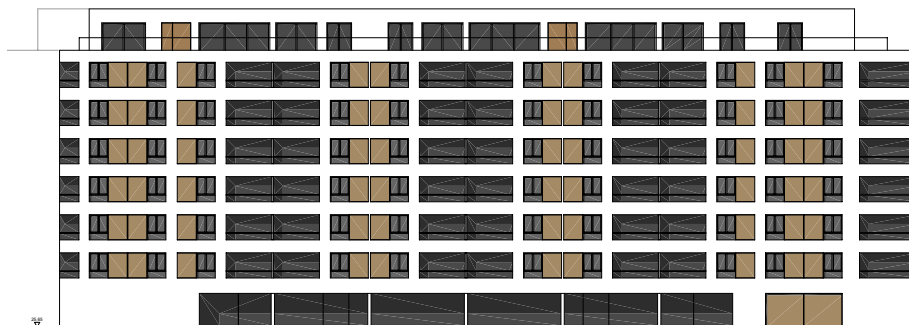


Abbildung IV-7: Ansicht Süd (76)



Abbildung IV-8: Ansicht Ost(76)

Überblick

Brandschutzanforderungen

Tragende Bauteile (ausgenommen Decken und brandabschnittsbildende Wände)	
im obersten Geschoß	R 60
in sonstigen oberirdischen Geschoßen	R 90 und A2
in unterirdischen Geschoßen	R 90 und A2
Trennwände (ausgenommen Wände von Treppenhäusern)	
im obersten Geschoß	R 60
in sonstigen oberirdischen Geschoßen	R 90 und A2
in unterirdischen Geschoßen	R 90 und A2
Brandabschnittsbildende Wände und Decken	
sonstige brandabschnittsbildende Wände oder Decken	REI 90 und A2
Wände von Treppenhäusern Punkt 5.1.1 im Verlauf des Fluchtweges	
in oberirdischen Geschoßen	REI 90 und A2
in unterirdischen Geschoßen	REI 90 und A2
Decke über dem Treppenhaus	REI 90 und A2
Bodenbeläge	A2fl-s1
Fassaden	
Klassifiziertes Gesamtsystem	B-d1
- Außenschicht	A2-d1
- Unterkonstruktion stabförmig / punktförmig	C / A2
- Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	B
Sonstige Außenwandbekleidungen oder -beläge	B-d1
Gänge und Treppen jeweils außerhalb von Wohnungen	
Klassifiziertes Gesamtsystem oder	B
- Außenschicht	B
- Unterkonstruktion	A2
- Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	A2
abgehängte Decken	B-s1, d0
Wand- und Deckenbeläge	B-s1,d0

Tabelle IV-1: Brandschutzanforderungen der Gebäudeklasse 5 (78)

Die relevanten Schutzziele können durch Analogieschlüsse, Gutachten, oder den Methoden des Brandschutzingenieurwesens nachgewiesen werden. Diese sind (78)(79):

- Brandsimulationen
- Brand- und Rauchversuche
- Beurteilung des Brandverhaltens von Bauteilen und Tragwerken
- Personenstromanalysen

Um brennbare Materialien in der Tragstruktur zu verwenden, wurde im Sinne des Brandschutzingenieurwesens verschiedene Varianten der Außenhülle am MA 39 über 90 Minuten allseitig im Brandofen geprüft (80 S. 20 ff.).

IV.1.7

ENERGIEBILANZ

In den folgenden Kapiteln wird Bauteil B/C des Bauplatzes 5 näher betrachtet. Die Bauteile A und D wurden mit denselben Aufbauten wie Bauteil B/C realisiert. Jedoch wird an Bauteil B/C, aufgrund seiner Größe, Ausrichtung und Gebäudeform, höhere, energetisch essentielle, Ansprüche gestellt.

Bauteil B/C weist, laut Energieausweis, einen spezifischen Heizwärmebedarf der Kategorie A++ auf. Der Primärenergiebedarf, die Kohlendioxidemissionen und der Gesamtenergieeffizienz-Faktor, bezogen auf das Standortklima, bewegen sich im Bereich der Kategorie A. In Tabelle IV-2 sind die Gebäudekenndaten, so wieder Wärme- und Energiebedarf der einzelnen Unterkategorien aufgelistet. Der Energieausweis des Bauteils B/C ist in Anhang V.3 angefügt (81 S. 1).

Abbildung IV-9 beschreibt die Verluste, die Gewinne und den daraus resultierenden Heizwärmebedarf des Gebäudes. Durch die kontrollierte Raumlüftung, mit Wärmerückgewinnung in Kombination mit einer möglichst luftdichten Kon-

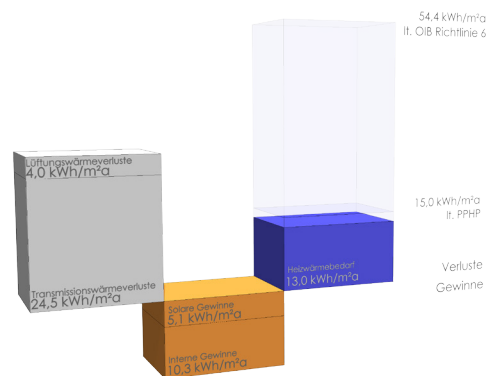


Abbildung IV-9: Gewinne und Verluste des Gebäudes laut Passivhaus-Projektierungspaket (PPHP) (82)

Die Feuerwiderstandsklassen und das Brandverhalten wird von der ÖNORM EN 13501 bestimmt. Die Feuerwiderstandsklasse gliedert sich in seine Leistungseigenschaften und die Klassifizierungszeiten und wird mit dem Kennzeichnungsbuchstaben wie z.B. eine Resttragfähigkeit von 90 Minuten (R90), angegeben. Das Brandverhalten wird mit der Leistungseigenschaft der Materialien von A1, A2 und A3 als nicht brennbare Materialien und B-F für brennbare Materialien bewertet. Dazu können Angaben bezüglich der Rauchentwicklung (S1-S3) und die Anforderungen an brennendes Abtropfen (d0-d2) gestellt werden (97).

- R Tragfähigkeit
- E Raumabschluss
- I Wärmedämmung
- W Strahlung
- M Widerstand gegen mechanische Beanspruchung
- C Selbstschließende Eigenschaft
- S Rauchdichtheit
- K Brandschutzfunktion

Überblick

Energiebilanz

	Referenzklima spezifisch	Standortklima zonenbezogen	Standortklima spezifisch
HWB	7,80 kWh/m ² a	73.410 kWh/a	7,39 kWh/m ² a
WWWB		126.979 kWh/a	12,78 kWh/m ² a
HTEB RH		56.024 kWh/a	5,64 kWh/m ² a
HTEB WW		155.236 kWh/a	15,62 kWh/m ² a
HTEB		282.784 kWh/a	28,45 kWh/m ² a
HEB		483.173 kWh/a	48,61 kWh/m ² a
HHSB		646.431 kWh/a	65,04 kWh/m ² a
EEB		163.258 kWh/a	16,42 kWh/m ² a
PEB		750.972 kWh/a	75,60 kWh/m ² a
PEB n.ern.		529.480 kWh/a	53,30 kWh/m ² a
PEB ern.		221.493 kWh/a	22,30 kWh/m ² a
CO ₂		106.137 kg/a	10,70 kg/m ² a
f _{GEE}	0,71 -	0,79 -	

Tabelle IV-2: Kennwerte des Bauteil B/C (81 S. 1 f.)

struktions, fallen die Lüftungswärmeverluste mit 4,0 kWh/m²a gering aus. Trotz guter Dämmung der Außenhaut und einer Konstruktion mit geringen Wärmebrückenverlusten stellen die Transmissionswärmeverluste mit 24,5 kWh/m²a über 86 % der Wärmeverluste dar. Die solaren Gewinne des Gebäudes sind um die Hälfte geringer als die internen Gewinne. Dieser kleine Anteil lässt sich auf die Gebäudeausrichtung zurückführen und wird in Kapitel IV.2.3.2 näher besprochen. Der Heizwärmebedarf liegt mit 13,0 kWh/m²a in einem sehr günstigen Bereich und erfüllt damit die Kriterien des Passivhausstandard von maximal 15,0 kWh/m²a. In Bezug auf die OIB Richtlinie 6 beträgt der Wert sogar nur ein Viertel des erlaubten Höchstwertes von 54,4 kWh/m²a (82 S. 25)(83).

IV.2

OPTIMIERUNG DER GEBÄUDESTRUKTUR

Das Analyseprojekt wurde mit dem Passivhaus-Projektierungspaket (PPHP) zertifiziert, was einen niedrigen Energiebedarf von unter 15 kWh/m²a voraussetzt. Die schon in dem Abschnitt „Optimierung“ angesprochene Gebäudestruktur, wie die Ausrichtung der Fensterflächen, die Zonierung des Grundrisses oder z.B. die Anordnung der speicherfähigen Masse wirken sich auf den Energiebedarf eines Bauwerkes aus. In diesem Kapitel werden Parameter der Gebäudestruktur, in Bezug auf ihre Energiebilanz, analysiert und Einflussfaktoren auf die, laut OIB Richtlinie 6 geforderten Energiewerte, anhand des Gebäudes untersucht.

IV.2.1

DAS OBERFLÄCHEN-VOLUMEN VERHÄLTNIS (A/V)

Die Kompaktheit eines Bauwerkes wirkt sich direkt auf dessen Transmissionswärmeverluste aus. Das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen beläuft sich bei Bauteil B/C auf 0,27 1/m. Dieser

„HWB: Der Heizwärmebedarf beschreibt jene Wärmemenge, welche den Räumen rechnerisch zur Beheizung zugeführt werden muss.

WWWB: Der Warmwasserwärmebedarf ist als flächenbezogener Defaultwert festgelegt. Er entspricht ca. einem Liter Wasser je Quadratmeter Brutto-Grundfläche, welcher um ca. 30 °C (also beispielsweise von 8 °C auf 38 °C) erwärmt wird.

HTEB-RH: Der jährliche Heiztechnikenergiebedarf für Raumheizung pro m² konditionierter Brutto-Grundfläche (spezifisch) und je Zone (zonenbezogen)

HTEB-WW: Der jährliche Heiztechnikenergiebedarf für Warmwasser pro m² konditionierter Brutto-Grundfläche (spezifisch) und je Zone (zonenbezogen)

HTEB: jährlicher Heiztechnikenergiebedarf pro m² konditionierter Brutto-Grundfläche (spezifisch) und je Zone (zonenbezogen)

HEB: Beim Heizenergiebedarf werden zusätzlich zum Nutzenergiebedarf die Verluste der Haustechnik im Gebäude berücksichtigt. Dazu zählen beispielsweise die Verluste des Heizkessels, der Energiebedarf von Umwälzpumpen etc.

HHSB: Der Haushaltsstrombedarf ist als flächenbezogener Defaultwert festgelegt. Er entspricht ca. dem durchschnittlichen flächenbezogenen Stromverbrauch in einem durchschnittlichen österreichischen Haushalt.

PEB: Der Primärenergiebedarf schließt die gesamte Energie für den Bedarf im Gebäude einschließlich aller Vorketten mit ein. Dieser weist einen erneuerbaren und einen nicht erneuerbaren Anteil auf. Der Ermittlungszeitraum für die Konversionsfaktoren ist 2004–2008.

CO₂: Gesamte dem Endenergiebedarf zuzurechnenden Kohlendioxidemissionen, einschließlich jener für Transport und Erzeugung sowie aller Verluste. Zu deren Berechnung wurden übliche Allokationsregeln unterstellt.

f_{GEE}: Der Gesamtenergieeffizienz-Faktor ist der Quotient aus dem Endenergiebedarf und einem Referenz-Endenergiebedarf.“ (81 S. 1)

Optimierung der Gebäudestruktur

Oberflächen-Volumen-Verhältnis

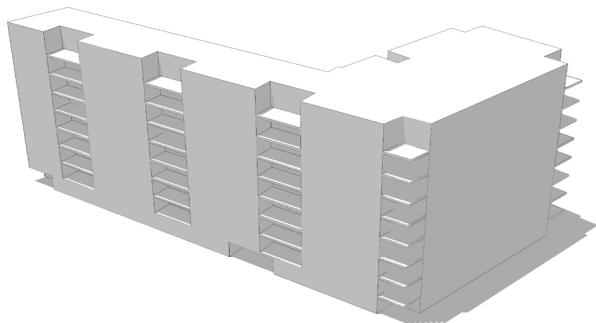


Abbildung IV-10: Volumen des Bauteils B/C

A/V-Verhältnis des Baukörpers 0,27 1/m

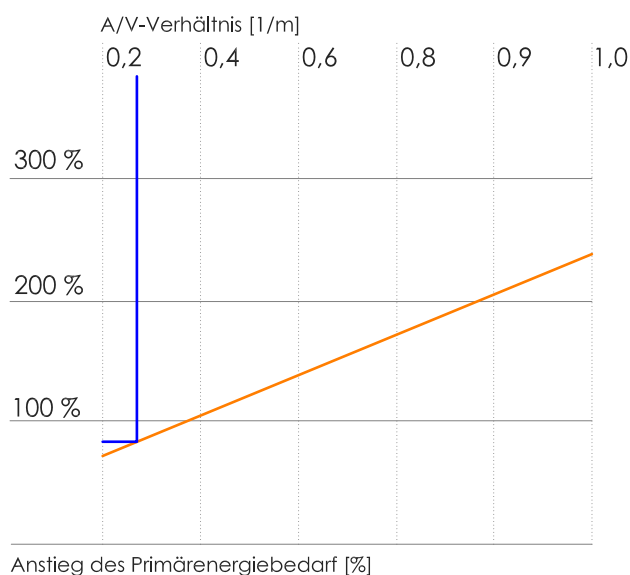


Abbildung IV-11: Der prozentuale Anstieg des Primärenergiebedarf in Abhängigkeit des A/V-Verhältnis (auf Grundlage von (81 S. 2)(31 S. 86)).

Wert kommt zum einen durch die typologische Kompaktheit eines mehrgeschossigen, großvolumigen Wohnungsbaus zu Stande. Wie bereits in Kapitel II.1.1 aufgezeigt, ist das A/V-Verhältnis von mehrgeschossigen Bauten, rein mathematisch begründet, besser als bei Eingeschossigen. Zudem sind, wie Abbildung IV-10 zeigt, die Loggien die einzigen Einschnitte in die Kompaktheit der Gebäudehülle.

Abbildung IV-11 zeigt beispielhaft die Auswirkungen des A/V-Verhältnis auf den prozentualen Anstieg des Primärenergiebedarfs eines Passivhauses. Ein ungünstiges Verhältnis kann zu einem starken Anstieg des Bedarfes führen. Die Kompaktheit von 0,27 1/m beschreibt, wie zu erkennen ist, ein günstiges Verhältnis (auf Grundlage von (81 S. 2)(31 S. 86)).

IV.2.2

THERMISCHE ZONIERUNG

Aufgrund der typologischen Gegebenheiten, welche durch einen großvolumigen Wohnungsbau entstehen, ist es schwierig, architektonische und thermische Anforderungen im Bereich der Grundrissgestaltung, gleichwertig zu betrachten. Obwohl die thermische Zonierung eines Grundrisses wichtig erscheint, ist vor allem der Bedarf an funktionalen, gut belichteten Raumsituationen ausschlaggebend.

Abbildung IV-12 zeigt den sich am häufigsten wiederholenden Wohnungstypen eines Regelgeschosses. Es lässt sich unschwer erkennen, dass aufgrund der beidseitigen Belichtung neben einer sinnvollen architektonischen Grundrissanordnung auch eine thermische Zonierung geschaffen wurde. Südseitig befindet sich der Pufferraum, welcher direkt an den Aufenthaltsraum mit Küchenzeile anschließt. Dieser Bereich, mit den höchsten thermischen Anforderungen, ist aufgrund der hohen solaren Gewinne der Ausrichtung sinnvoll angeordnet. Die Schlafzim-

mer befinden sich nordseitig, was aufgrund der geringeren thermischen Ansprüche an Licht und Temperatur sinnvoll erscheint. Erschließung, Lagerräume und Sanitäranlagen befinden sich im Kern des Gebäudes (auf Grundlage von (76)).

IV.2.3

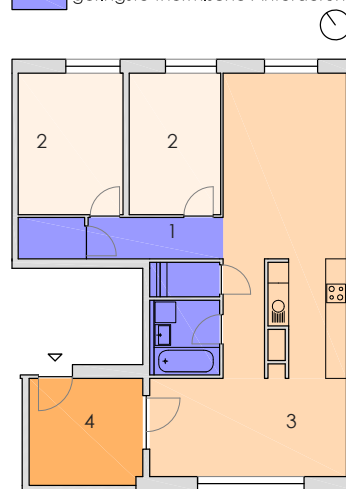
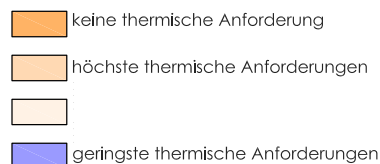
WÄRMEDURCHGANG DURCH TRANSPARENTE BAUTEILE

Der U-Wert eines Fensters wird von der Qualität der Verglasung, der Beschaffenheit des Rahmens, sowie von dem Verhältnis von Verglasungsfläche zu Rahmenfläche bestimmt. Der Rahmen stellt die Schwachstelle eines Fensters dar. Somit steigen die Energieverluste mit Zunahme des Rahmenanteils an der gesamten Fensterfläche. Je niedriger der U-Wert des Rahmens ist, desto weniger Einfluss hat dieser auch auf die Transmissionswärmeverluste.

IV.2.3.1

RAHMENANTEIL

Das Bauteil B/C von Johannes Kaufmann wurde mit Fenstern der Firma Gaulhofer ausgestattet. Die U-Werte der Fenster unterschreiten die Norm mit $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ um fast die Hälfte. Der Rahmen stellt, mit einem U-Wert von $0,96 \text{ W/m}^2\text{K}$, auch bei dieser Verglasung die Schwachstelle dar. Der Rahmenanteil des Bauteils B/C variiert je nach Ausrichtung der Fenster von 31,20 % bis 35,31 %. (auf Grundlage von (35 S. 44) (82 S. 15) (23)).



- 1 Erschließung / Lager
- 2 Schlafzimmer
- 3 Aufenthaltsraum mit Küchenzeile
- 4 Pufferraum

Abbildung IV-12: Zonierung eines Wohnungsgrundrisses (auf Grundlage von (76))

Ausrichtung der Fensterfläche	Fensterfläche	Rahmenanteil	U-Wert Verglasung	U-Wert Rahmen	U-Wert Fenster
Nord	489,84	35,31 %	0,58	0,96	0,76
Ost	315,31	34,86 %	0,58	0,96	0,78
Süd	402,37	37,05 %	0,58	0,96	0,79
West	300,72	31,20 %	0,58	0,96	0,77
gesamt	1527,78				0,78

Tabelle IV-3: Kennwerte der verglasten Flächen des Bauteils B/C (auf Grundlage von (82 S. 15))

Optimierung der Gebäudestruktur

Ausrichtung

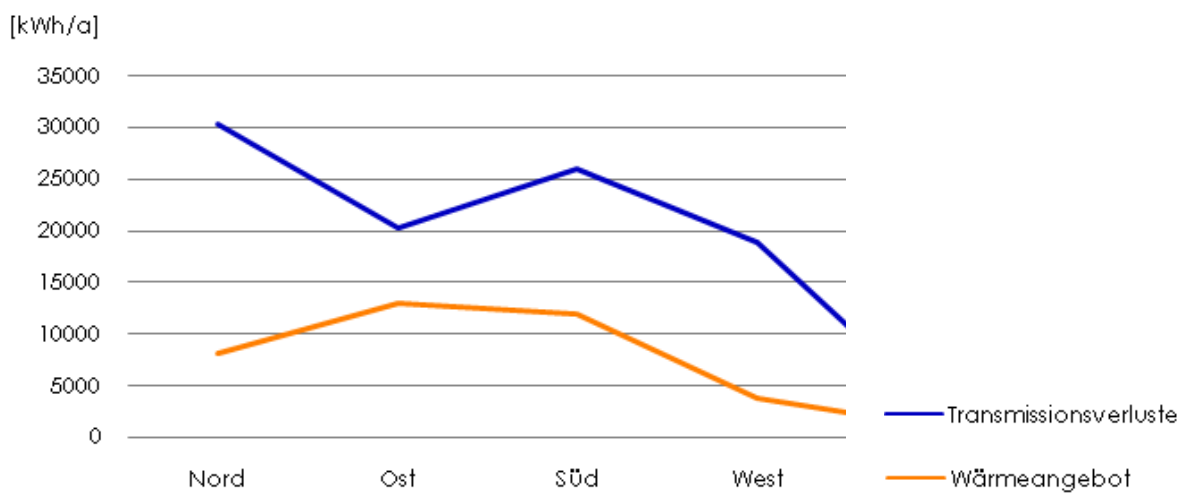


Abbildung IV-13: Wärmegewinne und Verluste im Bezug zur Verglasungsausrichtung (auf Grundlage von (82 S.

Ausrichtung der Fensterfläche	Anteil an den Transmissionswärmeverlusten	Anteil an den Wärmegewinnen	Deckung der Verluste mit den Gewinnen	Transmissionsverluste [kWh/a]	Wärmeangebot Solarstrahlung [kWh/a]
Nord	30,92 %	21,50 %	36,76 %	30372	8075
Ost	20,63 %	34,42 %	12,09 %	20261	12927
Süd	26,42 %	31,79 %	23,10 %	25950	11939
West	19,29 %	9,81 %	25,14 %	18947	3686
gesamt	-	-	-	98215	37555

Tabelle IV-4: Wärmegewinne und Verluste im Bezug zur Verglasung (auf Grundlage von (82 S. 15))

IV.2.3.2

AUSRICHTUNG

Zur Belichtung der Räume mussten auch nordseitig sehr große Anteile der Hüllfläche verglast werden. Wie Tabelle IV-3 zeigt, liegt der Anteil der nordseitigen sogar über den südseitigen Verglasungen. Ein Vergleich der Transmissionswärmeverluste und des Wärmeangebotes durch solare Strahlung, wie Tabelle IV-4 und Abbildung IV-13 erläutern, zeigt die Problematik dieser Ausrichtung. Die Differenz zwischen Wärmeverlusten und Gewinnen liegt bei Verglasungen im Süden und Westen bei ca. 24 %. Im Osten beträgt dieser Wert sogar nur 12 %, nordseitig jedoch 37 %. Dieser Vergleich lässt keine direkten Rückschlüsse auf den Heizwärmebedarf des Gebäudes zu. Die Wärmegewinne und Verluste verlaufen nicht über das gesamte Jahr kontinuierlich. Während der Hauptanteil der Wärmeverlust im Winter verursacht wird, werden in den Sommermonaten die höchsten Wärmegewinne erzielt. Jedoch kann die Aussage getroffen werden, dass diese Anordnung der transparenten Hüllflächen aus energetischer Sicht nicht sinnvoll ist, da im Norden anteilig die größte Differenz zwischen Wärmegewinnen und Verlusten besteht. Die Ausrichtung der verglasten Flächen des Gebäudes wird jedoch vom Masterplan mit seinen städtebaulichen Gegebenheiten sowie architektonischen und funktionalen Anforderungen der Typologie bestimmt.

IV.2.4

WÄRMEDURCHGANG DURCH OPAKE BAUTEILE

Der Baukörper B/C wurde mit denselben oder ähnlichen Aufbauten, als Hybridbau, wie die Baukörper A und D verwirklicht. Die thermische Hülle wurde fast ausschließlich durch eine Holzständerkonstruktion geschlossen. Nur im Bereich der Pufferzonen und bei Außenwänden gegen

Erdreich wurde Stahlbeton als tragende Struktur und Gebäudehülle verwendet. Die OIB-Richtlinie 6 schreibt bei Wänden gegen Außenluft einen U-Wert von $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ vor. Die vorliegende Holzkonstruktion unterschreitet diesen Wert mit $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ um mehr als die Hälfte. Die Trennwände zwischen den Wohnungen und dem Stiegenhaus, tragende Innenwände oder Innenwände innerhalb der thermischen Hülle, z.B. das Stiegenhaus zur Tiefgarage, wurden zudem in Stahlbeton ausgeführt. Sämtliche weitere Innenwände wurden als herkömmliche Leichtbauwände, mit Gipskartonplatten beplankte. Abbildung IV-14 vergleicht die bestehenden U-Werte der Bauteile mit den, aus der OIB Richtlinie 6, geforderten. Die Aufbauten des Bauwerkes sind in Anhang V.3 zu finden (auf Grundlage von (76)(82 S. 9)(10)).

Bei Passivhäusern bedarf der sommerliche Überhitzungsschutz, durch die von der OIB Richtlinie 6 geforderten Wärmeschutzmaßnahmen, einer ausführlichen Betrachtung. Diese wird in diesem Fallbeispiel durch die anschließende Simulation eines Wohnraumes und einer Pufferzone ausführlich in Kapitel IV.8 analysiert.

IV.3

TRAGSYSTEM, KONSTRUKTION UND MATERIALWAHL

Bei der Planung ressourceneffizienter Tragwerke und Konstruktionen ist eine Vielzahl an Faktoren ausschlaggebend. Erst die Kombination von geeigneter Lastabtragung, Materialwahl und Konstruktionsaufbau ermöglicht eine effiziente Bauweise. Der folgende Abschnitt analysiert das Tragwerkskonzept und lastabtragenden Bauteile des Bauteils B/C. Da eine separate Betrachtung der einzelnen Faktoren nicht schlüssig wäre, wird in diesem Kapitel die Gliederung in Herstellungs-, Nutzungsphase und Lebensende des vorhergegangenen Optimierungsabschnittes nicht streng verfolgt. Vielmehr wird vorangestellt das Tragsys-

Tragsystem, Konstruktion & Materialwahl

Analyse des Tragsystems

Bauteil				Wärmedurchgangskoeffizient [W/m²K]		
				OIB Richtlinie 6	Energieausweis	Prozentualer Anteil
Wände	AD06a	WHG	zu	U = 0,35	U = 0,12	34,2 %
	Aussenluft					
	AW01	Außenwand			U = 0,12	34,2 %
	Leichtbau					
	AW02	Außenwand			U = 0,16	45,7 %
	massiv					
	AW07	Außenwand zu			U = 0,17	48,6 %
	Loggia					
	AW09	Außenwand			U = 0,15	42,9 %
massiv bei Loggien						
Wände	IW3a1	Innenwand	zu	U = 0,60	U = 0,290	48,3 %
	Pufferraum					
	IW3a2	Innenwand	zu		U = 0,290	48,3 %
	Keller					
	IW3a3	Innenwand	zu		U = 0,290	48,3 %
Tiefgarage						
	TW04	Trennwand Whg / Gang			U = 0,250	41,7 %
Türen	AT1	Außentür		U = 1,70	U = 1,2	70,6 %
Decken und Dachschrägen	AD01b	Flachdach nicht		U = 0,20	U = 0,090	45,0 %
	begehbar					
	AD02b	Dachterrassen			U = 0,100	50,0 %
	AD03b	Flachdach nicht			U = 0,090	45,0 %
begehbar						
Decken	AD04a	Loggien	über	U = 0,40	U = 0,190	47,5 %
	Geschäft					
	ID x	Decke gegen			U = 0,230	57,5 %
	unbeheizten Gang im EG					
	ID1a2	Decke gegen			U = 0,090	22,5 %
Tiefgarage						
	ID1a1	Decke gegen			U = 0,090	22,5 %
unbeheizte Kellerräume						

Abbildung IV-14: Geforderte und erreichte U-Werte [W/m²K] der Bauteil (auf Grundlage von (76)(82 S. 9)(10)).

tem als Gesamtheit betrachtet. Schließlich wird explizit auf einzelne Bauteile eingegangen. Das Thema Speichermassen wird in diesem Abschnitt nicht genauer erläutert, da dies in der folgenden Simulation eingehend analysiert wird.

Die angesprochenen Punkte sollten immer aus dem Standpunkt betrachtet werden, dass es sich bei dem Projekt um ein Bauwerk mit Wohnbauförderung handelt. Dies beinhaltet, dass eine Vielzahl der angeführten Optimierungsvorschläge auf Grund der erhöhten Materialkosten und des zusätzlichen Planungs-, Herstellungs- sowie des Montageaufwandes aus wirtschaftlichen Gründen nicht zu bewerkstelligen war.

IV.3.1

ANALYSE DES TRAGSYSTEMS

Jedes Bauwerk kann, wie in Abschnitt „Tragsystem, Konstruktion und Materialwahl“ erläutert, in statische Teilbereiche gegliedert werden, welche unterschiedlichen Anforderungen und Beanspruchungen ausgesetzt sind. Dieses Kapitel analysiert die Funktionstrennungen des Tragsystems.

IV.3.1.1

FUNKTIONALE AUFTEILUNG

Der Bauteil B/C von Johannes Kaufmann wurde als Holzleichtbau- und Betonbauweise konzipiert. Dabei wurde das Bauwerk, wie Abbildung IV-15 zeigt, in zwei Gattungen unterteilt. Zum einen in die vorgefertigte Holzleichtbau-Außenhülle, welche neben statischen Anforderungen auch den thermischen Abschluss des Gebäudes bildet. Dieses Element konnte durch Beplanung mit Gipsfaserplatten, trotz der Anforderung nach nicht brennbaren Materialien der Tragkonstruktion, aus Holz ausgeführt werden. Die zweite Gattung ist die innere Stahlbeton-Tragkonstruktion, welche u.a. auch brandschutztechnische Anforderungen erfüllt. Die Materialwahl der ein-

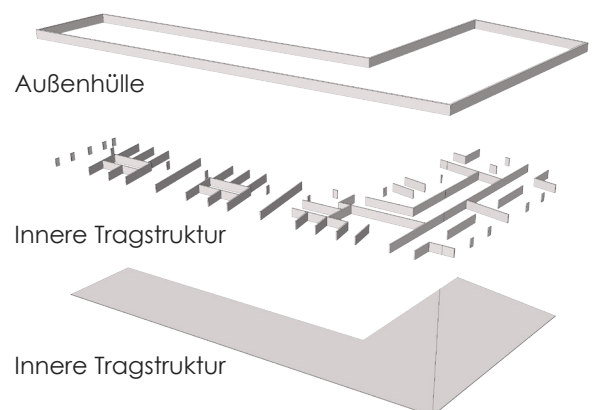


Abbildung IV-15: Funktionale Aufteilung des Gebäudes (auf Grundlage von (76))

Tragsystem, Konstruktion & Materialwahl

Analyse des Tragsystems

zelenen Komponenten wurde auf ihre Funktionen zugeschnitten. Die Außenhülle aus Holzwerkstoffen besitzt eine geringe Wärmeleitfähigkeit und ist zudem in der Lage Kräfte abzutragen. Der Hauptanteil der auftretenden Lasten und die Aussteifung wird durch die innere Stahlbetonstruktur abgeleitet. Das Material bewerkstelligt zudem die brandschutztechnischen Anforderungen und sorgt für speicherfähige Masse im Gebäude (auf Grundlage von (76)).

IV.3.1.2

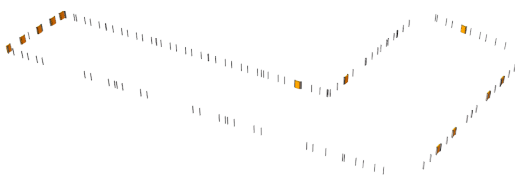
AUSBILDUNG DES TRAGELEMENTE

Die Lastabtragung des Systems wird sowohl durch die Holzständerkonstruktion, als auch durch die massiven Stahlbeton-Innenwände und Decken gewährleistet.

Das statische System der Außenwand - Leichtbauelemente wurde in eine Holzständerkonstruktion aufgespalten. Nur an statisch hochbelasteten Bereichen wurde die Außenhülle massiv, als Stahlbeton-Elemente, ausgeführt. Diese sind, wie Abbildung IV-16 zeigt, jedoch in sehr geringer Anzahl vorhanden. Durch die Bauweise als Holzständerkonstruktion wurde im Vergleich zu einer massiven Bauweise Konstruktionsmaterial eingespart. Für eine weitere Materialeinsparung dieses Bauteils müsste eine Reduzierung innerhalb der Tragelemente, der Pfosten und Riegel der Skelettbauweise, wie Kapitel IV.4 analysiert, angedacht werden.

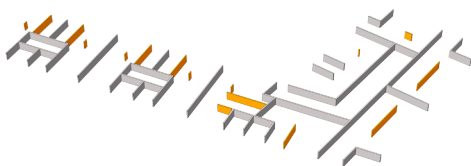
„Der große Vorteil der Holz-Leichtbauvariante ist vor allem, dass ich mir im Vergleich mit einer Massivbauwand rund zehn bis 15 Zentimeter Wandstärke sparen kann, weil ich zwischen den Holzständern auch wirksame Dämmung habe.“ (Johannes Kaufmann) (84 S. 20)

Die Innenwände und Decken sind massiv ausgeführt. Dabei ist zu beachten, dass die tragenden Innenwände neben den lastabtragenden



massive Elemente der äußeren Hülle

Abbildung IV-16: Tragende Elemente der Außenhülle



Innenwände ohne aussteifende oder speichermassenbildende Anforderungen

Abbildung IV-17: Tragende Innenwände

Eigenschaften, auch zur Aussteifung und zur Ausbildung der Brandabschnitte dienen. Um einen hohen Anteil speicherfähiger Masse in thermisch sehr beanspruchten Bereichen zu gewährleisten, wurden auch die Wände zwischen Pufferzone und Innenraum in massiver Stahlbeton-Bauweise ausgeführt. Abbildung IV-17 zeigt die tragenden Innenwände, welche weder aussteifende oder brandabschnittsbildende Eigenschaften sowie der Bereitstellung speicherfähiger Masse dienen.

Die Innenwände, welche zur Bildung der Brandabschnitte und zur Aussteifung des Gebäudes benötigt werden, sind in ihrer massiven Bauweise an ihre Anforderungen angepasst. Dies gilt auch für die Außenwände zwischen Pufferzone und Innenraum, mit ihrer hohen speicherfähigen Masse. Tragende Innenwände ohne aussteifende und brandabschnittsbildende Anforderungen, wie Abbildung IV-17 zeigt, würden als Stützelemente ausgebildet, einen reduzierten Materialeinsatz der Tragkonstruktion bewirken. Kapitel IV.7.2 beschäftigt sich näher mit diesem Element. Bei dieser Lösung kann der Raumabschluss, gleich den nicht tragenden Wänden, aus Gipskartonständerwänden gebildet werden.

Auch die Deckenkonstruktion kann, wie Kapitel IV.7.3 näher analysiert, reduziert werden. Jedoch sind in diesem Bereich die Anforderungen aus dem Brandschutz und der Tragfähigkeit zu bedenken. Zur Bildung speicherfähiger Masse müssen geeignete Materialien des Bodenaufbaus gewählt werden. Es bleibt gegenüberzustellen, ob die Materialreduktion nicht durch hinzukommende Zusatzmaßnahmen aufgewogen wird. Vor allem die Materialisierung der einzelnen Elemente ist dabei ausschlaggebend. Im folgenden Kapitel werden nähere Überlegungen zu möglichen Materialien angestellt.

„Wir haben alle Geschoßdecken in Ortbeton ausgeführt. Durch die Kombination von Beton und Leichtbauwänden verfügen wir über ausrei-

chend Speichermasse.“ (Johannes Kaufmann) (84 S. 20)

IV.3.1.3

NUTZUNGSFLEXIBILITÄT UND RÜCKBAU

Die Nutzungsflexibilität und der Rückbau eines Gebäudes kann nicht ausschließlich innerhalb einzelner Elemente betrachtet werden, sondern auch eine Betrachtung des Gebäudes als Gesamtheit ist sinnvoll. Deshalb geht dieses Kapitel auf Umnutzung und den Rückbau der gesamten Elemente ein. Innerhalb der Bauteilanalyse werden diese schließlich genauer betrachtet.

Um die Flexibilität eines Bauwerkes zu gewährleisten, muss eine schnelle und einfache Umnutzung möglich sein. Die nicht tragenden Innenwände des Bauteils wurden aus, mit Gipskarton beplankten, Ständerwänden ausgebildet. Diese Elemente sind leicht rückzubauen und ermöglichen so einen schnellen Umbau innerhalb der einzelnen Wohneinheiten. Um massive Stahlbetonwände zu modifizieren ist, im Vergleich zu Ständerkonstruktionen, ein erhöhter Aufwand notwendig. Die Massivbauweise der tragenden Innenwände ist, im Bezug auf die Umnutzung daher problematischer. Eine Stahlbeton-Skelettbauweise, mit Ständerkonstruktionen als raumbildende Elemente, ist gleich den nicht tragenden Innenwänden, schnell zu adaptieren.

Der Rückbau von Gebäudeteilen oder des gesamten Komplexes wird, wie in Kapitel III.2.2.1.1 erläutert, durch eine Funktionstrennung in thermischen Gebäudeabschluss, tragende Elemente und haustechnische Anlagen erleichtert, da die einzelnen Elemente somit unabhängig voneinander ausgetauscht oder rückgebaut werden können. Diese Trennung in Außenhülle und statisch relevante Innenbauteile würde bei dem Analyseprojekt beachtet.

IV.4

BAUTEILANALYSE

Eine ressourceneffiziente Konstruktion beachtet viele, in der vorgegangenen Arbeit angesprochene, Teilaspekte. Die energetischen Ansprüche, wie z.B. das Dämmverhalten oder das Wärmespeichervermögen, die statischen Anforderungen, die Materialwahl, der Verbrauch des Materials und der Verbund der Schichten, sind die ausschlaggebenden Faktoren. Dabei sollten die energetischen und statischen Ansprüche an das Bauteil als Grundlage gesehen und anfänglich definiert werden. Es gibt mannigfaltige Möglichkeiten diese Voraussetzungen sicher zu stellen und die übrigen Faktoren einer ressourceneffizienten Bauweise zu beachten. In folgendem Kapitel werden die Tragwerkselemente, welche den größten Anteil des Gebäudes bilden, analysiert. Da eine Trennung der verschiedenen Einflussfaktoren nicht sinnvoll erscheint, werden die angesprochenen Bauteile, über die Herstellungsphase auch in Bezug auf die Nutzung und das Lebensende erläutert.

IV.4.1

LEICHTBAU - AUßENWAND

Die hier besprochene, in Abbildung IV-18 dargestellte, Außenhülle dient vornehmlich der Lastabtragung und des energetischen Raumabschlusses. Somit sind hohe lastabtragende und geringe wärmeleitende Eigenschaften die zu erfüllenden Grundlagen. Fassaden der Gebäudeklasse 5 müssen eine Außenschicht und tragende Bauteile der Brandklasse A2 aufweisen. Die Dämmschicht kann als Brandklasse B ausgebildet werden. Ein klassifiziertes Gesamtsystem des muss die Brandklasse B-d1 nachweisen. Durch die massive Bauweise der speicherfähigen Decken, sind wärmespeichernde Eigenschaften hilfreich, jedoch nicht notwendig. Die Aussteifung des Gebäudes wird zudem von den Stahlbeton-Treppenhäusern und Mittelgangwänden übernommen (78).

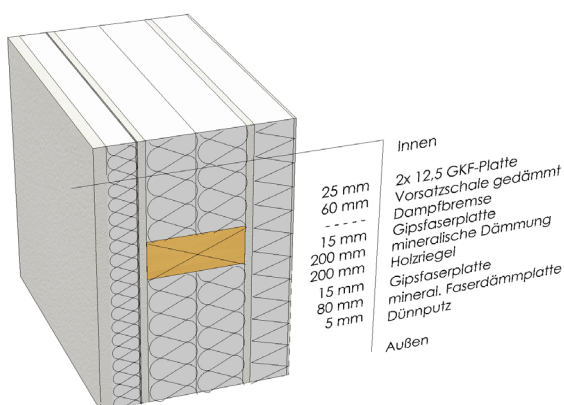


Abbildung IV-18: Aufbau der Leichtbau-Außenhaut (auf Grundlage von (76))

Die Holzriegelkonstruktion mit 8 cm x 20 cm Vollholzelementen sichert die Abtragung der vertikalen Lasten in das Erdreich. Diese sind auf der einen Seite mit einer Gipsfaserplatte beplankt und mit einer vollflächig geklebten und gedübelten Mineralwolle-Fassadenplatte versehen. Eine Lage Dünnputz bildet den äußeren Gebäudeabschluss. Auf der Innenseite der Holzständerkonstruktion sichert eine Feuerschutzplatte die brandschutztechnischen Anforderungen. Darüber ist die Dampfbremse verlegt und eine weitere Gipsfaserplatte angebracht. Eine gedämmte Vorsatzschale mit einer weiteren Gipsfaserplatte bildet den inneren Raumabschluss. Als Dämmmaterial wird Mineralwolle verwendet.

IV.4.1.1

HERSTELLUNGSPHASE

Die vertikale Lastabtragung innerhalb dieser Tragelemente wird von der Pfosten-Riegelkonstruktion abgetragen. Die Pfosten der Konstruktion sind auf Druck belastet, während die Riegel auf Biegung beansprucht werden. Die Materialisierung aus Konstruktionsvollholz ist aufgrund der guten Druck- und Biegefestigkeiten effizient gelöst. Zudem ist Holz als erneuerbare Ressource eine alternative zu mineralischen Werkstoffen. Eine Stütze aus Holz ist im Bezug auf das Funktionsäquivalent eine sinnvolle Alternative zu metallischen Materialien. Die Wahl des Konstruktionsmaterials ist zudem, aufgrund der geringen materialspezifischen Wärmeleitfähigkeit, in Hinblick auf den U-Wert und Wärmebrückenreduktion der Konstruktion geeignet und dient somit auch zur Erfüllung der energetischen Anforderungen. Daher ist ein Materialwechsel der lastabtragenden Elemente nicht sinnvoll. Tragende Bauteile müssen einem Brandwiderstand von R90 und die Brandklasse A2 aufweisen. Um dies zu gewährleisten, ist eine Verkapselung mit nicht brennbaren Materialien, wie im diesem Fall mit Gipsfaserplatten, notwendig.

	C24	STEICOWall
Biegung $f_{m,k}$	24 N/mm ²	26,0 N/mm ²
Zug $f_{t,0,k}$	14 N/mm ²	16,0 N/mm ²
Druck $f_{c,0,k}$	21 N/mm ²	22,0 N/mm ²
E-Modul $E_{0,mean}$	11.000 N/mm ²	11.000 N/mm ²
Schubmodul G_{mean}	690 N/mm ²	2.100 N/mm ²

Tabelle IV-5: Charakteristische Festigkeitswerte von Konstruktionsholz und dem STEICOWall System (auf Grundlage von(85 S. 164)(86))



Abbildung IV-19: Stegträger des STEICOWall Systems (86)

Tragsystem, Konstruktion & Materialwahl

Bauteilanalyse

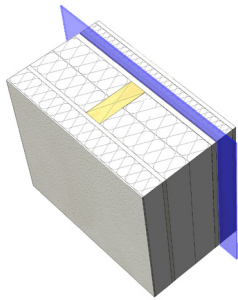


Abbildung IV-20: Aufbau der Leichtbau-Außenhülle
(auf Grundlage von (76))

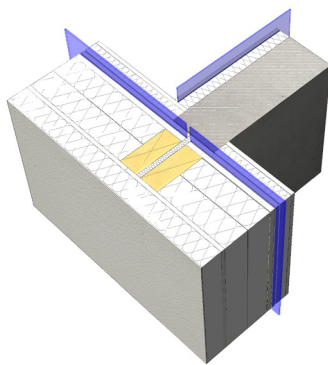


Abbildung IV-21: Anschluss der Hülle an Trennwände
(auf Grundlage von (76))

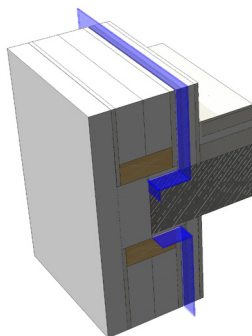


Abbildung IV-22: Anschluss der Hülle an Decken (auf
Grundlage von (76))

Eine Optimierungsmöglichkeit der Tragkonstruktion des Bauteils wäre, die Verwendung von Stegträgern aus Holz, wie in Abbildung IV-19 dargestellt. Für ihre Bemessung von Biegeträgern ist das Flächenträgheitsmoment ausschlaggebend. Folglich ist bei Biegeträgern auf eine große statische Höhe und auf einen großen Flächenanteil des Querschnittes, möglichst weit entfernt zur Schwerachse zu achten. So sind aus statischer Sicht I-Träger, im Vergleich zu Vollprofilen, bei geringerem Materialaufwand günstiger. Neben der Materialeinsparung, ist bei diesem System aber vor allem die Minimierung der Transmissionswärmeverluste durch die reduzierten Holzquerschnitte von Vorteil (85 S. 100) (86).

IV.4.1.1.2

ENERGETISCHE OPTIMIERUNG DER NUTZUNGSPHASE

An dieses Bauteil werden innerhalb der Nutzungsphase erhöhte Ansprüche gestellt, da es den thermischen Gebäudeanschluss bildet. Die thermischen Anforderungen an das Bauelement, wurden durch die Wahl eines Materials mit geringer Wärmeleitfähigkeit und der Querschnittreduktion der Konstruktion als Skelettbau gelöst. Nur die bereits erwähnte Verwendung von Stegträgern aus Holzwerkstoffen verringert die Transmissionswärmeverluste, auf Grund der zusätzlichen Reduktion des Querschnittes. Um die energetischen Aspekte des Bauteils genauer zu betrachten, müssen zudem die Wärmebrücken, Luftdichtheit und die verwendeten Dämmmaterialien der thermischen Gebäudehülle analysiert werden (86).

WÄRMEBRÜCKEN

Eine mehrschalige Holzständerkonstruktion bietet, im Bezug auf Wärmebrücken, Vorteile gegenüber einer massiven Bauweise. Durch die Minimierung der Holzquerschnitte und die Überdämmung der gesamten Konstruktion mit einer

80 mm mineralischen Faserdämmplatte, belaufen sich die Wärmebrückenverluste der Anschlüsse von Decken und Innenwänden nur auf 0,008 W/mK bis 0,033 W/mK (82).

LUFTDICHTHEIT

Die Lüftungswärmeverluste des Bauteils B/C belaufen sich auf 4,0 kWh/m²a. Der Anteil der Wärmeverluste durch Lüftung ist, wie Kapitel IV.1.7 erläutert, im Vergleich zu den Verlusten durch Transmission sehr gering. Im Bauteil B/C wurde ein Luftwechsel bei Luftdichtigkeitsprüfung von $n_{50} = 0,16$ 1/h ermittelt. Laut OIB Richtlinie 6 sind Werte bis $n_{50} = \leq 1,5$ 1/h zulässig. Die Anforderungen an die Luft- und Winddichtheit wurden somit erfüllt (81 S. 4)(10).

Durch die Vorfertigung der Leichtbauelemente im Werk, konnte die Dampfbremse mit verklebten Stößen, präzise zwischen den Gipsfaserplatten auf der Innenseite des Bauteils montiert werden. Eine Installationsebene, auf der Baustelle aufgebracht, schützt die Schicht vor Durchdringungen. Die raumhohen, zehn bis zwölf Meter langen Elemente, wurden auf der Baustelle luftdicht mit dem Massivbau verbunden. Dabei wurde die Dampfbremse teilweise über die Betelemente geführt, um einen dichten Anschluss zwischen Massiv- und Leichtbauelementen zu gewährleisten. Auch die Fenster wurden auf der Baustelle montiert. Bei diesem Anschluss muss auf einen exakten Einbau und dichte Anschlüsse geachtet werden. Alle transparenten Bauteile wurden, gemäß ÖN B5320, auf der Innenseite dampf- und luftdicht sowie auf der Außenseite diffusionsoffen und winddicht eingebaut. Der mittlere Luftwechsel bei einer Druckdifferenz von 50 Pa beträgt $n_{50} = 0,35$ 1/h (87) (81 S. 4)(84 S. 23)(76).

Abbildung IV-20 zeigt den Aufbau der Leichtbau-Außenhülle und die Anordnung der luftdichten Ebene. Abbildung IV-21 und Abbildung

IV-22 beschreiben die Führung der Dampfbremse beim Anschluss der Fassade an die massiven Stahlbetondecken, sowie die Trennwände der Wohnungen (auf Grundlage von (76)).

MATERIALWAHL DER DÄMMEBENE

Die verwendeten mineralischen Dämmmaterialien sind positiv zu bewerten. Gegenüber organisch-synthetischen Dämmstoffen ist vor allem der Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie geringer (siehe Abbildung III-18). Jedoch weisen natürliche Dämmstoffe, wie Zellulose oder ähnliche pflanzliche und tierische Fasern, bessere Ökobilanzwerte auf. Die Dämmebene zwischen der Holzständerkonstruktion kann durch eingeblasene Zelluloseflocken ersetzt werden. Die der Außenluft zugewandten Dämmschicht und die Dämmung der Vorsatzschalung kann durch organische Faserplatten, wie Hanf- oder Holzwollefasern ausgetauscht werden, sofern diese der Brandklasse B entsprechen.

IV.4.1.2

LEBENSENDE

Um eine recyclinggerechte Konstruktion zu gewährleisten, ist auf einen sortenreinen Rückbau der einzelnen Materialien zu achten. Vor allem im Bereich der mineralischen Fassadendämmplatte ist dies ein Problem. Durch die vollflächige Verklebung und den aufgetragenen Dünnputz kann dieser Bereich nicht ohne großen Aufwand sortenrein rückgebaut werden. Auch die an den Stößen verklebte Dampfbremse weist dieses Problem auf. Als Alternative zur Verklebung ist eine nur mechanische Befestigung vorzuziehen. Auch die Befestigung der Gipsfaserplatten ist mit leicht lösbaren Schraubverbindungen effektiver. Nachteile dieser Montage sind zum einen die erhöhten Wärmebrückenverluste, aufgrund der die Dämmebene durchdringenden Schrauben. Zudem sind ein hoher Montageaufwand und somit zusätzliche Kosten zu erwarten.

Bei sortenreinem Abbau der einzelnen Materialien sind die Mineralwolle-Dämmung und Gipsfaserplatten recyclebar und können dem Produktionsprozess wieder zugeführt werden. Holzwerkstoffe werden meist energetisch verwendet oder zu weiteren Holzprodukten down-cycled (65 S. 23)(87).

IV.4.2

STAHLBETON - INNENWAND

An die, in Abbildung IV-23 dargestellten Stahlbeton - Innenwand werden nur sehr geringe wärmedämmenden Anforderungen gestellt. Sie bildet jedoch meist die Brandabschnitte und sichern zudem die Lastabtragung und Aussteifung. Diese lastabtragenden Innenwände zwischen den einzelnen Wohnungen sowie dem Stiegenhaus und den Wohnungen sind in Stahlbeton-Massivbauweise gefertigt. Eine auf ein metallisches Profil montierte Gipskartonplatte bildet, die mit mineralischer Dämmung ausgefüllte Installationsebene.

IV.4.2.1

HERSTELLUNGSPHASE

Die hier verwendete Massivbauweise kann, zur Abtragung der vertikalen Lasten als Skelettbau ausgeführt werden. Dies ist jedoch aufgrund der zusätzlichen, aussteifenden Wirkung des Elementes nicht vorteilhaft. Einzig die tragenden Innenwände ohne aussteifende Eigenschaften können als Stützensystem ausgebildet werden. Durch die großen Drucklasten und die Brandschutzanforderungen bei tragenden Bauteilen ist eine Stahlbetonbauweise sinnvoll. Jedoch kann die Verwendung von Ökobeton mit geringem Anteil an Portlandzementklinkern (siehe Kapitel III.1.1.1) den Ressourcenverbrauch verringern. Diese Maßnahme ist jedoch mit erhöhten Kosten verbunden. Der Produktpreis einer Tonne Zement Slagstar - 42,5 N ist im Vergleich mit Zement 275 / CEM II/A-L 42,5 N, laut Hersteller-

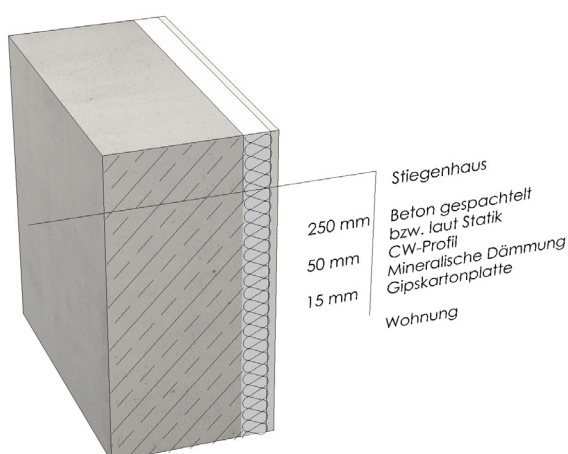


Abbildung IV-23: Aufbau der tragenden Innenwand (auf Grundlage von (76))

angaben, um 20,8 % erhöht. Zudem ist eine Hybridkonstruktion wie z.B. Holzleichtbeton-Platten mit massiven Stahlbetonelementen möglich. Dadurch reduziert sich der Materialverbrauch der massiven Wandelemente. Es kann sogar, bei einer geeigneten Bemessung der Holzleichtbeton-Elementen, auf die Dämmebene verzichtet werden. Jedoch müssen diese Elemente, um denselben U-Wert wie der Bestand zu erreichen, überdimensioniert werden. Zudem würde die Wandstärke um ca. 50 mm bis 100 mm ansteigen, wodurch sich die Nutzfläche verringert (88)(89).

IV.4.2.2

NUTZUNGSPHASE

Da dieses Element nicht an Außenluft grenzt, sind Aspekte wie Luftdichtheit oder Wärmebrücken nicht relevant. Auch die Ansprüche an den Wärmeschutz stellen, im Gegensatz zur Außenhülle, mit $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ keine Anforderungen an die Materialisierung der Tragkonstruktion. Die gedämmte Vorsatzschalung genügt um den Ansprüchen zu entsprechen. Die Wahl des Dämmmaterials ist, wie bereits in Kapitel IV.4.1.2 analysiert, positiv zu bewerten.

IV.4.2.3

LEBENSENDE

Der Abbruch von Stahlbeton als massiver, homogener Baustoff ist nur mit schwerem Gerät möglich. Durch den Abbruch kann der entstandene Schutt nur deponiert werden oder, wie Kapitel III.3.1 beschreibt, einem downcycling unterliegen. Durch eine Vorfertigung dieser Elemente, als Stahlbetonfertigteile, können diese einzelnen Tragelemente, analog zum Aufbau des Gebäudes, wieder rückgebaut werden. Die so wiedergewonnenen Elemente können dadurch wiederverwendet werden. Die Gipskartonplatten und das verwendete Stahl sind sortenrein abbaubar und stellen somit ein hohes Recyclingpo-

tential dar.

IV.4.3

STAHLBETON - GESCHOSSDECKEN

Auch an dieses, in Abbildung IV-23 dargestellte Bauteil werden nur bedingt thermischen Anforderungen gestellt. Jedoch muss die Statik und der Brandschutz besonders beachtet werden. Die Geschoßdecken setzen sich aus einer Stahlbetonrohdecke mit gebundener Schüttung und Trittschalldämmung zusammen. Eine PE-Folie liegt auf der Dämmung auf. Darüber befinden sich eine Estrich-Schicht und der Bodenbelag.

IV.4.3.1

HERSTELLUNGSPHASE

Die horizontalen Lasten werden bei diesem Bauteil durch die Scheibenwirkung, die vertikalen Lasten durch die Plattenwirkung der massiven Stahlbetondecke abgetragen. Wie im Fall der Stahlbeton - Innenwände, dienen diese Elemente auch der Brandabschnittsbildung. Es wäre möglich das System in eine Plattenbalkenkonstruktion umzuformen. Das Betonvolumen einer massiven Flachdecken steigt um über 61 % gegenüber einer Plattenbalkendecke. Die benötigte Plattenbalkenhöhe ist jedoch doppelt so hoch wie eine Flachdecke. Dies führt zu Problemen der Raumhöhe. Zudem ist der zusätzliche Schalungsaufwand kritisch zu bewerten. Eine weitere Optimierung wäre der Einsatz der, in Kapitel III.1.2.3.4 erläuterten, Holz-Holzleichtbeton-Beton-Verbunddecke. Um Spannweiten von über 6 m zu überspannen wird ein Aufbau von 6 cm Brettsperrholz, drei Lagen Holzleichtbetonplatten mit je 5 cm und eine Schicht 6 cm selbstverdichtender Beton, benötigt. Dieses Deckensystem müsste jedoch, laut OIB Richtlinie 2, geprüft werden, da das Tragelement aus brennbaren Materialien besteht. Eine Beplankung mit drei Lagen Gipskarton sichern die Branddauer F 90. Dieser Aufbau wurde in der Simulation des

Tragsystem, Konstruktion & Materialwahl

Bauteilanalyse

Pufferraumes (Kapitel IV.8) auf seine Speicherwirkung untersucht (90 S. 337).

Durch die Wahl eines Ökobetons, wie z.B. mit Slagstar Zement, verringert sich der Primärenergieverbrauch des Bauteils stark, ohne die tragende Konstruktion des Bauteils zu verändern. Dabei ist jedoch die erhöhten Kosten, wie bereits in Kapitel IV.7.2.1 erläutert, problematisch.

IV.4.3.2

NUTZUNGSPHASE

Da auch dieses Element nicht zum Abschluss der thermischen Hülle dient, sind Anforderungen an Luftdichtheit oder Wärmebrücken nicht wesentlich, solange diese wie bei der betrachteten Konstruktion nicht über Kalträumen liegen. An die wärmedämmenden Eigenschaften werden keinerlei Ansprüche gestellt, da dieses Element Räume innerhalb derselben Temperaturzone trennt. Jedoch ist die Bereitstellung der speicherfähigen Masse in diesem Tragelement wichtig um interne und externe Gewinne aufzunehmen. Dieser Aspekt wird in der Simulation der Pufferzone genauer analysiert.

IV.4.3.3

LEBENSSENDE

Vor allem die Recyclingfähigkeit des Aufbaus stellt ein Problem dar. Ein sortenreiner Abbau ist durch die gebundene Schüttung und den nass verlegten Estrich nicht oder nur sehr schwer möglich. Trockenestrich-Platten und lose Schüttungen lösen das Problem. Auch bei diesem Bauteil würde eine Elementbauweise die Wiederverwendung der Stahlbetonelemente ermöglichen.

Die Materialien sind im Bezug auf ihre Verwertung am Lebensende problematisch. Der Estrich, die gebundene Schüttung und die Decke aus Stahlbeton sind nur zum downcycling geeignet oder deponierbar. Dies gilt auch für die EPS-Tritt-

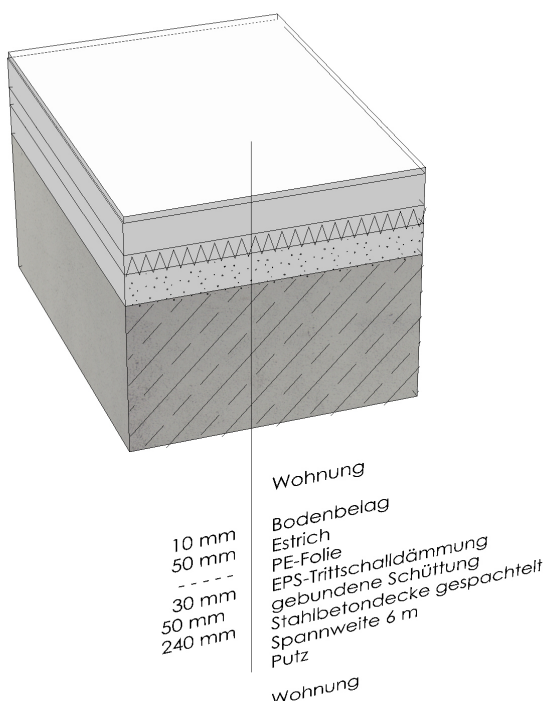


Abbildung IV-24: Aufbau einer Geschoßdecke (auf Grundlage von (76))

schalldämmung.

Während die tragende Struktur von einer Dauerhaftigkeit gekennzeichnet ist, werden Bodenbeläge, wie Kapitel III.2.2 erläutert, oft aus verschiedenen Gründen ausgetauscht. Der Deckenaufbau muss daher vor allem recyclinggerecht ausgeführt sein und aus Materialien mit wenig Ressourcen Inanspruchnahme bestehen.

IV.5

SCHLUSSFOLGERUNG

Bauplatz 5 des Projektes Eurogate von Johannes Kaufmann weist mit $13,0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ einen sehr günstigen Heizwärmebedarf auf und erfüllt damit die Kriterien des Passivhausstandards von maximal $15,0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. In Bezug auf die OIB Richtlinie 6 und somit der aktuellen europäischen Normung beträgt der Wert sogar nur ein Viertel des erlaubten Höchstwerts von $54,4 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Die U-Werte der Fenster und opaken Bauteile unterschreiten die von der Norm geforderten Höchstwerte meist massiv. Zudem entspricht das Hybridtragwerk durch die Verwendung erneuerbarer Ressourcen der künftigen Ausrichtung der EU in Richtung Ressourceneffizienz.

Zur Belichtung der Räume mussten auch nordseitig sehr große Anteile der Hüllfläche verglast werden, was aus energetischer Sicht nicht sinnvoll ist. Die Ausrichtung des Gebäudes und der verglasten Flächen sowie die thermische Zonierung wird vom Masterplan mit seinen städtebaulichen Gegebenheiten sowie architektonischen und funktionalen Anforderungen der Typologie bestimmt.

Die Gesamtkonstruktion des Bauwerkes wurde in eine vorgefertigte Holzleichtbau-Außenhülle und eine innere Stahlbeton-Tragkonstruktion aufgeteilt. Die Ansprüche der einzelnen Elemente wurden berücksichtigt und die Materialwahl der einzelnen Komponenten auf ihre spe-

zifischen Funktionen zugeschnitten. So wurde das statische System der Außenwand – Leichtbauelemente – in eine Holzständerkonstruktion aufgespalten, wobei statisch hochbelasteten Bereichen die Außenhülle zudem massiv als Stahlbeton-Elemente, ausgeführt wurde. Die Innenwände, welche zur Bildung der Brandabschnitte und zur Aussteifung des Gebäudes benötigt werden, sind in Stahlbeton-Bauweise an ihre Ansprüche angepasst. Um einen hohen Anteil speicherfähiger Masse in thermisch sehr beanspruchten Bereichen der Pufferzonen zu gewährleisten, wurden auch die Wände zwischen Pufferzone und Innenraum in massiver Stahlbeton-Bauweise ausgeführt.

Zudem ermöglicht die Trennung in Außenhülle und statisch relevante Innenbauteile eine schnelle Verwertung am Lebenszyklusende, da die einzelnen Elemente unabhängig voneinander ausgetauscht oder rückgebaut werden können. Einzig eine Vorfertigung der Stahlbeton-Elemente als Stahlbetonfertigteile würde die Verwertung erleichtern, da der Abbruch von Stahlbeton als massiver, homogener Baustoff nur mit schwerem Gerät möglich ist und der entstandene Schutt nur deponiert werden kann oder einem downcycling unterliegt.

Die Materialisierung der Leichtbaukonstruktion aus Vollholz ist aufgrund der guten Druck- und Biegefestigkeit effizient gelöst. Die Wahl des Konstruktionsmaterials ist zudem, in Bezug auf die geringe materialspezifische Wärmeleitfähigkeit, in Hinblick auf den U-Wert und die Wärmebrückenreduktion der Konstruktion geeignet und dient somit auch zur Erfüllung der energetischen Anforderungen. Die verwendete massive Stahlbeton-Bauweise der tragenden Innenwände und Decken kann zur Abtragung der vertikalen Lasten als Skelettbau bzw. Plattenbalkenkonstruktion ausgeführt werden. Dies ist jedoch aufgrund der zusätzlichen, aussteifenden Wirkung des Elementes nicht vorteilhaft.

Das verwendete Holz der Außenhülle stellt als erneuerbare Ressource eine Alternative zu mineralischen Werkstoffen dar. Obwohl der Einsatz der Stahlbeton-Elemente an die Anforderungen der Bauteile angepasst ist, würde die Verwendung von Ökobeton mit einem geringen Anteil an Portlandzementklinkern den Ressourcenverbrauch verringern. Die verwendeten mineralischen Dämmmaterialien sind positiv zu bewerten. Gegenüber organisch-synthetischen Dämmstoffen ist vor allem der Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie geringer. Jedoch weisen natürliche Dämmstoffe, wie Zellulose oder ähnliche pflanzliche und tierische Fasern bessere Ökobilanzwerte auf. Der sortenreine Abbau der Konstruktion ist teilweise durch nicht lösbare Verklebungen problematisch. Vor allem die Fasadendämmplatten und der Bodenaufbau sind nicht recyclinggerecht konstruiert.

Der Werkstoff Holz weist im Vergleich zu anderen üblichen Baustoffen, wie Stahlbeton, erhöhte Materialkosten auf und ist zudem, aufgrund der Brandschutzanforderungen im mehrgeschossigen Wohnbau, problematisch. Das Projekt zeigt, dass die Verwendung dieses Material durch eine geeignete Planung wirtschaftlich realisierbar ist. Obwohl Optimierungsmöglichkeiten der Materialisierung und Konstruktion die Ressourceneffizienz des Gebäudes steigern würden, sind diese meist mit erhöhten Materialkosten und zusätzlichem Planungs-, Herstellungs- und Montageaufwand verbunden und stehen somit nicht in Relation mit den wirtschaftlichen Ansprüchen der Wiener Wohnbauförderung.

IV.6

SIMULATION

Im Bauteil B/C wurden die Wohnungen der Obergeschosse mit je einer Loggia versehen. Diese sind teilweise durch Stegplatten-Elemente verschließbar. Die durchgesteckten Wohnungen des Nord-Süd ausgerichteten Flügels, werden

durch diese Zwischenzonen betreten. Architektonisch soll dadurch eine Trennung des privaten und des öffentlichen Raumes gebildet werden. Neben den sozialen Aspekten fungiert dieser Übergangsraum durch den Raumabschluss, als solare Pufferzonen.

Aus energetischer Sicht, können diese Zwischenzonen zur Senkung des Heizwärmebedarfs des angrenzenden Wohnraumes beitragen. Durch die passive solare Erwärmung des Raumes verringern sich die Transmissionswärmeverluste zwischen dem Innenraum und der Pufferzone. Zudem kann die erwärmte Innenluft zur Konditionierung des Wohnraumes beitragen und somit die Lüftungswärmeverluste reduzieren.

Problematisch sind diese Zonen vor allem durch erhöhte Temperaturen in den Sommermonaten. Durch die komplette Öffnung der Stegplatten-Elemente wird diesem Problem entgegen gewirkt, wobei dadurch der Raum als Außenraum anzusehen ist. Wie schon in Kapitel III.2.1.2.2 analysiert, wird durch den Einsatz speicherfähiger Materialien und einer Nachtlüftung der Komfort des Raumes verbessert.

Um die Frage nach Auswirkungen und thermischen Eigenschaften solcher Pufferräume entsprechend beantworten zu können, wurde eine Simulation mit dem thermischen Gebäudesimulationsprogramm GEBA durchgeführt (92).

Ausgehend von dem Bestand wurden weitere Konstruktionsvarianten des Pufferraumes untersucht und deren Einfluss auf die sich einstellenden Innentemperaturen und dem Heizwärmebedarf aufgezeigt.

IV.6.1

FRAGESTELLUNG

Im Zuge dieser Arbeit wird der in Abbildung IV-26 dargestellte Wohnraum mit angeschlossener



Abbildung IV-25: offene und geschlossene Pufferzonen

Simulation

Fragestellung

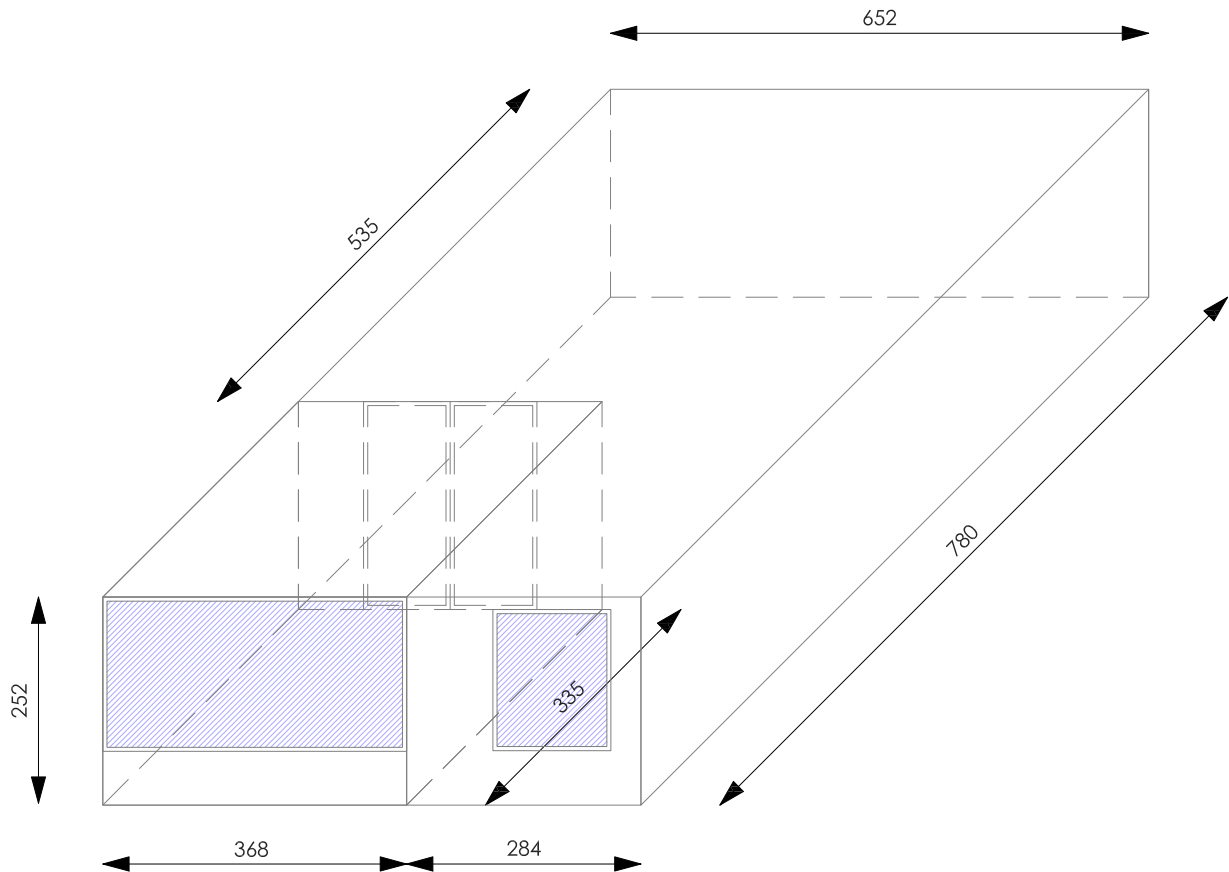


Abbildung IV-26: Analysierter Wohnraum

Holzleichtbeton

Holzleichtbeton ist ein klassisches Verbundmaterial aus mineralischen Bindemittel und Holzspäne oder Holzwole. Trotz großer Forschungsarbeiten in diesem Themengebiet wird das Material eher auf seine wärmedämmenden und akustischen Eigenschaften reduziert. Einige Forschungsarbeiten beschäftigen sich jedoch mit weiteren Einsatzmöglichkeiten. Das Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau (ITI) der Technischen Universität Wien untersucht Hybriddecken mit Holzleichtbeton als Zwischenlage. Fassadenelemente mit Holzleichtbeton, in Zusammenhang mit thermi-

schen passiven und aktiven Eigenschaften, werden vom Lehrstuhl für Gebäudetechnologie der Technischen Universität München erforscht (69)(91).

Anhand der Rohdichte wird das Material in Holzspanbeton, Holzwoleleichtbeton und zementgebundene Spanplatten unterteilt. Die unterschiedlichen Rohdichten ergeben sich aus der Größe des Zuschlags. Holzwoleleichtbauplatten, mit Holzwole, zementgebundene Spanplatten mit feiner Holzspäne und Holzspanbeton mit groben Spänen als Zuschlag. Die Rohdichte bestimmt auch maßgeblich die Druckfestigkeit des Materials (93)(51).

Pufferzone thermisch simuliert. Als zu überprüfende Annahme wird zugrunde gelegt, dass der unbeheizte Pufferraum als Erweiterung des Wohnraums genützt werden kann. Zudem wird der Heizwärmebedarf des Wohnraums gesenkt. Um diese Annahmen zu überprüfen werden zwei Fragestellungen mit Hilfe des Simulationsprogrammes GEBA beantwortet. Damit die Pufferzone als Erweiterung des Wohnraumes genutzt werden kann, muss geklärt werden, welche Temperaturen sich in dem Raum einstellen. Zudem muss die konkrete Auswirkung der Pufferzone auf den Heizwärmebedarf geklärt werden.

Zur Beantwortung dieser Fragen werden verschiedene Aufbauten der Umschließungsflächen der Pufferzone miteinander verglichen. Diese sind als leicht-, massiv- und als mittelschwer speichernde Bauweise ausgeführt. Diese Aufbauten werden bei geschlossenem und geöffnetem Stegplatten-Fenster simuliert.

Das Ziel der Untersuchung ist die Abklärung, welche der untersuchten Bauweisen in Bezug auf den Raumkomfort und auf den Heizwärmebedarf am effektivsten ist.

IV.6.2

VARIATIONEN

Zur konkreten Beantwortung der erwähnten Fragestellung werden 24 verschiedene Variationen berechnet. Diese ergeben sich aus dem Aufbauvariationen der verschiedenen Bauweisen, der Berechnung an vier aussagekräftigen Tagen im Jahr, sowie des offenen und geschlossenen Stegplatten-Elementes.

IV.6.3

AUFBAUVARIATIONEN

Drei verschiedene Aufbauvariationen der, in Abbildung IV-28 dargestellten Umschließungsflächen der Pufferzone aus leichtspeichernder, mit-

Speicherfähigkeit der Aufbauten

Variante 01
schwer speichernde Masse

Variante 02
mittelschwer speichernde Masse

Variante 03
leicht speichernde Masse

Aussagekräftige Tage

15. Januar
Winter

15. April
Frühling

15. Juli
Sommer

15. Oktober
Herbst

Verlauf der thermischen Hülle

geschlossenes
Stegplatten-Element

offenes
Stegplatten-Element

Abbildung IV-27: Variationen

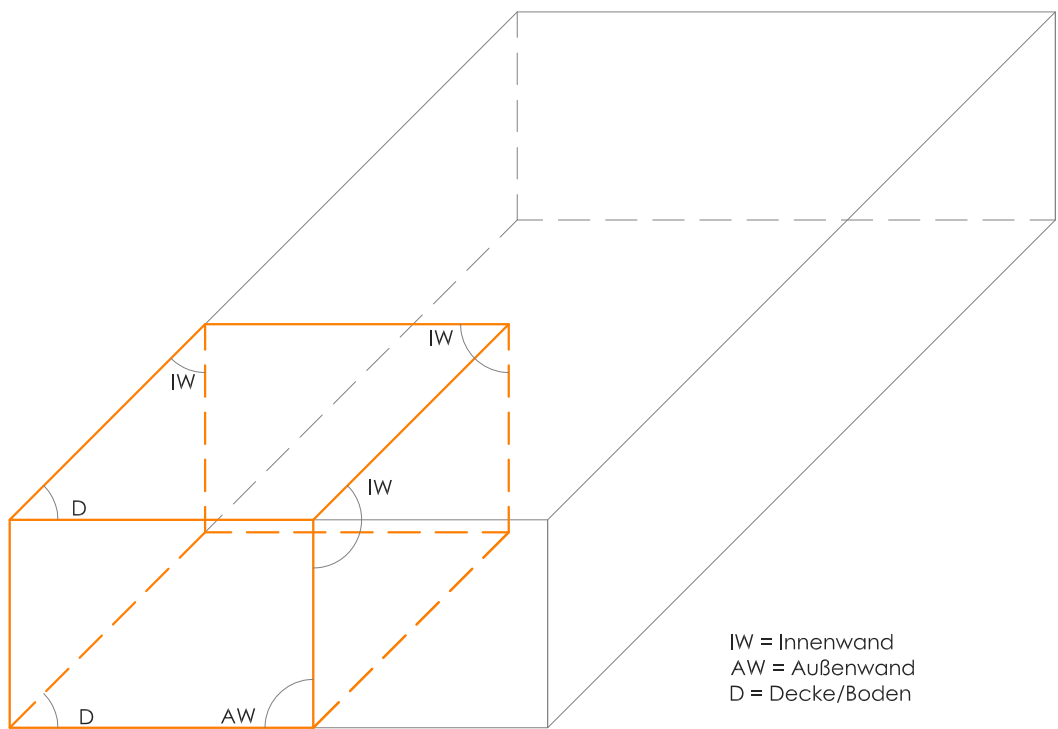


Abbildung IV-28: Umschließungsflächen der Pufferzonen

telschwerspeichernder und schwer speichernder Masse werden als Variationen gerechnet. Dabei soll nicht nur der Einfluss des spezifischen Aufbaus beurteilt werden, sondern die Auswirkungen verschiedener speicherfähiger Massen im Allgemeinen. Abbildung V-4 bis V-6 zeigen die verschiedenen Aufbauten und Kennwerte der Bauweisen.

IV.6.4

AUSSAGEKRÄFTIGE TAGE

Laut ÖNORM B 8110-3 wird die sommerliche Überhitzung mit den klimatischen Bedingungen des 15. Juli berechnet. Ausgehend von diesem Tag, werden drei weitere Tage, alle drei Monate in die Variationen, als aussagekräftige Tage des Frühlings gilt der 15. April, des Herbst der 15. Oktober und des Winters der 15. Januar, aufgenommen. Im Gegensatz zu der Überprüfung der sommerlichen Überhitzung eines Raumes wird in diesem Fall aber nicht die Normaußentemperatur sondern die Monatsmitteltemperatur für den Sommerfall angewendet.

IV.6.5

THERMISCHER GEBÄUDEABSCHLUSSES

Da die, in Abbildung IV-31 gezeigten Stegplatten-Elemente zur Gänze, durch Aufklappen an die Unterseite der Decke zu öffnen sind, gilt die Pufferzone im geöffneten Zustand als Außenraum. Vor allem in den Sommermonaten ist dies eine Maßnahme zur Vermeidung von zu hohen Innenraumtemperaturen in der Pufferzone. Um die Auswirkungen des Verlaufs der thermischen Hülle einzubeziehen, wurden die geöffneten bzw. geschlossenen Stegplattenelemente in die Variationen einbezogen. Bei geschlossenem Zustand könnte der Pufferraum als „Innenraum“ angesehen werden, tatsächlich sind jedoch auch in diesem Fall die Trennbauteile zwischen den zwei Zonen Pufferraum und Wohnraum als thermische Grenze anzusehen, da diese im Ge-

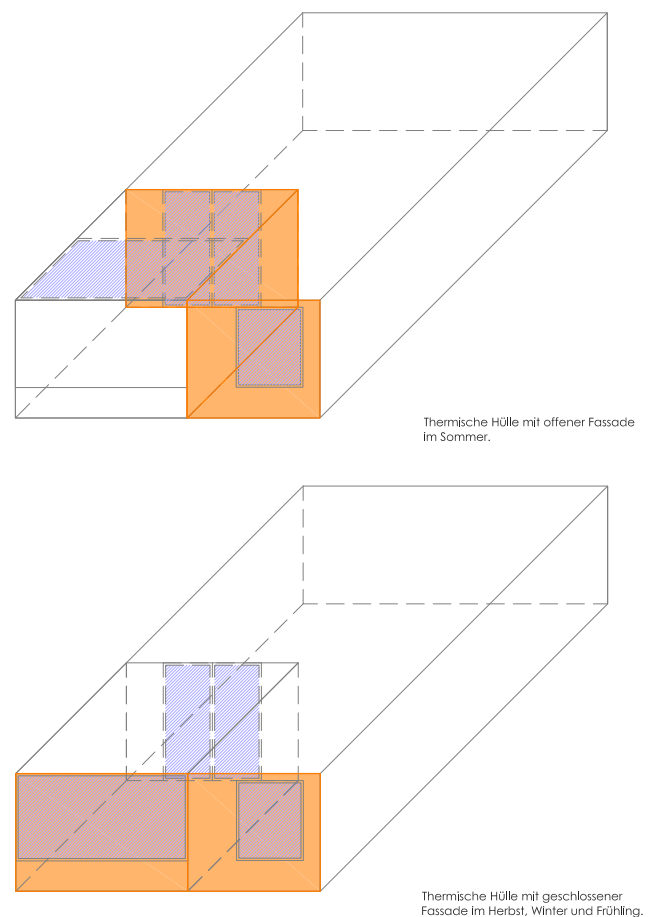


Abbildung IV-31: Verlauf der thermischen Hülle

Simulation

Thermischer Gebäudeabschluss

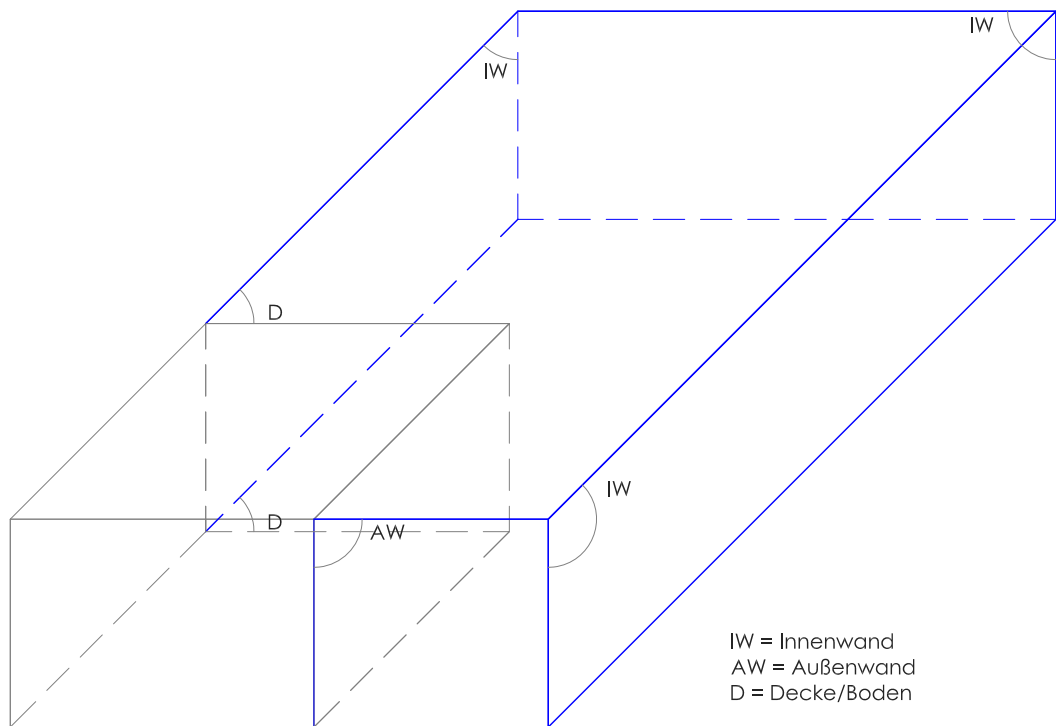


Abbildung IV-32: Umschließungsflächen des Wohnraumes

gensatz zu der Brüstung und der Stegplatte die entsprechenden Wärmedurchgangswiderstände aufweisen.

IV.6.6

RANDBEDINGUNGEN

IV.6.6.1

GRUNDRISS UND AUFBAUTEN

Als Randbedingungen der Simulation wurde der Wohnraum eines einseitig belüfteten Wohnungstypen mit Süd-West-Ausrichtung gewählt. Aufgrund der hohen externen Wärmegewinne, infolge der Ausrichtung und aus Mangel an einer Querdurchlüftung sind in dieser Pufferzone hohe Raumtemperaturen zu erwarten. Die, in Abbildung IV-32 gezeigten Umschließungsflächen des Wohnraumes bleiben bei allen Simulationsvarianten konstant. Dies gilt auch für die Größe und Qualität der verglasten Flächen. In Abbildung V-3 sind die verschiedenen Aufbauten des Wohnraumes aufgelistet.

Die Fenster werden gleich den Umschließungsflächen des Wohnraumes in allen Varianten unverändert belassen. Jedoch weist das Bauteil B/C im Bereich des Fensters zwischen Wohn- und Außenraum einen opaken Sonnenschutz auf. Dieser wird in der Simulation des 15. Juli ganztäglich einbezogen. Zur natürlichen Belichtung des Raumes dient die großflächige Verglasung der Loggia.

Zudem wird die Durchstrahlung durch die Loggia und die Verglasung zwischen Pufferraum und Wohnraum in die Berechnungen einbezogen.

IV.6.6.2

INNERE LASTEN

Die angenommenen inneren Lasten sind der Tabelle IV-6 zu entnehmen. Da sich die ÖNORM B 8110-3 auf die Wärmeleistung einer durchschnitt-



Abbildung IV-33: opaker Sonnenschutz des Außenfensters

Simulation

Randbedingungen

Tageszeit	Wärmeleistung	
	Geräte [W]	Personen [W]
22:00 bis 7:00	0,00	0,00
07:00 bis 08:00	40	90
08:00 bis 09:00	40	90
09:00 bis 10:00	40	90
10:00 bis 11:00	40	90
11:00 bis 12:00	40	90
12:00 bis 13:00	40	90
13:00 bis 14:00	40	90
14:00 bis 15:00	40	90
15:00 bis 16:00	40	90
16:00 bis 17:00	40	90
17:00 bis 18:00	100	90
18:00 bis 19:00	100	180
19:00 bis 20:00	100	180
20:00 bis 21:00	100	180
21:00 bis 22:00	100	180

Tabelle IV-6: Angenommene innere Lasten des Wohnraumes [W/m²] (94)

lichen Wohnung bezieht, also aller Zimmer, wird die Wärmeleistung zur Nachtzeit in der Simulation nicht beachtet. Dies liegt der Überlegung zugrunde, dass es sich bei dem betrachteten Räumen nicht um Schlafräume handelt. Zudem wird angenommen, dass der Wohnraum von zwei Personen benützt wird. Zwischen 07:00- - 18:00 Uhr wird nur eine Person angenommen. Für die Pufferzone werden keine internen Wärmeleistungen angenommen, da keine wärmeproduzierenden Geräte und nur selten Personen in dieser Zone anzunehmen sind.

IV.6.6.3

LUFTWECHSEL

Der Luftwechsel orientiert sich zudem an der ÖNORM B 8110 - 3. Für die Messungen im April, Juli und Oktober wird der maximal zulässige Luftwechsel von 1,5 1/h, bei der Verwendung einer raumluftechnischen Anlage, angenommen. Für die Simulation des Winters wird im Wohnraum der maximal zulässige Luftwechsel von 0,4 1/h und im Pufferraum von 0,5 1/h vorgegeben (94).

IV.6.6.4

KLIMATISCHE GEGEBENHEITEN

Als klimatische Bedingungen wurde der Standort des Analyseprojektes im dritten Wiener Gemeindebezirk gewählt. Da die Fragestellung der Simulation auf die allgemeine Nutzbarkeit des Raumes im Jahresverlauf und somit seiner operativen Temperaturen bezieht, werden Tagesmittelwerte und durchschnittliche Schwankungen als Temperaturwerte angenommen. Es wird nicht von Höchsttemperaturen ausgegangen.

IV.6.7

AUSWERTUNG

IV.6.7.1

WOHNRAUMERWEITERUNG

Um die Frage zu klären, ob der Pufferraum als Wohnraumerweiterung dient, müssen die sich einstellenden operativen Temperaturen über den Tagesverlauf analysiert werden. Als Parameter wird die geschlossene Hülle an den aussagekräftigen Tagen im Januar, April und Oktober angenommen. Zudem wird der Wohnraum in diesen Monaten beheizt, was Auswirkungen auf die Temperaturen der Pufferzone mit sich bringt.

IV.6.7.1.1

15. JANUAR

Der sich einstellende Mittelwert der operativen Temperatur liegt bei Variante 01, mit 7,5 °C am niedrigsten. Bei Variante 03 stellt sich ein Mittelwert mit 9,9 °C ein. Die höchsten gemittelten Temperaturen werden von Variante 02, mit einem Wert von 10,5°C, erreicht. Die Schwankungen der operativen Temperatur innerhalb des Tagesverlaufs, fallen in den Varianten sehr unterschiedlich aus. Die niedrigste Schwankung mit 2,4 °C weist Variante 01 auf. Variante 02 zeigt Schwankungen von 4,0 °C auf, während sich bei Variante 03 die höchsten Schwankungen innerhalb des Tagesverlaufs mit 6,3 °C einstellen. Die Maximaltemperaturen liegen im Bereich von 9,0°C bis 13,7 °C. In keiner der drei betrachteten Varianten werden somit Temperaturen gewähr-

	Januar	April	Juli	Oktober
Monatsmitteltemperatur	1,23 °C	11,93 °C	22,02 °C	11,72 °C
Mittlere monatliche Tagesgänge	2,14 K	6,68 K	7,05 K	4,84 K

Tabelle IV-7: Monatsmitteltemperatur und mittlere monatliche Tagesgänge der Lufttemperatur in Wien

Simulation

Auswertung

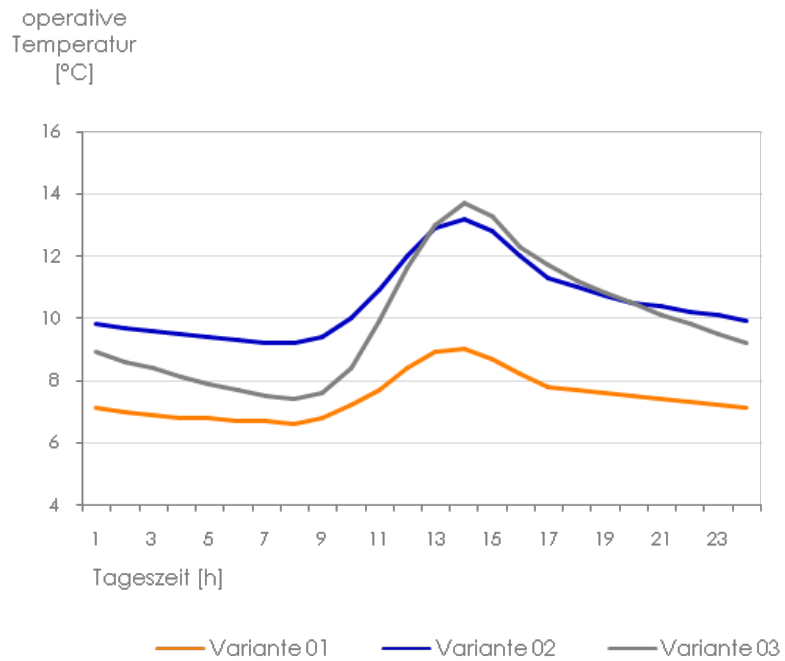


Abbildung IV-34: Vergleich der operativen Temperaturen [°C] im Tagesverlauf der Varianten am 15. Januar

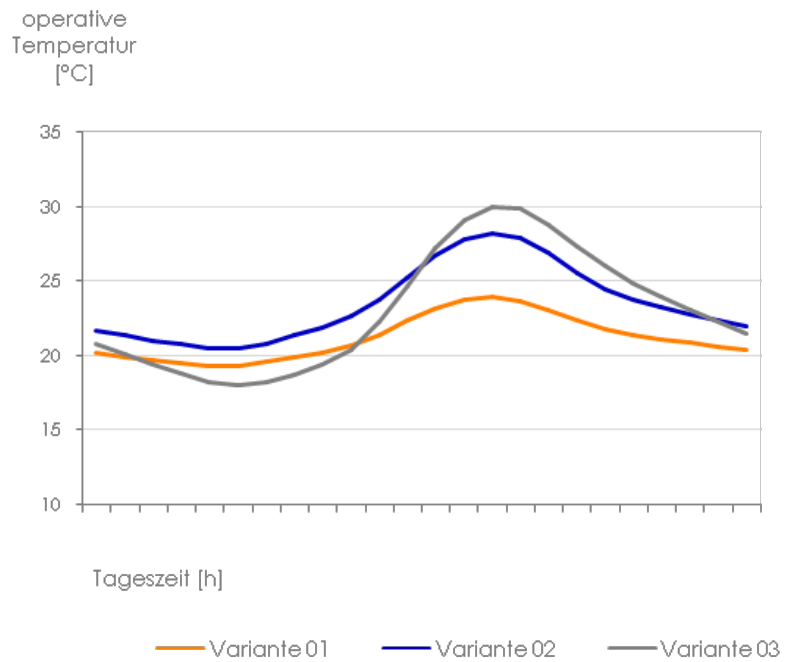


Abbildung IV-35: Vergleich der operativen Temperaturen [°C] im Tagesverlauf der Varianten am 15. April

leistet, welche die Pufferzone am 15. Januar als Wohnraumerweiterung ansehen lässt.

IV.6.7.1.2

15. APRIL

Die simulierten Temperaturen am 15. April zeigen im Mittelwert geringere Differenzen zwischen den Varianten. Variante 01 weist den niedrigsten Mittelwert der Temperatur mit 21,2°C auf. Variante 02 zeigt einen Mittelwert von 23,5 °C und Variante 03 von 23°C. Die Temperaturschwankungen über den Tagesverlauf sind sehr unterschiedlich. Variante 01 besitzt die geringsten Schwankungen mit 4,7 °C. Der Temperaturverlauf in Variante 02 bewegt sich im Bereich von 7,7 °C und in Variante 03 bei 12,0° C. Variante 02 und 03 liegen mit 28,2 °C und 30,0 °C über der, laut OIB Richtlinie 6, geforderten Höchsttemperatur von 27 °C. Somit ist in diesen Varianten der sommerliche Überhitzungsschutz nicht gewährleistet. Die niedrigsten Temperaturen weist Variante 03 mit 18,0 °C auf. Variante 02 zeigt die höchsten Niedrigsttemperaturen mit 20,5 °C und Variante 01 liegt mit 19,3 °C dazwischen.

IV.6.7.1.3

15. JULI

Bei geschlossenem Stegplatten-Element werden in allen Varianten operative Temperaturen des Minimums, der Mittelwerte und des Maximums von über 27 °C erreicht. Die niedrigsten Maximalwerte werden von Variante 01 mit 33,7°C erreicht. In Variante 02 stellen sich Werte von 37,3 °C und in Variante 03 von 39,1 °C ein. Die Schwankungen im Tagesverlauf variieren von 4,5°C bei Variante 01, bis 7,4 °C bei Variante 02 und 11,4 °C bei Variante 03. Selbst die niedrigsten Temperaturen, bei Variante 03 mit 27,7 °C, überschreiten die der ÖNORM B 8110-3 geforderten 27 °C.

Aus diesem Grund wird im Juli von einem geöff-

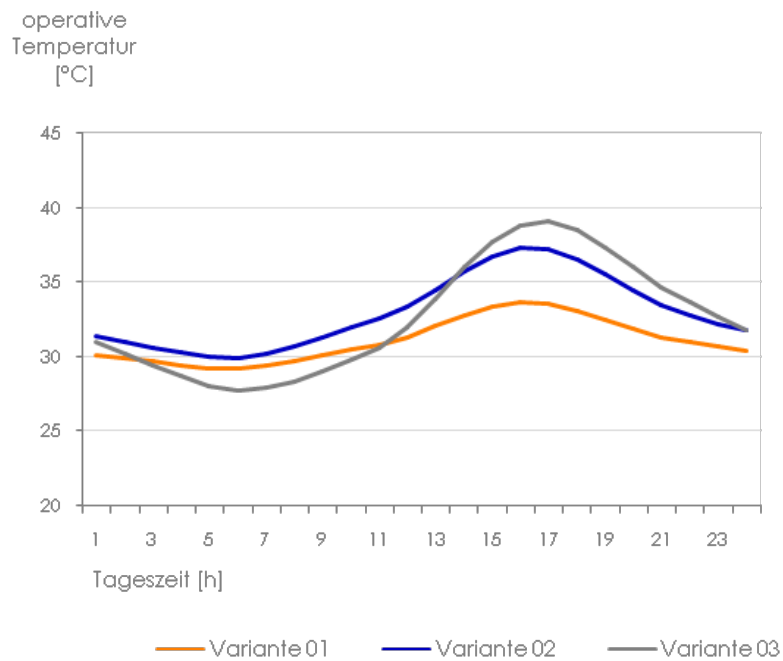


Abbildung IV-36: Vergleich der operativen Temperaturen [°C] im Tagesverlauf der Varianten am 15. Juli

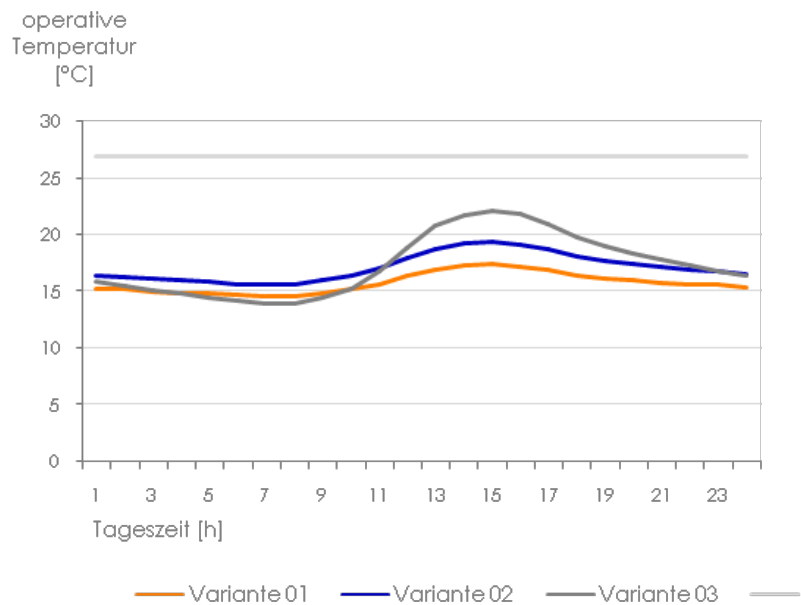


Abbildung IV-37: Vergleich der Temperaturen [°C] im Tagesverlauf der Varianten im Herbst

neten Stegplattenelement ausgegangen. Da die thermische Hülle die Pufferzone damit nicht einschließt, stellen sich in dieser die gleichen Temperaturen wie die der Außenluft ein. Daher weisen alle drei Variationen dieselben Temperaturen auf und werden nicht in der Analyse der Wohnraumerweiterung einbezogen.

Anzumerken ist zudem, dass sich trotz geschlossenen Stegplatten-Element im Wohnraum keine Temperaturen von über 27 °C einstellen. Die Maximalwerte variieren sehr gering im Wert zwischen 2,6 °C der Variante 01, 24,9 °C der Variante 02 und 24,8 °C der Variante 03. Der sommerliche Überhitzungsschutz des Wohnraumes ist in allen drei Varianten gewährleistet.

IV.6.7.1.4

15. OKTOBER

Die Analyse der Mittelwerte und Höchsttemperaturen zeigt im Oktober ähnliche Ergebnisse wie die Analyse des 15. April. Jedoch sind die Temperaturen generell niedriger, wodurch es zu keiner sommerlichen Überhitzung, mit Temperaturen über 27°, kommt. Die niedrigsten Temperaturen des Mittelwertes mit 18,1°C weist Variante 01 auf. Variante 02 zeigt mit 19,8 °C höhere Temperaturen wie Variante 03 mit 19,6 °C. Die Tagesschwankungen sind, wie in den vorher gegangenen Analysen, bei Variante 03 mit 9,4°C, am höchsten. Die niedrigsten Schwankungen weist Variante 01 mit 3,7 °C auf. Variante 02 zeigt Schwankungen im Tagesverlauf von 6,2 °C. Die höchsten Temperaturen werden in diesem Monat von Variante 03 mit 25,1 °C erreicht. Variante 01 zeigt Höchsttemperaturen von 20,4 °C und Variante 02 von 23,7 °C. Die höchsten Niedrigsttemperaturen weist wiederum Variante 02 mit 17,5 °C, Variante 03 die niedrigsten Temperaturen von 15,7 °C und Variante 01 von 16,7 °C auf.

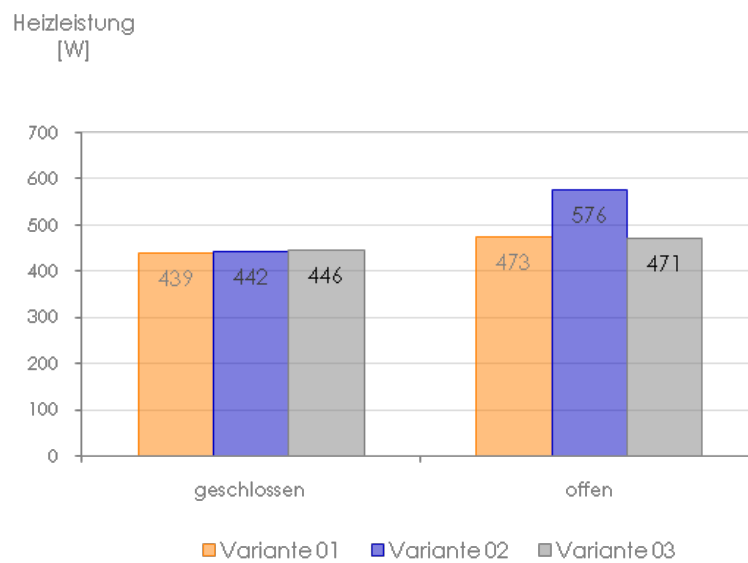


Abbildung IV-38: Heizleistung [W] der Variationen in Abhängigkeit des Verlaufs der thermischen Hülle

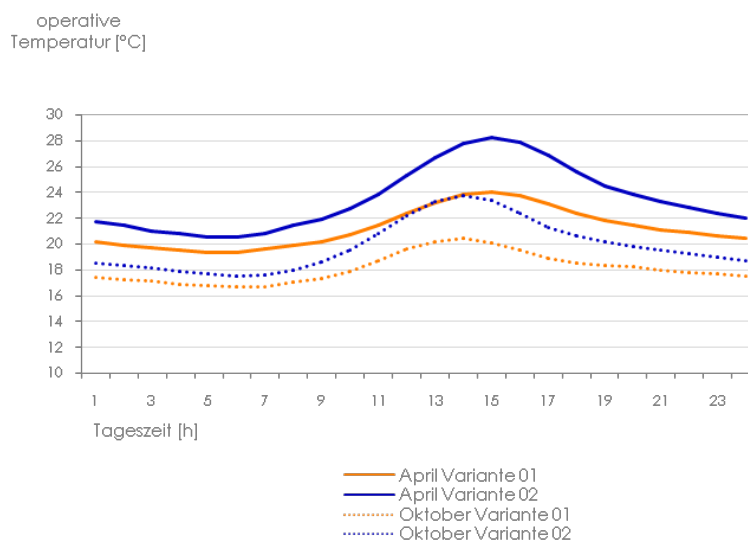


Abbildung IV-39: Vergleich der Temperaturen [°C] im Tagesverlauf der Varianten 01 und 02 im Frühling und Herbst

IV.6.7.2

HEIZWÄRMEBEDARF

Betrachtet man die, durch die drei Varianten verursachten Heizleistung, ist vordergründig der geringe Unterschied zwischen den Varianten bei geschlossenem Zustand des Stegplatten-Elementes zu erkennen. Variante 01 verursacht eine Heizleistung von 429 W, Variante 02 von 442W und Variante 03 von 446 W. Bei geöffnetem Stegplatten-Element wird die niedrigste Leistung von Variante 03 mit 471 W hervorgerufen. Variante 03 verursacht einen Bedarf von 473 W und Variante 02 von 576 W.

Vergleicht man die verursachte Heizleistung der unterschiedlichen Verläufe der thermischen Gebäudehülle ist eine Differenz zwischen niedrigster Leitung der Variante 01 bei geschlossenen und geöffnetem Stegplatten-Element von nur 34 W zu erkennen. Diese Differenz beträgt bei Variante 02 134 W und bei Variante 03 25 W.

IV.6.7.3

SCHLUSSFOLGERUNG

Im Bezug auf die Nutzung des Pufferraumes als Wohnraumerweiterung lässt sich feststellen, dass sich die Temperaturen am 15. Januar mit maximal 13,7 °C der Variante 03 nicht in einem Bereich befinden, welche die Pufferzone als eine Erweiterung des Wohnraumes zulassen würden. Die sich in dieser Jahreszeit einstellenden Temperaturen wirken sich jedoch auf die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste aus.

Die mittelschwer speichernde Variante 02 und die Leichtbauvariant 03 weisen am 15. April Temperaturen von über 27 °C auf. Damit ist der sommerliche Überhitzungsschutz laut ÖNORM B 8110-3 nicht gewährleistet. Dies ist auch in allen drei Varianten der Berechnung des 15. Juli der Fall. Es lässt sich feststellen, dass einzig Variante 01, im Rahmen der Randbedingungen eine Er-

weiterung des Wohnraumes darstellt.

Zu allen berechneten Tagen zeigen sich ähnliche Ergebnisse. Die Schwankungen innerhalb des Tagesverlaufes steigen von Variante 01 bis Variante 03 an. Dies liegt den unterschiedlichen Wärmespeichervermögen der Varianten zugrunde. Auch die Maximaltemperaturen steigen von Variante 01 bis Variante 03 an. Die Minimalwerte sind von Variante 01, Variante 03 und Variante 02 gestaffelt, wobei Variante 02 immer die höchsten Minimalwerte aufzeigt.

Variante 03 zeigt, durch die hohen Temperaturschwankungen, immer die höchsten Maximalwerte, wodurch es leicht zu einer Überhitzung des Raumes kommt. Zudem verursacht diese Variante die niedrigsten Minimalwerte. Das Speichervermögen der Leichtbauweise reicht somit nicht aus, um für ausgeglichene Temperaturen zu sorgen.

Mit einem Vergleich der Varianten 01 und 02 lassen sich Rückschlüsse auf den effektiveren Aufbau, im Bezug auf den Pufferraum als Wohnraumerweiterung, ziehen. Wie Abbildung IV 38 zeigt, weisen beide Varianten geringe Schwankungen der operativen Temperatur im Tagesverlauf auf. Deutlich zu erkennen ist zudem, dass die Tageshöchstwerte der Variante 02 zu beiden Simulationszeitpunkten über denen der Variante 01 liegen. Dadurch ist der sommerliche Überhitzungsschutz am 15. April nicht gegeben. Variante 01 bewerkstelligt in diesem Monat eine operative Temperatur von 9:00 bis 24:00 von über 20 °C und unter 27 °C. Dadurch ist der Pufferraum als Wohnraumerweiterung anzusehen. Im Oktober werden bei dieser Variante jedoch nur an drei Stunden am Tag Temperaturen von 21,1 °C bis 21,4 °C erreicht. Diese Zeitspanne verläuft bei Variante 02 von 11:00 bis 19:00 Uhr und ermöglicht somit eine Wohnraumerweiterung tagsüber.

Um unerwünschte Temperaturen über 27 °C zu

Simulation

Schlussfolgerung

	Variante 01	Variante 02	Variante 03
Außenwand (AW)	4,13 W/m ² K	0,90 W/m ² K	0,58 W/m ² K
Innenwand (IW)	0,15 W/m ² K	0,23 W/m ² K	0,17 W/m ² K
Decke (D)	2,57 W/m ² K	0,42 W/m ² K	0,32 W/m ² K

Tabelle IV-9: Vergleich der U-Werte der Varianten

vermeiden, muss eine Materialkombination gewählt werden, dessen Speicherfähigkeit zwischen der von Variante 01 und 02 liegt. Dies kann durch ein geeignetes Hybridtragwerk der beiden Aufbauvariantionen geschehen. Eine Kombination der Außenwand der Variante 01 und der Innenwand der Variante 02 stellt somit einen weiteren Untersuchungsschritt dar. Zudem können die Aufbauten der Varianten modifiziert werden. Eine Erhöhung der Speicherfähigkeit des Holzleichtbetons der Variante 02 durch latente Wärmespeicher ist ein weiterer Forschungsansatz.

Vergleicht man die Varianten, hinsichtlich der Heizleistung bei geschlossenem Stegplatten-Element zeigt sich, dass Variante 01 die niedrigsten Heizleistung aufweist. Etwas erhöht liegt Variante 02 und darüber Variante 03. Die Unterschiede sind jedoch mit maximal 7 W zu vernachlässigen und liegen den geringfügig unterschiedlichen Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenwände zugrunde. Diese Differenz ist bei geöffnetem Stegplatten-Element höher, was aber wiederum mit dem Aufbau der Innenwände und deren U-Wert zu begründen ist. In Abbildung V 6 sind die Aufbauten und ihre U-Werte aufgelistet.

Schlussfolgernd lässt sich erkennen, dass der Pufferaum wenig Einfluss auf die Heizleistung im Winterfall aufzeigt. Der U-Wert der Innenwand ist der ausschlaggebende Faktor. Weitere Untersuchungen bezüglich des Einflusses bei einem niedrigeren U-Wert der Außenhülle, sind weitere Forschungsansätze.

Anhang

V.1

WÄRMEDURCHGANG DURCH BAUTEILE

Wärmedurchgangskoeffizient [W/m ² K]			
Bauteil		U-Wert [W/m ² K]	
Wände	gegen Außenluft	U = 0,35	
	gegen unbeheizte oder nicht ausgebaute Dachräume	U = 0,35	
	gegen unbeheizte, frostfrei zu haltende Gebäudeteile (ausgenommen Dachräume) sowie gegen Garagen	U = 0,60	
	erdberührt	U = 0,40	
	(Trennwände) zwischen Wohn- oder Betriebseinheiten	U = 0,90	
	gegen andere Bauwerke an Grundstücks- bzw. Bauplatzgrenzen	U = 0,50	
	kleinflächig gegen Außenluft (z.B. bei Gaupen), die 2% der Wände des gesamten Gebäudes gegen Außenluft nicht überschreiten, sofern die Ö-NORM B 8110-2 (Kondensatfreiheit) eingehalten wird	U = 0,70	
	(Zwischenwände) innerhalb von Wohn- und Betriebseinheiten	-	
	Fenster, Fenstertüren, verglaste Türen	jeweils in Wohngebäuden (WG) gegen Außenluft ²	U = 1,40
		Wenn Heizkörper vor Fenster angeordnet ist (Wert des Glasanteils)	U = 0,70
Sonstige transparente Bauteile		vertikal gegen Außenluft ¹	U = 1,70
	horizontal oder in Schrägen gegen Außenluft ²	U = 2,00	
Dachflächenfenster	vertikal gegen unbeheizte Gebäudeteile ¹	U = 2,50	
	gegen Außenluft ²	U = 1,70	
	Türen	unverglast, gegen Außenluft ²	U = 1,70
unverglast, gegen unbeheizte Gebäudeteile ²		U = 2,50	
Tore	Rolltore, Sektionaltore u.dgl. gegen Außenluft	U = 2,50	
Innentüren		-	
Decken und Dachschrägen	jeweils gegen Außenluft und gegen	U = 0,20	

	Dachräume (durchlüftet oder ungedämmt)	
Decken	gegen unbeheizte Gebäudeteile	U = 0,40
	gegen getrennte Wohn- und Betriebseinheiten	U = 0,90
	innerhalb von Wohn- und Betriebseinheiten	-
	über Außenluft (z.B. über Durchfahrten, Parkdecks)	U = 0,20
	gegen Garagen	U = 0,30
Böden	erdberührt	U = 0,40
Wärmedurchlasswiderstand [m ² K/W]		
Bauteil		R [m ² K/W]
zwischen der Heizfläche und der Außenluft		R = 4,0
zwischen der Heizfläche und dem Erdreich		R = 3,5
¹ Die Konstruktion ist auf ein Prüfnormmaß von 1,23 m x 1,48 m zu beziehen, wobei die Symmetrieebenen an den Rand des Prüfnormmaßes zu legen sind		
² Bezogen auf ein Prüfnormmaß von 1,23 m x 1,48 m		

Tabelle V-1: Anforderungen an wärmeübertragende Bauteile (auf Grundlage von (10. Punkt 10))

V.2

GANZHEITLICHE BILANZIERUNG

V.2.1

LEED - LEADERSHIP IN ENERGY AND ENVIRONMENTAL DESIGN

Das amerikanische LEED System ist seit 1998 am Markt und wurde vom U.S. Green building Council entwickelt. Es ist heute das gängigste System. Die Nutzungsart „LEED New Construction und Major Renovation“ gliedert sich in sieben Kategorien wie Standortqualität, Wassereffizienz, Energie und Atmosphäre, Material und Ressourcen, Innenluftqualität, und Innovation. Auch bei dieser Bewertung liegt ein großes Interesse auf der Kategorie „Energie und Atmosphäre“, welche mit einer Gewichtung vom 35 % belegt ist. Die zweitgrößte Kategorie beschreibt die Standortqualität. Ein Problem des LEED-Systems ist die geringe Anzahl an Nutzungsarten. Die Variante „ New Construction und Major Renovation“ darf für alle Nutzungsarten verwendet werden, obwohl dies selten zielführend ist, da der Kriterienkatalog auf Bürogebäude zugeschnitten ist. Acht Mindestkriterien müssen in diesem System eingehalten werden, um eine Zertifizierung zu erhalten. Die Zertifizierung wird nach Fertigstellung des Gebäudes überreicht(12 S. 16).

Obwohl die Unterkategorie Energie während der Nutzung, in diesem System wieder am stärksten gewichtet ist, wurde auf eine ausgeglichene Bewertung zwischen den Kategorien Rücksicht genommen. In diesem System findet man heutzutage die abwechslungsreichsten Systemvarianten in Bezug auf die Nutzungsart. Auch hier sind Mindeststandards zu erfüllen um eine Zertifizierung zu erhalten (12 S. 16 f.)

V.2.2

BREEAM - BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT ENVIRONMENTAL ASSESSMENT METHOD

Dieses britische, seit 1990 eingeführte System, ist das älteste Zertifizierungssystem. Einzelne Nutzungsarten, wie Büro oder Wohnen, werden unterschieden und vielfältige Kriterienkataloge erstellt. Diese werden wiederum in die neun Kategorien, Management, Gesundheit und Behaglichkeit, Energie, Transport, Wasser, Material, Abfall, Umweltverschmutzung und Flächenverbrauch und Ökologie gegliedert.

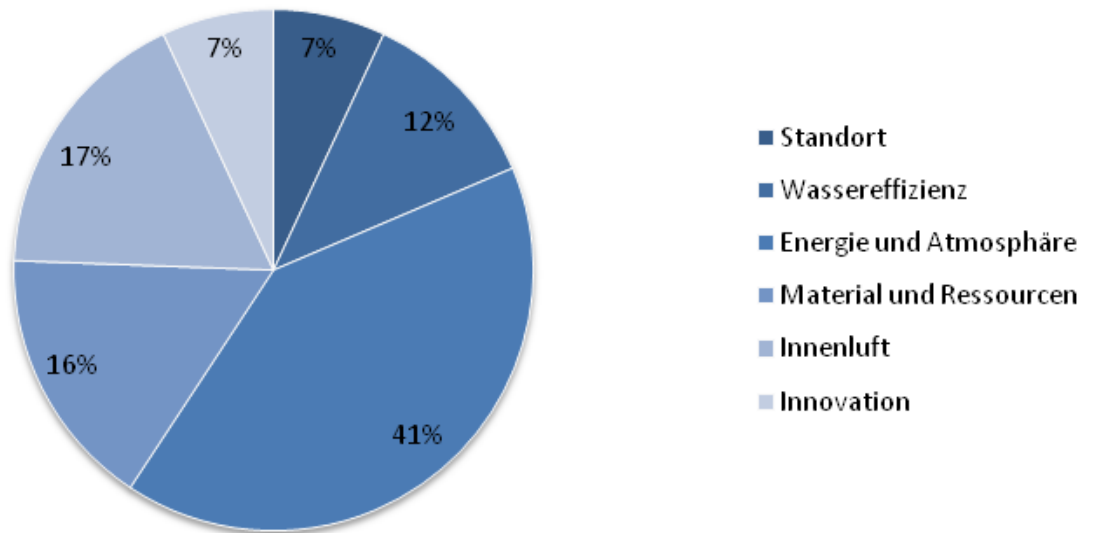


Abbildung V-1: LEED-Gewichtung in Prozent (auf Grundlage von (12 S. 16))

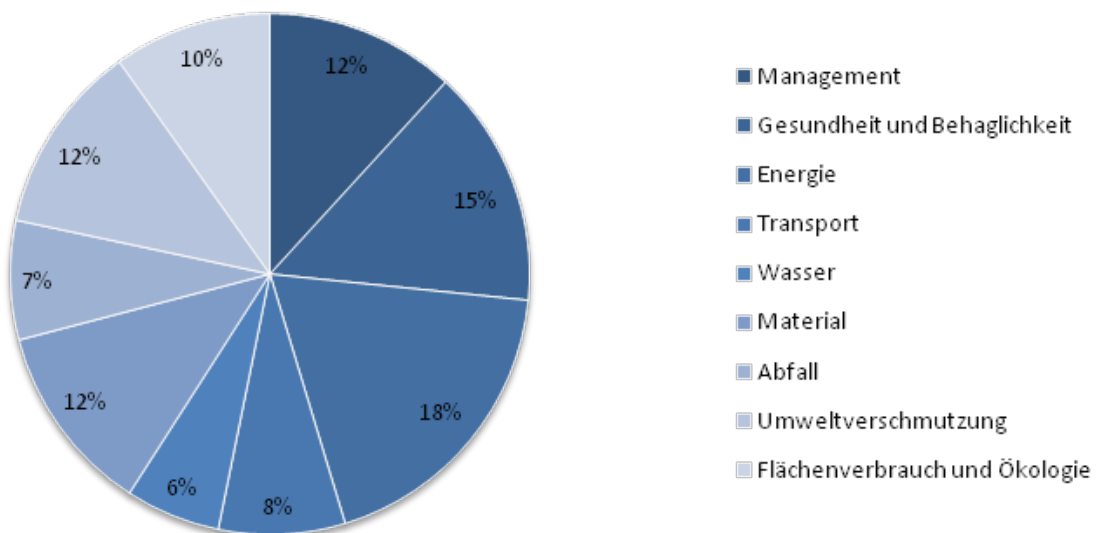


Abbildung V-2: BREEAM-Gewichtung in Prozent (auf Grundlage von (12 S. 17))

V.3

ENERGIEAUSWEIS (81)

Energieausweis für Wohngebäude

OiB ÖSTERREICHISCHES
INSTITUT FÜR BAUTECHNIK

OiB-Richtlinie 6
Ausgabe Oktober 2011

BEZEICHNUNG	Fred-Zinnemann-Platz 2 - BK 5B+C		
Gebäude(-teil)	Wohnen	Baujahr	2014
Nutzungsprofil	Mehrfamilienhäuser	Letzte Veränderung	
Straße	Fred-Zinnemann-Platz 2	Katastralgemeinde	Landstraße
PLZ/Ort	1030 Wien-Landstraße	KG-Nr.	01006
Grundstücksnr.	1241/3	Seehöhe	173

SPEZIFISCHER HEIZWÄRMEBEDARF, PRIMÄRENERGIEBEDARF, KOHLEN-DIOXIDEMISSIONEN UND GESAMTENERGIEEFFIZIENZ-FAKTOR (STANDORTKLIMA)

	HWB SK	PEB SK	CO2 SK	f GEE
A ++	A ++			
A +				
A		A	A	A
B				
C				
D				
E				
F				
G				

HWB: Der Heizwärmebedarf beschreibt jene Wärmemenge, welche den Räumen rechnerisch zur Beheizung zugeführt werden muss.

WWWB: Der Warmwasserwärmebedarf ist als flächenbezogener Defaultwert festgelegt. Er entspricht ca. einem Liter Wasser je Quadratmeter Brutto-Grundfläche, welcher um ca. 30 °C (also beispielsweise von 8 °C auf 38 °C) erwärmt wird.

HEB: Beim Heizenergiebedarf werden zusätzlich zum Nutzenergiebedarf die Verluste der Haustechnik im Gebäude berücksichtigt. Dazu zählen beispielsweise die Verluste des Heizkessels, der Energiebedarf von Umwälzpumpen etc.

HHSB: Der Haushaltsstrombedarf ist als flächenbezogener Defaultwert festgelegt. Er entspricht ca. dem durchschnittlichen flächenbezogenen Stromverbrauch in einem durchschnittlichen österreichischen Haushalt.

EEB: Beim Endenergiebedarf wird zusätzlich zum Heizenergiebedarf der Haushaltsstrombedarf berücksichtigt. Der Endenergiebedarf entspricht jener Energiemenge, die eingekauft werden muss.

PEB: Der Primärenergiebedarf schließt die gesamte Energie für den Bedarf im Gebäude einschließlich aller Vorketten mit ein. Dieser weist einen erneuerbaren und einen nicht erneuerbaren Anteil auf. Der Ermittlungszeitraum für die Konversionsfaktoren ist 2004-2008.

CO2: Gesamte dem Endenergiebedarf zuzurechnenden Kohlendioxidemissionen, einschließlich jener für Transport und Erzeugung sowie aller Verluste. Zu deren Berechnung wurden übliche Allokationsregeln unterstellt.

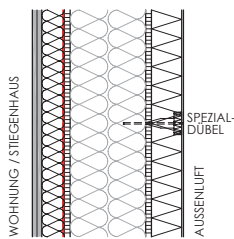
fGEE: Der Gesamtenergieeffizienz-Faktor ist der Quotient aus dem Endenergiebedarf und einem Referenz-Endenergiebedarf (Anforderung 2007).

Alle Werte gelten unter der Annahme eines normierten BenutzerInnenverhaltens. Sie geben den Jahresbedarf pro Quadratmeter beheizter Brutto-Grundfläche an.

V.4

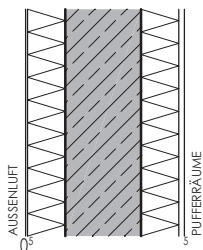
AUFBAUTEN EUROGATE

Außenwände

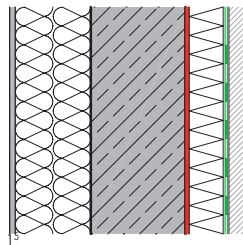


- AW 01 AUSSENWAND LEICHTBAU**
- 25 mm 2x 12,5er GKF-PLATTE
 - 60 mm VORSATZSCHALE GEDÄMMT
 - DAMPFBREMSSE, sd>10m, STÖSSE VERKLEBT
 - 15 mm GIPSFASERPLATTE (FERMACELL)
 - 200 mm MINERALDÄMMUNG (ZW. HOLZRIEGEL)
 - 15 mm GIPSFASERPLATTE (FERMACELL)
 - 80 mm MINERALFASSADENDÄMMPLATTE
 - 5 mm DÜNNPUTZ

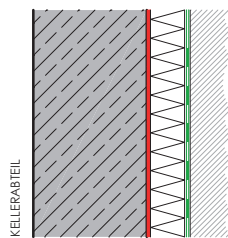
34cm DÄMMUNG



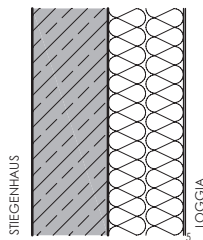
- AW 02 AUSSENWAND MASSIV**
- 15 mm GKF-PLATTE
 - DAMPFBREMSSE, sd ≥ 200m, STÖSSE VERKLEBT
 - 100 mm CW-PROFIL | MINERALDÄMMUNG
 - 200 mm STAHLBETON
 - bzw. lt. STATIK bzw. lt. STATIK
 - 100 mm WÄRMEDÄMMUNG
 - 5 mm DÜNNPUTZ



- AW 06 AUSSENWAND ERDANLIEGEND GESCHÄFT**
- 15 mm GIPSKARTONPLATTE
 - DAMPFBREMSSE, sd>200m, STÖSSE VERKLEBT
 - 200 mm CW-PROFIL | MINERALDÄMMUNG
 - 250 mm WU-BETON
 - bzw. lt. STATIK
 - ABDICHTUNG 2-LAGIG
 - 100 mm WÄRMEDÄMMUNG XPS
 - NIPPENBAHN
 - ERDREICH

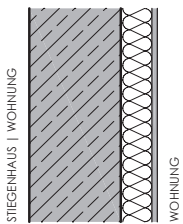


- AW 05 AUSSENWAND ERDANLIEGEND KALTRÄUME**
- 300 mm WU-BETON
 - bzw. lt. STATIK
 - ABDICHTUNG 2-LAGIG
 - 100 mm WÄRMEDÄMMUNG XPS
 - NIPPENBAHN
 - ERDREICH



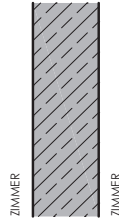
- AW 07 AUSSENWAND ZU LOGGIA (PUFFERRAUM)**
- 200 mm STAHLBETON GESPACHTELT
 - bzw. lt. STATIK
 - 200 mm MINERALWOLLE - PUTZTRÄGER
 - 5 mm DÜNNPUTZ

Innenwände



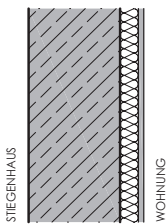
TW 01 A TRENNWAND WHG ZU STGH mit Sanitärinstallationen

250 mm BETON GESPACHELT
 bzw. lt. STATIK
 10 mm LUFT | TOLERANZ
 75 mm CW-PROFIL | MINERAL DÄMMUNG
 15 mm GK-PLATTE



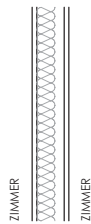
IW 01 A INNENWAND TRAGEND

180 mm STAHLBETON, BEIDSEITIG GESPACHELT



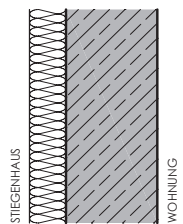
TW 01 B TRENNWAND WHG | STGH

250 mm BETON GESPACHELT
 bzw. lt. STATIK
 50 mm CW-PROFIL | MINERAL DÄMMUNG
 15 mm GK-PLATTE



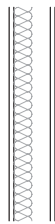
IW 02 A INNENWAND NICHT TRAGEND (BIS ZU 1 ABW.-ANSCHLUSS)

12,5 mm GK-PLATTE
 75 mm CW-PROFIL (50 MINERALWOLLE)
 12,5 mm GK-PLATTE



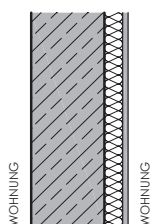
TW 01 C TRENNWAND WHG | STGH

250 mm BETON GESPACHELT
 bzw. lt. STATIK
 50 mm CW-PROFIL | MINERAL DÄMMUNG
 15 mm GK-PLATTE



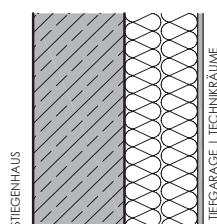
IW 02 B INNENWAND NICHT TRAGEND (AB 2 ABW.-ANSCHLÜSSEN)

12,5 mm GK-PLATTE
 100 mm CW-PROFIL (50 MINERALWOLLE)
 12,5 mm GK-PLATTE



TW 02 TRENNWAND WHG | STGH

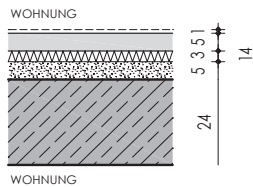
200 mm BETON GESPACHELT
 bzw. lt. STATIK
 50 mm CW-PROFIL | MINERAL DÄMMUNG
 15 mm GK-PLATTE



IW 03 A INNENWAND innerhalb THERM. HÜLLE zB STIEGENHAUS ZU TIEFGARAGE

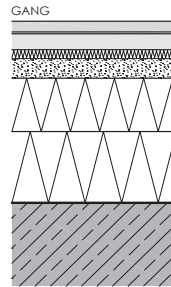
250 mm STAHLBETON GESPACHELT
 bzw. lt. STATIK
 200 mm CW-PROFIL | MINERAL DÄMMUNG
 15 mm GK-PLATTE

Innendecken



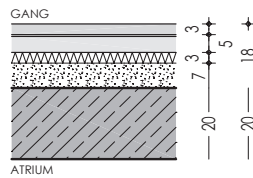
ID 03 B DECKE WHG ZU WHG

- 10 mm BODENBELAG
 - 50 mm ESTRICH
 - PE-FOLIE
 - 30 mm TRITTSCHALLDÄMMUNG
 - 50 mm GEB. SCHÜTTUNG
 - 240 mm STAHLBETONDECKE ROH
- bzw. II. STATIK



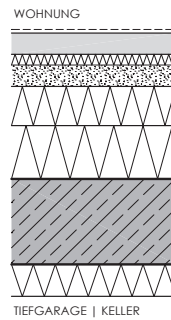
BPL 01 A GANG ZU ERDREICH

- 30 mm KUNSTSTEIN GEKLEBT
 - 50 mm ESTRICH BEWEHRT
 - PE-FOLIE | DAMPFSPERRE, $sd > L_{500m}$,
 - STÖSSE VERKLEBT od. VERSCHWEISST
 - 25 mm TRITTSCHALLDÄMMUNG
 - 55 mm GEB. SCHÜTTUNG
 - TRENNLAGE
 - 350 mm EPS-DÄMMUNG
 - 800 mm BODENPLATTE STAHLBETON ROH
- bzw. II. STATIK



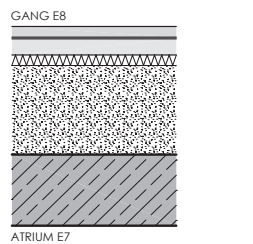
ID 04 DECKE ATRIUM

- 30 mm KUNSTSTEIN GEKLEBT
 - 50 mm ESTRICH
 - PE-FOLIE
 - 30 mm TRITTSCHALLDÄMMUNG
 - 70 mm GEB. SCHÜTTUNG
 - 200 mm STAHLBETONDECKE ROH
- bzw. II. STATIK



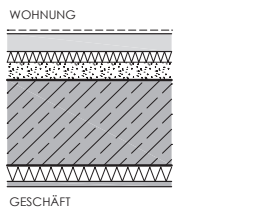
**ID 01 A DECKE GEGEN TIEFGARAGE
bzw. UNBEHEIZTE KELLERRÄUME**

- 10 mm BODENBELAG
 - 60 mm ESTRICH BEWEHRT
 - PE-FOLIE | DAMPFSPERRE, $sd > L_{500m}$,
 - STÖSSE VERKLEBT od. VERSCHWEISST
 - 30 mm TRITTSCHALLDÄMMUNG
 - 60 mm GEB. SCHÜTTUNG
 - TRENNLAGE
 - 260 mm EPS-DÄMMUNG
 - 240 mm STAHLBETONDECKE ROH
- bzw. II. STATIK
- 90 mm KELLERDÄMMUNG



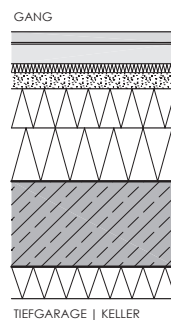
ID 05 DECKE ATRIUM ÜBER E7

- 30 mm KUNSTSTEIN GEKLEBT
 - 50 mm ESTRICH
 - PE-FOLIE
 - 30 mm TRITTSCHALLDÄMMUNG
 - 250 mm GEB. SCHÜTTUNG
 - 200 mm STAHLBETONDECKE ROH
- bzw. II. STATIK



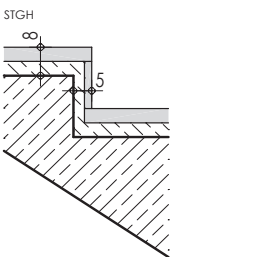
ID 06 DECKE GESCHÄFT ZU WHG

- 10 mm BODENBELAG
 - 50 mm ESTRICH
 - PE-FOLIE
 - 30 mm TRITTSCHALLDÄMMUNG
 - 50 mm GEB. SCHÜTTUNG
 - 240 mm STAHLBETONDECKE ROH
- bzw. II. STATIK
- 45 mm MINERALWOLLE
- 15 mm GK-PLATTE



**ID 01 B DECKE GEGEN TIEFGARAGE
bzw. UNBEHEIZTE KELLERRÄUME**

- 30 mm KUNSTSTEIN GEKLEBT
 - 60 mm ESTRICH BEWEHRT
 - PE-FOLIE | DAMPFSPERRE, $sd > L_{500m}$,
 - STÖSSE VERKLEBT od. VERSCHWEISST
 - 25 mm TRITTSCHALLDÄMMUNG
 - 45 mm GEB. SCHÜTTUNG
 - TRENNLAGE
 - 260 mm EPS-DÄMMUNG
 - 240 mm STAHLBETONDECKE ROH
- bzw. II. STATIK
- 90 mm KELLERDÄMMPLATTEN



IT 01 TREPPE IN STIEGENHÄUSERN

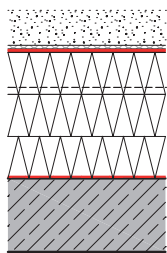
- 40 mm TRITSTUFE - KUNSTSTEIN
 - 40 mm MÖRTELBETT
 - STB - FERTIGTEILSTIEGE
 - GIPSPACHTELUNG
- 20 mm SETZSTUFE KUNSTSTEIN
- 30 mm MÖRTELBETT
 - STB - FERTIGTEILSTIEGE
 - GIPSPACHTELUNG

STGH

STIEGENLÄUFE
DYNAMISCH WEICH FEDERND GELAGERT

Außendecken

AUSSENLUFT



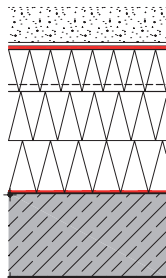
WOHNUNG

AD 01 B FLACHDACH NICHT BEGEHBAR
(EXTENSIV BEGRÜNT)

100 mm VEGETATIONSSUBSTRAT
 ----- FILTERVLIES
 10 mm DRAINPLATE
 10 mm ABDICHTUNG 2-LAGIG (WURZELFEST)
 20-120 mm GEFÄLLEDÄMMUNG (ø 70mm)
 240 mm PU-DÄMMUNG λ 0,028
 ----- DAMPFSPERRE, sd > L500m,
 STÖSSE VERKLEBT od. VERSCHWEISST
 210 mm STAHLBETONDECKE GEPÄCHTELT
 bzw. II. STATIK

ø 31 cm DÄMMUNG

AUSSENLUFT



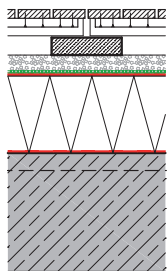
WOHNUNG

AD 01 C FLACHDACH NICHT BEGEHBAR
(EXTENSIV BEGRÜNT)

100 mm VEGETATIONSSUBSTRAT
 ----- FILTERVLIES
 10 mm DRAINPLATE
 10 mm ABDICHTUNG 2-LAGIG (WURZELFEST)
 20-120 mm GEFÄLLEDÄMMUNG (ø 70mm)
 290 mm EPS-DÄMMUNG
 ----- DAMPFSPERRE, sd > L500m,
 STÖSSE VERKLEBT od. VERSCHWEISST
 240 mm STAHLBETONDECKE GEPÄCHTELT
 bzw. II. STATIK

ø 40 cm DÄMMUNG

AUSSENLUFT

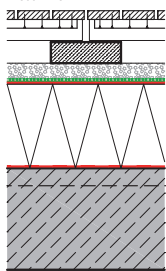


WOHNUNG

AD 02 B DACHTERRASSEN

25 mm LATTENROST AUF
 105 mm UNTERKONSTRUKTION | LUFT
 50 mm KIESBETT
 ----- GÜMMISCHROTBAHN
 10 mm ABDICHTUNG 2-LAGIG
 220 mm PU-WÄRMEDÄMMUNG
 ----- DAMPFSPERRE, sd > L500m,
 STÖSSE VERKLEBT od. VERSCHWEISST
 290 mm STAHLBETONDECKE ROH
 bzw. II. STATIK

AUSSENLUFT

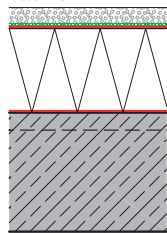


WOHNUNG

AD 02 A DACHTERRASSEN

25 mm LATTENROST AUF
 125 mm UNTERKONSTRUKTION | LUFT
 50 mm KIESBETT
 ----- GÜMMISCHROTBAHN
 10 mm ABDICHTUNG 2-LAGIG
 240 mm PU-WÄRMEDÄMMUNG
 ----- DAMPFSPERRE, sd > L500m,
 STÖSSE VERKLEBT od. VERSCHWEISST
 240 mm STAHLBETONDECKE ROH
 bzw. II. STATIK

AUSSENLUFT

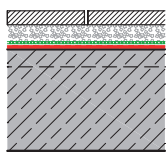


WOHNUNG

AD 03 FLACHDACH
NICHT BEGEHBAR

50 mm KIESBETT
 10 mm ABDICHTUNG 2-LAGIG
 240 mm PU-WÄRMEDÄMMUNG
 ----- DAMPFSPERRE, sd > L500m,
 STÖSSE VERKLEBT od. VERSCHWEISST
 290 mm STAHLBETONDECKE ROH
 bzw. II. STATIK

AUSSENLUFT

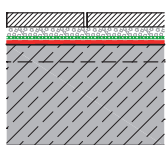


AUSSENLUFT

AD 04 LOGGIEN

40 mm BETONPLATTEN
 ----- KIESBETT
 ----- GLASVLIES
 10 mm ABDICHTUNG 2-LAGIG
 50 mm MEHRBETON GEFÄLLEAUSBILDUNG
 240 mm statische Höhe STAHLBETONDECKE
 bzw. II. STATIK

AUSSENLUFT

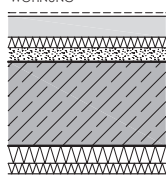


AUSSENLUFT

AD 04 LOGGIEN

40 mm BETONPLATTEN
 40 mm KIESBETT
 ----- GLASVLIES
 10 mm ABDICHTUNG 2-LAGIG
 50 mm MEHRBETON GEFÄLLEAUSBILDUNG
 240 mm statische Höhe STAHLBETONDECKE
 bzw. II. STATIK

WOHNUNG



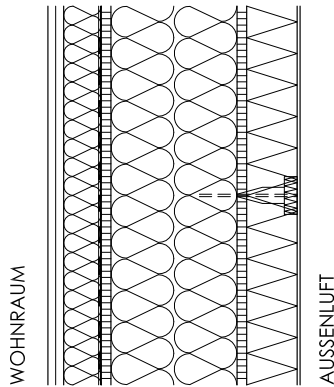
AUSSENLUFT (DURCHGANG)

AD 05 WHG ZU AUSSENLUFT

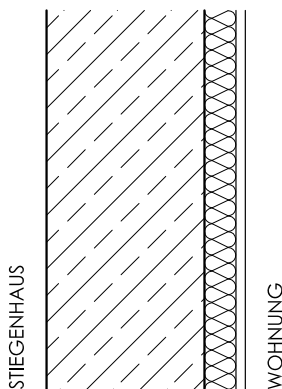
10 mm BODENBELAG
 60 mm ESTRICH
 ----- DAMPFBREMSE, sd > 10m,
 STÖSSE VERKLEBT
 30 mm TRITTSCHALLDÄMMUNG
 40 mm GEB. SCHÜTTUNG
 240 mm STAHLBETONDECKE ROH
 bzw. II. STATIK
 50 mm VAKUUMDÄMMUNG
 30 mm MINERALFASER
 12,5 mm PUTZTRÄGERPLATE

V.5

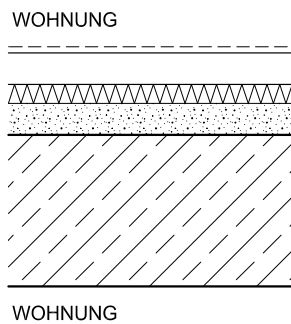
AUFBAUTEN SIMULATION



- Außenluft
- 0,05 Außenputz StoSilco K
- 0,08 MW_PT Sto Speedlamelle Typ II
- 0,015 GF-Platte Rigips Rigidur H15
- Dampfbremse
- 0,2 MW-WL Isover MK-KF20 (zw. Holzsteher)
- 0,2 Konstruktionsvollholz (Fichte)
- 0,02 Rigips Glasroc F Ridurit 20GF-Platte
- 0,015 Rigips Rigidur H15
- 0,05 Steinwolle Heralan KP 035
- 0,015 GKF Platte Rigips FS-Platte RF15
- Wohnraum



- Wohnraum
- 0,15 GKF Platte Rigips FS-Platte RF15
- 0,04 Steinwolle Heralan KP 035
- 0,2 Stahlbeton gespachtelt
- Stiegenhaus



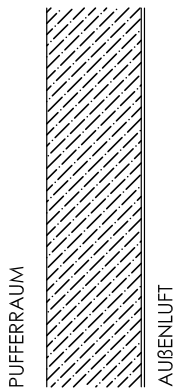
- Wohnraum
- 0,01 Bodenbelg (Holz)
- 0,05 Estrich (zementgebunden)
- 0,3 Trittschalldämmung EPS-T
- 0,5 geb. Schüttung (gewählt Fermacell)
- 0,22 Stahlbetondecke
- Wohnraum

Abbildung V-3: Aufbauten der umschließenden Wohnraumflächen

Anhang

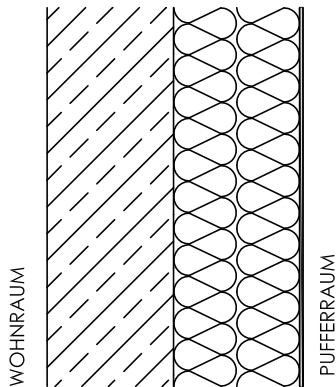
Aufbauten Simulation

AW



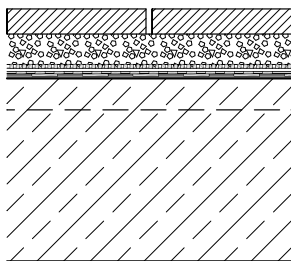
- Pufferraum
- 0,05 Außenputz StoSilco K
- 0,15 Stahlbeton gespachtelt
- Außenluft
- U-Wert: 4,13 W/m²K
- Flächenbezogene Masse: 353,0 kg/m²

IW



- Pufferraum
- 0,02 Außenputz StoSilco K
- 0,2 EPS-F Plus
- 0,2 Stahlbeton gespachtelt
- Wohnraum
- U-Wert: 0,15 W/m²K
- Flächenbezogene Masse: 471,7 kg/m²

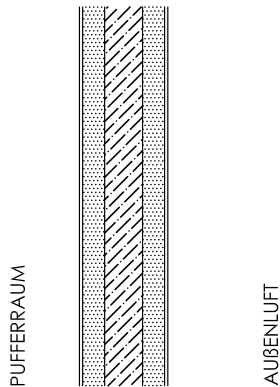
D



- Pufferraum
- 0,04 Betonplatten
- 0,04 Kiesbett
- Glasvlies
- 0,01 Abdichtung
- 0,05 Mehrbeton Gefälleausbildung
- 0,22 Stahlbetondecke
- Pufferraum
- U-Wert: 2,57 W/m²K
- Flächenbezogene Masse: 758,0 kg/m²

Abbildung V-4: Variationen der umschließenden Pufferraumflächen - Variante 01

AW



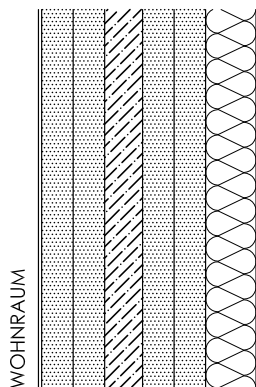
Pufferraum

- 0,005 Außenputz StoSilco K
- 0,035 Holzspanplatte WSD 35 (Velox)
- Dampfbremse
- 0,06 Brettsperrholz (Buchbinder gewählt)
- 0,035 Holzspanplatte WSD 35 (Velox)
- 0,005 Außenputz StoSilco K

Außenluft

U-Wert: 0,90 W/m²K
 Flächenbezogene Masse: 97,7 kg/m²

IW



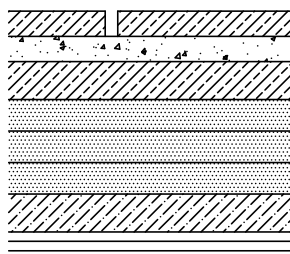
Wohnraum

- 0,005 Normalputzmörtel
- 0,08 MW-PT Sto Speedlamelle Typ II
- 0,05 Holzspanplatte WSD 50 (Velox)
- 0,035 Holzspanplatte WSD 35 (Velox)
- 0,06 Brettsperrholz (Buchbinder gewählt)
- 0,035 Holzspanplatte WSD 35 (Velox)
- 0,05 Holzspanplatte WSD 50 (Velox)
- 0,005 Normalputzmörtel

Pufferraum

U-Wert: 0,23 W/m²K
 Flächenbezogene Masse: 220,7 kg/m²

D



Pufferraum

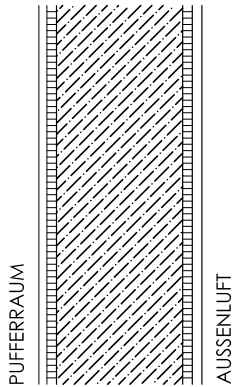
- 0,04 Betonplatten
- 0,04 Kiesbett
- 0,06 Selbstverdichtender Beton
- 0,05 Holzspanplatte (WS 50 Velox)
- 0,05 Holzspanplatte (WS 50 Velox)
- 0,05 Holzspanplatte (WS 50 Velox)
- 0,06 Brettsperrholz (Buchbinder gewählt)
- 0,015 GF-Platte Rigips Rigidur H15
- 0,015 GF-Platte Rigips Rigidur H15
- 0,015 GF-Platte Rigips Rigidur H15

Pufferraum

U-Wert: 0,42 W/m²K
 Flächenbezogene Masse: 420,2 kg/m²

Abbildung V-5: Variationen der umschließenden Pufferraumflächen - Variante 02

AW



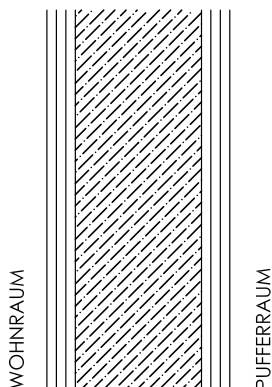
Pufferraum

- 0,15 GF-Platte Rigips Rigidur H15
- Dampfbremse
- 0,15 Rigips Glasroc F Ridurit 20GF-Platte
- 0,2 Konstruktionsvollholz (Fichte)
- 0,02 Rigips Glasroc F Ridurit 20GF-Platte
- 0,015 GKF Platte Rigips FS-Platte RF15

Außenluft

U-Wert: 0,58 W/m²K
 Flächenbezogene Masse: 34,95 kg/m²

IW



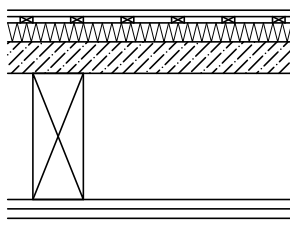
Wohnraum

- 0,015 GF-Platte Rigips Rigidur H15
- 0,015 GF-Platte Rigips Rigidur H15
- 0,015 GF-Platte Rigips Rigidur H15
- 0,2 Konstruktionsvollholz (Fichte)
- 0,2 MW-WL Isover MK-KF20 (zw. Holzsteher)
- 0,015 GF-Platte Rigips Rigidur H15
- 0,015 GF-Platte Rigips Rigidur H15
- 0,015 GF-Platte Rigips Rigidur H15

Pufferraum

U-Wert: 0,17 W/m²K
 Flächenbezogene Masse: 96,1 kg/m²

D



Pufferraum

- 0,01 Bodenbelag (Holz)
- 0,01 Konterlattung
- 0,03 Trittschalldämmung EPS-T
- 0,05 OSB Platte (gewählt Egger Holzbau)
- 0,2 Konstruktionsvollholz (Fichte)
- 0,015 GF-Platte Rigips Rigidur H15
- 0,015 GF-Platte Rigips Rigidur H15
- 0,015 GF-Platte Rigips Rigidur H15

Pufferraum

U-Wert: 0,32 W/m²K
 Flächenbezogene Masse: 157,46 kg/m²

Abbildung V-6: Variationen der umschließenden Pufferraumflächen - Variante 03

V.6

RANDBEDINGUNGEN

V.6.1

RANDBEDINGUNGEN ZU ABBILDUNG II-6

Orientierung	Süd	
Fassadenfläche	13,5 m ² (4,5m x 3 m)	
Wärmedurchgangskoeffizient	U = 1,4 W/m ² K	
Lasten (8:00 - 18:00 Uhr)	2 Personen + 2 PCs	
Sonnenschutz	Geöffnet	
Bürofläche	22,5 m ² (4,5 m x 5 m)	
Außenfassade	Leicht, U = 0,25 W/m ² K	
Innenwände	Leicht	
Decken	Leicht	
Lüftung (8:00 - 18:00 Uhr)	Wochentags 1,0 l/h	
	Sonstige Zeit 0,5 l/h	
Beleuchtung	08:00 - 10:00 Uhr	10 W/m ²
	10:00 - 16:00 Uhr	Aus
	16:00 - 18:00 Uhr	10 W/m ²
Klima	Würzburg	

Tabelle V-2: Randbedingungen Abbildung II-6 (35 S. 45)

V.6.2

RANDBEDINGUNGEN ZU ABBILDUNG II-9

Orientierung	Süd	
Fassadenfläche	13,5 m ² (4,5m x 3 m)	
Fensterflächenanteil	70 %	
Gesamtenergiedurchlassgrad	g = 0,6	
Sonnenschutz außen	Fc = 0,2	
Bürofläche	22,5 m ² (4,5 m x 5 m)	
Decken	Massiv	
Wände	Leicht	
Lasten	2 Personen + 2 PCs	
Lüftung	08:00 - 10:00 Uhr	n = 5 h ⁻¹
	10:00 - 18:00 Uhr	n = 2 h ⁻¹
	18:00 - 08:00 Uhr	n = 2 h ⁻¹
Beleuchtung	Keine	
Kühlung	Keine	
Standort	Würzburg	

Tabelle V-3: Randbedingung Abbildung II-9 (35 S. 43)

Anhang

Randbedingungen

V.6.3

RANDBEDINGUNGEN ZU ABBILDUNG II-12

Orientierung	Süd
Fußbodenfläche	21,0 m ²
Raumhöhe	2,9 m
Beleuchtung	158 W
Maschinen	315 W
Lasten	2 Personen
Deckenabhängung	0,15 m
Brüstungshöhe	0,7 m
Fußboden	Hohlraumboden
Seitenwände	Gips
Rückwand	Gips
Fenster	U = 2,0 W/m ² K g = 62 %
Variante 01	Sonnenschutz außen g= 0,12
Variante 02	Sonnenschutz außen g= 0,20
Variante 03	Sonnenschutz außen g= 0,35
Variante 04	Sonnenschutz innen g= 0,60

Tabelle V-4: Randbedingungen Abbildung II-12. (32 S. 138)

V.6.4

RANDBEDINGUNGEN ZU ABBILDUNG III-22

Orientierung	Süd
Fußbodenfläche	21,0 m ²
Raumhöhe	2,9 m
Beleuchtung	158 W
Maschinen	315 W
Lasten	2 Personen
Deckenabhängung	0,15 m
Brüstungshöhe	0,7 m
Variante 01	
Fenster	U = 2,0 W/m ² K g = 62 %
Sonnenschutz	Außen g = 0,2
Brüstung	Ohne
Abgehängte Decke	Mit
Außenwand	Blende 0,6 cm Dämmung 8,0 cm
Decke / Fußboden	Abhängung 2,0 cm

	Luft 13,0 cm Beton 25 cm Hohlraumboden 15 cm Teppich 0,5 cm
Seitenwände	Gips 1,5 cm Dämmung 7,0 cm Gips 1,5 cm
Rückwand	Gips 1,5 cm Dämmung 7,0 cm Gips 1,5 cm
Variante 02	
Fenster	U = 2,0 W/m ² K g = 62 %
Sonnenschutz	Außen g = 0,2
Brüstung	Mit
Abgehängte Decke	Mit
Außenwand	Blende 0,6 cm Dämmung 8,0 cm Beton 12,0 cm Putz 1,5 cm
Decke / Fußboden	Anhängung 2,0 cm Luft 13,0 cm Beton 25 cm Hohlraumboden 15 cm Teppich 0,5 cm
Seitenwände	Gips 1,5 cm Dämmung 7,0 cm Gips 1,5 cm
Rückwand	Gips 1,5 cm Dämmung 7,0 cm Gips 1,5 cm
Variante 03	
Fenster	U = 2,0 W/m ² K g = 62 %
Sonnenschutz	Außen g = 0,2
Brüstung	Mit
Abgehängte Decke	Mit
Außenwand	Blende 0,6 cm Dämmung 8,0 cm Beton 12,0 cm Putz 1,5 cm
Decke / Fußboden	Beton 25 cm Hohlraumboden 15 cm Teppich 0,5 cm
Seitenwände	Gips 1,5 cm Dämmung 7,0 cm Gips 1,5 cm

Anhang

Randbedingungen

Rückwand	Gips 1,5 cm Dämmung 7,0 cm Gips 1,5 cm
----------	--

Variante 04	
Fenster	U = 2,0 W/m ² K g = 62 %
Sonnenschutz	Außen g = 0,2
Brüstung	Mit
Abgehängte Decke	Mit
Außenwand	Blende 0,6 cm Dämmung 8,0 cm Beton 12,0 cm Putz 1,5 cm
Decke / Fußboden	Beton 25 cm Dämmung 3,0 cm Estrich 8,0 cm Teppich 0,5 cm
Seitenwände	Gips 1,5 cm Dämmung 7,0 cm Gips 1,5 cm
Rückwand	Gips 1,5 cm Dämmung 7,0 cm Gips 1,5 cm

Variante 05	
Fenster	U = 2,0 W/m ² K g = 62 %
Sonnenschutz	Außen g = 0,2
Brüstung	Mit
Abgehängte Decke	Mit
Außenwand	Blende 0,6 cm Dämmung 8,0 cm Beton 12,0 cm Putz 1,5 cm
Decke / Fußboden	Beton 25 cm Hohlraumboden 15 cm Teppich 0,5 cm
Seitenwände	Putz 1,5 cm Mauerwerk 11,5 cm Putz 1,5 cm
Rückwand	Putz 1,5 cm Mauerwerk 11,5 cm Putz 1,5 cm

Variante 05	
Fenster	U = 2,0 W/m ² K g = 62 %

Sonnenschutz	Außen g = 0,2
Brüstung	Mit
Abgehängte Decke	Mit
Außenwand	Blende 0,6 cm Dämmung 8,0 cm Beton 12,0 cm Putz 1,5 cm
Decke / Fußboden	Beton 25 cm Hohlraumboden 15 cm Teppich 0,5 cm
Seitenwände	Metallständerwand 0,1 cm Dämmung 9,8 cm Metallständerwand 0,1 cm
Rückwand	Metallständerwand 0,1 cm Dämmung 9,8 cm Metallständerwand 0,1 cm

Tabelle V-5: Randbedingungen zu Abbildung III-22 (32 S. 126)

V.6.5

RANDBEDINGUNGEN ZU ABBILDUNG III-23 (32 S. 127)

- Randbedingungen der Variationen siehe Abbildung III-22.
- 5 tägige sommerliche Schönwetterperiode
- Wetterdaten nach Test-Referenzjahr (TRY-Region-B)
- Operative Temperatur nach DIN 1946/Teil B

V.6.6

RANDBEDINGUNGEN ZU ABBILDUNG II-14 (32 S. 128)

- Randbedingungen des Testraumes siehe Abbildung III-22; Variation 5
- 5 tägige sommerliche Schönwetterperiode
- Wetterdaten nach Test-Referenzjahr (TRY-Region-B)
- Operative Temperatur nach DIN 1946/Teil B
- Luftwechsel von 17:00 bis 8:00 Uhr; 3,0 1/h

V.6.7

RANDBEDINGUNGEN ZU ABBILDUNG II-15

Orientierung	Süd
Fassadenfläche	13,5 m ² (4,5m x 3 m)
Fensterflächenanteil	70 %
Bürofläche	22,5 m ² (4,5 m x 5 m)
Reflexionsgrad Decke	80 %
Reflexionsgrad Wände	40 %
Reflexionsgrad Boden	20 %
Transmissionsgrad τ	0,8

Tabelle V-6: Randbedingung Abbildung II-15 (35 S. 46)

Verzeichnisse

Tabellenverzeichnis

VI VERZEICHNISSE

VI.1 Tabellenverzeichnis

Tabelle I-1: Bewertungskriterien für die Zertifizierung nach PHPP (28 S. 1)

Tabelle I-2: Parameter zur Beschreibung der Umweltwirkungen (29 S. 33)

Tabelle III-1: Recyclingbetonrezeptur (auf Grundlage von (43 S. 30))

Tabelle III-2: Charakteristische Rechenwerte (47)(48)(49) (50) (51)

Tabelle III-3: Zusammensetzung und Eigenschaften eines Ultrahochfesten Betons (52 S. 57)

Tabelle III-4: Vergleich der Leistungsfähigkeit, des PEI ne [MJ] und des Treibhauspotential [kg CO₂ äquiv] verschiedener Stützen (54)

Tabelle III-5: Thermische Eigenschaften eines Vakuumisolier Paneels (35 S. 144)

Tabelle IV-1: Brandschutzanforderungen der Gebäudeklasse 5 (78)

Tabelle IV-2: Kennwerte des Bauteil B/C (81 S. 1 f.)

Tabelle IV-3: Kennwerte der verglasten Flächen des Bauteils B/C (auf Grundlage von (82 S. 15))

Tabelle IV-4:Wärmegewinne und Verluste im Bezug zur Verglasung (auf Grundlage von (82 S. 15))

Tabelle IV-5: Charakteristische Festigkeitswerte von Konstruktionsholz und dem STEICOwall System(auf Grundlage von(85 S. 164)(86))

Tabelle IV-6: Angenommene innere Lasten des Wohnraumes [W/m²] (94)

Tabelle IV-7: Monatsmitteltemperatur und mittlere monatliche Tagesgänge der Lufttemperatur in Wien

Tabelle IV-9: Vergleich der U-Werte der Varianten

TabelleV-1: Anforderungen an wärmeübertragende Bauteile (auf Grundlage von(10 S. (Punkt 10)))

Tabelle V-2: Randbedingungen Abbildung II 6(35 S. 45)

Tabelle V-3: Randbedingung Abbildung II 9(35 S. 43)

Tabelle V-4: Randbedingungen Abbildung II 12(32 S. 138)

Tabelle V-5: Randbedingungen zu Abbildung III 22(32 S. 126)

Tabelle V-6: Randbedingung Abbildung II 15(35 S. 46)

VI.2

Abbildungsverzeichnis

Abbildung I-1: Strukturaufbau der europäischen Klimapolitik

Abbildung I-2: Strukturaufbau von Europa 2020

Abbildung I-3: Beispiel alternativer Energiesysteme: Solarzellen (15)

Abbildung I-4: Strukturaufbau der österreichischen Normenlandschaft

Abbildung I-5: Zwischenziele des Heizwärmebedarfs für Neubauten (18 S. 4)

Abbildung I-6: Lebenszyklus eines Baustoffes

Abbildung I-7: DGNB-Gewichtung in Prozent (auf Grundlage von (12 S. 17))

Abbildung I-8: Klima:aktiv Gewichtung in Prozent (auf Grundlage von (26 S. 7))

Abbildung II-1: Einflussfaktoren einer ressourceneffizienten Bauweise

Abbildung II-2: Schematische Darstellung der Energiebilanz eines Gebäudes

Abbildung II-3: Heizwärmebedarf bei gleichen Volumen und veränderter Oberfläche (modifiziert übernommen (32 S. 62 f.))

Abbildung II-4: Schematische thermische Zonierung eines Gebäudes

Abbildung II-5: Verwendungsmöglichkeiten von Pufferzonen

Abbildung II-6: Abhängigkeit des Heizwärmebedarfs [$\text{kWh/m}^2\text{a}$] vom Verglasungsanteil und der solaren Gewinne (modifiziert übernommen (35 S. 45); Randbedingungen (siehe Anhang V.6))

Abbildung II-7: Wärmegewinne im Raum

Abbildung II-8: Varichrome Verglasung des Fraunhofer Institut in Braunschweig (36)

Abbildung II-9: Zusammenhang von Verglasungsflächenanteil und Übertemperaturstunden (modifiziert

übernommen (35 S. 43); Randbedingungen (siehe Anhang V.6))

Abbildung II-10: Horizontale Sonnenschutzlamellen

Abbildung II-11: Vertikale Sonnenschutzlamellen

Abbildung II-12: operative Temperaturen der Verschattungssysteme (modifiziert übernommen (32 S. 138); Randbedingungen (siehe Anhang V.6))

Abbildung II-13: Positionierung speicherfähiger Masse

Abbildung II-14: Auswirkungen einer Nachtlüftung auf die Temperatur (modifiziert übernommen (32 S. 128); Randbedingungen (siehe Anhang V.6))

Abbildung II-15: Tageslichtquotient d in Abhängigkeit zur Lage des Fensters und zur Raumtiefe (modifiziert übernommen (35 S. 46); Randbedingungen siehe Anhang V.6)

Abbildung II-16: Lichtlenksysteme

Abbildung II-17: Arten der natürlichen Lüftung

Abbildung II-18: Luftwechselrate in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz; Fenstergröße $1,2 \text{ m}^2$, Raumgröße 30 m^3 (modifiziert übernommen (31 S. 100))

Abbildung III-1: Einflussfaktoren über den Lebenszyklus eines Gebäudes

Abbildung III-2: Optimierung des Zementanteils (modifiziert übernommen (38 S. 5))

Abbildung III-3: Grundprinzip der statischen Lastentrennung (modifiziert übernommen (37 S. 1452))

Abbildung III-4: Teilbereiche eines Biegeträgers, die hauptsächlich auf Druck oder Zug beansprucht sind (auf Grundlage von (37 S. 1452))

Abbildung III-5: Vergleich des Primärenergieverbrauchs verschiedener Stützen bei selber Belastung (auf Grundlage von (54))

Abbildung III-6: Konstruktionsbeispiel Holz-Glas-Verbund (55)

Abbildung III-7: Holz-Glas-Verbundkonstruktion (57)

Abbildung III-8: Mögliche Querschnitte von Holz-Stahl-Verbundträgern (58)

Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung III-9: Holz-Beton-Verbunddecke (60)

Abbildung III-10

Abbildung III-11: Auswahl von problematischen Bauteilübergängen und Anschlüssen

Abbildung III-12: Umschließende Dämmebene

Abbildung III-13: Auskragungen

Abbildung III-14: Installationsebene

Abbildung III-15: Wärmebrücken am Dachrand

Abbildung III-16: Wärmebrücken bei Attikabrüstung

Abbildung III-17: Druckverteilung bei Undichtheiten

Abbildung III-18: Gesamtenergiebedarf (PEI) pro m^2 (MJ/m^2) verschiedener Dämmmaterialien eines Flachdaches (Randbedingungen: $d=0,3\text{ m}$; $\alpha=0,035\text{ W/mK}$; auf Grundlage von (65 S. 96 ff.))

Abbildung III-19: Amortisierungszeitraum (Jahre) verschiedener Materialien in Abhängigkeit zum Wärmedurchgangskoeffizient (W/m^2K) (auf Grundlage von (65 S. 96 ff.))

Abbildung III-20: Transluzente Wärmedämmung (66)

Abbildung III-21: herkömmliche Anwendungsmöglichkeiten (67)

Abbildung III-22: Varianten der thermisch speicherfähigen Masse (modifiziert übernommen (32 S. 126); Randbedingungen (siehe Anhang V.6))

Abbildung III-23: Operative Temperatur [$^{\circ}C$] der Speichermassenvariationen (modifiziert übernommen (32 S. 126); Randbedingungen (siehe Anhang V.6))

Abbildung III-24: Beispiel eines latenten Wärmespeichermaterials (68)

Abbildung III-25: Wärmespeicherverhalten von latenten und sensiblen Wärmespeichern (modifiziert übernommen (35 S. 145))

Abbildung III-26: Systemtrennung innerhalb eines Deckenaufbaus (71)

Abbildung III-27: Das Treibhauspotential [CO_2 äquiv] eines Fußbodenaufbaus beim Einbau und nach 100

Jahren (auf Grundlage von (31 S. 164))

Abbildung III-28: Sägezahnmodell verschiedener Bodenbeläge (auf Grundlage von (31 S. 164))

Abbildung III-29: Verwertung typischer Konstruktionsmaterialien (74 S. 13)

Abbildung IV-1: Darstellung von Süden (76)

Abbildung IV-2: Der adaptierte Masterplan von Albert Wimmer (76)

Abbildung IV-3: Lageplan (76)

Abbildung IV-4: Ansicht (76)

Abbildung IV-5: Grundriss Erdgeschoss (76)

Abbildung IV-6: Grundriss Regelgeschoss (76)

Abbildung IV-7: Grundriss Dachgeschoss (76)

Abbildung IV-8: Querschnitt durch Baukörper C (76)

Abbildung IV-9: Gewinne und Verluste des Gebäudes laut Passivhaus-Projektierungspaket (PPHP) (82)

Abbildung IV-10: Volumen des Bauteils B/C

Abbildung IV-11: Der prozentuale Anstieg des Primärenergiebedarf in Abhängigkeit des A/V-Verhältnis (auf Grundlage von (81 S. 2) (31 S. 86)).

Abbildung IV-12: Zonierung eines Wohnungsgrundrisses (auf Grundlage von (76))

Abbildung IV-13: Wärmegewinne und Verluste im Bezug zur Verglasungsausrichtung (auf Grundlage von (82 S. 15))

Abbildung IV-14: Geforderte und erreichte U-Werte [W/m^2K] der Bauteil (auf Grundlage von (76) (82 S. 9) (10)).

Abbildung IV-15: Funktionale Aufteilung des Gebäudes (auf Grundlage von (76))

Abbildung IV-16: Tragende Elemente der Außenhülle

Abbildung IV-17: Tragende Innenwände

Abbildung IV-18: Aufbau der Leichtbau-Außenhaut (auf Grundlage von (76))

Abbildung IV-19: Stegträger des STEICOwall Systems (86)

Abbildung IV-20: Aufbau der Leichtbau-Außenhülle (auf Grundlage von (76))

Abbildung IV-21: Anschluss der Hülle an Trennwände (auf Grundlage von (76))

Abbildung IV-22: Anschluss der Hülle an Decken (auf Grundlage von (76))

Abbildung IV-23: Aufbau der tragenden Innenwand (auf Grundlage von (76))

Abbildung IV-24: Aufbau einer Geschoßdecke (auf Grundlage von (76))

Abbildung IV-25: offene und geschlossene Pufferzonen

Abbildung IV-26: Analysierter Wohnraum

Abbildung IV-27: Variationen

Abbildung IV-28: Umschließungsflächen der Pufferzonen

Abbildung IV-29: Anwendungsbeispiel (92)

Abbildung IV-30: Druckfestigkeit $[N/mm^2]$ in Abhängigkeit der Rohdichte $[kg/m^3]$ (93)

Abbildung IV-31: Verlauf der thermischen Hülle

Abbildung IV-32: Umschließungsflächen des Wohnraumes

Abbildung IV-33: opaker Sonnenschutz des Außenfensters

Abbildung IV-34: Vergleich der operativen Temperaturen $[^{\circ}C]$ im Tagesverlauf der Varianten am 15. Januar

Abbildung IV-35: Vergleich der operativen Temperaturen $[^{\circ}C]$ im Tagesverlauf der Varianten am 15. April

Abbildung IV-36: Vergleich der operativen Temperaturen $[^{\circ}C]$ im Tagesverlauf der Varianten am 15. Juli

Abbildung IV-37: Vergleich der Temperaturen $[^{\circ}C]$ im Tagesverlauf der Varianten im Herbst

Abbildung IV-38: Heizleistung $[W]$ der Variationen in Abhängigkeit des Verlaufs der thermischen Hülle

Abbildung IV-39: Vergleich der Temperaturen $[^{\circ}C]$ im Tagesverlauf der Varianten 01 und 02 im Frühling und Herbst

Abbildung V-1: LEED-Gewichtung in Prozent (auf Grundlage von (12 S. 16))

Abbildung V-2: BREEAM-Gewichtung in Prozent (auf Grundlage von (12 S. 17))

Abbildung V-3: Aufbauten der umschließenden Wohnraumflächen

Abbildung V-4: Variationen der umschließenden Pufferaumflächen

VI.3

Inhaltsverzeichnis

1. Europäische Union. Europäische Kommission; Europa 2020; Leitinitiativen. [Online] 16. 01 2014. http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/flagship-initiatives/index_de.htm.

2. Europäischen Union. Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften. Straßburg : Europäischen Union, 16. Dezember 2002.

3. Sekretariat der Klimarahmenkonvention. Das Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Bonn : Sekretariat der Klimarahmenkonvention mit Unterstützung des deutschen Bundesumweltministeriums, 1999.

4. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Kyoto-Protokoll. [Online] 16. 05 2014. Sekretariat der Klimarahmenkonvention.

5. Bundeskanzleramt (BKA) Abteilung VII/5. Bundeskanzleramt Österreich. [Online] 14. 01 2014. <http://www.bka.gv.at/site/4891/default.aspx>.

6. Europäischen Union. Richtlinie 2012/27/EU des Europäischen Parlaments und des Rates zur Energieeffizienz, zur Änderung der Richtlinien 2009/125/EG und 2010/30/EU und zur Aufhebung der Richtlinien 2004/8/EG und 2006/32/EG. Amtsblatt der Europäischen Union. Straßburg : Europäischen Union, 25. Oktober 2012.

7. Europäische Union. Europäische Kommission; Europa 2020; Ziele. [Online] 14. 01 2014. http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/targets/index_de.htm.

8. Europäische Kommission. Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa, Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Brüssel : Europäische Kommission, 2011.

9. Europäische Kommission. Energiefahrplan 2050. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, Den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Brüssel : Europäische Union, 12.12.2011.

10. Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB). Richtlinie 6, Energieeinsparung und Wärmeschutz. Wien : Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB), 2011.

11. Europäische Kommission. Pressemitteilung; Umwelt: Sagen Sie uns Ihre Meinung zur Verringerung der Umweltauswirkungen von Gebäuden. Brüssel : Europäische Union, 9. Juli 2013.

12. Bauer, Michael, Mösle, Peter und Schwarz, Michael. Green Buildings, Leitfaden für nachhaltiges Bauen. Berlin : Springer Verlag, 2013.

13. Europäischen Union. Richtlinie 2010/31/EU des europäischen Parlament und Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung). Amtsblatt der Europäischen Union. Straßburg : Europäischen Union, 19. Mai 2010.

14. Voss, Karsten und Musall, Eike. Nullenergie Gebäude, Internationale Projekte zum Klimaneutralen Wohnen und Arbeiten. München : DETAIL Green Books, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, 2011.

15. [Online] 23. 03 2014. http://1.bp.blogspot.com/_DRuKi7Vuw44/TKsl6ovBaAI/AAAAAAAAAAQ/yp4BKy-ZbZnU/s1600/Solarzelle.jpg.

16. Wiener Landesregierung. Bauordnung für Wien. Wien : Wiener Landesregierung, 05.11.2012.

17. Energiestrategie Österreich. Energiestrategie Österreich, Maßnahmenvorschläge. Wien : Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend; Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2010.

18. Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB). OIB-Dokument zur Definition des Niedrigstenergiege-

bäudes und zur Festlegung von Zwischenzielen in einem „Nationalen Plan“. Wien : Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB), 2012.

19. Wiener Landesregierung. Verordnung der Wiener Landesregierung, mit der die Wiener Bautechnikverordnung; Stück 73, Nr. 73/2012. Landesgesetzblatt für Wien. Wien : Wiener Landesregierung, 21. Dezember 2012.

20. Wiener Landesregierung. Verordnung der Wiener Landesregierung, mit der bautechnische Anforderungen festgelegt werden (Wiener Bautechnikverordnung – WBTV). Wien : Wiener Landesregierung, 12. Juli 2008.

21. Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB). Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB). [Online] 22. 12 2013. www.oib.or.at/richtlinie11.

22. Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB). Leitfaden energietechnisches Verhalten von Gebäuden. Wien : Österreichisches Institut für Bautechnik, 2011.

23. OIB Richtlinie 6. Richtlinie 6, Energieeinsparung und Wärmeschutz. Wien : Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB), 2011.

24. Holger König, Niklaus Kohler, Johannes Kreißig, Thomas Lützkendorf. Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung. München : Institut für internationale Architektur-Dokumentation, 2009.

25. Glücklich, Detlef. Ökologisches Bauen, Von Grundlagen zu Gesamtkonzepten. München : Deutsche Verlags-Anstalt GmbH, 2005.

26. klima:aktiv Gebäudestandard. klima:aktiv Gebäudestandard, Kriterienkatalog für Neubau und Sanierung von Wohnbauten. Wien : Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2013.

27. Vergleich, klima:aktiv Gebäudestandard im. <http://www.klimaaktiv.at/bauen-sanieren/gebäude-deklaration/Labelvergleich.html>. <http://www.klimaaktiv.at/bauen-sanieren/gebäude-deklaration/>

Labelvergleich.html. [Online] zuletzt geöffnet am: 03.01.2014.

28. Passivhaus Institut. „Zertifiziertes Passivhaus“ Zertifizierungskriterien für Passivhäuser mit Wohnnutzung. Darmstadt : Passivhaus Institut, Stand 13.05.2013.

29. Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN). EN 15804:2012: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung . Berlin : Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), 2012.

30. Hermann Kaufmann, Winfried Nerdinger. Ausstellungskatalog: Bauen mit Holz - Wege in die Zukunft. München : PRESTEL, 2011.

31. Hegger, Manfred, et al. Energieatlas; Edition DETAIL. Basel : Birkhäuser - Verlag für Architektur, 2008.

32. Daniels, Klaus. Technologie des ökologischen Bauens. Basel : Birkhäuser - Verlag für Architektur, 1999.

33. Zürcher, Christoph und Frank, Thomas. Bauphysik, Bau & Energie. Zürich : vdf Hochschulverlag AG, 2010.

34. Sommer, Adolf-W. Passivhäuser; Planung - Konstruktion - Details - Beispiele; 2. Auflage. Köln : Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, 2001.

35. Hausladen, Gerhard, et al. KlimaDesign; Lösungen für Gebäude, die mit weniger Technik mehr können. München : Georg D.W. Callwey GmbH & Co. KG, 2005.

36. EControl-Glas GmbH & Co. ECONTROL® KG. Dimmbares Glas. [Online] 21. 05 2014. http://www.econtrol-glas.de/uploads/pics/ECG_IST_Braunschweig_IMG_0819.JPG.

37. Schmid, Volker. Hybridkonstruktionen in der Tragwerksplanung. DETAIL Hybride Konstruktionen. 2012, 12.

38. Graubner, Carl-Alexander, Garrecht, Harald und Prose, Tilo. Innovative Betontechnologie - Voraussetzung für die Entwicklung umweltfreundlicher und res-

sourcenschonender Zemente; Internetpublikation. Darmstadt : Technische Universität Darmstadt, Institut für Massivbau, 2010.

39. Mötzl, Hildegund. IBO-Prüfzeichen für Slagstar; IBOmagazin 1/05. Wien : Österreichisches Institut für Baubiologie- und Ökologie, 2005.

40. ON-Komitee ON-K 010. ÖNORM B 4710-1: Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis. Wien : ON Österreichisches Normungsinstitut, 2007.

41. Wopfinger Baustoffindustrie GmbH. Slagstar Öko-Beton. [Online] 22. 04 2014. www.slagstar.at/upload/web/doc/Slagstar_koBeton.pdf.

42. Austrian Standards Institut. ÖNORM B 4710-1: Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis. Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2007.

43. Detail Green. Betonrecycling beim IUCN-Erweiterungsbau. Sonderausgabe zu Detail. 2010, 02.

44. Eberhard Recycling AG. Recyclingbeton. [Online] 15.05.2014. http://www.eberhard.ch/content.php?p-nav_id=4&snav_id=3.

45. CEMEX Austria AG . Beton & Estrich. [Online] 15.05.2014. http://www.cemex.at/924_DE.

46. Detail Green. Forschungsinstitut in Wageningen; Feldversuch in Sachen Ökologie. Sonderausgabe zu Detail. 2012, Bd. 02.

47. Austrian Standards Institut. ÖNORM EN 12369: Holzwerkstoffe - Charakteristische Werte für Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken. Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2009.

48. Austrian Standards Institut. ÖNORM EN 338: Bauholz für tragende Zwecke, Festigkeitsklassen. Wien : Austrian Standards plus GmbH, 2009.

49. Austrian Standards Institut. ÖNORM EN 206-1. Beton - Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität (konsolidierte Fassung). Wien : Austri-

an Standards plus GmbH, 2005.

50. Karpfenbauer, Thomas. Bautabelle. Wien : Jugend & Volk GmbH, 2007.

51. Schneider, Klaus-Jürgen. Bautabellen für Architekten. Köln : Werner Verlag, 18. Auflage 2008.

52. Thienel, K.-CH und Kustermann, A. Sonderbetone; Normalbeton, Hochfester Beton, Hochleistungsbeton, Ultrahochfester Beton. München : Institut für Werkstoffe des Bauwesens; Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr München, 2011.

53. Peters, Sascha. Materialrevolution, Nachhaltige und multifunktionale Materialien für Design und Architektur. Basel : Birkhäuser, 2014.

54. Cerna, Andrea. Ökologische Bewertung im Lebenszyklus von Gebäuden. Vorlesung Holzbau für Bauingenieure. Wien : Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau, 26.03.2014.

55. Hochhauser et al. Holz-Glas-Verbundkonstruktionen: Berechnungs- und Bemessungskonzept. Wien : Technische Universität Wien, 2011.

56. Voller Durchblick. Jahn, Barbara. Juni 2012, FORUM Glastechnik, S. 15.

57. Dold und Hasenauer AG. SUPERLAB green design. [Online] 22. 04 2014. <http://www.superlab.at/galerie.html>.

58. Tavoussi, Kamyar, et al. WCTE 2014; Timber-Steel Hybrid Beams for Multi-Storey Buildings: Design Criteria, Calculation and Tests. Wien : Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau; Technische Universität Wien, 2012.

59. Kaufmann, Hermann und Strauch, Rainer. Ressourcenschonung durch Synergie: Hochbauten in Holz-Hybridbauweise. Detail Green; Sonderausgabe zu Detail. 2012, 02.

60. Proholz Austria. Der Schlüssel zum Hochhaus. [Online] 04. 05 2014. <http://www.proholz.at/zuschnitt/45/>

der-schlüssel-zum-hochhaus/.

61. Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurbau, Holzleichtbetonbeton - Decken, FFG Forschungsprojekt: 824 892 . Wien: 2014

62. Sommer, Adolf-W. Passivhäuser; Planung - Konstruktion - Details - Beispiele; 2. Auflage. Köln : Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, 2001.

63. Ragonesi, Marco, et al. Minenergie-P. Das Haus der 2000-Watt Gesellschaft; 3. Auflage. Zürich : Faktor Verlag, 2010.

64. Ragonesi, Marco, et al. Minenergie-P. Das Haus der 2000-Watt Gesellschaft; 3. Auflage. Zürich : Faktor Verlag, 2010.

65. Pfundstein, Margit, et al. Dämmstoffe; Grundlagen, Material, Anwendungen; Edition DETAIL. München : Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, 2008.

66. Stylepark AG. [Online] 22. 04 2014. <http://www.stylepark.com/de/okalux/kapipane-twd-pc-insulation>.

67. Graz, Verpackungszentrum. Verpackungszentrum Graz. [Online] 04. 05 2014. <http://www.vpz.at/>.

68. BINE Informationsdienst. Portal zur Speichersforschung. [Online] 19. 05 2014. <http://www.bine.info/newsuebersicht/news/portal-zur-speichersforschung-online/>.

69. Krippner, Roland. Untersuchungen zu Einsatzmöglichkeiten von Holzleichtbeton im Bereich von Gebäudefassaden; Dissertation. München : Technische Universität München; Fakultät für Architektur; Institut für Entwerfen und Bautechnik; Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, 2004.

70. Zeumer, Martin, John, Viola und Hartwig, Joost. Nachhaltiger Materialeinsatz. Detail Green; Sonderausgabe zu Sonderausgabe. 2009, Bd. 01.

71. Hermann Kaufmann ZT GmbH. LifeCycle Tower - Forschungsprojekt Holzhochhaus. [Online] 15.05.2014 <http://www.hermann-kaufmann.at/index.php->

[p?pid=2&prjnr=09_24](#).

72. Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz. Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung - AltholzV) (BGBl. I S. 3302). s.l. : Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz, 15.08.2002.

73. Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Abfallverzeichnisverordnung; BGBl. II Nr. 570/2003 in der Fassung BGBl. II Nr. 498/2008. 2003.

74. Siebers, Raban. Ressourceneffizienz durch recyclinggerechte Konstruktion und Baustoffe. bauforum-stahl e.V. Düsseldorf : s.n., 2013.

75. Sobek, Werner, Brenner, Valentin und Michealy, Petre. Das Gebäude als Ressourcenspeicher: Recyclinggerechtes Bauen in der Praxis. Sonderausgabe zu Detail; Detail Green. 2012, Bd. 1.

76. Johannes Kaufmann GmbH. Planunterlagen. Dornbirn : zur Verfügung gestellt von Johannes Kaufmann GmbH, 2014.

77. wohnfonds_wien, fonds für wohnbau und stadterneuerung. Bauträgerwettbewerb Eurogate, ein neues Wohngebiet im 3. Wiener Gemeindebezirk. Wien : wohnfonds_wien, fonds für wohnbau und stadterneuerung, 2007.

78. Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB). Richtlinie 2. Wien : Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB), 2011.

79. Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB). Abweichungen im Brandschutz und Brandschutzkonzept. Wien : Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB), 2011.

80. Saint-Gobain Rigips Austria GesmbH. Das RIGIPS Magazin 2/2. Wien : Saint-Gobain Rigips Austria GesmbH, 2012.

81. Schöberl & Pöll GmbH. Energieausweis für Wohngebäude für Gebäuung Fred-Zinnemann-Platz 2 - BK

5B+C. laut OIB Richtlinie 6, Ausgabe 2011. Wien : zur Verfügung gestellt von Johannes Kaufmann GmbH, 18.02.2014.

82. Schoberl & Pöll GmbH. Passivhaus Nachweis für Eurogate Bauplatz 5, Häuser B+C - 1030 Wien. Passivhaus Projektierungspaket. Wien : zur Verfügung gestellt von Johannes Kaufmann GmbH, 11.02.2014.

83. Pöhn, Christian et al. Bauphysik - Energieeinsparung und Wärmeschutz. Wien: Springer Verlag, 2012.

84. Das Rigips Magazin Nr. 2/12. Rigips. [Online] 09. 04 2014. www.rigips.com/3415.

85. Block, Phillipe, Gengnagel, Christoph und Peters, Stefan. Faustformal Tragwerksentwurf. München : Deutsche Verlags-Anstalt, 2013.

86. STEICO GmbH. www.steico.com. [Online] 01. 05 2014. <http://www.steico.com/produkte/traeger/steicojoist/ueberblick.html>.

87. Austrian Standards Institut. ÖNORM B 5320. Wien : Austrian Standards plus GmbH,

88. Saint-Gobain Rigips Austria GesmbH. Ri-Cycling und Rücknahme von Gipskarton-Abfällen. [Online] 01. 05 2014. <http://www.rigips.at/kundenservice/ri-cycling-und-ruecknahme-von-gk-abfaellen.html>.

89. Wopfinger Baustoffindustrie GmbH. Industrieprodukte Wopfing . [Online] 22. 05 2014. http://www.baumit.at/front_content.php?idcat=50.

90. VELOX Werk GesmbH. Velox Bausysteme. [Online] 22. 05 2014. <http://www.velox.at/de/service-center-downloads/downloads/>.

91. Führer, Wilfried, Ingendaaij, Susanne und Stein, Friedhelm. Der Entwurf von Tragwerken; Hilfen zur Gestaltung und Optimierung. Köln : Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, 1995.

92. Dr. Klaus Krec. Büro für Bauphysik. [Online] 15.05.2015. <http://www.krec.at/index.php?id=14>

93. Institut für Tragwerksplanung und Ingenieur-

holzbau, Holzleichtbetonbeton - Decken, FFG Forschungsprojekt: 824 892 . Wien: 2014

94. „Holzbeton“, Arbeitskreis. www.holzbeton.at. [Online] 22. 04 2014. http://www.holzbeton.at/cache/ban_pic/thb-i77f42-ic302f-laermschutzwand5.jpg.

95. Sarja, A. Wood fibre reinforced concrete. [Buchverf.] R. N. Swamy. Natural fibre reinforced cement and concrete. Glasgow : Blackie Academic & Professional, 1988, S. 63–92.

96. Austrian Standards Institut. ÖNORM B 81 10: Wärmeschutz im Hochbau 2012. Wien : Austrian Standards plus GmbH

97. Austrian Standards Institut. ÖNORM EN 13501: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten 2009 .Wien : Austrian Standards plus GmbH,

98. OE1. Das Rinterzelt. [Online] 22.05.2014. <http://oe1.orf.at/artikel/330222>

99. CREE [Online] 22.05.2014 <http://www.creebyrhomburg.com/de/cree-systeme/elementbauweise/>

100. Austrian Standards Institut. ÖNORM EN 13829: Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden: 2001.Wien : Austrian Standards plus GmbH

101. Austrian Standards Institut. ÖNORM EN 15804: Nachhaltigkeit von Gebäuden 2014 .Wien : Austrian Standards plus GmbH

Danksagung

Ich danke Dr. Fadai, Dr. Krec und Prof. Winter. Ihre Betreuung hat nicht nur die Qualität meiner Arbeit verbessert, sondern war vor allem eine sehr lehrreiche Zeit.

Ich danke Joachim. Danke für deine Hilfe, Zeit, Motivation und Geduld.

Ich danke meinen Eltern und meinen Bruder. Eure Unterstützung, euer Glauben an mich und euer Stolz haben mich mein ganzen Leben begleitet und meine Ziele erreichen lassen.

Ich danke Julia, Edith und Doris. Danke für eure Freundschaft, Hilfe und euren Zuspruch.

Ich danke Babsi. Die Zusammenarbeit mit dir war mir immer eine Inspiration und Motivation. Aber mein größter Dank gilt deiner Freundschaft.

Ich danke Dave, Pat, Nate, Taylor und Chris. In Zeiten wie diesen habt ihr mich zum Besten an mir motiviert und mich noch eine Runde durchhalten lassen.