



Dipl.-Ing. Erich Wutscher

**Demontage und Recycling im Gebäudesektor
Eine Bewertung am Beispiel des Brettspertholz-Bausystems**

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der technischen Wissenschaften

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Architekt Roger Riewe

Institut für Architekturtechnologie

Gutachter

Prof. Dr. sc. techn. Mike Schlaich, Technische Universität Berlin

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Peters, Technische Universität Graz

Graz, 10. Februar 2017

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Dissertation identisch.

Datum

Unterschrift

Kurzfassung

Der Gebäudesektor zeichnet sich für einen Großteil des Ressourcenverbrauchs und die damit entstehenden Folgen auf die Umwelt verantwortlich. Das Recycling von Baustoffen und Produkten wird als eine zwingend notwendige Maßnahme erachtet, um die Ressourceneffizienz zu steigern und die mit der Neuproduktion von Materialien einhergehenden negativen Umweltauswirkungen zu vermeiden. Die mangelnde Demontagefähigkeit herkömmlicher Bauweisen erlaubt am Lebensende jedoch kein sortenreines Trennen und Separieren der verwendeten Materialien und Bauteile, um diese als Sekundärressource wieder zu gewinnen. Hochwertige Rohstoffe und Energie gehen als Abfall auf Deponien verloren.

Holz nimmt als nachweisender Baustoff eine Sonderstellung ein, der sich über alle Lebenszyklus-Phasen hinweg, bis zur Entsorgung, durch seine hohen Umwelt- und Klimaentlastungspotentiale auszeichnet. Moderne Holzbausysteme, wie das Brettsperrholzbausystem, müssen sich dennoch weiteren Produkten unterschiedlicher stofflicher Zusammensetzung bedienen, um die unterschiedlichsten Anforderungen an die Konstruktion zu gewährleisten. Demnach besteht ein Gebäude in Brettsperrholzbauweise aus einer Vielzahl von Bauteilen unterschiedlicher Stoffkategorien, dessen hochwertiges Recycling ebenfalls eine vorausgehende Demontage erfordert.

Ziel der Arbeit ist es, mit Hilfe geeigneter Kriterien die Demontagefähigkeit des Brettsperrholzbausystems und die Recyclingfähigkeit der verwendeten Komponenten in Form einer Analyse, Bewertung und Optimierung zu bestimmen.

Der Fokus wird auf die strukturelle Ebene des Brettsperrholzbausystems – zur Bewertung der Demontagefähigkeit und auf die stoffliche Ebene der verwendeten Materialien und Bauteile – zur Bewertung der Recyclingfähigkeit gerichtet.

Methoden zur Operationalisierung der Demontage- und Recyclingfreundlichkeit sind im Bauwesen noch unzureichend erfasst. Daher werden auf Basis des Bewertungsmodells nach Durmisevic Demontageaspekte analysiert, die auf struktureller Ebene die Voraussetzungen für eine demontagefähige Gebäudestruktur schaffen. Die Voraussetzungen für die Recyclingfähigkeit auf stofflicher Ebene bildet die Analyse der Aspekte zur stofflichen Verwertbarkeit nach Brenner. Aus der Analyse werden insgesamt 16 Kriterien definiert, von denen 11 der Bewertung der Demontagefähigkeit und 5 der Bewertung der Recyclingfähigkeit dienen.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass der strukturelle Aufbau des Brettsperrholzbausystems es grundsätzlich erlaubt, demontage- und somit recyclingfreundlich zu sein. Das gesamte System gliedert sich in Bereiche und Teilbereiche (tragendes Rohbausystem, Hüllflächen, Ausbauelementen und Gebäudetechnik), deren Hierarchisierung und Anordnung entsprechend nach Austauschzyklen erfolgen kann. Dadurch sind nicht nur in der Rückbauphase, sondern auch in den Nutzungsphasen positive Effekte zu erwarten. Bereiche und Teilbereiche sind unabhängig voneinander adaptierbar, tauschbar und instandsetzbar, ohne das gesamte System zu beeinträchtigen. Das tragende Rohbausystem hingegen setzt sich aus Bauteilen unterschiedlichster Stoffkategorien und Lebensdauern zusammen, die auf Grund gegenseitiger Abhängigkeit und stoffschlüssiger Verbindungen sowohl die Demontage als auch das Recycling erschweren.

Die tatsächliche Demontage- und Recyclingfreundlichkeit des gesamten Systems richtet sich nach der Demontage- und Recyclingfähigkeit der Hüllflächen, der Ausbauelemente und der Integration der Gebäudetechnik. Die vielen Möglichkeiten der Schichtaufbauten, stofflichen Zusammensetzungen und daraus resultierenden Verbindungen und Abhängigkeiten zueinander und zur tragenden Rohbaukonstruktion erfordern eine individuelle Betrachtung der jeweiligen Bereiche und Teilbereiche. So ist bereits am Beginn des Planungsprozesses eine Operationalisierung der Demontage- und Recyclingfähigkeit erforderlich, um einen späteren Rückbau und ein hochwertiges Recycling sicherzustellen.

Abstract

The building sector claims responsibility for a majority of the consumption of resources and the resulting consequences for the environment. The recycling of building materials and products is considered a necessary step in order to increase resource efficiency and to avoid the negative consequences on the environment stemming from reproduction of materials. The lack of dismantling capacity of usual construction methods does however not allow diverse separation and segregation of the used materials and components in the end, so that the materials could be reused. As a result, valuable raw materials and energy become waste and are lost on disposal sites.

Since wood is a showing building material that maintains an extra position due to its high potential to relieve climate and environment over all life cycle phases. Modern wood building systems such as the cross-laminated timber building system still have to utilize other products of different consistency in order to withstand the various requirements of construction. Therefore, a building with a cross-laminated building system includes a huge number of building materials of various categories of material, which also need to be dismantled before valuable recycling.

It is the aim of this thesis to determine the dismantling capacity of the cross-laminated timber system and the recycling capacity of the used components with the help of suitable criteria as well as an analysis, assessment, and optimization. The focus for the valuation of the recycling capacity is going to lie on the structural level of the cross-laminated timber building system – for the evaluation of the dismantling capacity as well as on the substance level of the used materials and building materials. Methods for operationalization and dismantlement - as well as recycling capability have not been dealt with thoroughly by the construction industry. Therefore, the aspects of dismantling are going to be analysed on the basis of Durmisevic's evaluation model, which provides the requirements for a building structure, which can be dismantled on a structural level. The requirements for the recycling compatibility on a substantial level are based on Brenner's analysis of aspects for substantial exploitability. Resulting from this analysis, altogether 16 criteria are defined with 11 of them serving the assessment of the dismantling capacity and 5 serving the assessment of the recycling capability.

The results of this thesis show that the structural composition of the cross-laminated timber building system is able to be dismantling – as well as recycling – friendly. The whole system is separated into parts and subparts (main body-in-white systems, enveloping surfaces, development elements and building technique), whose ranking can be determined in accordance with their substitution cycle. As a result, positive effects cannot only be expected in the rebuilding phase but also in the utilization phase. Parts and subparts can be adapted, exchanged and overhauled separately without impairing the system as a whole. The body-in-white system, on the other hand, is composed out of parts with different substance categories and lifespans, which complicate the dismantling – and recycling process due to mutual dependence and firmly bonded connections. The actual dismantling ease and recyclability of the whole system is determined by the dismantling ease and recyclability of the enveloping surfaces, the developing elements and the integration into the building technique. The many possibilities of the multi-layer constructions, the substance combinations and the connections resulting from those as well as their dependencies on each other as well as the dependency on the multi – layer construction require individual consideration of the respective parts and subparts. As a result, an operationalization of the dismantling – and recycling capacity is already needed in the beginning of the planning process in order to ensure dismantling and recycling for the future.

Abkürzungsverzeichnis

Allgemein:

BG	Bauteilgruppe
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau- und Reaktorsicherheit
BP	Beplankung
BT	Bauteil
BTE	Bund Technischer Experten
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
DP	Demontagepotential
e.V.	Eingetragener Verein
ENV	Environmental
EU	Europäische Union
I	Installation
IE	Installationsebene
K1	Nutzungskategorie
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LC	Life Cycle
LD	Lebensdauer
Mio.	Million
MJ	Megajoule
ML	Material Level
Mrd.	Milliarde
ÖGNI	Österreichische Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft
ÖKO	Ökologie
PEFC	Program for the Endorsement of Forest Certification
RC	Recycling
SERI	Sustainable Europe Research Institute
TEC	Technische Qualität
TJ	Terajoule
W	Wand

Allgemeine Produktbezeichnungen:

BSP	Brettsperrholz
CLT	Cross Laminated Timber
GKF	Gipskarton Feuerschutzplatte
KLH	Kreuzlagenholz
VWS	Vollwärmeschutz
XLAM	Cross Laminated Timber
XPS-G	Extrudierter Polystyrol-Hartschaum, druckfest

Gesetze/Verordnungen:

AWG	Abfallwirtschaftsgesetz
BauPVO	Bauprodukteverordnung
BGBI.	Bundesgesetzblatt
DepVO	Deponieverordnung

Normung:

CE	Conformité Européenne
DIN	Deutsches Institut für Normung
DoP	Declaration of performance
EN	Europäische Norm
EPD	Umwelt-Produktdeklarationen
ETA	European Technical Assessment
hEN	Harmonisierte Europäische Normen
ISO	International Standard (Internationale Norm)
ÖNORM B	Nationale Norm (Normengruppe Bauwesen)
VDA	Verband der Automobilindustrie
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

Stoffe:

CO ₂	Kohlenstoffdioxid
EPI	Emulsionspolymer Isocyanat
GF	Glasfaseranteil
H-FCKW	Teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe
KMF	Künstliche Mineralfasern
MDI	Methylendi(phenylisocyanat)e
MF	Melamin-Formaldehyd-Kondensationsharze
MUF	Melamin-Urea-Formaldehyd
PAK	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
PBT	Polybutylenterephthalat
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCP	Pentachlorphenol
PF	Phenol-Formaldehydharz
PRF	Phenol-Resorcin-Formaldehyd
PUR	Polyurethan
RF	Resorzin-Formaldehydharz
VOC	Volatile Organic Compound (Flüchtige organische Verbindungen)

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	i
Abstract	ii
Abkürzungsverzeichnis	iii
Inhaltsverzeichnis	v
1. Einleitung	1
1.1. Motivation und Hintergrund.....	1
1.1.1. Ressourcenverbrauch.....	2
1.1.2. Ressourcenverbrauch im Gebäudesektor	3
1.1.3. Abfallaufkommen	5
1.1.4. Energieverbrauch.....	7
1.2. Ziele und Fragestellungen	8
1.3. Gang der Untersuchung	11
2. Ausgangssituation und Rahmenbedingungen	13
2.1. Historische Betrachtung demontage- und recyclinggerechten Bauens	13
2.1.1. Antike	13
2.1.2. Mittelalter	13
2.1.3. Das 19. Jahrhundert	14
2.1.4. Das 20. Jahrhundert	15
2.1.5. Gegenwart	17
2.1.6. Zusammenfassung	18
2.2. Brettsperrholz – ein demontage- und recyclingfähiges Bausystem?.....	19
2.3. Richtlinien und Begriffsdefinitionen.....	21
2.4. Demontage und Recycling im Gebäudesektor	24
2.5. Demontage und Recycling in der Nachhaltigkeitsbewertung	28
2.5.1. Kriterium TEC 1.6 - Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit.....	29
2.5.2. Relevanz.....	29
2.5.3. Methode	30
2.5.4. Nachweise	31
3. Methodische Herangehensweise	32
3.1. Struktureller Aufbau eines Gebäudes.....	32
3.1.1. Funktionale Gliederung.....	33
3.1.2. Konstruktiver Aufbau.....	33
3.1.3. Aufbau der Schnittstellen	33
3.1.4. Strukturelle Zusammenhänge.....	34
3.2. Strukturebenen	34
3.2.1. Austauschcluster:.....	34
3.2.2. Bauteilgruppenebene (Nutzungseinheit).....	35
3.2.3. Bauteilebene (Funktionseinheit)	35
3.2.4. Materialebene	35
3.3. Bauweisen	37
3.4. Voraussetzungen für demontagefähige Strukturen	38
3.5. Beschreibung des herangezogenen Bewertungsmodells.....	40
3.6. Kritische Betrachtung des herangezogenen Bewertungsmodells	46
3.7. Beschreibung der anzuwendenden Methodik.....	47
3.7.1. Bewertung der Demontagefähigkeit.....	47
3.7.2. Bewertung der Recyclingfähigkeit.....	47
3.7.3. Bestimmung des Systemausschnittes	48
3.7.4. Abgrenzung und Umfang des zu bewertenden Gegenstandes	49

3.7.5.	Auswertung	51
4.	Voraussetzungen für demontagegerechtes Bauen auf struktureller Ebene	52
4.1.	Funktionale Gliederung	52
4.1.1.	Funktionstrennung – Funktionsintegration	53
4.1.2.	Funktionale Abhängigkeiten	54
4.2.	Systematischer Aufbau der Strukturebenen	56
4.2.1.	Modularer Aufbau	57
4.2.2.	Aufbau in Abhängigkeit der Montage/Demontageschritte	59
4.3.	Konstruktiver Aufbau	60
4.3.1.	Abhängigkeit und Austauschbarkeit der Teile	63
4.3.2.	Beziehungsmuster:	64
4.3.3.	Hierarchie und Anordnung der Teile	66
4.3.4.	Basisbauteil	67
4.4.	Aufbau der Schnittstellen	69
4.4.1.	Geometrie der Fügstellen	71
4.4.2.	Montageablauf	72
4.4.3.	Auswahl der Verbindungen	75
4.4.4.	Verbindungsarten	79
4.5.	Lebenszyklusbetrachtung	83
5.	Voraussetzungen für recyclinggerechtes Bauen auf stofflicher Ebene	89
5.1.	Kreislauffähigkeit der Materialien	89
5.2.	Deklaration und Zertifizierung von Baustoffen und Produkten	90
5.3.	Stoffliche Vielfalt	92
5.4.	Substitution durch Recycling-Baustoffe	94
5.5.	Materialmenge und graue Energie	95
5.6.	Schadstoffe und recyclingkritische Störstoffe	96
5.7.	Separierbarkeit und Materialverträglichkeit	98
5.8.	Materialkennzeichnung und Dokumentation	100
6.	Definition und Gewichtung der Bewertungskriterien	103
6.1.	Bewertungskriterien auf struktureller Ebene	103
6.2.	Bewertungskriterien auf stofflicher Ebene	110
6.3.	Zusammenfassung der Bewertungskriterien	113
7.	Das Brettsperrholzsystem	114
7.1.	Konstruktionsmerkmale	115
7.1.1.	Tragende Rohbaukonstruktion	115
7.1.2.	Fassade – Dach	117
7.1.3.	Boden – Decke – Vorsatzschale	118
7.1.4.	Gebäudetechnik	119
7.2.	Zusammenfassung Abschnitt 7.1	120
8.	Analyse und Bewertung der tragenden Rohbaukonstruktion	121
8.1.	Funktionstrennung – Funktionsintegration	121
8.2.	Funktionale Abhängigkeit	121
8.3.	Systematischer Aufbau der Strukturebenen	124
8.4.	Modularität	124
8.5.	Basisbauteil	124
8.6.	Lebenszyklusbetrachtung	125
8.7.	Hierarchie und Anordnung der Teile	126
8.8.	Montageablauf	127
8.9.	Geometrie der Fügstellen	128
8.10.	Verbindungsarten und Auswertung der Verbindungen	131
8.11.	Zugänglichkeit der Verbindungen	137
8.12.	Kreislauffähigkeit der Materialien	137

8.13.	Stoffliche Vielfalt und Materialverträglichkeit	141
8.14.	Substitution durch Recyclingbaustoffe.....	144
8.15.	Schadstoffe und recyclingkritische Störstoffe	146
8.16.	Materialkennzeichnung und Dokumentation.....	147
9.	Analyse und Bewertung Fassade – Dach	150
9.1.	Funktionstrennung – Funktionsintegration.....	150
9.2.	Funktionale Abhängigkeit	150
9.3.	Systematischer Aufbau der Strukturebenen	152
9.4.	Modularität	152
9.5.	Basisbauteil	152
9.6.	Lebenszyklusbetrachtung	153
9.7.	Hierarchie und Anordnung der Teile.....	154
9.8.	Montageablauf	155
9.9.	Geometrie der Fügstellen	156
9.10.	Verbindungsarten und Auswertung der Verbindungen.....	159
9.11.	Zugänglichkeit der Verbindungen	163
10.	Analyse und Bewertung Boden – Decke – Vorsatzschale.....	165
10.1.	Funktionstrennung – Funktionsintegration.....	165
10.2.	Funktionale Abhängigkeit	165
10.3.	Systematischer Aufbau der Strukturebenen	167
10.4.	Modularität	167
10.5.	Basisbauteil	167
10.6.	Lebenszyklusbetrachtung	168
10.7.	Hierarchie und Anordnung der Teile.....	169
10.8.	Montageablauf	170
10.9.	Geometrie der Fügstellen	171
10.10.	Verbindungsarten und Auswertung der Verbindungen.....	174
10.11.	Zugänglichkeit der Verbindungen	177
11.	Analyse und Bewertung Gebäudetechnik.....	179
11.1.	Funktionstrennung – Funktionsintegration.....	179
11.2.	Funktionale Abhängigkeit	180
11.3.	Systematischer Aufbau der Strukturebenen	181
11.4.	Modularität	182
11.5.	Basisbauteil	182
11.6.	Lebenszyklusbetrachtung	182
11.7.	Hierarchie und Anordnung der Teile.....	184
11.8.	Montageablauf	184
11.9.	Geometrie der Fügstellen	185
11.10.	Verbindungsarten und Auswertung der Verbindungen.....	185
11.11.	Zugänglichkeit der Verbindungen	189
12.	Ergebnisse der Bewertung	190
12.1.	Tragende Rohbaukonstruktion	190
12.2.	Fassade – Dach.....	193
12.3.	Boden – Decke – Vorsatzschale.....	195
12.4.	Gebäudetechnik.....	197
13.	Optimierung und kritische Analyse der Ergebnisse	199
13.1.	Tragende BSP-Rohbaukonstruktion	199
13.2.	Fassade – Dach.....	206
13.3.	Boden – Decke – Vorsatzschale.....	210
13.4.	Gebäudetechnik.....	211
14.	Zusammenfassung und Ausblick	214
14.1.	Zusammenfassung	214

14.2.	Kurzdarstellung der neuen Erkenntnisse	216
14.3.	Weiterer Forschungsbedarf	217
14.4.	Ausblick	219
	Ergänzende Unterlagen zum Bewertungsmodell	220
	Literaturverzeichnis	223
	Abbildungsverzeichnis	235
	Tabellenverzeichnis	241

1. Einleitung¹

1.1. Motivation und Hintergrund

Der Wohlstand Europas in den letzten Jahrzehnten lässt sich durch ein stetiges Wirtschaftswachstum und dem damit einhergehenden intensiven Ressourcenverbrauch begründen². Heute steht die Europäische Union vor der Herausforderung, das Wohlergehen seiner Bürgerinnen und Bürger durch weiteres Wachstum und den damit verbundenen Beschäftigungsmöglichkeiten sicherzustellen, aber vor allem, die Qualität des Wirtschaftswachstums zu einer nachhaltigen Zukunft zu führen³.

Dazu wurde von der Europäischen Kommission die Strategie Europa 2020 ins Leben gerufen⁴: „Europa 2020“ ist die Wachstumsstrategie der EU für das kommende Jahrzehnt, die auf ein intelligentes, nachhaltiges und integratives Wachstum angelegt ist. In den fünf Bereichen Beschäftigung, Innovation, Bildung, soziale Integration und Klima/Energie möchte die EU bis 2020 ihre Wachstumsziele verwirklicht sehen. Zu jedem dieser Bereiche haben die Mitgliedsstaaten ihre eigenen nationalen Ziele festgelegt. Auf Ebene der EU soll diese Strategie durch konkrete Maßnahmen untermauert werden.

Die Ziele der EU für ein nachhaltiges Wachstum können dazu wie folgt beschrieben werden:⁵

1. „Bis zum Jahr 2020 Verringerung der Treibhausgasemissionen um 20 % gegenüber dem Niveau von 1990. Im Rahmen einer globalen und umfassenden Vereinbarung ist die EU bereit, weiter zu gehen und die Emissionen um 30% zu reduzieren – sofern sich andere Industrieländer zu vergleichbaren Emissionsreduzierungen verpflichten und die Entwicklungsländer einen ihren Fähigkeiten entsprechenden Beitrag leisten.“
2. „Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien am Gesamtenergieverbrauch auf 20 %“
3. „Steigerung der Energieeffizienz um 20 %.“

Die Strategie Europa 2020 und ihre Leitinitiative „Ressourcenschonendes Europa“ soll die EU bei dem Ziel, mehr nachhaltiges Wachstum umzusetzen, unterstützen⁶. Dabei fordert die Leitinitiative einen Fahrplan zur Festlegung der Ziele und darauf ausgelegte Maßnahmen. Damit soll der Übergang zu einer ressourcenschonenden und emissionsarmen Wirtschaft durch Abkopplung des Wirtschaftswachstums von der Ressourcen- und Energienutzung unterstützt werden⁷. Folgende Maßnahmen sind darin festgelegt:⁸

1. „Verringerung der CO₂-Emissionen,
2. „Verbesserung der Energieversorgungssicherheit,“
3. einen ressourcenschonenden Verbrauch.“

¹ Um die Lesbarkeit des Textes zu vereinfachen, wird in dieser Arbeit das generische Maskulinum verwendet. Dieses inkludiert beide Geschlechter ohne eine Wertung vorzunehmen.

² Vgl. KOM (2011) 571 endg. 2011, 2.

³ Ebda., 2.

⁴ KOM (2010) 2020 endg. 2010.

⁵ Ziele der EU für ein nachhaltiges Wachstum, http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/priorities/sustainable-growth/index_de.htm, 08.08.2016.

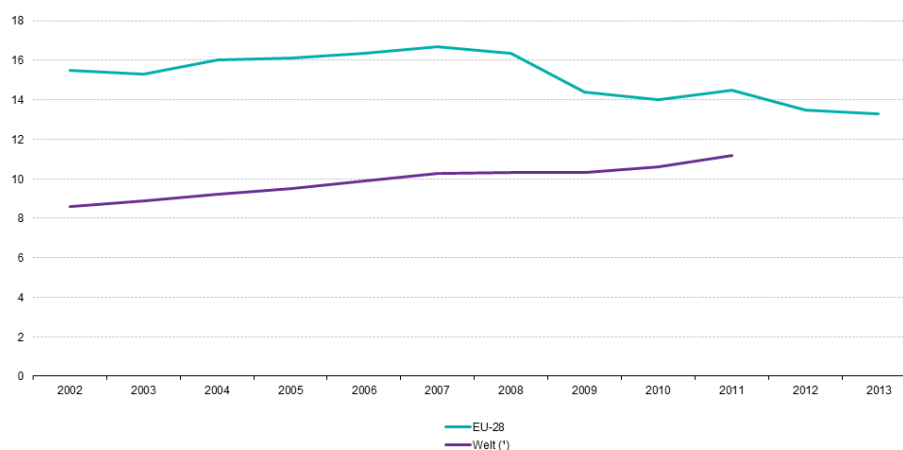
⁶ Vgl. KOM (2011) 21 2011, 3-4.

⁷ Ziele der EU für ein nachhaltiges Wachstum, http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/priorities/sustainable-growth/index_de.htm, 08.08.2016.

⁸ Ebda.

1.1.1. Ressourcenverbrauch

Wie eingangs erwähnt, hängen unsere Wirtschaft und der damit einhergehende Wohlstand und die Lebensqualität von den natürlichen Ressourcen ab. Zu den natürlichen Ressourcen zählen lt. Eurostat Biomasse, Erze, nichtmetallische Mineralien und fossile Energieträger⁹. Der weltweite Verbrauch fossiler Brennstoffe hat sich im Laufe des 20. Jahrhunderts verzehnfacht¹⁰. Der Abbau von Bodenschätzen ist um den Faktor 34 gestiegen¹¹. Obwohl der inländische Materialverbrauch in der EU in den letzten Jahren rückläufig geworden ist, liegt er im Beobachtungszeitraum von 2002 bis 2013 noch über dem Weltdurchschnitt¹² (Abb. 1.1). Bezogen auf das Jahr 2011 belief sich die weltweite Materialentnahme auf 11,2 Tonnen pro Kopf und innerhalb der EU auf 15,5 Tonnen pro Kopf¹³ (Schätzungen des SERI (Sustainable Europe Research Institute) und der Wirtschaftsuniversität Wien).



(*) 2007 und 2008: Bruch in der Reihe. 2012 und 2013: nicht verfügbar.
 Quelle: Eurostat (Online-Datencode: env_ac_mfa), SERI and WU Global Material Flows Database (www.materialflows.net)

Abbildung 1.1: Entwicklung des Materialverbrauchs, 2002-2013 (Tonnen pro Kopf)

In Anbetracht des zunehmenden Bevölkerungswachstums und dem Streben nach Wohlstand der Menschen in den Entwicklungs- und Schwellenländern und dem damit einhergehenden Verbrauchsniveau wird der Druck auf die Ressourcen zunehmend steigen¹⁴: Der Materialverbrauch in den letzten Jahrzehnten belastet nicht nur unser Ökosystem, sondern zeigt auch Auswirkungen auf die Versorgungssicherheit und Preisentwicklung der Ressourcen. Die Knappheit unverzichtbarer Mineralien und Rohstoffe sowie die starken Preisschwankungen dieser treiben die Preise in die Höhe und schaden somit der Wirtschaft und den globalen Arbeitsmärkten. Darüber hinaus ist zu erwähnen, dass mittlerweile fast zwei Drittel der wichtigsten Ökosysteme der Welt, die zur Erzeugung dieser Ressourcen beitragen, bereits geschädigt sind bzw. nicht nachhaltig genutzt werden¹⁵. Bleibt der Materialverbrauch wie in den letzten fünf Jahrzehnten unverändert, werden wir bis 2050 mehr als zwei Planeten benötigen, um den

⁹ Materialflussrechnung und Ressourcenproduktivität, http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Material_flow_accounts_and_resource_productivity/de, 27.08.2016.

¹⁰ Vgl. KOM (2011) 571 endg. 2011, 2.

¹¹ KOM (2011) 571 endg. 2011, 2.

¹² Materialflussrechnung und Ressourcenproduktivität, http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Material_flow_accounts_and_resource_productivity/de, 27.08.2016.

¹³ Ebda.

¹⁴ Vgl. WBCSD 2010.

¹⁵ KOM (2011) 571 endg. 2011, 2.

Ressourcenbedarf der bis dahin auf neun Milliarden angewachsenen Weltbevölkerung zu decken¹⁶. Um eine entsprechende Versorgungssicherheit der Weltbevölkerung und den Schutz der Ökosysteme zu gewährleisten, müssen wir nach einer Schätzung des World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) die Ressourceneffizienz bis 2020 bereits erheblich verbessern und bis 2050 um das Vier- bis Zehnfache erhöhen¹⁷.

Vor diesem Hintergrund soll die Leitinitiative „Ressourcenschonendes Europa“, im Zuge der Strategie Europa 2020, eine Grundlage für Maßnahmen bilden, welche die Umstellung bzw. Umgestaltung auf ein ressourcenschonendes und kohlenstoffarmes Wachstum ermöglichen. Dazu schreibt die Europäische Kommission in ihrem Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa wie folgt:¹⁸

„Die Umgestaltung benötigt einen politischen Rahmen, in dem ein Umfeld dafür geschaffen wird, dass Innovationen und Ressourceneffizienz belohnt werden, wobei wirtschaftliche Möglichkeiten und bessere Versorgungssicherheit durch Neukonzeption von Produkten, nachhaltige Bewirtschaftung ökologischer Ressourcen, mehr Wiederverwendung, Recycling und Ersetzung von Werkstoffen und Einsparungen von Ressourcen geschaffen werden. Die Entkopplung des Wachstums von der Ressourcennutzung und die Erschließung dieser neuen Wachstumsquellen erfordern Kohärenz und Integration in den politischen Strategien, die unsere Wirtschaft und unseren Lebensstil gestalten. Die Maßnahmen zum Klimaschutz haben bereits wegweisend dazu beigetragen, das Wachstum von der Nutzung von Kohlenstoff zu entkoppeln.“

1.1.2. Ressourcenverbrauch im Gebäudesektor

Der Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa beinhaltet auch die Förderung der Ressourceneffizienz bei Renovierung und dem Neubau von Gebäuden¹⁹: Umweltauswirkungen auf die Bereiche natürlicher Ressourcen, Energie, Klimawandel und Umwelt sollten über den gesamten Lebenszyklus hinweg verbessert werden. Dabei sollte der Einsatz verbesserter Produkte, nachhaltig bewirtschafteter Ressourcen sowie eine höhere Wiederverwendungs- und Recyclingquote nicht nur Werkstoffe und Ressourcen sparen, sondern auch zur einer nachhaltigeren Wettbewerbsfähigkeit des Baugewerbes und zum Aufbau eines ressourcenschonenden Immobilienbestandes beitragen. In Anbetracht dieser Forderungen zählt die Ressourceneffizienz zu den wichtigsten Herausforderungen, mit denen sich die Baubranche in den kommenden Jahren konfrontiert sehen wird²⁰.

Laut Stoffstromanalysen relevanter Produktgruppen sind in den Industrieländern ca. 80% aller Umweltauswirkungen auf die Sektoren Ernährung, Wohnen und Mobilität zurückzuführen^{21 22} (Abb. 1.2).

¹⁶ Vgl. WBCSD 2010, 35-36.

¹⁷ Ebda.

¹⁸ KOM (2011) 571 endg. 2011, 2-3.

¹⁹ Vgl. KOM (2014) 445 final, 2014, 4.

²⁰ Vgl. KOM (2012) 433 final, 2012, 15.

²¹ Vgl. Quack/Rüdenauer 2007, 5.

²² KOM (2011) 571 endg. 2011, 20.

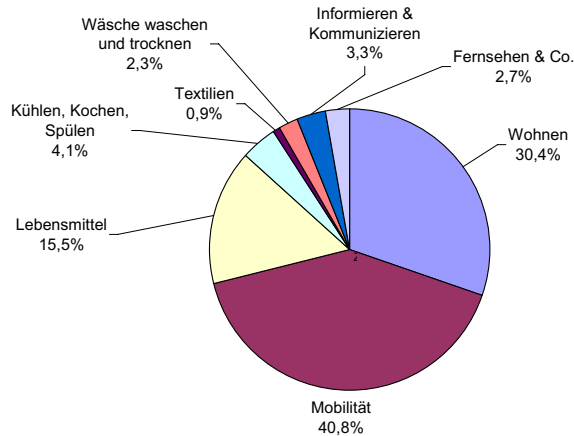


Abbildung 1.2: Gesamtumweltbelastung nach Produktfeldern²³

Nach einer Erhebung des „Ecorys Copenhagen Resource Institute“ entfallen ca. 30-50% aller unserer geförderten Werkstoffe in Europa auf den Neubau und die Sanierung von Gebäuden²⁴ (Abb. 1.3). Dabei wurde im Beobachtungszeitraum von 2003 bis 2011 ein Materialverbrauch von 1200-1800 Millionen Tonnen pro Jahr festgestellt²⁵. Den größten Anteil nehmen dabei die Zuschlagstoffe ein, die mit 45% des Gesamtgewichtes die größte Fraktion bilden (ohne Anteil der Zuschlagstoffe für die Betonherstellung). An zweiter Stelle liegt Beton mit 42%, gefolgt von Ziegeln mit 6,7%. Stahl als die größte Fraktion unter den Metallen, kommt mit 2,5% zum Einsatz. Auf Holz entfallen 1,6% und den Rest bilden mitunter 1,0% die Fraktionen Kupfer, Glas, Aluminium usw.²⁶ (Abb. 1.4).



Source: CRI calculations.

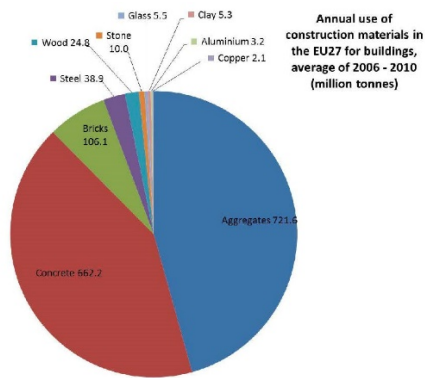
Abbildung 1.3: Verwendung unterschiedlicher Baumaterialien für Neubau, Nutzung und Sanierung von Gebäuden (in Mio. Tonnen)

²³ Öko-Institut e.V. (Hg.) 2007, 33.

²⁴ Vgl. Ecorys Copenhagen Resource Institut (Hg.) 2014, 19.

²⁵ Ebda., 2014, 20-21.

²⁶ Ebda., 2014, 21.



Source: CRI calculations.

Abbildung 1.4: Jährlicher Verbrauch von Baumaterialien für Gebäude in der Europäischen Union, Zeitraum 2006 bis 2010, in (Mio. Tonnen)

Um den Ressourcenverbrauch, der in einem erheblichen Ausmaß auf den Bau und die Nutzung von Gebäuden zurückzuführen ist, zu verringern, fordert die Europäische Kommission eine effizientere Nutzung der Ressourcen und die Reduktion der damit verbundenen Umweltauswirkungen während des gesamten Lebenszyklus einer Immobilie auf folgende Weise:²⁷

- „Förderung einer besseren Auslegung, die die Ressourcennutzung einerseits und die Anforderungen an das Gebäude und seine Funktionalität andererseits miteinander in Einklang bringt und Szenarien für den Rückbau berücksichtigt;“^a
- „bessere Projektplanung, um eine stärkere Nutzung ressourcen- und energieeffizienter Produkte zu gewährleisten;“
- „Förderung einer ressourcenschonenderen Herstellung von Bauprodukten, beispielsweise durch die Verwendung wiederverwerteter Stoffe und vorhandener Materialien und den Einsatz von Abfall als Brennstoff;“
- „Förderung einer ressourcenschonenderen Bauweise bei Neubau und Renovierung, z.B. durch die Verringerung von Bauschutt und das Recycling bzw. die Wiederverwendung von Materialien und Produkten, sodass weniger auf Deponien entsorgt werden muss.“

Aus den zitierten Punkten ist zu entnehmen, dass das Recycling und Wiederverwenden von Baustoffen bzw. Bauteilen zu einer effizienteren Nutzung der Materialien führen soll bzw. eine effizientere Nutzung der Ressourcen fördern soll. Darüber hinaus tragen das Recycling und das Wiederverwenden von Baustoffen bzw. Bauteilen dazu bei, dass Umweltauswirkungen in Folge von Neuproduktion vermieden werden.

1.1.3. Abfallaufkommen

In der Europäischen Union fallen jährlich rund 2.5 Mrd. Tonnen Abfall an. Davon entfallen rund 821 Mio. Tonnen auf Bau- und Abbruchabfälle. Somit zeichnet sich der Wirtschaftssektor Bau für ca. 33% des gesamten Abfallaufkommens in Europa verantwortlich²⁸ (Abb. 1.5). Wird das gesamte Abfallaufkommen nach Wirtschaftszweigen und Haushalten im Verhältnis zur Bevölkerungsgröße ausgedrückt, entspricht das einer durchschnittlich erzeugten Abfallmenge von fast fünf Tonnen je Einwohner und Jahr²⁹.

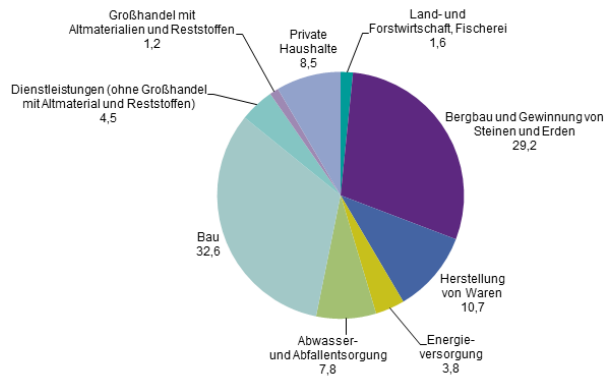
²⁷ KOM (2014) 445 final, 2014, 2-3.

²⁸ Abfallstatistik,

http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics/de Stand, 11.08.2016.

²⁹ Abfallstatistik,

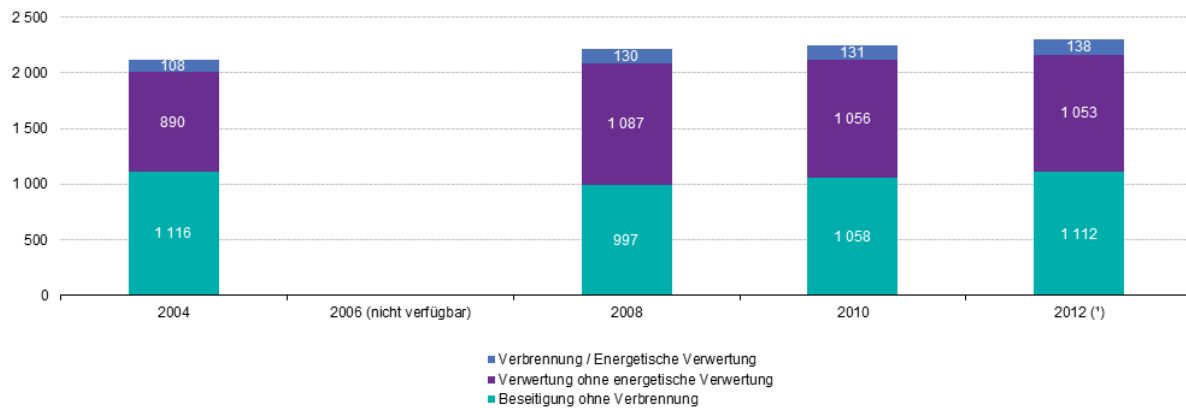
http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics/de Stand, 11.08.2016.



Quelle: Eurostat (Online-Datencode: env_wasgen)

Abbildung 1.5: Abfallaufkommen nach Wirtschaftszweigen und Haushalten, EU-28, 2012 (in %)

Unter genauerer Betrachtung der unterschiedlichen Materialfraktionen entfiel der größte Teil des gesamten Abfallaufkommens auf mineralische Abfälle (63%)³⁰. Nach der Abfallstatistik der „Eurostat“ wurden 2012 etwa 2.3 Mrd. Abfall wie folgt behandelt³¹ (Abb. 1.6): Fast die Hälfte der Abfälle in den Europäischen Mitgliedsstaaten, die nicht verbrannt wurden, wurden auf Deponien gelagert. Weitere 45,7% wurden einem Verwertungsverfahren zugeführt. Davon wurden 36,4% recycelt und die restlichen 9,3% zum Neigungsausgleich oder zur Landschaftsgestaltung in Aushubbereichen verfüllt. Die restlichen 6% der behandelten Abfälle wurden verbrannt. Davon wurden 4,4% energetisch verwertet.



(*) Schätzungen.

Quelle: Eurostat (Online-Datencode: env_wastr)

Abbildung 1.6: Entwicklung der Abfallbehandlung in den EU-28 nach den wichtigsten Behandlungskategorien in den Jahren 2004 bis 2012 (in Mio. Tonnen)

Im Sinne der Richtlinie 2008/98/EG bezeichnet der Begriff Abfall „jeden Stoff oder Gegenstand, dessen sich sein Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss;“³² Die Beseitigung von Stoffen oder Gegenständen bedeutet nicht nur einen Verlust von Ressourcen und Energie, sondern ist auch meist mit schädlichen Auswirkungen auf die Umwelt

³⁰ Vgl. Abfallstatistik,

http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics/de Stand, 11.08.2016.

³¹ Ebda.

³² Vgl. Richtlinie 2008/98/EG 2008, Art.3 Abs.1.

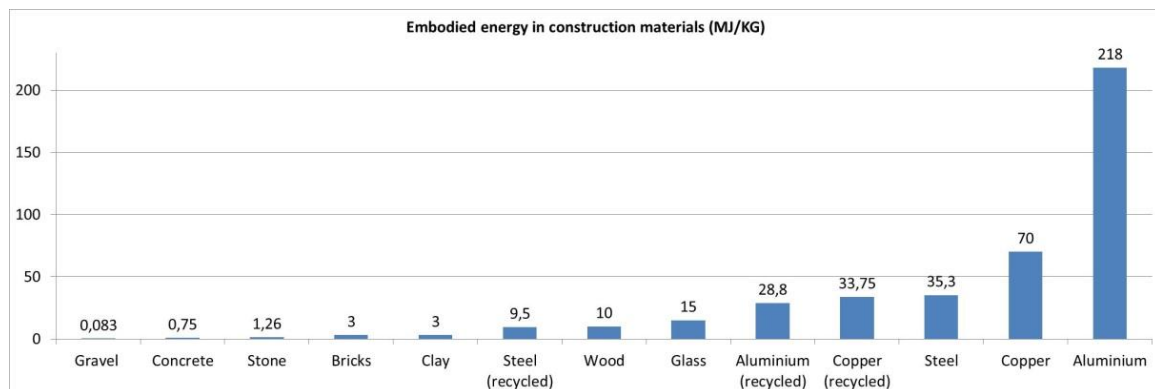
und die menschliche Gesundheit verbunden. Die Europäische Union forciert daher mit einer entsprechenden Bewirtschaftung der Abfälle, die Auswirkungen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit zu verringern und die Effizienz der Ressourcen zu steigern.

„Dabei soll langfristig das Abfallaufkommen gesenkt und, wenn die Entstehung von Abfällen unvermeidlich ist, die Bedeutung von Abfall als Ressource gestärkt und dadurch eine höhere Recyclingquote und die sichere Entsorgung von Abfällen gewährleistet werden.“³³

1.1.4. Energieverbrauch

In der Europäischen Union entfallen rund 42% des Endenergieverbrauchs auf den Gebäudebestand³⁴. Der Unterschied zwischen Primärenergieverbrauch und Endenergieverbrauch entspricht den Energieverlusten, die bei der Energieumwandlung auftreten. Dabei wird die in natürlichen vorkommenden Energiequellen enthaltene Primärenergie in Sekundärenergie umgewandelt, also in jene Energieform, die der Endverbraucher nutzen kann³⁵. Ein weiterer wichtiger Kennwert für die ökologische Bewertung von Produkten und Dienstleistungen bzw. im Zusammenhang mit deren Energieverbrauch ist der kumulierte Energieaufwand. Der kumulierte Energieaufwand (auch graue Energie genannt) gibt die Gesamtheit des Primärenergieaufwandes an, der zur Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines Produktes oder Dienstleistung erforderlich ist³⁶.

Studien dazu zeigen, dass, je nach Baustoff, der Anteil an grauer Energie sehr unterschiedlich sein kann³⁷ (Abb. 1.7). Unter Betrachtung gängiger Baumaterialien weisen Aluminium, Kupfer und Stahl den höchsten Anteil an grauer Energie auf. Werden diese an Stelle von Primärrohstoffen aus Recyclingmaterialien gewonnen, ist der Anteil an grauer Energie zwar niedriger, jedoch noch immer höher als bei den meisten anderen Materialien (Abb. 1.7).



Source: ICE V2.0.

Abbildung 1.7: Menge an grauer Energie in unterschiedlichen Baumaterialien (MJ/KG)

Im Verhältnis zur gesamten grauen Energie, die in allen Baustoffen enthalten ist, sind in Stahl, Aluminium und Beton die größten Anteile zu finden³⁸ (Abb. 1.8).

³³ Abfallstatistik,

http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics/de Stand, 16.08.2016.

³⁴ Vgl. Ecorys Copenhagen Resource Institute (Hg.) 2014, 12.

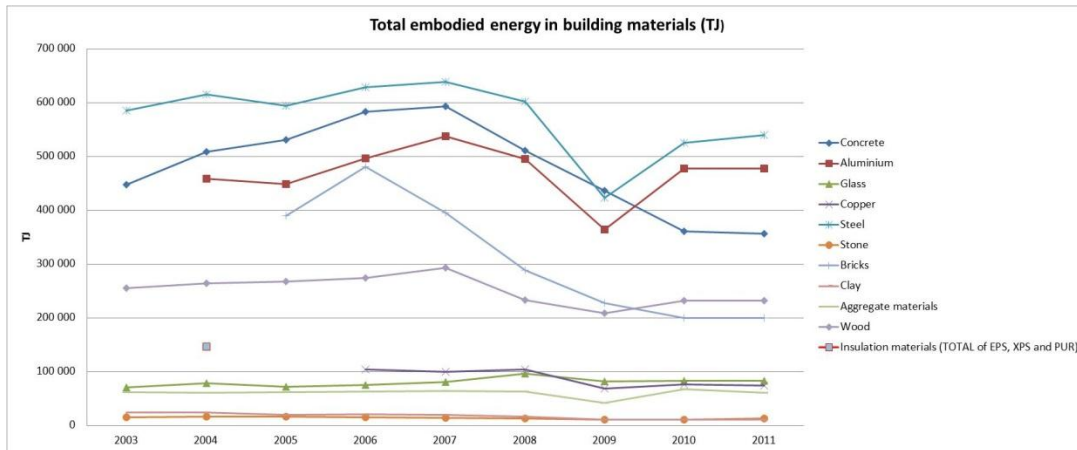
³⁵ Vgl. Primärenergie, Endenergie, Nutzenergie,

<http://www.ecoquent-positions.com/primaerenergie-endenergie-nutzenergie/>, 17.08.2016.

³⁶ Vgl. VDI 4600 2015, 4.

³⁷ Vgl. Ecorys Copenhagen Resource Institut (Hg.) 2014, 34-35.

³⁸ Vgl. Ecorys Copenhagen Resource Institut (Hg.) 2014, 35.



Source: CRI calculations.

Abbildung 1.8: Verteilung der gesamten grauen Energie nach Baustoffen (TJ)

Schätzungen des „Ecorys Copenhagen Resource Institute“ zufolge, fließen jedes Jahr etwa 2,0 bis 2,8 Millionen TJ Energie in die Herstellung neuer Baustoffe, die allein für die Errichtung von Wohngebäuden benötigt werden³⁹. Dies entspricht rund 5-10% des Gesamtenergieverbrauchs in der Europäischen Union. Im Verhältnis dazu benötigt der gesamte Bestand an Wohngebäuden in der EU etwa 11,2 Millionen TJ Energie pro Jahr für Heizung einschließlich Warmwasser und Strom. Studien dazu belegen, dass der Anteil an grauer Energie zu einem erheblichen Teil am Gesamtenergieverbrauch eines Gebäudes beiträgt.

Bei der Herstellung von Gebäuden, die auf eine Reduktion des Heizenergieverbrauchs optimiert sind, entspricht der Anteil an grauer Energie über eine Nutzungsdauer von 50 Jahren etwa 45% des Gesamtprimärenergieverbrauches⁴⁰.

Angesichts der Forderung nach einem effizienten Umgang mit den endlichen Ressourcen bedeuten der Abriss dieser Gebäude und die Verbringung der Bestandteile auf Deponien einen erheblichen Verlust der in den Materialien enthaltenen Energie. Ein hochwertiges Recycling und Wiederverwenden der Baustoffe bzw. Bauteile würde den Energieaufwand für die Neuherstellung von Baustoffen reduzieren und somit zu einer Reduktion des Gesamtenergieverbrauches von Gebäuden beitragen.

1.2. Ziele und Fragestellungen

Aus den vorangegangenen Abschnitten wird deutlich, dass eine Neuorientierung im Bauwesen, respektive Bauweise und Nutzung von Gebäuden in der Europäischen Gemeinschaft, sich auf 42% des Energieverbrauchs, 35% der Treibhausgasemissionen, 50% des Ressourcenverbrauchs und 33% des Abfallaufkommens auswirken würde. Die fortdauernde Entnahme unserer Ressourcen führt dazu, dass unsere natürlichen Lagerstätten zusehends schrumpfen. Der daraus resultierende Druck auf die Rohstoffe wirkt sich negativ auf die Versorgungssicherheit, die Preisentwicklung, aber auch in Form von zunehmenden Belastungen auf unsere Umwelt aus. Darüber hinaus schaden die damit einhergehenden Schwankungen der Rohstoffpreise, der Wirtschaft und der damit verbundenen Beschäftigungsentwicklung.

Angesichts dieser Entwicklung herrscht in der Europäischen Union breiter Konsens darüber, die Ressourceneffizienz im Gebäudesektor steigern zu wollen. Es muss uns gelingen, die für

³⁹ Vgl. Ecorys Copenhagen Resource Institut (Hg.) 2014, 35-36.

⁴⁰ Vgl. Thormark 2002, 429-435.

den Neubau und die Renovierung von Gebäuden benötigten Baustoffe nicht aus den Rohstofflagern der Natur zu gewinnen, sondern die Exploration von Ressourcen dazu zu fördern, die sich bereits im Stoffkreislauf befinden.

Das Ziel ist eine Kreislaufwirtschaft, in der der Wert eines Produktes oder Stoffes solange wie möglich der Wirtschaft erhalten bleibt. Um dabei den Kreislauf zu schließen, ist einerseits der Ressourcenverbrauch und das Abfallaufkommen auf ein Minimum zu reduzieren und andererseits sind Produkte, die ihr Lebensende erreicht haben, immer wieder zu verwenden, um damit weiterhin Wertschöpfung zu generieren⁴¹.

In den sogenannten anthropogenen Lagerstätten sind die Rohstoffquellen der Zukunft zu finden. Dort befinden sich im Gegensatz zu den natürlichen Ressourcen all jene Rohstoffe, die von Menschen genutzt werden oder wurden⁴². Unter Betrachtung der gesamtwirtschaftlichen Materialflussrechnungen der Europäischen Volkswirtschaften wird ersichtlich, dass der jährliche Bestand an Materialien im anthropogenen Lager stetig wächst⁴³. Dabei errechnet sich der Bestandszuwachs aus der inländischen Ressourcenentnahme zuzüglich Einfuhren und abzüglich Ausfuhren (vgl. Abb. 1.1). In Anbetracht dessen, dass 30-50% aller unserer geförderten Werkstoffe in Europa auf den Neubau und die Sanierung von Gebäuden entfallen⁴⁴, wird ersichtlich, dass ein Großteil der anthropogenen Ressourcen in Städten, Siedlungen und Infrastrukturen zu finden ist. Um diese, über Jahrzehnte angehäuften, Materialmengen am Ende ihres Bestimmungszweckes als Rohstoffe nutzen zu können, ist eine grundlegende Neuausrichtung im Umgang mit Abfällen als Sekundärressource erforderlich.

Das sogenannte „Urban Mining“, (englisch für Bergbau im städtischen Gebieten), befasst sich mit der Exploration dieser städtischen Rohstoffminen⁴⁵. Dabei werden die in den anthropogenen Lagern enthaltenen Sekundärrohstoffe quantifiziert und die Rückgewinnung dieser unter technischen und wirtschaftlichen Aspekten betrachtet. Darüber hinaus soll eine integrale und nachhaltige Bewirtschaftung des anthropogenen Lagerbestandes die Bereitstellung hochwertiger Sekundärrohstoffe sichern. Die dadurch möglich werdende Ressourcensubstitution soll die Entnahme von Primärrohstoffen langfristig auf ein Minimum reduzieren und gleichzeitig dazu beitragen, den entstehenden Abfall als Ressource zu nutzen, sodass das Abfallaufkommen immer weiter reduziert werden kann.

Angesichts dieser anzustrebenden Entwicklung müssen wir uns die Frage stellen, auf welche Art und Weise wir zukünftig unsere Produkte respektive Bauwerke gestalten und unseren Verbrauch verändern, um diese Ziele zu erreichen?

Gemäß der Forderung nach einem effizienten Ressourceneinsatz im Gebäudesektor wird das Recycling und die Wiederverwendung von Produkten und Materialien als eine zwingend notwendige Maßnahme erachtet, um die Ressourceneffizienz zu steigern und die mit der Neuproduktion von Materialien einhergehenden negativen Umweltauswirkungen zu vermeiden⁴⁶.

Hierbei nimmt der Baustoff Holz, als nachwachsender Rohstoff, eine Sonderstellung ein. Holz zeichnet sich insbesondere durch seinen hohen ökologischen und energetischen Nutzen aus.

⁴¹ Vgl. Das Paket zur Kreislaufwirtschaft. Fragen und Antworten 2015, http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-15-6204_de.htm, 16.10.2016.

⁴² Vgl. Urban Mining Portal, <http://www.urban-mining.com/index.php?id=22>, 22.08.2016.

⁴³ Vgl. Materialflussrechnung und Ressourcenproduktivität, http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Material_flow_accounts_and_resource_productivity/de, 23.08.2016.

⁴⁴ Vgl. Ecorys Copenhagen Resource Institut (Hg.) 2014, 19.

⁴⁵ Vgl. Urban Mining, <http://urbanmining.at>, 24.08.2016.

⁴⁶ Vgl. KOM (2014) 445 final, 2014, 2.

Nicht erneuerbare Baustoffe bzw. Primärrohstoffe können durch den Einsatz des nachwachsenden Rohstoffes Holz substituiert werden. Studien zufolge sind so mittels Holzbauten, gegenüber Standardbauweisen aus mineralischen, metallischen oder synthetischen Rohstoffen, Umwelt- und Klimaentlastungen zwischen 35- 70% zu erzielen⁴⁷ (Abschnitt 5.5). Darüber hinaus weist Holz, im Vergleich zu anderen Baustoffen, einen geringen Anteil an grauer Energie auf (Abb. 1.8). Demnach trägt Bauen mit Holz ohnehin zur Ressourceneffizienz im Gebäudesektor bei.

Moderne Holzbausysteme, wie das Brettsperrholzbausystem, müssen sich dennoch weiteren Produkten unterschiedlicher stofflicher Zusammensetzung bedienen, um die unterschiedlichsten Anforderungen an die Konstruktion zu gewährleisten. Demnach besteht ein Gebäude in Brettsperrholzbauweise aus einer Vielzahl von Bauteilen unterschiedlicher Stoffkategorien, die in definierter Beziehung und Abhängigkeit zueinander stehen⁴⁸. Erst nach Auflösung dieses strukturellen Gefüges in wieder möglichst sortenreine Bestandteile können Materialien und Bauteile einem Recyclingverfahren zugeführt werden.

Die gegenständliche Arbeit geht daher folgenden Fragen nach:

1. Wie demontage- bzw. rückbaufähig ist das BSP-Bausystem?
2. Wie recyclingfähig sind die verwendeten Komponenten?

Eine Betrachtung des BSP-Bausystems erfolgt sowohl auf struktureller als auch auf stofflicher Ebene. Das Ziel auf konstruktiver Ebene umfasst die Betrachtung der Demontagefähigkeit des BSP-Bausystems als Voraussetzung dafür, dass Recycling der verwendeten Materialien und Produkte zu gewährleisten. Das Ziel auf stofflicher Ebene umfasst die Betrachtung der stofflichen Verwertbarkeit der verwendeten Materialien und Produkte als Voraussetzung für ein hochwertiges Recycling.

Methoden zur Operationalisierung der Demontage- und Recyclingfähigkeit sind im Bauwesen noch unzureichend erfasst.

Ziel der Arbeit ist es daher, mit Hilfe geeigneter Kriterien die Demontagefähigkeit des BSP-Bausystems und die Recyclingfähigkeit der verwendeten Materialien und Produkte in Form einer Analyse, Bewertung und Optimierung zu bestimmen.

Folgende **Fragestellungen** werden der gegenständlichen Arbeit zugrunde gelegt:

- Was sind die Voraussetzungen für demontage- und rückbaufähiges Bauen?
- Welche Voraussetzungen müssen gegeben sein, damit Produkte und Materialien recycelt und wiederverwendet werden können?
- Mit welchen Kriterien kann eine Bewertung der Demontagefähigkeit des Bausystems erfolgen?
- Mit welchen Kriterien kann eine Bewertung der Recyclingfähigkeit der systemimmanenten Materialien und Produkte erfolgen?
- Wie ist der Einfluss der Bewertungskriterien auf den Untersuchungsgegenstand und welche dieser Kriterien sind geeignete „Stellschrauben“, um die Demontage- und Recyclingfähigkeit zu optimieren?

Folgende **Hypothesen** werden der vorliegenden Arbeit zugrunde gelegt:

- Wenn Bewertungskriterien verwendet werden, kann das Demontage und Recyclingpotential des Untersuchungsgegenstandes erfasst werden,

⁴⁷ Vgl. König 2011, 39-73.

⁴⁸ Vgl. Brenner 2010, 51.

- Je umfassender das BSP-Bausystem den Demontagekriterien entspricht, desto separierbarer werden die gefügten Produkte und Materialien,
- Je umfassender die Materialien und Produkte nachweislich den Recyclingkriterien entsprechen, desto hochwertiger können diese verwertet werden.

Angestrebte Ergebnisse:

- Aufzeigen der Rolle der Demontageaspekte auf die Separierbarkeit der Materialien und Produkte des Untersuchungsgegenstandes,
- Aufzeigen der Rolle der Demontagefähigkeit einer (Bau) Struktur als Voraussetzung für ein hochwertiges Recycling und Wiederverwenden von Produkten und Materialien,
- Aufzeigen der Rolle der Recyclingaspekte auf die Verwertbarkeit der Materialien und Produkte,
- Darstellung der Demontage- und Recyclingfähigkeit des BSP-Bausystems.

1.3. Gang der Untersuchung

Den Schwerpunkt der methodischen Vorgehensweise bildet die Literaturrecherche. Für die Analyse des Untersuchungsgegenstandes werden bei herstellerepezifischen Produkten Firmenbefragungen und Internetrecherchen durchgeführt. Da die Literaturrecherche zu keiner Richtlinie für demontage- und recyclinggerechtes Bauen mit Brettsperrholz führt, werden Richtlinien aus dem Bereich der Produktentwicklung, des Maschinenbaus und aus dem Automobilsektor zitiert. Das im englischen Sprachraum etablierte wissenschaftliche Gebiet „Design for Disassembly“ hingegen gibt konkrete Handlungsanleitungen für den Aufbau demontagegerechter Gebäude.

Zu Beginn der Arbeit gibt ein historischer Abriss (Abschnitt 2.1) einen ersten Einblick in die zum Teil vergessenen Charakteristika demontagegerechten Bauens. Die Auswahl der Gebäudebeispiele, beginnend in der Antike bis zum 20. Jahrhundert, erfolgt nach „Historic Trends in Building Disassembly“ von Philip Crowther⁴⁹. Die Wahl des gegenwärtigen Projektes fiel auf das im Jahre 2008 im Zuge der Ausstellung „Home Delivery: Fabricating the Modern Dwelling“ im Museum of Modern Art in New York temporär errichtete „Cellophane House“ von Kieran-Timberlake als Architekten⁵⁰. Als Prototyp für die Kreislaufwirtschaft zeigt das Gebäude eine Vielzahl an Charakteristika für demontage- und recyclingfähiges Bauen, die bereits in den historischen Beispielen zu finden sind.

Die terminologische und inhaltliche Abgrenzung der zentralen Begriffe im Umgang mit Abfällen und Recycling, erfolgt über nachstehende Richtlinien und Gesetze (Abschnitt 2.3):

- Die Richtlinie 2008/98/EG der Europäischen Gemeinschaft über Abfälle,⁵¹
- Abfallwirtschaftsgesetz 2002 – Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft,⁵²
- VDI Richtlinie 2243 – Recyclingorientierte Produktentwicklung⁵³.

Eine zusammenfassende und hierarchische Gliederung der zuvor genannten Richtlinien, bildet das von Brenner⁵⁴ zusammengestellte sechsstufige Recyclingmodell, das den qualitativen

⁴⁹ Crowther 1999, 2-7.

⁵⁰ Cellophane House,

<http://www.kierantimberlake.com/pages/view/14/cellophane-house/parent:3>, 27.09.2016.

⁵¹ Richtlinie 2008/98/EG.

⁵² Abfallwirtschaftsgesetz 2002 2015.

⁵³ VDI Richtlinie 2243 2002.

⁵⁴ Brenner 2010, 14-15.

Aspekt des Recyclings berücksichtigt (Abschnitt 2.4). Anstelle des österreichischen Abfallwirtschaftsgesetz (AWG 2002) über eine nachhaltige Abfallwirtschaft erfolgt im sechsstufigen Recyclingmodell die hierarchische Betrachtung im Umgang mit Abfällen auf Basis des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG)⁵⁵, das als zentrales Bundesgesetz des deutschen Abfallrechts gilt.

Die Zusammenhänge zwischen Demontage und Recycling werden im Abschnitt 2.4 dieser Arbeit erläutert. Inwieweit diese beiden Aspekte in der gegenwärtigen Nachhaltigkeitsbetrachtung von Gebäuden berücksichtigt werden, wird anhand des Kriteriums „TEC 1.6 Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit“⁵⁶ der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) dargestellt (Abschnitt 2.5).

Den Einstieg in die Thematik des demontage- und recyclingfähigen Bauens bildet die Darstellung der strukturellen Zusammenhänge eines Bauwerkes einerseits und eine Betrachtung der Bauweisen andererseits (Abschnitt 3.1-3.4). Um das Brettsperrholz-Bausystem hinsichtlich seiner Demontage- und Recyclingfähigkeit zu beurteilen, werden zunächst grundsätzliche Voraussetzungen definiert, die einerseits das Demontageverhalten einer Gebäudestruktur und andererseits die stoffliche Verwertbarkeit der eingesetzten Materialien und Bauteile bestimmen (Kap.4 und Kap.5).

Auf Basis des Bewertungsmodells nach Durmisevic⁵⁷, aus „Green design and assembly of buildings and systems – Design for Disassembly a key to Life Cycle, Design of buildings and building products“, werden Demontageaspekte analysiert, die auf struktureller Ebene die Voraussetzungen für eine demontagefähige Gebäudestruktur schaffen (Kap. 4). Die Voraussetzungen für die Recyclingfähigkeit auf stofflicher Ebene bildet die Analyse der Aspekte zur stofflichen Verwertbarkeit nach Brenner⁵⁸ aus „Recyclinggerechtes Konstruieren – Konzepte für eine abfallfreie Konstruktionsweise im Bauwesen“ (Kap. 5). Aus der Analyse werden Kriterien definiert, die zur Bewertung des Brettsperrholzbausystems herangezogen werden.

Auf Basis der Kriterien für demontage- und recyclingfähiges Konstruieren erfolgt im Kapitel 6 die Definition und Gewichtung der Kriterien zur Bewertung des BSP-Bausystems auf struktureller und stofflicher Ebene. Die Definition und Gewichtung der Bewertungskriterien auf struktureller Ebene erfolgt nach Durmisevic⁵⁹. Auf stofflicher Ebene in Anlehnung an Durmisevic⁶⁰. Eine genaue Beschreibung der Bewertungsmethode erfolgt ab Abschnitt 3.7 dieser Arbeit.

Kapitel 7 beinhaltet eine allgemeine Beschreibung des BSP-Bausystems und die Festlegung eines repräsentativen Systemausschnittes, der zur weiteren Untersuchung herangezogen wird. Eine Beschreibung der Konstruktionsmerkmale erfolgt anhand herstellerspezifischer Angaben der Firmen Stora Enso⁶¹ und KLH Massivholz GmbH⁶².

Nach anschließender Analyse und Bewertung des BSP-Bausystems (Kap. 8, 9, 10 u. 11), nach den im 6. Kapitel festgelegten Kriterien, erfolgt im 12. Kapitel die Darstellung der Ergebnisse. Eine Optimierung und kritische Analyse der Ergebnisse erfolgt im 13. Kapitel. Das 14. Kapitel beinhaltet eine abschließende Zusammenfassung der vorliegenden Arbeit.

⁵⁵ Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz KrW-/AbfG 2007.

⁵⁶ TEC 1.6 Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit,
http://www.dgnb-system.de/de/system/kriterien/neubau_gebaeude/, 03.10.2016.

⁵⁷ Vgl. Durmisevic 2010, 156-182.

⁵⁸ Ebda., 2010, 47-50.

⁵⁹ Vgl. Durmisevic 2010, 199-206.

⁶⁰ Ebda., 199-206.

⁶¹ CLT - Cross Laminated Timber,
<http://www.clt.info>, 13.01.2016.

⁶² Kreuzlagenholz,
<http://www.klh.at/product/klh/>, 11.12.2015.

2. Ausgangssituation und Rahmenbedingungen

2.1. Historische Betrachtung demontage- und recyclinggerechten Bauens

Der folgende historische Abriss nach Crowther⁶³ soll einen Überblick über die Entwicklung demontagegerechten Bauens geben. Anhand ausgewählter Beispiele gibt er einen Querschnitt über die Charakteristika demontierbarer Gebäude und wie diese Merkmale das Recycling von Bauteilen und Materialien schon immer beeinflussten.

2.1.1. Antike

Bereits in der Antike wurden alte, überflüssig gewordene Gebäude als Materialquelle für neue Bauwerke erschlossen (vgl. „Urban Mining“). Im antiken Rom etwa wurden Steine von zerstörten Bauwerken nicht nur wiederverwendet, sondern je nach Bedarf auch reproduziert. Der dafür notwendige Mörtel wurde aus Kalk gewonnen, der in Brennöfen vom Marmorgestein extrahiert wurde⁶⁴. Obwohl die Bauwerke in der Antike nicht für eine spätere Demontage bestimmt waren, muss es den Baumeistern damals bewusst gewesen sein, dass die Art und Weise, wie die Steine gefügt wurden, ein Auseinanderbauen wieder erlaubten⁶⁵. Die ersten Behausungen entstanden jedoch aus Holz, nachdem der Mensch seine schützende Höhle verließ. Aus Ästen zusammengesetzte Rahmen, die mit Blättern, Rinde oder Tierhäuten belegt wurden, stellen die ersten demontierbaren Unterkünfte dar. Noch heute nützen Nomaden die Vorteile dieser stabilen Zeltkonstruktion mit ihren leichten Holzrahmen und gespannten Membranabdeckungen, die es immer wieder erlauben, abgebaut und wieder neu aufgestellt zu werden. Das geringe Gewicht der Konstruktion schafft dabei die besten Voraussetzungen für Demontage, den Transport und die laufende Instandsetzung⁶⁶.

2.1.2. Mittelalter

Bauwerke im Mittelalter waren nicht dazu bestimmt, an einem anderen Ort wieder aufgebaut zu werden. Die Knappheit von Holz führte jedoch vor allem in Europa dazu, dass Holzbauteile wie z.B. Balken von einem zum nächsten Gebäude immer wieder in Verwendung gelangten. Die damaligen Bauteilverbindungen aus Holzdübeln erlaubten eine einfache Demontage der Gebäudekonstruktion und somit nach dem heutigen Verständnis ein hochwertiges Recycling (Produktrecycling). Im 16. Jahrhundert, im Schweizer Kanton Appenzell, in dem die Wälder im Eigentum der Kirche standen, wurde der Knechtschaft das Recht gewährt, ohne Gebühren für ihr eigenes Haus auf ihrem eigenen Land das Holz zu fällen. Das bewegte ein paar geschäftstüchtige Bauherren dazu, ihre Häuser so zu konstruieren, dass diese entsprechend demontiert und an einem anderen Ort wiederaufgebaut werden konnten⁶⁷. Diese „steuerschonende Bau Praxis“ diente nicht nur zum Kapitalgewinn, sondern führte auch dazu, dass sich die Demontage- und Montagetechniken der Holzbauten auf ganz Europa ausbreiteten.

Die Technik der demontierbaren Holzverbindungen beschränkt sich nicht nur auf Europa. Zerlegbare Verbindungen bestimmten auch die traditionelle japanische Architektur des mittelalterlichen und neuzeitlichen Holzbaus. Als eigenständiges Bausystem erlaubt es je nach Lebensgewohnheiten, auf einfache Weise Gebäude zu erweitern, umzugestalten, zu entfernen

⁶³ Vgl. Crowther 1999, 1-9.

⁶⁴ Vgl. Crowther 1999, 2, zitiert nach Fitchen 1986.

⁶⁵ Ebda., 2.

⁶⁶ Vgl. Crowther 1999, 2, zitiert nach Hassanain/Harkness 1997, 139-146.

⁶⁷ Vgl. Crowther 1999, 2-3, zitiert nach Peters 1996, 424.

und wieder aufzubauen⁶⁸. Als Tragwerk dienten stabförmige Konstruktionsglieder, deren Knotenpunkte, durch Holzkeile gesichert, einen stabilen Wand- und Deckenrahmen bildeten. Die räumliche Gliederung erfolgte über zusätzliche, sekundäre Rahmen, die je nach den Erfordernissen der Bewohner, ohne zusätzliche Materialien angepasst werden konnten, ohne die Primärstruktur zu beeinflussen⁶⁹. Das Konstruktionsprinzip der traditionellen japanischen Holzarchitektur zeigte einerseits eine hierarchische Gliederung der Gebäudestruktur in Tragwerk und Raumaufteilung (vgl. „Shearing Layers of Change“) und andererseits wurde durch die lösbaeren Verbindungen ein Wiederverwenden der Bauteile problemlos möglich.

2.1.3. Das 19. Jahrhundert

Im Großbritannien des 19. Jahrhunderts erreichte die Technologie der demontierbaren Holzhäuser mit der „portable colonial cottage“ von John Manning ihren Höhenpunkt (Abb. 2.1). Das Tragwerk bildete eine Holzrahmenkonstruktion, die aus einzelnen Pfostenelementen zusammengefügt und verschraubt worden war. Als Ausfachung zwischen den Pfosten wurden austauschbare Paneele eingesetzt, die je nach Nutzungsdauer des Gebäudes mit witterungsbeständigen Materialien eingedeckt wurden⁷⁰. Größe und Gewicht der Gebäudekomponenten waren für eine einfache Handhabung ausgelegt. Mit nur einem Schraubschlüssel konnte die vorgefertigte Hütte nach einfachsten Prinzipien in kurzer Zeit von den Bewohnern selbst zusammengebaut, den Bedürfnissen entsprechend verändert und wieder auseinanderggebaut werden⁷¹.

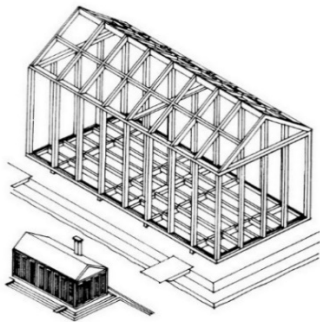


Abbildung 2.1: Portable Colonial Cottage for Emigrants von H. John Manning 1833-1840⁷²

Neben dem Baustoff Holz etablierte sich im 19. Jahrhundert der Einsatz von Wellblechen für vorgefertigte Behausungen, um den Wohnungsbedarf in den britischen Kolonien zu decken. Das geringe Gewicht des Bleches und der dadurch vereinfachte Transport machte es fortan zu einem beliebten Baustoff, der in fast allen Gebäudetypologien zum Einsatz kam. Wohnhäuser wurden bis zur Innenausstattung vorgefertigt und gemeinsam mit einer Montageanleitung, die zum Teil schon auf gekennzeichnete Komponenten verwies, verschifft^{73 74}. Die Trennung von Tragwerk und Innenausbau, einfache technische Lösungen und die Kennzeichnung von Bauteilen sowie deren Dokumentation über Montageanleitungen stellen weitere Prinzipien für demontagegerechtes Bauen dar⁷⁵.

⁶⁸ Vgl. Crowther 1999, 3, zitiert nach Kikutake 1995, 27.

⁶⁹ Vgl. Crowther 1999, 3, zitiert nach Itoh 1972, 43.

⁷⁰ Vgl. Crowther 1999, 3, zitiert nach Archer 1996, 50.

⁷¹ Ebda.,3, zitiert nach Herbert 1978, 11.

⁷² Portable Colonial Cottage,

<http://quonset-hut.blogspot.co.at/2012/12/the-manning-portable-colonial-cottage.html>, 23.09.2016.

⁷³ Vgl. Crowther 1999, 4, zitiert nach Lewis 1993.

⁷⁴ Ebda.,4, zitiert nach Reuber 1998, 36.

⁷⁵ Vgl. Crowther 1999, 3-4.

Die technischen Errungenschaften der industriellen Revolution verhalfen dem Bauen mit Gusseisen im 19. Jahrhundert zu einem eigenen Architekturstil. In Massen produziert konnten damit größere Bauvorhaben bezahlbar umgesetzt werden. Ein strukturelles Rastersystem sowie ein hoher Vorfertigungsgrad machten es möglich, den von Josef Paxton entworfenen Crystal Palace, im Zuge der ersten Weltausstellung 1851, in kurzer Zeit zu errichten und nach der Ausstellung wieder abzubauen⁷⁶.

Hinter dem Konstruktionsprinzip des Crystal Palace stand ein vorgefertigtes Bausystem, das aus einer geringen Anzahl unterschiedlicher Standardbauteile über Schraubverbindungen zusammengesetzt wurde. Die offene, modulare Bauweise erlaubte zudem eine alternative Anordnung der Bauteile und führte so zur einer räumlichen Flexibilität⁷⁷.

2.1.4. Das 20. Jahrhundert

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts entwickelte der kanadische Ingenieur Peter Norman Nissen eine vorgefertigte Wellblechhütte, die der Armee im ersten Weltkrieg als Unterkunft diente (Abb. 2.2). Die Tragkonstruktion bildete ein Bodenrahmen aus Kanthölzern, auf dem kreisförmig gebogene T-Stahlrippenträger aufgeschraubt wurden. Zur Queraussteifung der Rippen wurden Holzlatten verwendet, die gleichzeitig als Unterkonstruktion für die Wellblechdeckung dienten. Das halbrunde Dach wurde innen zuerst mit geschlitzten Holzplatten ausgekleidet, die später durch Wellblechplatten ersetzt wurden. Gewicht und Größe der Bauteile waren so ausgelegt, dass die gesamte Hütte in kürzester Zeit von zwei Leuten, unter Verwendung eines Schraubschlüssels, auf- und wieder abgebaut werden konnte⁷⁸. Die geringe Anzahl standardisierter Bauteile und Details sowie die Zugänglichkeit der Verbindungsstellen und die Verwendung einfacher Werkzeuge können als Gestaltungsprinzipien für demontagegerechtes Bauen herangezogen werden⁷⁹.

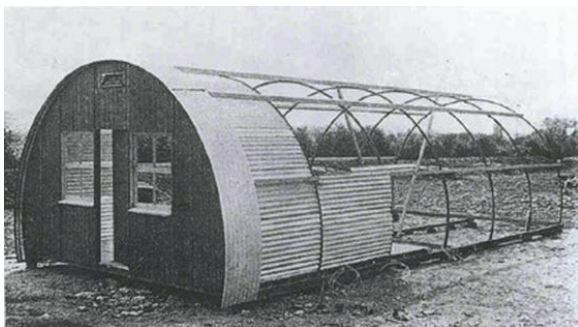


Abbildung 2.2: Truppenunterkunft im ersten Weltkrieg von Peter Norman Nissen: „The Nissen Hut“⁸⁰

Neben den bereits bekannten Gestaltungsprinzipien für temporäres Bauen war die aufkommende Massenproduktion und die damit einhergehende Standardisierung von Materialien und Bauteilen mitbestimmend für das Bauen während des zweiten Weltkrieges⁸¹. Geprägt von den temporären Unterkünften für die militärische Nutzung verfolgte Buckminster Fuller mit dem „Dymaxion-Haus“ die Idee des standardisierten, vorgefertigten Wohnhauses. Die leichte Demontierbarkeit sollte es den Benutzern ermöglichen, ihr Haus bei einem Umzug mitnehmen

⁷⁶ Vgl. Crowther 1999, 4, zitiert nach Peters 1996, 425.

⁷⁷ Ebda., 4.

⁷⁸ Vgl. Crowther 1999, 5, zitiert nach Mallory/Ottar 1973.

⁷⁹ Vgl. Crowther 1999, 5, zitiert nach Kronenburg 1995, 59.

⁸⁰ The Nissen Hut,

<http://www.nissens.co.uk>, 25.10.2016.

⁸¹ Vgl. Crowther 1999, 5.

zu können. Darüber hinaus forcierte er bei der Vermietung seiner Häuser die Idee, die laufende Wartung und Instandsetzung dieser in den Verantwortungsbereich des Lieferanten zu legen⁸². Die Idee dahinter kann mit dem heute bekannten Produktleasing verglichen werden, bei dem an Ende der Nutzungsdauer die Produkte wieder an den Hersteller zurückgehen, um damit ein hochwertiges Recycling von Materialien und Bauteilen zu sichern (vgl. Abschnitt 5.1).

Ein weiterer visionärer Denker flexibler und wandelbarer Raumkonzepte war der britische Architekt Cedric Price. Mit seinem „Fun Palace“ von 1961 bringt er seine Forderung nach flexiblen, sich den Lebensgewohnheiten ihrer Nutzer anpassbaren Gebäuden zum Ausdruck⁸³ (Abb. 2.3). Sein visionäres Gebäude besteht aus einer Stahlrahmenstruktur mit aufgebauten Kränen, mit Hilfe dessen sich die beweglichen Komponenten des Bauwerkes bei sich verändernden Anforderungen und Aktivitäten der Nutzer entsprechend manipulieren lassen⁸⁴. Obwohl sein „Fun Palace“ nie realisiert wurde, beeinflussten seine wandelbaren Gebäudekonzepte andere Architekten wie Richard Rogers und Renzo Piano⁸⁵ (vgl. „Centre Georges Pompidou“ von Richard Rogers). Als gebautes Beispiel von Cedric Price nennt Crowther das „InterAction Centre“ in Kentish Town, das 1976 nach den visionären Prinzipien des „Fun Palace“ errichtet wurde⁸⁶. Ein auf ein Rastersystem aufgebautes Stahltragwerk bildet die Hauptstruktur des Gebäudes, die je nach räumlichen Erfordernissen durch Raumzellen ergänzt werden kann. Die hierarchische Trennung von Tragwerk und Ausbauelementen erlaubt eine Adaptierung des Gebäudes, ohne das gesamte System zu beeinflussen. Konzipiert als temporäres Gebäude wurde vom Architekten eine komplette Demontageanleitung zur Verfügung gestellt⁸⁷.

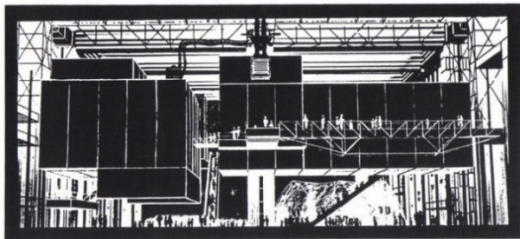


Abbildung 2.3: Fun Palace von Cedric Price 1961⁸⁸

Ebenfalls beeinflusst durch die Arbeiten von Cedric Price entwickelte die britische Architektengruppe „Archigram“ während der 1960er und 1970er Jahre eine Vielzahl an Visionen für mobile, adaptierbare und temporäre Wohnkonzepte⁸⁹. Die Demontage auf einer städtebaulichen Ebene zeigt der utopische Stadtentwurf „Plug-in City“, in der mit Kränen eine Umstrukturierung des gesamten urbanen Umfeldes vorgenommen wird, indem ganze Einheiten, hierarchisch gegliedert nach Nutzung und Lebensdauer, manövriert werden, um an einer anderen Stelle der Hauptstruktur wieder angedockt zu werden⁹⁰. Mit der „Walking City“ vermag sich sogar eine ganze Stadt zu entbinden, um sich an einen anderen Ort zu bewegen (Abb. 2.4).

⁸² Vgl. Crowther 1999, 5, zitiert nach Mc Hale 1962, 18-27.

⁸³ Vgl. Stanley 2005, 73-91.

⁸⁴ Vgl. Crowther 1999, 6, zitiert nach Landau 1985, 4.

⁸⁵ Vgl. Crowther 1999, 5-6.

⁸⁶ Vgl. Crowther 1999, 6.

⁸⁷ Vgl. Crowther 1999, 6, zitiert nach RIBA Journal (Hg.): Inter-action Centre 1977, 458-465.

⁸⁸ Fun Palace,

<http://www.interactivearchitecture.org/fun-palace-cedric-price.html>, 25.10.2016.

⁸⁹ Vgl. Crowther 1999, 6.

⁹⁰ Vgl. Crowther 1999, 6, zitiert nach Cook 1972, 36-50.

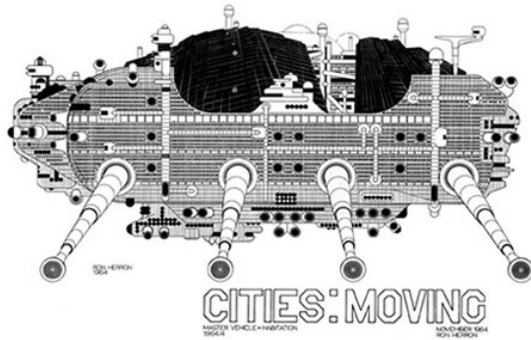


Abbildung 2.4: Walking City, Archigram 1964⁹¹

In den 1960er Jahren fanden sich in Japan die „Metabolisten“ zusammen, die, ähnlich wie „Archigram“, idealisierte urbane Visionen verfolgten. Die Prinzipien für ihre adaptierbaren bzw. erneuerbaren Räume wurden der traditionellen japanischen Holzarchitektur entlehnt⁹². Die Möglichkeiten der Austauschbarkeit und Ersetzbarkeit von Komponenten und Einheiten, ohne das Umfeld zu beeinflussen, war Teil ihrer Philosophie⁹³. Als Beispiele für den Metabolismus nennt Crowther den „Nakagin Capsule Tower“ und den „Takara Pavillon“ des japanischen Architekten Kisho Kurokawa. Vorgefertigte Kapseln (Module) sollten flexibel den Bedürfnissen der Nutzer entsprechend mit den Gebäudestrukturen verbunden werden.

Zudem erlaubt die Struktur des Takara Pavillon durch ihren modularen Aufbau in alle Richtungen gleichzeitig abgeändert zu werden, ohne die gesamte Struktur zu beeinflussen⁹⁴. Parallele statt sequentielle Montage- bzw. Demontageabfolgen können als Prinzip für demontagegerechtes Konstruieren herangezogen werden⁹⁵.

2.1.5. Gegenwart

Ergänzend zum industriellen, vorgefertigten Bauen des 19. und 20. Jahrhunderts wird mit einem zeitgenössischen Projekt von „KieranTimberlake Architekten“ der historische Rückblick geschlossen. Mit den heutigen Möglichkeiten des industriellen und standardisierten Bauens gelang es ihnen, mit dem „Cellophane House“ einen Prototypen eines demontagefähigen Gebäudes zu planen und zu errichten, dessen Komponenten am Ende seiner Nutzungsdauer weitestgehend einem hochwertigen Recycling zugeführt werden können⁹⁶ (Abb. 2.5). Dazu erläutern „KieranTimberlake Architekten“ ihre Haltung folgendermaßen:⁹⁷

„Ein Gebäude ist im Grunde nichts anderes als ein Gefüge von Materialien, die eine Umgrenzung bilden. Diese Materialien stammen aus einer bestimmten Quelle, werden eine Zeit lang durch Konstruktionstechniken zusammengehalten und gehen irgendwann in der Zukunft in einen anderen Zustand über. Wir betrachten Gebäude gewöhnlich als etwas Dauerhaftes. Doch diese sind im Grunde nur ein Ruhezustand für Materialien, ein vorübergehendes Gleichgewicht, das vorherbestimmt ist, durch die Kräfte der Entropie aus der Balance gebracht zu werden.“

⁹¹ Walking City,
http://www.archigram.net/projects_pages/walking_city.html, 25.10.2016.

⁹² Vgl. Crowther 1999, 6.

⁹³ Ebda., 6.

⁹⁴ Vgl. Crowther 1999, 7, zitiert nach Kurokawa 1977, 101-104.

⁹⁵ Ebda., 7.

⁹⁶ Cellophane House,
<http://www.kierantimberlake.com/pages/view/14/cellophane-house/parent:3>, 27.09.2016.

⁹⁷ Prototyp für die Kreislaufwirtschaft,
<http://www.detail.de/artikel/prototyp-fuer-die-kreislaufwirtschaft-1299/>, 27.09.2016.

Das hohe Recyclingpotential des „Cellophane House“ konnte lt. „KieranTimberlake Architekten“ nur durch die Übertragung der Konstruktionsprinzipien aus der Automobilindustrie erzielt werden⁹⁸: So wurden für das Gebäude ausschließlich Materialien verwendet, für die bereits etablierte Verwertungsverfahren zur Verfügung standen und zudem möglichst wenig Gewicht aufwiesen. Geplant wurde an einem virtuellen Gebäudemodell, das eine sukzessive Dokumentation aller Informationen ermöglichte. So konnten Gebäudekomponenten gleichzeitig, ortsunabhängig und Gewerke übergreifend präzise hergestellt werden.

Die Struktur besteht aus einer Rahmenkonstruktion aus Aluminiumprofilen, die je nach Erfordernissen und Wünschen der Nutzer mit unterschiedlichen Materialien ausgefacht werden. Sämtliche Verbindungen sind mit einfachen Standardwerkzeugen zu lösen. Der modulare Aufbau des Gebäudes sieht die Vorfertigung von Bauteilgruppen vor, die vor Ort eine kurze Montagezeit ermöglichen. Darüber hinaus erlaubt die Modularität des Systems eine dem Nutzer entsprechende räumliche Flexibilität. Die Demontage des „Cellophane House“ beträgt nur wenige Tage und hinterlässt nahezu keinen Abfall.



Abbildung 2.5: Cellophane House von von KieranTimberlake Architekten 2008

2.1.6. Zusammenfassung

Der Rückblick auf die historischen Beispiele zeigt eine Vielzahl von heute zum Teil vergessenen Demontageaspekten, die das Wiederverwenden ganzer Bauteile erlaubten. Kaum verfügbare Baumaterialien und primitive Herstellungstechnologien dürften der Grund dafür gewesen sein, dass die ersten Recyclingmethoden aus heutiger Sicht die hochwertigsten waren (vgl. Abb. 2.6 – Produktrecycling). Mit zunehmender technischer Entwicklung wuchsen nicht nur die Anzahl der eingesetzten Materialien, sondern auch die Anforderungen an diese. Folglich fand eine laufende, funktionsorientierte Optimierung der Werkstoffe und Produkte statt, sodass das Spektrum der am Bau verwendeten Materialien immer größer wurde⁹⁹. Heute kann ein hochwertiges Recycling, in Anbetracht der Materialvielfalt, nur mehr durch das richtige Erkennen, Trennen und Sortieren der Fraktionen gewährleistet werden¹⁰⁰. Vor diesem Hintergrund muss das demontagegerechte Bauen wieder an Bedeutung gewinnen. Einen ersten Überblick über die teils historisch bewährten Gestaltungsaspekte für recyclingfähiges Bauen gibt die nachfolgende Zusammenfassung nach Crowther:¹⁰¹

⁹⁸ Cellophane House,
<http://www.kierantimberlake.com/pages/view/14/cellophane-house/parent:3>, 27.09.2016.

⁹⁹ Vgl. Kühn 2001, 130.

¹⁰⁰ Ebda., 130-131.

¹⁰¹ Vgl. Crowther 1999, 8.

- Ein geringes Gewicht der Gebäudekomponenten erleichtert grundsätzlich die Handhabung beim Demontageprozess,
- Die Festlegung der Bauteilgrößen sollte unter Berücksichtigung der Demontagetechniken erfolgen,
- Der Aufbau der Gebäudestruktur sollte ein getrenntes Tragwerk vorsehen, da so Ausrüstungselemente getauscht und verändert werden können, ohne die gesamte Struktur zu beeinflussen,
- Die Zugänglichkeit der zu tauschenden Bauteile und Verbindungsstellen muss gewährleistet sein,
- Die Anordnung der Gebäudeteile sollte hierarchisch in Abstimmung ihrer Austauschzyklen erfolgen,
- Eine parallele Montage- bzw. Demontageabfolge der Gebäudestruktur sollte einer sequentiellen vorgezogen werden,
- Es sollte ein modulares System verwendet werden, das mit existierenden Standards kompatibel ist,
- Einfache technische Lösungen und Standardwerkzeuge sind Sonderlösungen vorzuziehen,
- Reduktion und Vereinheitlichung der Bauteilverbindungen und Gebäudekomponenten,
- Kraft- und formschlüssige Verbindungen sind stoffschlüssigen Verbindungen vorzuziehen,
- Die Dokumentation der verwendeten Materialien und Montagetechniken erleichtert ein späteres Identifizieren der zu trennenden Fraktionen,
- Offene Systeme verleihen der Gebäudestruktur mehr Flexibilität und sollten deshalb geschlossenen vorgezogen werden,
- Das Wiederverwendungspotential von Bauteilen kann durch eine zerstörungsfreie Demontage erhöht werden,
- Eine hierarchisch gegliederte Gebäudestruktur erlaubt neben der Demontage des gesamten Gebäudes, auch die Entnahme einzelner Bauteile.

2.2. Brettsperrholz – ein demontage- und recyclingfähiges Bausystem?

Den historischen Aufzeichnungen zufolge, entstanden die ersten Behausungen aus Holz, nachdem der Mensch seine schützende Höhle verlassen hatte¹⁰². Ein aus Ästen zusammengesetzter Rahmen, der mit Blättern, Rinde oder Tierheuten abgedeckt wurde, sollte den Menschen ein schützendes Obdach bieten. Eine ähnliche Bauweise ist heute noch bei den Zeltkonstruktionen der Nomaden zu finden. Ebenfalls aus stabförmigen Holzelementen zusammengesetzte Rahmen, die mit unterschiedlichsten Membranen bespannt werden, erlauben es, immer wieder ab- und aufgebaut zu werden¹⁰³. Lösbare Verbindungen bestimmten auch den traditionellen japanischen Stab- und Fachwerksbau der mittelalterlichen und neuzeitlichen Holzarchitektur¹⁰⁴. Die Techniken der zerlegbaren und portablen Holzbehausungen entwickelten sich in Europa bis ins 19. Jahrhundert hinein (vgl. „portable colonial cottage“ von John Manning).

Mit zunehmender Industrialisierung etablierten sich aber neue Produktionstechnologien und Baustoffe, die den Holzbau aus Europa ein Stück weit verdrängten¹⁰⁵ (vgl. „The Nissen Hut“

¹⁰² Vgl. Crowther 1999, 2.

¹⁰³ Ebda., 1-2.

¹⁰⁴ Ebda., 1-2.

¹⁰⁵ Winter/Lattke 2011, 13.

von Peter Norman Nissen, Abb. 2.2). Waren es zu Beginn des 19. Jahrhunderts noch in Massen produzierte Gusseisenteile, die zu demontierbaren Konstruktionen gefügt wurden (vgl. „Crystal Palace“ von Josef Josef Paxton), so scheinen heute die Werkstoffe Stahl und Aluminium auf Grund ihrer materialspezifischen Eigenschaften und der im Stahlbau verwendeten Produktions- und Verbindungstechnologien beispielgebend für recyclinggerechtes Konstruieren zu sein¹⁰⁶ (vgl. „Cellophane House“ von KieranTimberlake Architekten oder „R128“ von Werner Sobek).

Nach diesen Überlegungen soll nun der Holzbau fokussiert werden. Es ist offensichtlich, dass die bis zum 19. Jahrhundert verzeichnete Recyclingfähigkeit des Holzbaus in ganz wesentlicher Weise durch seine Bauweise bestimmt wurde (vgl. Abschnitt 2.1).

Nicht nur die Art und Weise, wie die Gebäudeteile miteinander zusammengefügt wurden, sondern auch die Auswahl der Materialien selbst waren der Grund dafür, dass diese wiederverwendet werden konnten. In der Regel waren es stabförmige Bauweisen, die sich besonders gut für die Demontage eigneten¹⁰⁷. Diese erfüllten eine Vielzahl an Gestaltungsaspekten, die zum Teil den heutigen Stand der Forschung für demontage- und recyclingfähiges Bauen repräsentieren¹⁰⁸ (vgl. Abschnitt 2.1.6). In welcher Weise sich die Weiterentwicklung der stabförmigen Holzbauweise, bis hin zu den heute weit verbreiteten und vielschichtig aufgebauten Holztafel- bzw. Holzrahmenbauweisen¹⁰⁹, für recyclinggerechtes Bauen eignet, ist nicht mehr Teil der gegenständlichen Untersuchung.

Der Schwerpunkt der weiteren Untersuchung wird sich auf den Holzmassivbau konzentrieren und dabei der Frage nachgehen, auf welche Weise sich das Brettsperrholzsystem für demontage- und recyclinggerechtes Bauen eignet.

Die Recyclingmöglichkeiten von Brettsperrholz (ungeachtet der herstellerepezifischen Bezeichnungen) werden lt. EPD (Umwelt-Produktdeklarationen nach ISO 14025 und EN 15804) folgendermaßen beschrieben. (Detailliertere Information zu Umwelt-Produktdeklarationen sind dem Abschnitt 5.2 zu entnehmen).

„BSP kann im Falle eines selektiven Rückbaus nach Beendigung der Nutzungsphase problemlos wieder- oder weiterverwendet werden. Kann BSP keiner Wiederverwertung zugeführt werden, wird es aufgrund des hohen Heizwerts von ca. 19 MJ/kg einer thermischen Verwertung zur Erzeugung von Prozesswärme und Strom zugeführt. Bei energetischer Verwertung sind die Anforderungen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes zu beachten: Unbehandeltes BSP wird nach Anhang III der Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (AltholzV) vom 15.08.2002 dem Abfallschlüssel 17 02 01 zugeordnet (Behandeltes BSP je nach Holzschutzmitteltyp Abfallschlüssel 17 02 04).“¹¹⁰

Unter Betrachtung des sechsstufigen Recyclingmodells nach [111] (Abb. 2.6) erlaubt Brettsperrholz in seiner Nachnutzungsphase eine erneute Nutzung sowohl für den denselben als auch für einen anderen Zweck (Produktrecycling). Ist eine stoffliche Verwertung (Materialrecycling) der Holzabfälle nicht möglich, werden diese einer energetischen Verwertung zugeführt. Da Brettsperrholz fast ausschließlich aus dem nachwachsenden Rohstoff Holz besteht (vgl. Abschnitt 5.3), kann die energetische Verwertung nach [112] ebenfalls als Recyclingprozess gewertet werden. Somit kann festgehalten werden, dass Brettsperrholz sowohl als Produkt (Bauteil) als auch auf Grund seiner stofflichen Zusammensetzung (Material), hochwertig recycelt werden kann.

¹⁰⁶ Vgl. Sobek/Trumpf/Heinlein 2010, 424.

¹⁰⁷ Vgl. Crowther 1999, 2-4.

¹⁰⁸ Ebda., 8-9.

¹⁰⁹ Winter/Lattke 2011, 13.

¹¹⁰ Vgl. Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hg.): EPD – Brettsperrholz 2015.

¹¹¹ Brenner 2010, 15.

¹¹² Ebda., 15.

Da sich das Recyclingverhalten der vorherigen Betrachtung ausschließlich auf das Produkt selbst bzw. auf seine stoffliche Zusammensetzung bezieht, ist der Frage nach der Recyclingfähigkeit des gesamten Brettsperrholz-Bausystems nachzugehen. Das System muss sich weiteren Produkten unterschiedlicher Stoffkategorien bedienen, um den unterschiedlichsten Anforderungen an die Konstruktion zu genügen (Luftdichtheit, Feuchteschutz usw.). Spricht man von der Recyclingfähigkeit des gesamten Brettsperrholz-Bausystems, müssen alle zum System gehörigen Komponenten in die Betrachtung miteinbezogen werden. Demnach setzt sich jedes Bausystem aus einer hierarchischen Anordnung unterschiedlichster Bauteile aus unterschiedlichsten Stoffkategorien zusammen, die in definierter Beziehung und Abhängigkeit zueinander stehen¹¹³. Erst nach Auflösung dieses strukturellen Gefüges, in wieder möglichst sortenreine Bestandteile, können Materialien und Bauteile einem Recyclingverfahren zugeführt werden.

2.3. Richtlinien und Begriffsdefinitionen

Um den Begriff des Recyclings näher zu erläutern, wird in der gegenständlichen Arbeit folgendes rechtliches Rahmenwerk herangezogen:

- Die Richtlinie 2008/98/EG der Europäischen Gemeinschaft über Abfälle
- Abfallwirtschaftsgesetz 2002 – Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft
- VDI Richtlinie 2243 – Recyclingorientierte Produktentwicklung

Die Richtlinie 2008/98/EG der Europäischen Gemeinschaft über Abfälle

Die Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle bildet den rechtlichen Rahmen für die Abfallgesetzgebung in der Europäischen Gemeinschaft¹¹⁴. Darüber hinaus sollte die Richtlinie die Mitgliedstaaten zur Schaffung einer „Recyclinggesellschaft“ motivieren, in der Abfälle vermieden werden und Abfälle als Ressource Verwendung finden. Dabei sollte die Verwendung von Recyclingmaterialien im Einklang mit der Abfallhierarchie stehen, um das Deponieren und Verbrennen von Materialien zu vermeiden. Mit Hilfe der Abfallhierarchie schafft die Richtlinie eine Prioritätenfolge, unter der eine Betrachtung der Abfallströme unter ökologischen-, rechtlichen- und politischen Gesichtspunkten erfolgt:¹¹⁵

- Vermeidung
- Vorbereitung zur Wiederverwendung
- Recycling
- Sonstige Verwertung (z.B. energetische Verwertung)
- Beseitigung

Um den Begriff des Recyclings im Kontext der Prioritätenfolge der Abfallvermeidung- bzw. Abfallströme zu erörtern, erfolgt zunächst eine hierarchische Betrachtung der Begrifflichkeiten wie folgt:¹¹⁶

Vermeidung:

„Maßnahmen, die ergriffen werden, bevor ein Stoff, ein Material oder ein Erzeugnis zu Abfall geworden ist und die Folgendes verringern:

¹¹³ Vgl. Brenner 2010, 51.

¹¹⁴ Vgl. Richtlinie 2008/98/EG.

¹¹⁵ Ebda., Art. 4.

¹¹⁶ Vgl. Richtlinie 2008/98/EG, Art. 3.

- a) die Abfallmenge, auch durch die Wiederverwendung von Erzeugnissen oder die Verlängerung ihrer Lebensdauer;
- b) die schädlichen Auswirkungen des erzeugten Abfalls auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit oder
- c) den Gehalt an schädlichen Stoffen in Materialien und Erzeugnissen;“

Vorbereitung zur Wiederverwendung:

„Jedes Verwertungsverfahren der Prüfung, Reinigung oder Reparatur, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile von Erzeugnissen, die zu Abfällen geworden sind, so vorbereitet werden, dass sie ohne weitere Vorbehandlung wiederverwendet werden können;“

Recycling:

„Jedes Verwertungsverfahren, durch das Abfallmaterialien zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden. Es schließt die Aufbereitung organischer Materialien ein, aber nicht die energetische Verwertung und die Aufbereitung zu Materialien, die für die Verwendung als Brennstoff oder zur Verfüllung bestimmt sind;“

Verwertung:

„Jedes Verfahren, als dessen Hauptergebnis Abfälle innerhalb der Anlage oder in der weiteren Wirtschaft einem sinnvollen Zweck zugeführt werden, indem sie andere Materialien ersetzen, die ansonsten zur Erfüllung einer bestimmte Funktion verwendet worden wären oder die Abfälle so vorbereitet werden, dass sie diese Funktion erfüllen. Anhang II enthält eine nicht erschöpfende Liste von Verwertungsverfahren;“

Beseitigung:

„Jedes Verfahren, das keine Verwertung ist, auch wenn das Verfahren zur Nebenfolge hat, dass Stoffe oder Energie zurück gewonnen werden. Anhang I enthält eine nicht erschöpfende Liste von Beseitigungsverfahren;“

Eine nähere Betrachtung der Definitionen Recycling und Wiederverwendung zeigt eine deutliche Unterscheidung in der Art, wie Erzeugnisse weiterverwendet werden. Bei Verfahren zur Vorbereitung für eine Wiederverwendung werden ausschließlich Erzeugnisse bzw. Bestandteile von Erzeugnissen behandelt, die bereits zu Abfällen geworden sind. Eine Wiederverwendung ist nur dann gegeben, wenn Erzeugnisse oder deren Bestandteile die keine Abfälle sind, für denselben Zweck wiederverwendet werden, für den sie ursprünglich bestimmt waren¹¹⁷. Hingegen erlaubt das Recycling, das als Rückgewinnung von Erzeugnissen, Materialien und Stoffen bezeichnet wird, per Definition auch eine Verwendung für einen anderen als den ursprünglichen Zweck¹¹⁸.

Abfallwirtschaftsgesetz 2002 – Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft

Zu den zentralen Richtlinien im Bereich der Abfallwirtschaft zählt die EU-Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle und bildet die rechtliche Grundlage für das Abfallwirtschaftsgesetz 2002 als Bun-

¹¹⁷ Vgl. Richtlinie 2008/98/EG, Art. 3.

¹¹⁸ Vgl. Sobek/Trumpf/Heinlein 2010, 425.

desgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft in Österreich. Die Definition der abfallbezogenen Begrifflichkeiten sowie die fünfstufige Prioritätenabfolge von der Abfallvermeidung bis zur Beseitigung erfolgt im AWG 2002 ebenfalls auf Basis der Richtlinie 2008/98/EG¹¹⁹.

VDI Richtlinie 2243 – Recyclingorientierte Produktentwicklung

Die VDI Richtlinie 2243 für eine recyclingorientierte Produktentwicklung verwendet ähnliche Begriffsdefinitionen wie die zuvor beschriebene EU- Richtlinie 2008/98/EG. Sie bietet Informationen, Anleitungen und Entscheidungshilfen für die einzelnen Phasen der Produktentwicklung und soll insbesondere die Recyclingfähigkeit von technischen Produkten erhöhen¹²⁰. Zu den zentrale Begriffen im Umgang mit Abfällen bietet die VDI 2243 folgende Definitionen:¹²¹

Verwendung:

„Erneute Nutzung von gebrauchten Produkten oder Produktteilen für denselben (Wiederverwendung) oder einen anderen (Weiterverwendung) Verwendungszweck wie zuvor unter Nutzung ihrer Gestalt ohne bzw. mit beschränkter Veränderung des Produktes.“

Verwertung (stofflich):

„Nutzung des Abfalls (keine Beseitigung des Schadstoffpotentials) durch:

- Substitution von Rohstoffen durch das Gewinnen von Stoffen aus Abfällen (rohstoffliche Verwertung) oder
- Nutzung der stofflichen Eigenschaften der Abfälle (werkstoffliche Verwertung mit Ausnahme der unmittelbaren Energierückgewinnung).“

Verwertung (thermisch):

„Einsatz von Abfällen als Ersatzbrennstoff“

Recycling:

„Erneute Verwendung oder Verwertung von Produkten, Teilen von Produkten sowie Werkstoffen in Form von Kreisläufen“

Die zum Teil konkreten Hinweise zur Förderung der Recyclingfähigkeit beziehen sich in der VDI 2243 ausschließlich auf die Entwicklung von technischen Produkten. Vergleicht man die zentralen Begriffe wie Wiederverwendung, Verwertung und Recycling im Umgang mit Abfällen der VDI 2243 mit den Definitionen aus dem AWG 2002 bzw. mit der Richtlinie 2008/98/EG, so können diese aus Sicht des Autors als grundsätzliche Indikatoren auch auf den Gebäudesektor übertragen werden.

¹¹⁹ Vgl. Abfallwirtschaftsgesetz 2002 2015, §2.

¹²⁰ Vgl. VDI Richtlinie 2243 2002, 2.

¹²¹ Ebda., 35.

2.4. Demontage und Recycling im Gebäudesektor

Im Zusammenhang eines effizienten Ressourceneinsatzes im Gebäudesektor wird das Recycling oder die Wiederverwendung von Baustoffen, oder sogar ganzer Bauteile, als eine zwingend notwendige Maßnahme erachtet, um die Ressourceneffizienz zu steigern und die mit der Neuproduktion von Materialien einhergehenden, negativen Umweltauswirkungen zu vermeiden¹²².

Wurden früher Bauwerke ohne Unterscheidung der unterschiedlichen Materialfraktionen möglichst schnell und kostengünstig abgebrochen und als Bauschutt entsorgt, so regelt der heutige rechtliche Rahmen für die Abfallgesetzgebung in der Europäischen Union, die abfallwirtschaftlichen Ziele, in einer fünfstufigen Abfallhierarchie¹²³ (vgl. Abschnitt 2.3). Die darin enthaltene zentrale Begriffsdefinition wie

- Vermeidung,
- Vorbereitung zur Wiederverwendung,
- Wiederverwendung,
- Recycling,
- Verwertung und
- Beseitigung

divergieren zum Teil mit den Begriffsdefinitionen der VDI-Richtlinie 2243 über Recyclingorientierte Produktentwicklung. Insbesondere steht die thermische Verwertung in der VDI 2243¹²⁴ im Widerspruch zur Kreislaufwirtschaft, da durch das Verbrennen eventuell hochwertige Rohstoffe unwiederbringlich für den Stoffkreislauf verloren gehen (vgl.^{125 126}). Für ein differenziertes Verständnis des Recyclingbegriffs enthält das nach [127 128] eingeführte sechsstufige Recyclingmodell eine weitere Hierarchieebene, die eine Verwertung mit Qualitätsverlusten berücksichtigt (Abb. 2.6). Dazu werden nachfolgend die sechs Hierarchiestufen nach [129 130] in Anlehnung an [131 132] erläutert:

Verwendung:

„Erneute Nutzung von gebrauchten Produkten oder Produktteilen für denselben oder einen anderen Zweck. Gegebenenfalls nach Aufarbeitung oder Instandsetzung der Produkte. Diese Stufe kann auch als „Produktrecycling“ bezeichnet werden. Beispiel: Wiederverwendung eines gebrauchten Stahlträgers zum selben Zweck.“

Stoffliche Verwertung:

„Nutzung des Abfalls zur Substitution von Rohstoffen durch das Gewinnen von Stoffen aus Abfällen. Dabei erreicht der Sekundärrohstoff dieselbe oder für die jeweilige Anwendung gleichwertige Qualität wie das Ausgangsprodukt. Dieser Prozess kann auch als „Materialrecycling“ bezeichnet werden. Beispiel: Einschmelzen eines Stahlträgers und erneutes Herstellen eines gleichwertigen Produkts.“

¹²² Vgl. KOM (2014) 445 final, 2014, 2.

¹²³ Vgl. Richtlinie 2008/98/EG, Art. 4.

¹²⁴ Vgl. VDI Richtlinie 2243 2002, 2.

¹²⁵ Vgl. Brenner 2010, 14-15.

¹²⁶ Vgl. Jäger, Masou u.a. (Hg.) 2013, 31-32.

¹²⁷ Vgl. Brenner 2010, 14-15.

¹²⁸ Vgl. Jäger, Masou u.a. (Hg.) 2013, 31-32.

¹²⁹ Vgl. Brenner 2010, 14-15.

¹³⁰ Vgl. Jäger, Masou u.a. (Hg.) 2013, 31-32.

¹³¹ Vgl. VDI Richtlinie 2243 2002, 2.

¹³² Vgl. Richtlinie 2008/98/EG, Art. 4.

Stoffliche Verwertung mit Qualitätsverlust (Downcycling):

„Dieser Prozess verläuft analog zur „Stofflichen Verwertung“, jedoch mit Qualitätsverlusten durch den Recyclingprozess. Dabei verschlechtert sich die Qualität des Rezyklates mit jedem weiteren Recycling, bis schließlich keine weitere Verwertung mehr möglich ist und das Material aus dem Kreislauf ausscheidet und beseitigt werden muss. Beispiel: Altpapier kann maximal fünfmal rezykliert werden.“

Energetische Verwertung:

„Einsatz von Abfall mit hohem Brennwert als Ersatzbrennstoff. Diese Form der Verwertung ist nur für nachwachsende Rohstoffe als Recycling zu bezeichnen. Das Verbrennen von nicht erneuerbaren Rohstoffen, wie bspw. Kunststoff zur Energiegewinnung, ist nicht als Recycling zu bezeichnen. Es kann zwar argumentiert werden, dass die Verbrennung von Abfall aus nicht erneuerbaren Rohstoffen mit Energierückgewinnung ökologisch vertretbar ist, solange die Energiewirtschaft fossile Energieträger einsetzt – dem Recycling im Sinne eines Materialkreislaufs wird dieser Vorgang jedoch nicht gerecht.“

Thermische Beseitigung:

„Verbrennen von Abfall, dessen geringer Brennwert keine energetische Verwertung zulässt, mit dem primären Ziel, die zu deponierende Abfallmenge zu reduzieren. Gleichzeitig wird das Abfallmaterial inertisiert, d.h. organische Bestandteile werden so verändert, dass sie nicht mehr reagieren und somit die Menge an Deponiegasen minimieren.“

Deponie:

„Ablagerung von Abfall, der keiner weiteren Behandlung zugeführt werden kann, auf einer Mülldeponie.“

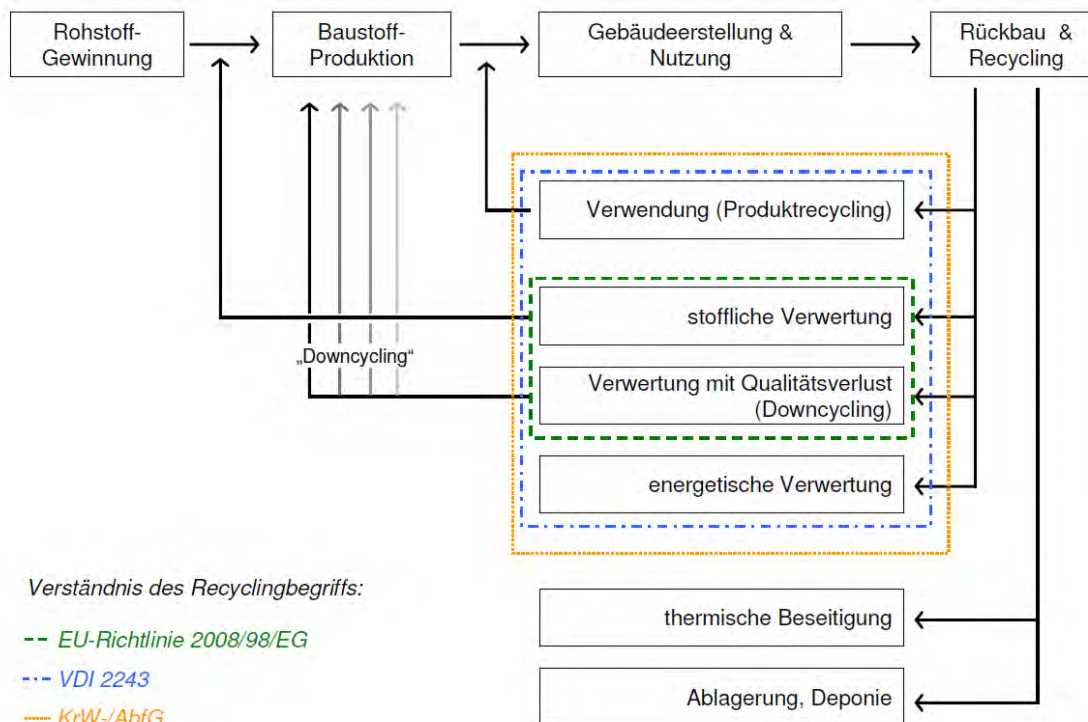


Abbildung 2.6: Sechsstufiges Recyclingmodell, hierarchisch abgestuft¹³³

¹³³ Brenner 2010, 15.

Die vorangegangenen beschriebenen Arten des Recyclings sind nicht ohne vorausgehende Trennung der unterschiedlichen Materialfraktionen möglich. Dazu schreibt der Gesetzgeber eine strenge Separation der bei Bau- und Abbruchtätigkeiten anfallenden Materialien vor¹³⁴. Der Abbruch eines Bauwerkes hat gemäß BGBl. II Nr. 181/2015 § 5 als Rückbau zu erfolgen. Die ÖNORM B 3151 schafft dafür ein Regelwerk, das das Ausbauen und Übergeben von Bauteilen zur Wiederverwendung, Vorbereitung zur Wiederverwendung und einem Recycling sicherstellt¹³⁵ (vgl. Abb. 2.6). Diese Vorgehensweise wird auch als kontrollierter oder selektiver Rückbau bezeichnet, der in der Regel in mehreren Demontagestufen vollzogen wird. Demontage und Recycling „werden daher als zwei aufeinander folgende Prozessschritte betrachtet“¹³⁶.

Eine vollständige Kreislaufführung im Gebäudesektor kann dabei nicht allein durch die Verwendung von bereits recycelten Stoffen oder wieder- bzw. weiterverwendeter Bauteile erreicht werden, sondern nur dann, wenn auch die Bauweise und Konstruktion eines Gebäudes darauf ausgerichtet wird, recyclingfähig zu sein¹³⁷. Gebäude müssen zukünftig so ausgelegt werden, dass sie am Ende ihres Lebenszyklus mit einem vertretbaren Aufwand wieder in ihre ursprünglichen Ausgangsstoffe zerlegt werden können, um diese Ausgangsstoffe dann wieder dem Stoffkreislauf zuzuführen¹³⁸.

Angesichts der belegten Umweltauswirkungen, die zum Teil sehr unterschiedlich mit den jeweiligen Lebenszyklusphasen eines Gebäudes einhergehen¹³⁹ (vgl. Abschnitt 1.1), wird ersichtlich, dass in der gängigen Baupraxis die Aspekte einer späteren Demontage und Rezyklierbarkeit im Gebäudesektor nahezu unberücksichtigt sind.

Auf Grund der immer kürzer werdenden Bauausführungsphasen konzentrieren sich die Überlegungen meist auf eine Optimierung der Montageabläufe. Eine spätere Demontage bleibt in der Regel in der Planung unberücksichtigt¹⁴⁰. Vor diesem Hintergrund beschreibt Philip Crowther auf fast poetische Weise die Diskrepanz zwischen Errichtung und Zerstörung eines Gebäudes:¹⁴¹

„Assembly may be seen a complex sequence of connecting carefully designed components and materials, a process that may involve thousands of people and fleets of machines. Building assembly requires careful control over labour, materials, time and space, all with a grand vision of the creation of the built environment. On the other hand, disassembly, in the building industry, usually involves a few bulldozers or a fist full of explosives. It may last just a few seconds and the results are seldom described as visionary.“

Obwohl heute die komplette Zerstörung bzw. der Abriss von Bauwerken durch selektive Rückbaumaßen ergänzt wird, gehen nach wie vor Tonnen von Materialien und hochwertiger Energie verloren, die am Ende ihres Lebenszyklus durch nicht demontagefähige Gebäudestrukturen auf einer Deponie oder Müllverbrennungsanlage landen (vgl. Abb. 1.6), (Abb. 2.7, 2.8)¹⁴².

¹³⁴ Vgl. Recycling Baustoffe BGBl. II Nr. 181/2015.

¹³⁵ Ebda., § 5.

¹³⁶ Vgl. Jäger, Masou u.a. (Hg.) 2013, 30.

¹³⁷ Vgl. Scharnhorst 2010, 4.

¹³⁸ Vgl. Sobek/Trumpf/Heinlein 2010, 427.

¹³⁹ Vgl. KOM (2014) 445 final, 2014, 4.

¹⁴⁰ Vgl. Durmisevic 2010, 22.

¹⁴¹ Crowther 1999, 1.

¹⁴² Abbruchszenario Montforthaus, <http://www.gps-abbruch.de>, 13.09.2016.



Abbildung 2.7: Typisches Abbruchscenario am Beispiel des Montforthaus, Feldkrich AT der Firma GPS-Gesellschaft für Projektmanagement und Sanierung mbH

Abbildung 2.8: Typisches Abbruchscenario am Beispiel des Montforthaus, Feldkrich AT der Firma GPS-Gesellschaft für Projektmanagement und Sanierung mbH (rechts)

Als besonders problematisch gelten Verbundkonstruktionen, die in der Regel nur schwer wieder zu trennen sind. Insbesondere Verbunde zwischen lang- und kurzlebigen Bauteilen, aber auch Verbunde zwischen unterschiedlichen Stoffgruppen erschweren ein späteres Recycling bzw. ein Wieder- oder Weiterverwenden enorm¹⁴³. Eine flexible Handhabung der Austauschzyklen von lang- und kurzlebigen Bauteilen, in Folge geänderter Nutzungsanforderungen sowie bei Wartung und Instandsetzung von Gebäudeteilen bezogen auf ihre technische Lebensdauer, ist mit Verbundkonstruktionen kaum möglich. Das Lösen bzw. die Demontage dieser Verbunde ist nicht oder zumindest nicht zerstörungsfrei und rückstandslos möglich¹⁴⁴.

Eine demontagerechte Gebäudekonstruktion soll neben einem sortenreinen Separieren von Materialien auch das Recycling ganzer Bauteile ermöglichen (vgl. Abb. 2.6 – Produktrecycling). Durch ein „Design for Disassembly“, kann bereits während der Planungsphase das zukünftige Recyclingpotential eines Gebäudes und dessen Bauteile und Materialien maßgeblich beeinflusst werden. Hierbei bestimmen entsprechende Gestaltungskriterien die Demontefähigkeit einer Gebäudestruktur und die damit zusammenhängende Qualität des Recyclings, wie in Abb. 2.6 dargestellt.

Jenen Demontageaspekten, die die Konstruktion eines Bauwerkes und seiner Verbindungsmittel dahingehend optimieren, sodass ein hochwertiges Recycling von Materialien und Bauteilen möglich wird, wird in der gegenwärtigen Gebäudeentwicklung noch zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt¹⁴⁵. Die Gründe dafür sind zahlreich. In Anbetracht der langen Nutzungsdauer von Gebäuden scheint das Ende ihrer Lebenszyklen in zu weiter Ferne zu liegen (vgl. Abb. 4.40). Hinzu kommt, dass die derzeitige Marktsituation in der Immobilienbranche zu einem „kurzfristigen Renditedenken“¹⁴⁶ führt und so die langfristigen Umweltauswirkungen von Gebäuden von den Entscheidungsträgern nahezu unberücksichtigt bleiben¹⁴⁷. Demnach konzentriert sich auch die Bauindustrie hauptsächlich auf die Optimierung der Herstellungsprozesse und Technologien von Gebäuden und deren Komponenten. Die Entwicklung von Demontagetechniken, die in „ferner Zukunft“ ein Recycling und Wiederverwenden von Materialien und Produkten ermöglichen sollen, bleiben nahezu unberücksichtigt¹⁴⁸. Dieser Umstand führt in der Regel zum Abriss eines Gebäudes und Folge dessen zu einem

¹⁴³ Vgl. Jäger, Masou u.a. (Hg.) 2013, 19.

¹⁴⁴ Ebda., 2013, 19.

¹⁴⁵ Vgl. Durmisevic/Brouwer 2015, 1-3.

¹⁴⁶ Vgl. Passer 2010, 51.

¹⁴⁷ Ebda., 2010, 51.

¹⁴⁸ Vgl. Durmisevic/Brouwer 2015, 1-3.

minderwertigeren Recycling der Fraktionen und im schlimmsten Fall zur Deponierung dieser (vgl. Abb. 2.6).

Demontage- und recyclinggerechtes Konstruieren sollte daher als integraler Bestandteil in jede Gebäudeplanung Einzug halten und sicherstellen, dass bereits vor der Herstellung und Verwendung eines Produktes respektive Gebäudes eine spätere Demontage bzw. Recycling berücksichtigt wird¹⁴⁹. Demontage- und recyclinggerechtes Konstruieren nach [150] bedeutet aber auch Gebäudestrukturen so zu entwerfen, dass ein Zugriff auf die Teile gewährleistet wird. Das heißt, dass die Demontagefähigkeit eines Gebäudes nicht allein durch die Auflösung der gesamten Struktur bestimmt wird, sondern diese auch durch das Hinzufügen, Entfernen und Ersetzen einzelner Teile der Struktur partiell angepasst und verändert werden kann¹⁵¹. Dieser Umstand gewinnt insbesondere vor dem Hintergrund der unterschiedlichen technischen Lebenszyklen von Bauteilen, aber auch bei sich verändernden Nutzungsanforderungen an Bedeutung.

2.5. Demontage und Recycling in der Nachhaltigkeitsbewertung

Da ein Großteil der Klimaveränderung und Ressourcenverknappung auf den Gebäudesektor zurückzuführen ist, wurde Nachhaltigkeit vergleichsweise früh thematisiert. Bereits Anfang der 1990er Jahre gab es die ersten Bemühungen, die Umweltauswirkungen von Gebäuden ganzheitlich zu erfassen und über Zertifizierungen zu bewerten¹⁵². Ganzheitlich bedeutet, dass eine nachhaltige Gebäudeentwicklung nicht ausschließlich unter ökologischen Gesichtspunkten erfolgen kann, sondern ökonomische- und soziokulturelle bzw. funktionale Aspekte nicht unberücksichtigt bleiben dürfen.

Das Nachhaltigkeitskonzept der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) reicht über dieses Dreisäulenmodell hinaus. Ihr Zertifizierungssystem der 2. Generation beinhaltet zur umfassenden Bewertung der Nachhaltigkeit eines Gebäudes zusätzlich noch die Themenfelder Technik, Prozesse und Standort¹⁵³ (Abb. 2.9).

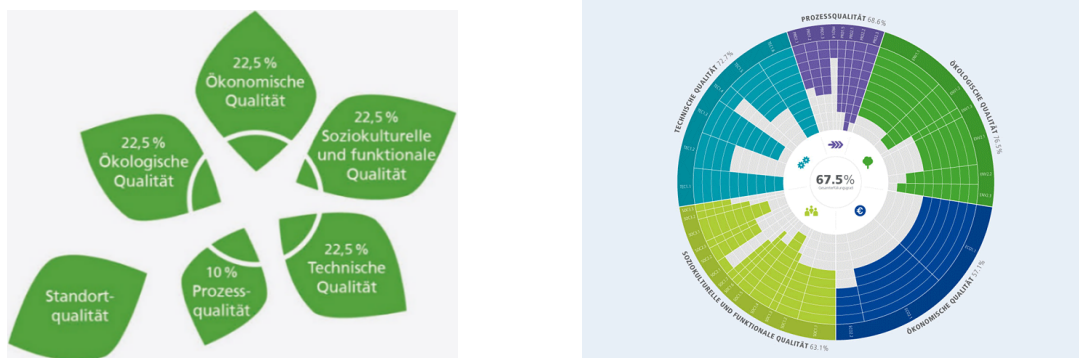


Abbildung 2.9: Die sechs Themenfelder des Nachhaltigkeitskonzeptes der DGNB¹⁵⁴ (links) Abbildung 2.10: DGNB Bewertungsgrafik (rechts)

¹⁴⁹ Vgl. Sobek/Trumpf/Heinlein 2010, 427-428.

¹⁵⁰ Ebd., 427-428.

¹⁵¹ Vgl. Durmisevic 2010, 178.

¹⁵² Vgl. Rüter/Diederichs 2012, 9-11.

¹⁵³ Vgl. Das DGNB Zertifizierungssystem. Einzigartig flexibel,

<http://www.dgnb-system.de/dgnb-system/de/system/zertifizierungssystem/>, 03.10.2016.

¹⁵⁴ DGNB-Zertifizierung von Gebäuden,

<http://www.baustoffwissen.de/wissen-baustoffe/baustoffknowhow/grundlagen/nachhaltigkeit/erklart-dgnb-zertifizierung-von-gebaeuden/>, 07.10.2016.

Die Österreichische Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft (ÖGNI)¹⁵⁵, bietet auf Basis des Zertifizierungssystems der DGNB ein an die österreichischen Rahmenbedingungen angepasstes Bewertungssystem an. Ein vergleichender Überblick unterschiedlichster Gebäudezertifizierungssysteme- bzw. Labels nach [156] in Anlehnung an [157 158] zeigt, dass, mit Ausnahme der DGNB/ÖGNI Zertifizierungssysteme, die funktionalen und technischen Aspekte in der Mehrzahl der Bewertungssysteme- bzw. Labels nur unzureichend berücksichtigt werden¹⁵⁹. Unter dem Themenfeld Technik des Zertifizierungssystems der DGNB ist das Kriterium TEC 1.6 zu finden, das zur Bewertung der Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit herangezogen wird.

2.5.1. Kriterium TEC 1.6 - Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit

Die Grundlage des Zertifizierungssystems bildet eine Liste an Bewertungskriterien, die den jeweiligen Themenfeldern zugeordnet sind (Abb. 2.10). Jedes Kriterium beschreibt ein der Bewertung zugrundeliegendes Ziel, das mit einem Bedeutungsfaktor gewichtet ist und so anteilig der Gesamtbewertung eines Gebäudes zugerechnet werden kann¹⁶⁰. Das dem Themenfeld technische Qualität zugeordnete Kriterium „TEC 1.6 Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit“ setzt sich demnach zum Ziel, „die Kreislaufführung der im Gebäude eingesetzten Stoffe und Materialien zur Schonung der natürlichen Ressourcen zu fördern“¹⁶¹. Darüber hinaus weist das Kriterium darauf hin, dass eine Erhöhung der Rückbaubarkeit und Recyclingfähigkeit eines Gebäudes sowohl zur Schonung natürlicher Ressourcen als auch zur Vermeidung von Abfällen beiträgt.

2.5.2. Relevanz

Gemäß dem Kriterium¹⁶² erfolgt die Betrachtung eines Gebäudes sowohl auf konstruktiver als auch auf stofflicher Ebene. Das Ziel auf konstruktiver Ebene umfasst die Erhöhung des Demontagepotentials eines Bauwerkes. Auf diese Weise kann eine bessere Wieder- oder Weiterverwendung von Bauteilen oder ein Recycling von Stoffen gewährleistet werden. Das Ziel auf stofflicher Ebene umfasst die Rückgewinnung von nachweislich recyclingfähigen Materialien am Ende ihres Lebenszyklus.

Überdies soll das Kriterium zu einem höheren Verantwortungsbewusstsein bei Planern und Herstellern von Produkten führen. Durch konstruktive Lösungen soll der Planer das Demontageverhalten seiner Gebäude positiv beeinflussen und durch eine sorgsame Baustoffwahl deren Recycling begünstigen. Können herstellende und ausführende Firmen die Kreislauffähigkeit ihrer Produkte nicht gewährleisten, wird von ihnen eine Rücknahmeverpflichtung oder eine zeitweise Überlassung ihrer Produkte (Produktleasing) erwartet. Im nachstehenden Abschnitt erfolgt eine kurze Erläuterung der Bewertungsmethodik gemäß DGNB Kriterium TEC 1.6 Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit¹⁶³.

¹⁵⁵ ÖGNI,

<http://www.ogni.at>, 27.10.2016.

¹⁵⁶ Vgl. Kreiner 2013, 46-52.

¹⁵⁷ Wallbaum/Hardziewski 2011, 32-39.

¹⁵⁸ Passer/Mach/Kreiner/Maydl 2011

¹⁵⁹ Vgl. Kreiner 2013, 51.

¹⁶⁰ DGNB Zertifizierungssystem Version 2015,

<http://www.dgnb-system.de/de/system/zertifizierungssystem/>, 27.11.2016.

¹⁶¹ DGNB Kriterium TEC 1.6 Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit,

http://www.dgnb-system.de/de/system/kriterien/neubau_gebaeude/?toggle=4, 27.11.2016.

¹⁶² DGNB Kriterium TEC 1.6 Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit 2015, 2-3.

¹⁶³ Ebd., 2-10.

2.5.3. Methode

Die Gliederung des Kriteriums „TEC 1.6 Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit“ erfolgt durch zwei Indikatoren:

- Recyclingfreundliche Baustoffwahl
- Rückbaufreundliche Baukonstruktion

Die Betrachtung eines Gebäudes erfolgt gegliedert nach Bauteilgruppen gemäß DIN 276¹⁶⁴, Kostengruppe 300, die entsprechend ihrer Austauschhäufigkeit und ihrer Flächenrelevanz gewichtet in die Bewertung einbezogen werden. Bauteilgruppen nachfolgender Gebäudebereiche werden einer Bewertung unterzogen:¹⁶⁵

- „Primärkonstruktion / Tragwerk, Austauschhäufigkeit einfach gewertet (angenommene typische Austauschhäufigkeit = 0 x pro 50 Jahre)
- Hüllflächen, Austauschhäufigkeit doppelt gewertet (angenommene typische Austauschhäufigkeit = 1 x pro 50 Jahre)
- Innenausbau, Austauschhäufigkeit fünffach gewertet (angenommene typische Austauschhäufigkeit = 4 x pro 50 Jahre)“

Die Bewertung der Baustoffwahl hinsichtlich ihrer Recyclingfreundlichkeit erfolgt in mehreren Stufen¹⁶⁶. Baustoffe der Stufe-A erlauben eine Wieder- oder Weiterverwendung der Bauprodukte oder eine Wiederverwertung zu einem Produkt mit vergleichbaren Einsatzmöglichkeiten. Baustoffe der Stufe-B erlauben eine Wieder- oder Weiterverwertung zu einem hochwertigen Bauprodukt. Baustoffe, die nicht der Stufe-A und B zuordenbar sind, werden als Standard-Baustoffe eingestuft. Dazu gehören auch jene Baustoffe, die einer energetischen Verwertung zugeführt werden.

Die Bewertung der Demontage- und Rückbaufreundlichkeit einer Baukonstruktion erfolgt ebenfalls in mehreren Stufen¹⁶⁷. Die erste Stufe definiert sich über „Rückbaufreundliche Baukonstruktionen“:

„Im Sinne des Kriteriums bedeutet, dass die Möglichkeit einer zerstörungsfreien Entnahme der Bauteile oder einer sortenreinen Trennung der Bauteilschichten gegeben ist. Weiterhin wird eine sortenreine Trennung angenommen, wenn die Trennung der Schichten obsolet ist, da die Einzelschichten derselben Stoffgruppe zuzuordnen sind (z. B. Lehmputz auf Lehmziegeln oder Holzvertäfelung auf Holzständerwerk).“

Die zweite Stufe beinhaltet die „Zerstörungsfreie Entnahme von Bauteilen“, was

„im Sinne dieses Kriteriums bedeutet, dass es möglich ist, das entnommene Bauteil einer Wieder- oder Weiterverwendung zur Verfügung zu stellen. Dabei gilt, dass die Anschlüsse des Bauteils an das Gebäude oder an angrenzende Bauteile ohne Zerstörung verbleibender Bauteile oder Bauteilschichten lösbar sein müssen.“

Die dritte Stufe beinhaltet die „Sortenreine Trennbarkeit von Bauteilschichten“, was

„im Sinne des Kriteriums bedeutet, dass eine stoffliche Verwertung der gewonnenen Materialien ohne Einschränkung möglich ist.“

Stufe „Standard“

„Baukonstruktion, die nicht explizit unter o. g. Gesichtspunkten der rückbaufreundlichen Baukonstruktion (Stufe „Rückbaufreundlich“) durchgeführt ist.“

¹⁶⁴ Din 276-1 Kosten im Bauwesen, Teil 1: Hochbau, 12-2008.

¹⁶⁵ DGNB Kriterium TEC 1.6 Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit 2015, 3.

¹⁶⁶ DGNB Kriterium TEC 1.6 Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit 2015, 5-6.

¹⁶⁷ Ebda., 7.

2.5.4. Nachweise

Zur Nachweisführung der Recyclingfreundlichkeit der Baustoffe werden entsprechende Erklärungen der Hersteller, der Planer oder der ausführenden Firmen anerkannt. Die Erklärungen sind gemäß ENV1.1 Ökobilanz – emissionsbedingte Umweltwirkungen und ENV2.1 Ökobilanz – Ressourcenverbrauch, nach dem Themenfeld der Ökologischen Qualität der DBGNB in Bauteilgruppen aufzulisten¹⁶⁸.

Nachweise der Stufe A:

„Von Hersteller Bestätigung zur Rücknahme zum Zwecke der Wiederverwendung oder „Leasing“ oder Bestätigung von einer „Bauteilbörse“, dass es sich um ein Bauprodukt mit auch zukünftig hohem Wiederverkaufswert handelt, das von der jeweiligen Bauteilbörse angenommen werden würde. Bei „Wiederverwertung zu einem vergleichbaren Produkt“ ist ein plausibles Recycling anzunehmen, sodass ein Nachweis entfallen kann.“

Nachweise der Stufe B:

„Erklärung des Herstellers oder eines Entsorgers oder plausible Darstellung des Auditors mit Nennung einer zuverlässigen externen Quelle, dass eine Verwertung zu einem hochwertigen Bauprodukt allgemein üblich ist und dem Stand der Technik entspricht. Beispiele für die „Recyclingfreundliche Baustoffwahl“ der Stufen A, B und Standard: Siehe „TEC1.6 Berechnungstool“.“

Zur Nachweisführung der Rückbaufreundlichkeit der Baukonstruktion werden ebenfalls entsprechende Erklärungen der Planer, der Hersteller oder der ausführenden Firmen anerkannt. Eine Auflistung der Bauteilgruppen in der Erklärung erfolgt analog zur Nachweisführung der Recyclingfreundlichkeit der Baustoffe gemäß ENV1.1 und ENV2.1.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass mit dem Zertifizierungssystem der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) ein umfassendes Werkzeug zur objektiven Beschreibung und Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden und Quartieren entwickelt wurde. Aus den sechs Themenfeldern Ökologie, Ökonomie, soziokulturelle und funktionale Aspekte, Technik, Prozesse und Standort stehen bis zu 40 Nachhaltigkeitskriterien zur Verfügung. Der Anteil des Kriteriums TEC 1.6 Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit auf die Gesamtbewertung, wird mit 4,1% beziffert. Darüber hinaus kann jedes Kriterium mit einem bis zu dreifachen Bedeutungsfaktor in die Bewertung des jeweiligen Themenfeldes einfließen. Der spezifische Bedeutungsfaktor des DGNB Kriteriums TEC 1.6 liegt bei 2.

Die jeweiligen Stufen zur Bewertung der Recyclingfreundlichkeit sind per Definition mit dem sechsstufigen Recyclingmodell nach ^[169] Abb. 2.6 zu vergleichen. Die Demontierbarkeit der Baukonstruktion wird als grundlegende Voraussetzung für ein späteres Recycling von Bauteilen verstanden. Gemäß dem Kriterium TEC 1.6 kann zwar eine Bewertung der Demontage- und Rückbaufreundlichkeit einer Baukonstruktion vorgenommen werden, konkrete Handlungsanleitungen für den Aufbau einer demontegerechten Gebäudestruktur bzw. Konstruktion sind darin nicht enthalten.

¹⁶⁸ DGNB Kriterium ENV1.1 und ENC2.1 Ökologischen Qualität,
http://www.dgnb-system.de/de/system/kriterien/neubau_gebaeude/, 29.11.2016.

¹⁶⁹ Vgl. Brenner 2010, 14-15.

3. Methodische Herangehensweise

Zur Erläuterung der methodischen Herangehensweise an die Bewertung der Demontage- und Recyclingfähigkeit des BSP-Bausystems erfolgt zunächst eine Beschreibung der strukturellen Zusammenhänge eines Gebäudes.

3.1. Struktureller Aufbau eines Gebäudes

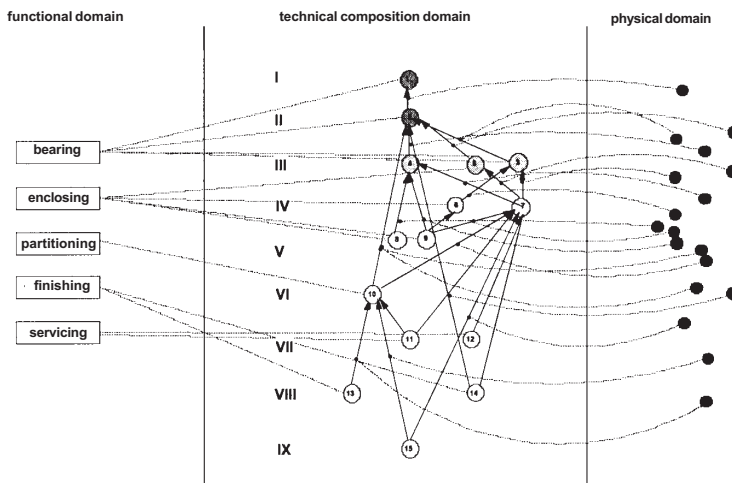


Abbildung 3.1: Zusammenhang zwischen funktioneller Gliederung, konstruktivem Aufbau und den Verbindungen der Bestandteile¹⁷⁰

Jede Gebäudestruktur setzt sich aus einer hierarchischen Anordnung bestimmter Teile und Elemente zusammen, die in definierten Beziehungen und Abhängigkeiten zueinander stehen¹⁷¹. Diese strukturelle Gliederung zieht sich durch alle Maßstabsebenen eines Gebäudes. Von der Auswahl der Materialien, den daraus zusammengefügt Bauteilen und Bauteilgruppen, bis hin zur Gesamtstruktur eines Bauwerkes¹⁷². Die Anordnung der Komponenten bestimmen nicht nur die strukturelle Zusammensetzung eines Gebäudes, sondern geben auch Aufschluss über das Verhalten während der Nutzungsphase (Wartung und Instandsetzung) und darüber, wie leicht oder schwer ein Gebäude am Ende seines Lebenszyklus wieder auseinandergebaut werden kann¹⁷³.

Der Demontageprozess sieht vor, die Struktur eines Bauwerkes wieder in möglichst sortenreine Bestandteile aufzulösen. Dabei gilt es, einen Ansatz zu finden, der die „End of Life Phase“ eines Gebäudes und seiner Bestandteile mitberücksichtigt¹⁷⁴. Um ein bestehendes Bausystem entsprechend seiner Demontage- bzw. Rückbaufähigkeit zu evaluieren, ist die Kenntnis bzw. der bewusste Einsatz der strukturellen Zusammenhänge entscheidend¹⁷⁵.

¹⁷⁰ Durmisevic 2010, 135.

¹⁷¹ Vgl. Brenner 2010, 51.

¹⁷² Ebda., 51.

¹⁷³ Vgl. Durmisevic 2010, 137.

¹⁷⁴ Vgl. DGNB (Hg.): Kriteriensteckbrief Nr. 42 2012, 1f.

¹⁷⁵ Vgl. Durmisevic 2010, 138f.

„Configuration in building design means creating an overall solution out of elements. Obviously, configuration is closely related to composition. Opposite to this, decomposition, is concerned with splitting up a totality into sub-parts. Composition and decomposition are both related to the ordering of a configuration, since each configuration is a representation of materials and their relations.“¹⁷⁶

Der Ansatz nach Elma Durmisevic verfolgt die Analyse der Bestandteile, die eine Gebäudestruktur bestimmen. Sie sieht den Aufbau eines Gebäudes als Darstellung seiner Teile und ihre Beziehungen zueinander (Abb. 3.1). Eine erste Beschreibung des strukturellen Aufbaues eines Bauwerkes erfolgt durch die Analyse der Zusammenhänge zwischen funktionaler Gliederung, konstruktivem Aufbau und wie die Gebäudeteile miteinander verbunden sind¹⁷⁷:

3.1.1. Funktionale Gliederung

Der funktionale Aufbau gliedert ein Bauwerk nach seinen funktionellen Anforderungen, die einen bestimmten Zweck erfüllen. Diese Gliederung zieht sich durch alle Maßstabebenen eines Gebäudes. Bereits ein einzelner Werkstoff kann eine an sich gestellte Aufgabe erfüllen, daher ein Träger einer Funktion sein und somit einen Zweck erfüllen. Die Zerlegung eines Gebäudes in seine Funktionen und deren Zuordnung zu den einzelnen Materialien, Bauteilen und Bauteilgruppen erfolgt am Beginn des Planungsprozesses. Der in Abb. 3.3 schemenhaft dargestellte strukturelle Aufbau gliedert die Gebäudestruktur in folgende Funktionen: Tragwerk, Hüllflächen, Raumaufteilung, Ausbau und Technik.

Analog dazu kann eine Gliederung nach dem Kriteriensteckbrief Nr. 42 der DGNB wie folgt vorgenommen werden: Technische Gebäudeausrüstung, nicht konstruktive (Aus) Bauelemente, nicht tragende Rohbaukonstruktion und tragende Rohbaukonstruktion¹⁷⁸. Vgl. dazu auch Gliederung nach TEC 1.6 Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit, Version 2015 (15.05.2015)¹⁷⁹

3.1.2. Konstruktiver Aufbau

Der konstruktive Aufbau bestimmt die Gliederung und Anordnung der Gebäudeteile, die mit einer bestimmten Funktion versehen sind. Hier erfolgt die Definition der Konstruktionsmethoden, um grundsätzliche Lösungsansätze für die Zusammensetzung der Struktur zu geben. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Hierarchie und Anordnung der Bestandteile und Elemente innerhalb des strukturellen Gefüges und deren Verhältnissen zueinander.

3.1.3. Aufbau der Schnittstellen

Der Aufbau der Schnittstellen beschreibt die Verbindung der Gebäudeteile miteinander und in welcher Beziehung sie zueinanderstehen. Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit den Verbindungen und Schnittstellen der Materialien, Bauteile und Bauteilgruppen innerhalb der Gebäudestruktur.

¹⁷⁶ Vgl. Durmisevic 2010, 138.

¹⁷⁷ Ebda., 135f.

¹⁷⁸ Vgl. DGNB (Hg.): Kriteriensteckbrief Nr. 42 2012, 2.

¹⁷⁹ DGNB Kriterium TEC 1.6 Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit, http://www.dgnb-system.de/de/system/kriterien/neubau_gebaeude/?, 27.11.2016.

3.1.4. Strukturelle Zusammenhänge

Entscheidend für die Bewertung der Demontagefähigkeit einer Gebäudestruktur ist die gemeinsame Betrachtung der strukturellen Zusammenhänge zwischen funktioneller Gliederung, konstruktivem Aufbau und wie die Bestandteile miteinander verbunden sind¹⁸⁰ (Abb. 3.2). Die Zuordnung einer Funktion zu einem Werkstoff oder Bauteil kann nicht ohne grundlegende Kenntnisse über die Materialeigenschaften sowie deren konstruktive Anordnung und Eingliederung in einer Gebäudestruktur vorgenommen werden¹⁸¹.

Die Entscheidungen bzw. Festlegungen, die in diesen drei Gestaltungsbereichen getroffen werden, haben direkten Einfluss auf das Demontageverhalten einer Gebäudestruktur und in weiterer Folge auf das Recyclingverhalten der dazugehörigen Materialien und Bauteile¹⁸². Wie und wodurch diese drei Gestaltungsbereiche bestimmt werden, wird in den nachfolgenden Abschnitten erörtert.

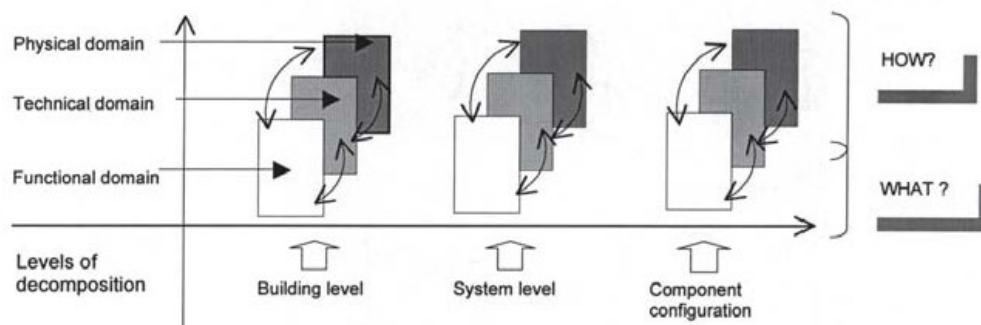


Abbildung 3.2: Einfluss der Ebenen Funktion, Konstruktion und Schnittstellen auf die jeweiligen Strukturebenen¹⁸³

3.2. Strukturebenen

Der Aufbau eines Bauwerkes kann durch eine hierarchische Gliederung seiner Struktur unterteilt werden (Abb. 3.3). Die hierarchische Gliederung nach [184] setzt sich beginnend von oben aus vier Ebenen zusammen:

- Austauschcluster
- Bauteilgruppenebene (Nutzungseinheit)
- Bauteilebene (Funktionseinheit)
- Materialebene

3.2.1. Austauschcluster:

Ein Austauschcluster beschreibt die oberste Ebene in der Gebäudehierarchie. Nach dem Kriteriensteckbrief Nr. 42 der DGNB, erfolgt eine Einteilung dieser Ebene in vier Bereiche:¹⁸⁵

- technische Gebäudeausrüstung

¹⁸⁰ Vgl. Durmisevic 2010, 135 -137.

¹⁸¹ Ebda., 136.

¹⁸² Ebda., 136

¹⁸³ Durmisevic 2010, 136.

¹⁸⁴ Vgl. Brenner 2010, 51-52.

¹⁸⁵ Vgl. DGNB (Hg.): Kriteriensteckbrief Nr. 42 2012, 2.

- nichtkonstruktive (Aus-)Bauelemente
- nicht tragende Rohbaukonstruktion
- tragende Rohbaukonstruktion

Jeder dieser Bereiche setzt sich aus einer oder mehreren Bauteilgruppen zusammen, durch die eine weitere Untergliederung der Gebäudestruktur erfolgt.

3.2.2. Bauteilgruppenebene (Nutzungseinheit)

Eine Bauteilgruppe besteht aus einem oder mehreren Bauteilen, die bereits einen konkreten Nutzen erfüllen (z. B. ein komplettes Fenster bestehend aus Fensterrahmen, Isolierverglasung, Beschläge usw.) Nach [186] ist eine Bauteilgruppe eine Bündelung von Einzelteilen, die sowohl in Herstellung als auch in der Montage/Demontage und in der Verwertung ein unabhängiges Teil eines Gesamtsystems darstellt.

3.2.3. Bauteilebene (Funktionseinheit)

Bauteile setzen sich in der Regel aus mehreren Materialien zusammen, die in Kombination bereits eine bestimmte Funktion erfüllen. Eine Ausnahme bilden dabei die sog. Monostoffbauteile, die vorwiegend aus einem Werkstoff bestehen. Als Beispiel kann hier wieder das Fenster angeführt werden, dessen Einzelteile wiederum aus mehreren Materialien zusammengesetzt werden.

3.2.4. Materialebene

Eine Werkstoffeinheit als produktionstechnisch nutzbare Ressource, braucht nicht weiter zerlegt werden¹⁸⁷ (z.B. Holz, Beton, Glas usw.).

¹⁸⁶ Vgl. Durmisevic 2010, 162f.

¹⁸⁷ Vgl. El khouli/John/Zeumer 2014, 64-65.

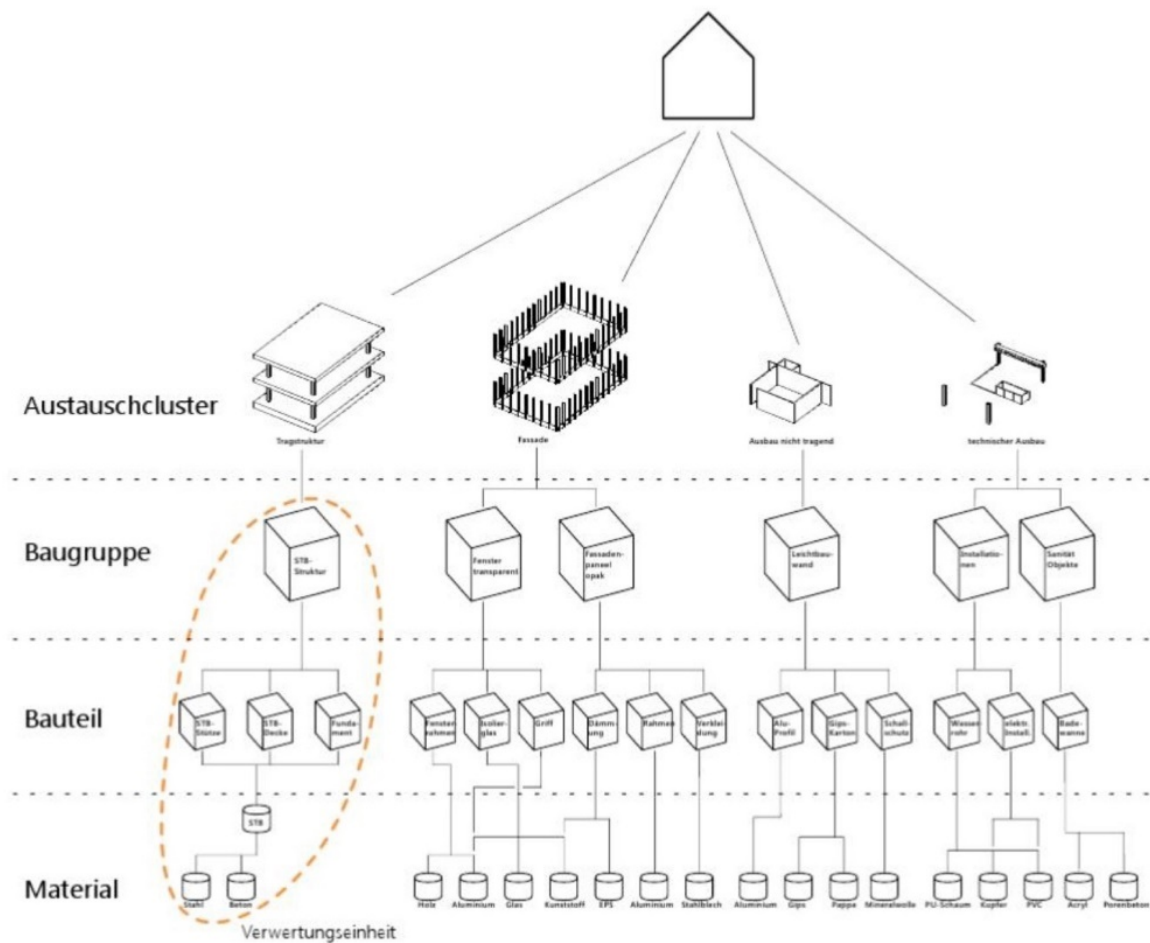


Abbildung 3.3: Hierarchische Gliederung der Baustruktur¹⁸⁸

Das in Abb. 3.4 durch Steward Brand geprägte Konzept der „Shearing Layers of Change“¹⁸⁹ kann analog zum Konzept der Austauschcluster nach Brenner verstanden werden. Nach Brands „Shearing Layers of Change“, erfolgt eine Gliederung der höchsten Hierarchieebene in folgende Bereiche (vgl. Gliederung nach dem Kriteriensteckbrief Nr.42 der DGNB):

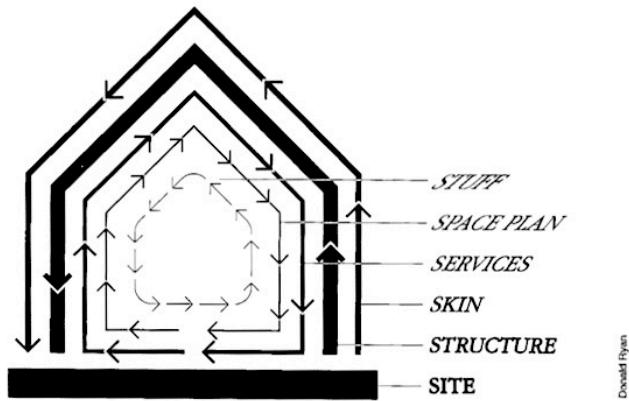
- Ausstattung
- Raumaufteilung
- Gebäudetechnik
- Fassade
- Tragwerk
- Grundstück

Auch hinter dem Konzept der „Shearing Layers of Change“ ist eine hierarchische Zusammenstellung der Ebenen zu verstehen. Demnach setzt sich aus verschiedenen Bauteilen als Funktionseinheiten eine Bauteilgruppe zusammen, die wiederum eine Nutzungseinheit bildet. Jedes Bauteil setzt sich wiederum aus unterschiedlichen Materialien zusammen.¹⁹⁰

¹⁸⁸ Brenner 2010, 52.

¹⁸⁹ Vgl. Brand 1994, 2243.

¹⁹⁰ Vgl. Brenner 2010, 51-52.



SHEARING LAYERS OF CHANGE. Because of the different rates of change of its components, a building is always tearing itself apart.

Abbildung 3.4: Shearing Layers of Change¹⁹¹

3.3. Bauweisen

Unter Betrachtung der aus dem Maschinenbau entlehnten Bauweisen-Begriffe, kann eine erste schnelle Bewertung der statisch-konstruktiven Eigenschaften einer Gebäudestruktur sowie deren Besonderheiten hinsichtlich Montage-, Demontage- und Recyclingverhalten erfolgen¹⁹². Eine Unterscheidung nach Sobek/Trumpf/Heinlein kann zwischen Differenzialbauweise, Integralbauweise, integrierter Bauweise und Verbundbauweise vorgenommen werden.¹⁹³

Differenzialbauweise

Ein in Differenzialbauweise hergestelltes Bauteil bzw. eine Bauteilgruppe besteht aus mehreren Elementen unterschiedlicher Materialien, die durch punktförmige Verbindungen wie Schrauben, Nägel, Nieten usw. zusammengefügt werden (Abb. 3.5). Sie erlauben auf Grund ihrer einfachen Fügung eine gute Anpassbarkeit an die jeweiligen Anforderungen. Vorteile ergeben sich auch in der Demontage und im Recyclingverhalten, da punktförmige Verbindungen leicht zu lösen sind und dadurch ein Separieren der Elemente erleichtern.

Integralbauweise

Ein in Integralbauweise hergestelltes Bauteil bzw. eine Bauteilgruppe besteht aus einem Material, das durch entsprechende Technologien wie z. B. fräsen, gießen, extrudieren usw. zu einem Monostoffbauteil geformt wird (Abb. 3.5). Auf Grund der Sortenreinheit wird das Recyclingverhalten erheblich vereinfacht und ist ausschließlich von der Wahl des verwendeten Materials abhängig.

Integrierende Bauweise

¹⁹¹ Brand 1994.

¹⁹² Vgl. Sobek/Trumpf/Heinlein 2010, 425-426.

¹⁹³ Ebda., 425-426.

Bei der integrierenden Bauweise werden mehrere Monostoffelemente quasi zu einem homogenen Bauteil bzw. einer Bauteilgruppe zusammengefügt (Abb. 3.5). Durch eine entsprechende Fügung können die Vorteile der Differentialbauweise mit den Vorteilen der Integralbauweise kombiniert werden. Das Recyclingverhalten wird im Wesentlichen von der Wahl der Verbindungen bestimmt. Werden die Verbindungsmittel weder lösbar, noch verwertungskompatibel gestaltet, kommt es zur Verunreinigung des Materials¹⁹⁴.

Verbundbauweise

Bei der Verbundbauweise werden Bauteile bzw. Bauteilgruppen aus mehreren unterschiedlichen Materialien zu einem Mehrstoffbauteil verbunden (Abb. 3.5). Die Kombination der Materialien richtet sich dabei nach der geforderten Eigenschaft des Verbundbauteils. Im Gegensatz zur Differentialbauweise erfolgt die Fügung der Materialien meist flächig und nicht lösbar. Das Recyclingverhalten richtet sich dadurch stark nach der Verwertungskompatibilität der verwendeten Materialien.

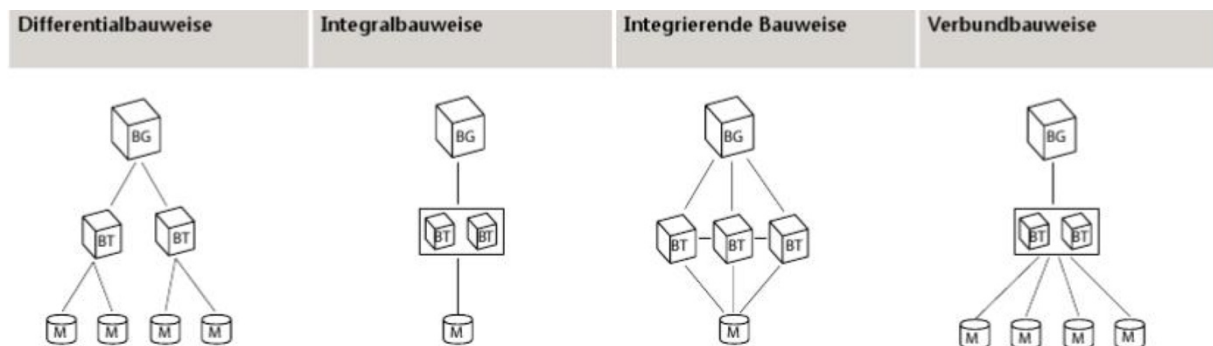


Abbildung 3.5: Unterscheidung der Bauweisen innerhalb der konstruktiven Ebenen¹⁹⁵

3.4. Voraussetzungen für demontagefähige Strukturen

Zur Bewertung der Demontagefähigkeit des BSP-Bausystems bedarf es im Vorfeld der Festlegung von Kriterien, die ein möglichst sortenreines Trennen und Separieren der Bestandteile erlaubt. Dazu zeigt Abb. 3.6 grundsätzliche Gestaltungskriterien nach [196], die beim Aufbau einer demontagefähigen Gebäudestruktur zu berücksichtigen sind:

- Systematischer Aufbau der Strukturebenen z. B. in Form von Bauteilen, Bauteilgruppen,
- Hierarchie und Anordnung der Bauteile/Bauteilgruppen innerhalb des strukturellen Gefüges,
- Verbindungen und Schnittstellen zwischen den Bauteilen und Bauteilgruppen.

¹⁹⁴ Vgl. Brenner 2010, 53.

¹⁹⁵ Brenner 2010, 53.

¹⁹⁶ Vgl. Durmisevic 2010, 156.

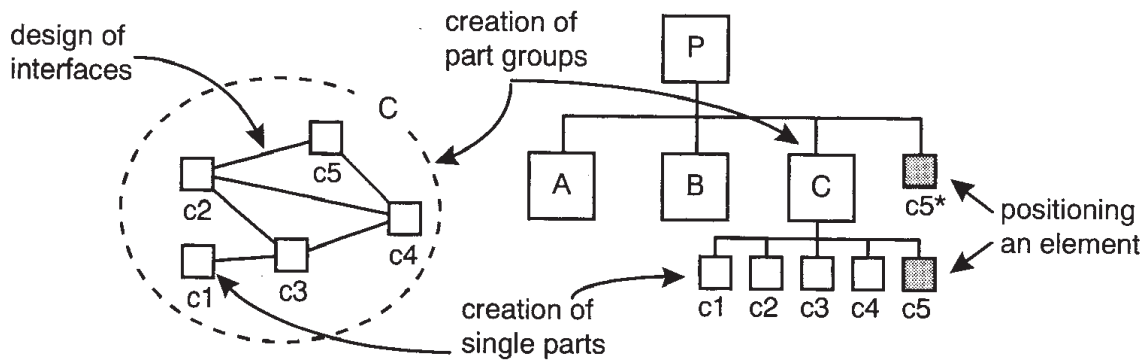


Abbildung 3.6: Gestaltungskriterien für den strukturellen Aufbau nach (M.Tichem 1997)¹⁹⁷

Nach Abb. 3.6 wird das Demontageverhalten einer Gebäudestruktur im Wesentlichen von der Anordnung der Bestandteile bestimmt und in welcher Beziehung diese zueinander stehen (vgl. auch¹⁹⁸). Der Demontageprozess ist davon geprägt, eine Gebäudestruktur wieder in möglichst sortenreine Materialkomponenten aufzulösen¹⁹⁹. Wenn daher die eingesetzten Bestandteile der Gebäudestruktur als unabhängige und austauschbare Teile definiert sind und die Verbindungen zwischen den Bestandteilen lösbar sind, kann die Demontagefähigkeit einer Struktur gewährleistet werden²⁰⁰.

Entscheidend für die Unabhängigkeit und Austauschbarkeit der Gebäudeteile ist der Aufbau der Strukturebenen, die Hierarchie und Anordnung der Gebäudeteile im strukturellen Gefüge und die Art der Verbindungen zwischen den Gebäudeteilen²⁰¹ (Abb. 3.7).

Die drei Gestaltungsbereiche werden zwar grundsätzlich unterschieden, müssen aber auf Grund ihrer gegenseitigen Abhängigkeit im Gestaltungs- bzw. Evaluierungsprozess gemeinsam betrachtet werden. Wird ein Bereich nicht für die Demontage optimiert, kann dies einen negativen Einfluss auf die gesamte Struktur haben. Je mehr von diesen Aspekten beim Aufbau einer Gebäudestruktur berücksichtigt werden, desto größer wird das Potential einer späteren Anpassbarkeit und Demontierbarkeit²⁰².

¹⁹⁷ Durmisevic 2010, 156.

¹⁹⁸ Vgl. VDI Richtlinie 2243 1991, 34.

¹⁹⁹ Vgl. Brenner 2010, 51.

²⁰⁰ Vgl. Durmisevic 2010, 156-157.

²⁰¹ Ebda., 156-157.

²⁰² Ebda., 156-157.

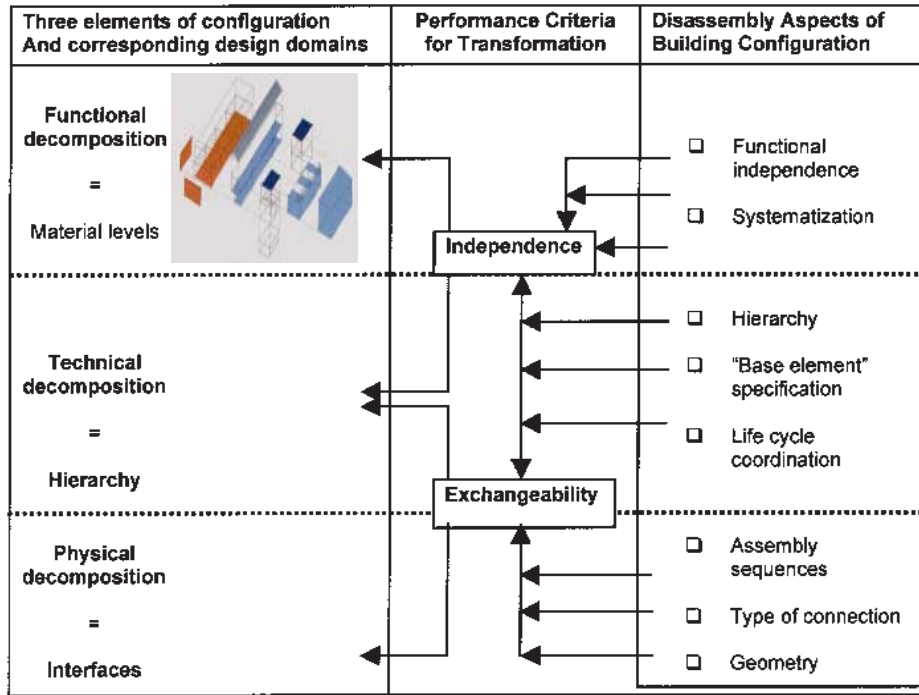


Abbildung 3.7: Einfluss der Gestaltungsbereiche auf die Unabhängigkeit und Austauschbarkeit der Teile²⁰³

3.5. Beschreibung des herangezogenen Bewertungsmodells

Das in Abb. 3.7 dargestellte Modell nach Elma Durmisevic in „Green design and assembly of building and systems – Design for Disassembly a key to Life Cycle – Design of buildings and building products“²⁰⁴ basiert auf der Annahme, dass die Demontagefähigkeit einer Struktur dann gewährleistet ist, wenn die eingesetzten Bestandteile als unabhängige und austauschbare Teile der Gebäudestruktur definiert werden²⁰⁵.

Bestimmend für die Unabhängigkeit der Gebäudeteile ist einerseits der Aufbau der Strukturebenen und andererseits eine entsprechende hierarchische Anordnung der Gebäudeteile im strukturellen Gefüge. Die Austauschbarkeit der Gebäudeteile wird durch die Art ihrer Verbindungen bestimmt. Wiederum Einfluss auf diese drei Gestaltungsbereiche nehmen die nach Abb. 3.7 dargestellten Demontageaspekte:²⁰⁶

- Strukturebenen:
Funktionstrennung, Systematischer Aufbau der Strukturebenen,
- Hierarchie und Anordnung der Gebäudeteile:
Beziehungsmuster, Basisbauteilbildung und Lebenszyklusbetrachtung,
- Verbindungen:
Montageablauf, Verbindungsarten und Geometrie der Fügstellen.

²⁰³ Durmisevic 2010, 158.

²⁰⁴ Vgl. Durmisevic 2010, 199-206.

²⁰⁵ Ebda., 156-157.

²⁰⁶ Ebda., 203.

Die acht Kriterien bzw. Gestaltungsaspekte nach Abb. 3.7 für demontagegerechtes Bauen werden wiederum durch weitere Teilaspekte bestimmt (Abb. 3.8). Demnach setzt sich das Bewertungsmodell nach Durmisevic aus 17 unabhängigen Variablen und 14 abhängigen Variablen zusammen (Abb. 3.9). Die 17 unabhängigen Variablen, auch Eingangsdaten genannt, werden durch die Analyse der Demontageaspekte gewonnen. Die Eingangsdaten sind keine fixen Größen und sind je nach zu beurteilendem Projekt individuell anzunehmen²⁰⁷.

nr.	Design for Disassembly Aspects	nr.	Determining Factors
1	FD (Functional decomposition)	1.1.	fs (functional separation)
		1.2.	fdp (functional dependence)
2	SY (Systematisation)	2.1	st (structure of material levels)
		2.2	c (type of clustering)
3	BE (Base elements)	3.1	b (type of base element)
4	LCC (Life cycle coordination)	4.1	ucl (use life cycle coordination)
			tlc (technical life cycle coordination)
			s (coordination of life cycle and size)
5	RP (Relational pattern)	5.1	r (type of relational pattern)
6	A (Assembly process)	6.1	ad (assembly direction)
			as (assembly sequences)
7	G (Geometry)	7.1	gp (geometry of product edge)
		7.2	spe (standardisation of product edge)
8	C (Connections)	8.1	tc (type of connections)
		8.2	af (accessability to fixings)
		8.3	t (tolerance)
		8.4	mj (morphology of joints)

Abbildung 3.8: Demontageaspekte und dazugehörige Teilaspekte²⁰⁸

Die Einflussnahme der 17 unabhängigen und 14 abhängigen Variablen auf die Demontagefähigkeit (Transformationsverhalten) eines Gebäudes wird durch folgende vier Ebenen des hierarchisch aufgebauten Bewertungsmodells beschrieben²⁰⁹ (Abb. 3.9):

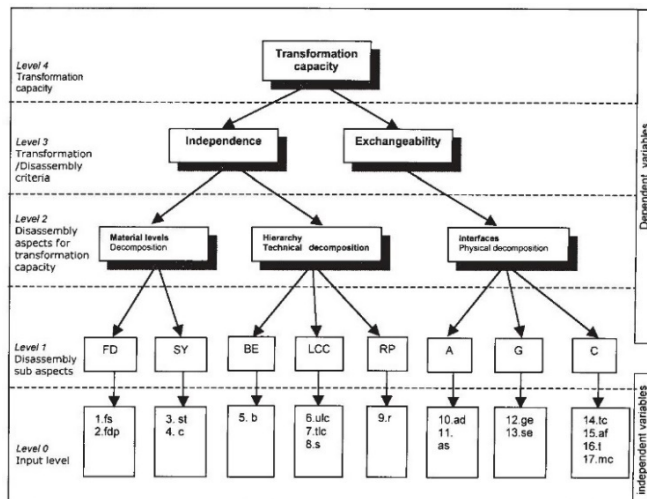


Abbildung 3.9: Hierarchischen Struktur des Bewertungsmodells²¹⁰

²⁰⁷ Vgl. Durmisevic 2010, 202.

²⁰⁸ Durmisevic 2010, 203.

²⁰⁹ Ebda., 202.

²¹⁰ Durmisevic 2010, 203.

Ebene-0 Inputebene:

Die 17 unabhängigen Variablen bilden die Input-Ebene. Diese haben Einfluss auf die Gestaltungsaspekte der 1. Ebene.

Ebene-1 Demontageaspekte:

Die acht abhängigen Variablen bilden die erste Ebene des Bewertungsmodells. Mit ihnen kann das Demontagepotential einer Struktur bestimmt werden. Diese nehmen wiederum Einfluss auf die drei abhängigen Variablen der 2. Ebene (Aufbau der Strukturebenen, Hierarchie und Anordnung der Gebäudeteile und die Art der Verbindungen).

Ebene-2 Gestaltungsbereiche:

Die drei abhängigen Variablen nehmen Einfluss auf die Unabhängigkeit und Austauschbarkeit der Teile, die wiederum das Transformationspotential einer Struktur bestimmen.

Ebene-3 Demontagkriterien:

Die Unabhängigkeit und Austauschbarkeit der Gebäudeteile repräsentieren das Demontagepotential einer Struktur (Ebene-4).

Durmisevic trifft die Annahme, dass ein höheres Demontage- bzw. Transformationspotential in geringeren Umweltwirkungen eines Gebäudes resultiert und damit zu einer nachhaltigen Gebäudeentwicklung beitragen kann²¹¹. Der Einfluss von „Design for Disassembly“ auf eine nachhaltige Gebäudeentwicklung kann demnach wie folgt beschrieben werden:

- Gebäude unterliegen im Laufe ihres Lebenszyklus sich ändernden Nutzungsanforderungen. Zerlegbare bzw. demontagefähige Gebäudestrukturen sind anpassbarer und wandelbarer als herkömmliche Gebäudestrukturen. Eine Verlängerung der Nutzungsdauer kann dadurch erzielt werden (Demontagepotential = Transformationspotential).
- Bauteile haben eine unterschiedliche technische Lebensdauer und müssen im Laufe der Nutzungsdauer des Gebäudes getauscht werden. Zerlegbare bzw. demontagefähige Gebäudestrukturen erlauben ein Austauschen dieser Bauteile, ohne die gesamte Gebäudestruktur zu beeinträchtigen bzw. zu zerstören.
- Bauteile deren technische Lebensdauer über die Nutzungsdauer des Gebäudes hinausreichen, können durch zerlegbare bzw. demontagefähige Gebäudestrukturen auf solche Weise separiert werden, dass sie einer Wiederverwendung nach Abb. 2.6 zugeführt werden können.
- Zerlegbare bzw. demontagefähige Gebäudestrukturen erlauben ein hochwertiges Recycling (Produktrecycling, Materialrecycling nach Abb. 2.6). Auf diese Weise können Bauteile und Materialien im Stoffkreislauf verbleiben. Der Ressourcen- und Energieverbrauch für die Neuproduktion von Materialien und Bauteilen kann gesenkt werden.
- Je höher das Demontagepotential einer Gebäudestruktur, desto hochwertiger kann grundsätzlich ein Recycling nach Abb. 2.6. durchgeführt werden. Es fallen weniger Materialfraktionen an, die keiner Behandlung mehr zugeführt werden können. Das Ablagern von Abfall und die damit einhergehenden Umweltauswirkungen werden reduziert.

Um die Demontageaspekte nach Abb. 3.8 für eine Bewertung heranziehen zu können, werden diese einer Gewichtung unterzogen (Abb. 3.10). Die Gewichtung wird auf Basis der Analyse

²¹¹ Vgl. Durmisevic 2010, 207.

der verschiedenen Kriterien durchgeführt, die Einfluss auf das Demontagepotential einer Gebäudestruktur nehmen. Eine Liste der möglichen Demontageaspekte mit dazugehöriger Gewichtung nach Durmisevic²¹² ist dem Anhang zu entnehmen (ergänzende Unterlagen zum Bewertungsmodell).

Der bevorzugte Wert für die jeweiligen Aspekte wird mit 1.0 bestimmt. Demontageaspekte, die einen Wert zwischen 0.1 und 0.3 aufweisen, tragen in der Regel kaum dazu bei, dass Komponenten beim Demontageprozess zerstörungsfrei getrennt und separiert werden können. Die meisten Gebäudeteile werden so als Abfall abgelagert. Demontageaspekte, die einen Wert zwischen 0.3 und 0.6 aufweisen, begünstigen in der Regel das Trennen und Separieren der Komponenten. Ein Recycling wird grundsätzlich möglich. Aspekte mit Werten zwischen 0.6 und 0.9 erlauben ein sortenreines Trennen und Separieren der Gebäudeteile. In der Regel wird so ein hochwertiges Recycling möglich. Die Ergebnisse der Bewertung werden mittels Spinnennetzdiagramm dargestellt (Abb. 3.11). Dazu werden die für den jeweiligen Untersuchungsgegenstand herangezogenen Beurteilungskriterien in das Diagramm eingetragen und mit den Gewichtungswerten von 0.0 bis 1.0 unterteilt. Diagramme, deren Graph zum Wert 1.0 des jeweiligen Kriteriums tendiert, indizieren ein hohes Demontagepotential. Diagramme deren Graph zur Mitte des jeweiligen Kriteriums tendiert, indizieren ein geringes Demontagepotential.

			grading	
FUNCTIONAL DECOMPOSITION	functional separation	fs 01	separation of functions	1
		fs 02	integration of functions with same lc* into one element	0,6
		fs 03	integration of functions with different lc* into one element	0,1
	$fs = [fs1 + fs2 + \dots fs(n)] / n$			
	functional dependence	fdp 01	modular zoning	1
		fdp 02	Planned interpenetrating for different solutions (overcapacity)	0,8
		fdp 03	Planned interpenetrating for one solution	0,4
		fdp 04	Unplanned interpenetrating	0,2
		fdp 05	total dependence	0,1
	$fdp = [fdp1 + fdp2 + \dots fdp(n)] / n$			

Abbildung 3.10: Gewichteter Demontageaspekt am Beispiel des Kriteriums Funktionstrennung²¹³

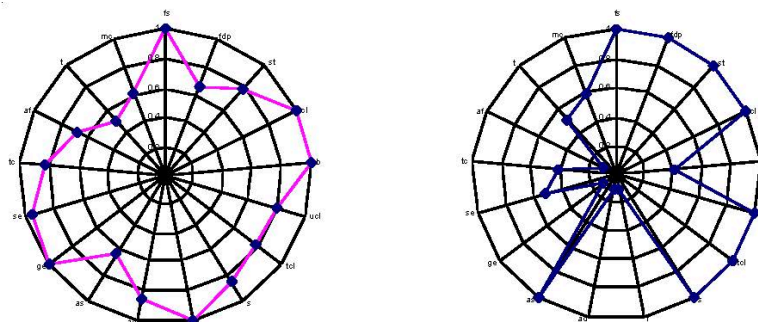


Figure 6.03: value of disassembly factors in XX building judged upon total disassembly, right value of disassembly factors of XX facade system judged upon replaceability

Abbildung 3.11: Darstellung der Evaluierungsergebnisse mittels Radial-Diagramm²¹⁴

²¹² Vgl. Durmisevic 2010, 204-206.

²¹³ Durmisevic 2010, 204f.

²¹⁴ Durmisevic 2010, 208.

Neben den Einzelbewertungen in Abb. 3.11 der jeweiligen Demontageaspekte nach Abb. 3.8 ist das Endziel des Bewertungsmodells nach Durmisevic²¹⁵, alle Faktoren nach Abb. 3.9 anhand eines einzigen Wertes zu repräsentieren, der das Demontagepotential (DP) einer Gebäudestruktur zum Ausdruck bringt (Abb. 3.12). Hierfür trifft sie die Annahme, dass jeder Faktor, je nach Ebene, eine andere Einflussnahme auf den darauffolgenden Faktor nimmt. Die Antwort auf diese Annahme erfolgt durch eine individuelle Gewichtung der Beziehungen zwischen den Aspekten, welche die jeweilige Hierarchie des Einflusses berücksichtigen. Ihr Bewertungsmodell beschäftigt sich demnach nicht nur mit 17 unabhängigen und 14 abhängigen Variablen, sondern auch mit 40 Beziehungen zwischen den Variablen (Abb. 3.12). Die Gewichtung der Beziehungen, je nach Hierarchie des Einflusses auf die verschiedenen Variablen, ist der Abb. 3.13 zu entnehmen. Eine Demonstration erfolgt am Beispiel der Strukturebene (ML) auf Ebene 2 nach Abb. 3.9: Die Dekomposition der Strukturebenen wird durch folgende Aspekte aus Ebene 1 nach Abb. 3.13 bestimmt:

- Funktionstrennung mit dem Gewichtungsfaktor 1,
- Lebenszyklusbetrachtung mit dem Gewichtungsfaktor 0.6,
- Beziehungsmuster mit dem Gewichtungsfaktor 0.5,
- Systematischer Aufbau der Strukturebenen mit dem Gewichtungsfaktor 0.5,
- Verbindungsarten mit dem Gewichtungsfaktor 0.3.

Wiederum Einfluss auf die Aspekte der Ebene 1 mit der jeweiligen Gewichtung nach Abb. 3.13, haben die Eingangsdaten aus Ebene 0 (Abb. 3.9). Die Auswertung erfolgt über eine Berechnungsmatrix, in der die jeweiligen Gewichtungsfaktoren berücksichtigt werden (Abb. 3.14). Das Ergebnis sind Output- Werte, die ebenfalls zwischen 0.0 und 1.0 liegen. Mit Hilfe der Berechnungsmatrix können Output-Werte für jede Ebene gemäß Abb. 3.9 ermittelt werden (Abb. 3.15).

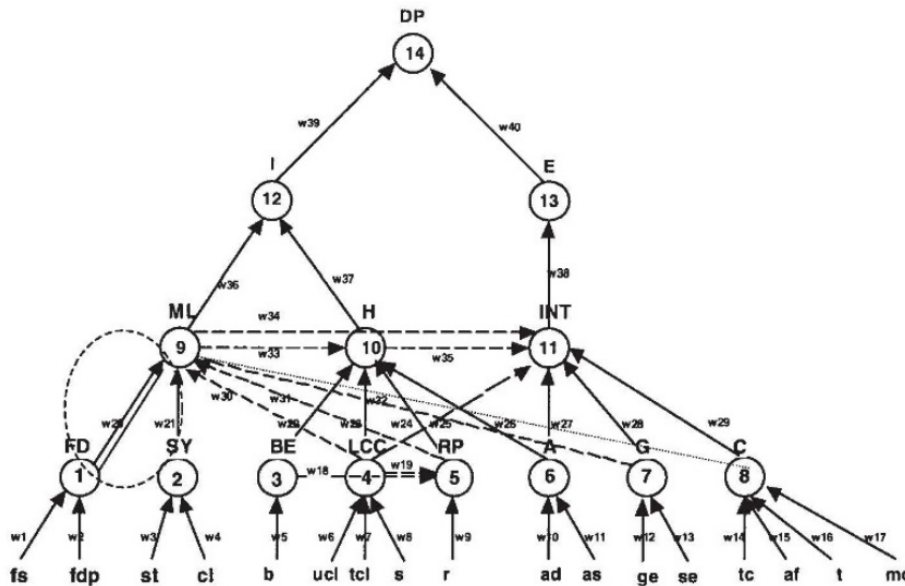


Abbildung 3.12: Grafische Darstellung der Abhängigkeiten zwischen den zu bewertenden Aspekten²¹⁶

²¹⁵ Vgl. Durmisevic 2010, 208-220.

²¹⁶ Durmisevic 2010, 209.

SPECIFICATION OF WEIGHTING FACTORS

level 4	weights	level 3	weights	level 2	weights	level 1	weights
DP = TC =	I : 0.9 E : 0.9	I =	SP : 1 HR : 1	ML =	FD : 1 LCC : 0.6 RP : 0.6 SYS : 0.5 C : 0.3	FD =	fs : 0.9 fdp : 0.7
		E =	INT : 1	H =	RP : 1 SYS : 1 LCC : 0.5 A : 0.5 C : 0.5 G : 0.5 SP : 0.2	SYS =	st : 0.9 c : 0.9
				INT =	A : 0.5 G : 1 C : 1 HR : 0.2	BE =	be : 1
						LCC =	ulc : 0.9 flc : 0.9 slc : 0.3
						RP	r = 1
						A =	ad : 0.9 as : 0.7
						G =	gp : 0.9 spe : 0.5
						C =	tc : 0.9 af : 0.9 t : 0.5 mc : 0.7

Abbildung 3.13: Gewichtungen zwischen den Aspekten²¹⁷

TEST CASE
XX façade system

node	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,9	0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,9	0,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0,9	0,9	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0,9	0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0,9	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0,9	0,9	0,5	0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
node	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
9	0,9	0,9	0	0,4	0,3	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	
10	0	0,4	0,9	0	0,9	0,7	0	0,3	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0,9	0	0,7	0,7	0,9	0,2	0,2	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9	0,9	0	0	0	0	
13	0	0	0,4	0	0,2	0	0	0	0	0	0,9	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9	0,9	0	

Abbildung 3.14: Berechnungsmatrix unter Berücksichtigung der Gewichtungen zwischen den Aspekten²¹⁸

Knowledge model nods	outputs	node nr.
functional decomposition	8,29E-01	1
systematisation	9,04E-01	2
base element	1	3
LCC	7,94E-01	4
relational pattern	1	5
assembly	7,72E-01	6
geometry	9,99E-01	7
connection	4,54E-01	8
material levels	8,78E-01	9
hierarchy	9,22E-01	10
interfaces	5,47E-01	11
independence	9,67E-01	12
exchangeability	7,17E-01	13

Abbildung 3.15: Output-Werte gemäß Berechnungsmatrix für 14 Aspekte nach Abb. 3.12²¹⁹

²¹⁷ Durmisevic 2010, 209.

²¹⁸ Durmisevic 2010, 217.

²¹⁹ Ebda., 217.

3.6. Kritische Betrachtung des herangezogenen Bewertungsmodells

Die nach Abb. 3.8 beschriebenen Gestaltungsaspekte für demontagegerechtes Bauen, werden nach Durmisevic durch 17 unabhängige Variablen bestimmt (vgl. ergänzende Unterlagen zum Bewertungsmodell). Diese sogenannten Eingangsdaten (vgl. Abb. 3.12) und die dazugehörigen Gewichtungen basieren nach Durmisevic auf Expertenbeurteilungen der verschiedenen Kriterien, die Einfluss auf das Demontageverhalten einer Gebäudestruktur haben²²⁰. Dazu schreibt sie: „The inputs are not fixed measures – they differ from project to project“²²¹. Aus diesem Grund sind die Eingangsdaten auch als unabhängige Variablen definiert, die durch die Analyse der acht Demontageaspekte gewonnen werden (Abb. 3.8). Bei den 17 unabhängigen Variablen und ihren Gewichtungen handelt es sich um unscharfe bzw. qualitative Größen, die mittels Fuzzy-Logik und einer Skala mit Ausprägungen von 0.0 bis 1.0 bewertet sind²²².

Für die gegenständliche Untersuchung werden daher das „Erkenntnismodell“ (Abb. 3.7) und die dazugehörigen Demontageaspekte nur als konzeptioneller Rahmen für die Bewertung der Demontagefähigkeit herangezogen. Die für die acht Demontageaspekte bestimmenden 17 unabhängigen Variablen und ihre Gewichtungen werden auf Grund der nicht eindeutigen Nachvollziehbarkeit bzw. „Unschärfe“ nur als „Richtwerte“ herangezogen. Die endgültige Festlegung der Kriterien und ihre Gewichtung zur Bestimmung der Demontagefähigkeit des Untersuchungsgegenstandes erfolgt erst nach eigener Analyse der Demontageaspekte nach Abb. 3.8. Die Bestimmung und Gewichtung der Kriterien erfolgt ebenfalls qualitativ nach [223].

Die Grundlage zur Ermittlung des Demontagepotentials eines Untersuchungsgegenstandes bilden die Eingangsdaten, die anhand der Analyse gemäß den 17 gewichteten, unabhängigen Variablen gewonnen werden. Eine Berechnungsmatrix soll, unter Berücksichtigung der Eingangsdaten und der Gewichtungen zwischen den Aspekten, das Demontagepotential über einen einzigen Wert zum Ausdruck bringen (Abb. 3.14 und Abb. 3.15). Die Gewichtungen der 40 Beziehungen zwischen den Aspekten basieren ebenfalls auf einer unscharfen Annahme, die mittels Fuzzy-Logik und einer Skala mit Ausprägungen von 0.0 bis 1.0 bewertet sind²²⁴ (Abb. 3.13). Aus Sicht des Autors scheint die Darstellung des Demontagepotentials anhand eines Wertes nicht zielführend zu sein. Der Grund liegt in der Komplexität des strukturellen Aufbaues einer Gebäudestruktur, dessen Demontageverhalten durch eine Vielzahl unterschiedlicher Faktoren bestimmt wird. Alle Faktoren mittels eines einzigen Wertes zu repräsentieren, bedeutet bei einer Abweichung des Sollwertes von 1.0, dass ohnehin die Ursache der Abweichung bei den demontagebestimmenden Faktoren zu finden ist. Aus Sicht des Autors eignet sich die Darstellung des Demontagepotentials mittels eines repräsentativen Wertes für eine vergleichende Bewertung unterschiedlicher Systeme (Gebäudestrukturen) unter gleichen Voraussetzungen (Indikatoren). Wird nur ein System bewertet, scheinen die Einzelergebnisse der jeweiligen Aspekte repräsentativer. Die aus der Analyse des BSP- Bausystems gewonnenen Ergebnisse der jeweiligen Untersuchungskriterien werden ausschließlich anhand von Radial-Diagrammen nach Abb. 3.11 dargestellt. Die Ermittlung des Demontagepotentials nach Abb. 3.12 bis Abb. 3.15 kommt nicht zur Anwendung.

²²⁰ Vgl. Durmisevic 2010, 202.

²²¹ Ebda., 202.

²²² Ebda., 212.

²²³ Vgl. Durmisevic 2010, 212.

²²⁴ Ebda., 212.

3.7. Beschreibung der anzuwendenden Methodik

3.7.1. Bewertung der Demontagefähigkeit

Die Bewertung der Demontagefähigkeit des BSP-Bausystems erfolgt in der gegenständlichen Arbeit nach dem vorherig beschriebenen Bewertungsmodell nach Durmisevic (Abb. 3.10, 3.11). Die in Abb. 3.8 gelisteten Demontageaspekte werden dabei als Richtwerte herangezogen. Die tatsächliche Festlegung der Kriterien und ihre Gewichtung geschieht auf Basis der Analyse der Demontageaspekte nach Kapitel 4.

3.7.2. Bewertung der Recyclingfähigkeit

Das Ziel der gegenständlichen Arbeit liegt nicht nur in der Beurteilung der Demontagefähigkeit des BSP-Bausystems, sondern auch in der Beurteilung der Recyclingfähigkeit der dazugehörigen Komponenten (vgl. Abschnitt 1.2).

Demontagegerechte Konstruktionsprinzipien schaffen nun die Voraussetzungen dafür, dass Gebäudestrukturen wieder in ihre Ausgangsstoffe zerlegt werden können. Das Ziel liegt darin, diese Stoffe und Materialien wieder den Stoffkreislauf zuzuführen, um so den Abbau natürlicher Ressourcen zu schonen und die Neuentstehung von Abfällen zu vermeiden.

Die Recyclingeigenschaften auf stofflicher Ebene bestimmen darüber, wie hochwertig Materialien wieder bestimmten Kreisläufen zugeführt werden können²²⁵ (vgl. Abb. 2.6).

Zur Sicherstellung der stofflichen Verwertbarkeit (Recyclingfähigkeit) wird die nach Valentin Brenner in „Recyclinggerechtes Konstruieren – Konzepte für eine abfallfreie Konstruktionsweise im Bauwesen“²²⁶ dargestellte Vorgehensweise bei der Materialwahl herangezogen (Abb. 3.16). Die darin enthaltenen Aspekte werden in weiterer Folge als Richtwerte zur Beurteilung der stofflichen Verwertbarkeit herangezogen. Eine detaillierte Beschreibung der Aspekte erfolgt im 5. Kapitel. Die tatsächlich zur Bewertung heranzuziehenden Aspekte werden im 6. Kapitel zusammengefasst und einer Gewichtung unterzogen. Das Prinzip der Gewichtung und Darstellung der Evaluierungsergebnisse erfolgt in Anlehnung an Durmisevic (vgl. Abschnitt 6.2).

²²⁵ Vgl. Brenner 2010, 47-50.

²²⁶ Ebda., 47-50.

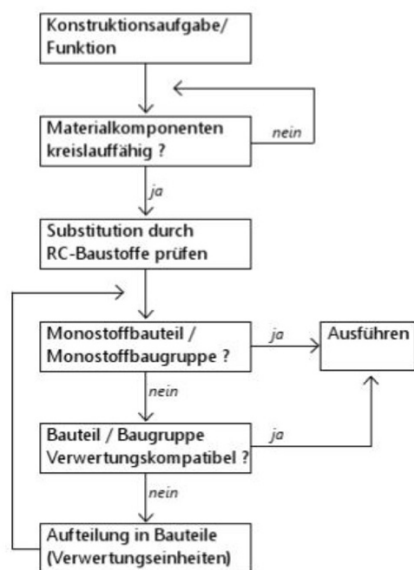


Abbildung 3.16: Vorgehensweise bei der Materialwahl²²⁷

3.7.3. Bestimmung des Systemausschnittes

Bauen mit Brettsperrholz bietet eine Vielzahl an Anwendungsbereichen und dafür vorgesehene Konstruktionsprinzipien, deren Betrachtung den Rahmen der gegenständlichen Untersuchung sprengen würde. Das Ziel ist die Auswahl von Konstruktionsmerkmalen, die das BSP-System charakterisieren. Die Auswahl eines repräsentativen Querschnittes der zu untersuchenden Bereiche erfolgt in Anlehnung an den Kriteriensteckbrief Nr. 42 der DGNB. Darin wird das zu betrachtende Bauwerk in folgende vier Bereiche eingeteilt:²²⁸

- technische Gebäudeausrüstung
- nichtkonstruktive (Aus-)Bauelemente
- nicht tragende Rohbaukonstruktion
- tragende Rohbaukonstruktion

Demnach wird das BSP-Bausystem für die gegenständliche Untersuchung in folgende Bereiche gegliedert (vgl. Abb. 3.4):

- Tragende Rohbaukonstruktion
- Fassade-Dach
- Boden-Decke-Vorsatzschale
- Gebäudetechnik

Eine Beschreibung der Konstruktionsmerkmale des BSP- Bausystems erfolgt gemäß herstellereinspezifischer Angaben der Firmen Stora Enso²²⁹ und KLH Massivholz GmbH²³⁰ im 7. Kapitel.

²²⁷ Brenner 2010, 47.

²²⁸ Vgl. DGNB (Hg.): Kriteriensteckbrief Nr. 42 2012, 2.

²²⁹ CLT - Cross Laminated Timber,
<http://www.clt.info>, 13.01.2016.

²³⁰ Kreuzlagenholz,
<http://www.klh.at/product/klh/>, 11.12.2015.

Zur weiteren Bearbeitung werden die gewählten Konstruktionsmerkmale in Form einer schematischen Darstellung zusammengefasst und mit einer Nummerierung der Bauteile ergänzt (vgl. Abschnitt 7.2). Die dazu gewählten Ausschnitte sind der Abb. 3.17 zu entnehmen.

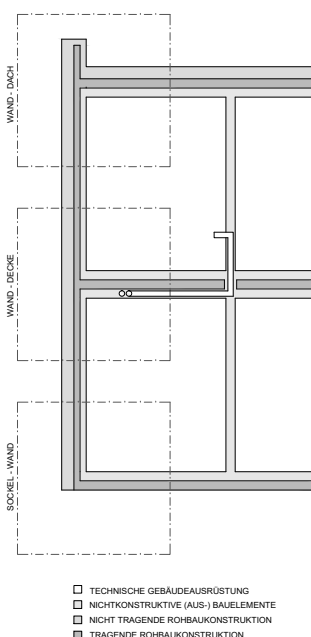


Abbildung 3.17: Schematische Darstellung der Systemausschnitte

3.7.4. Abgrenzung und Umfang des zu bewertenden Gegenstandes

Die Betrachtung der drei Gestaltungsbereiche nach Abb. 3.7, kann grundsätzlich auf mehreren Ebenen erfolgen (vgl. Abb. 3.3). Auf Gebäudeebene geschieht die Betrachtung der funktionalen Gliederung, des konstruktiven Aufbaues und der Schnittstellen ausschließlich anhand der Austauschcluster. Je nach angestrebter Bewertungstiefe werden die Ebenen Bauteilegruppen, Bauteile und Materialien in Betrachtung miteinbezogen. Die Bewertungstiefe der Bereiche Fassade-Dach, Boden-Decke-Vorsatzschale und Gebäudetechnik richtet sich nach den Beurteilungskriterien. Da es gemäß den Konstruktionsvorschlägen der BSP-Hersteller eine Vielzahl möglicher Schichtaufbauten mit unterschiedlichen stofflichen Zusammensetzungen gibt, scheint eine Beurteilung der Demontagefähigkeit bis zur Bauteil- und Materialebene nicht zielführend. Für eine grundsätzliche Beurteilung der Demontagefähigkeit der Hüllflächen, des Ausbaues und der Gebäudetechnik in Abhängigkeit der tragenden Rohbaukonstruktion ist eine Betrachtung auf Ebene der Austauschcluster und Bauteilgruppen ausreichend. Erfordert ein Beurteilungskriterium eine tiefere Betrachtung in der Systemhierarchie nach Abb. 3.3, wird die Baugruppenebene miteinbezogen. Die Betrachtung der tragenden BSP-Rohbaukonstruktion erfolgt grundsätzlich in allen Ebenen der Systemhierarchie nach Abb. 3.3.

Die Untersuchung der Bereiche tragende Rohbaukonstruktion, Fassade-Dach, Boden-Decke-Vorsatzschale und Gebäudetechnik erfolgt grundsätzlich getrennt gemäß den Aspekten demontage- und oder recyclingfähigen Bauens (Kapitel 4 und 5). Bereichsspezifische Abgrenzungen im Umfang der Untersuchung werden für die jeweiligen Bereiche nachfolgend erläutert.

Tragende Rohbaukonstruktion

Die tragende BSP-Rohbaukonstruktion wird Untersuchungen gemäß den Aspekten für Demontage und Recycling unterzogen (Kap. 8). Zur Bewertung der Recyclingfähigkeit werden alle Komponenten, die gemäß den Konstruktionsmerkmalen zur tragenden BSP-Rohbaukonstruktion gehören, auf ihre stoffliche Verwertbarkeit hin überprüft (Abb. 7.2, 7.4, 7.7). Hierbei werden Produkte und deren Eigenschaften folgender Hersteller herangezogen:

Brettsperrholz- Massivbauelemente:

Stora Enso Wood Products GmbH²³¹ und KLH Massivholz GmbH²³²

Verbindungssysteme:

SIMPSON STRONG-TIE® GmbH²³³

Abdichtungssysteme:

Villas Austria GmbH²³⁴ und ISO-CHEMIE GmbH²³⁵

Fassade-Dach

Die Fassaden- und Dachkonstruktion des BSP-Bausystems wird ausschließlich auf ihre Demontagefähigkeit hin untersucht. Dazu wird gemäß den Konstruktionsmerkmalen der Hersteller eine hinterlüftete Holzfassade mit Mineralwollendämmung herangezogen (vgl. Abb. 7.9). Ebenso die systemkompatible Auswahl der Sockel- und Dachkonstruktion (vgl. Abb. 7.8, 7.10). Aus Sicht des Autors bietet das gewählte System einen ausreichend repräsentativen Querschnitt zur Bewertung der Demontagefähigkeit der Hüllflächen für das BSP- Bausystem an. Da es gemäß den Konstruktionsvorschlägen der BSP-Hersteller ohnehin weitere Möglichkeiten der Schichtaufbauten mit unterschiedlichen stofflichen Zusammensetzungen gibt, scheint für das gewählten Fassaden- und Dachsystem, eine Untersuchung auf stofflicher Ebene aus Sicht des Autors nicht zielführend. Untersuchungen gemäß einigen Demontageaspekten erfordern jedoch die Zuhilfenahme ausgewählter Produkte und Produkteigenschaften, deren Hersteller in den jeweiligen Abschnitten zitiert werden.

Boden-Decke-Vorsatzschale

Die Auswahl und die Untersuchung der Ausbauelemente Boden, Decke und Vorsatzschale erfolgt nach dem gleichen Prinzip wie bei der Fassaden- und Dachkonstruktion, ausschließlich auf struktureller Ebene (vgl. Fassade – Dach). Gemäß den Konstruktionsmerkmalen wird ein Fußbodenaufbau mit Trockenestrich herangezogen (Abb. 7.11) Die Betrachtung erfolgt ohne Fußbodenoberfläche. Die Demontagefähigkeit der Decke und Vorsatzschale wird anhand von Trockenbausystemen überprüft (Abb. 7.12, 7.13).

²³¹ CLT - Cross Laminated Timber,
<http://www.clt.info>, 12.08.2016.

²³² Kreuzlagenholz,
<http://www.klh.at/product/klh/>, 12.08.2016.

²³³ Verbindungssysteme,
<http://www.strongtie.de>, 13.08.2016.

²³⁴ Abdichtungssysteme,
<http://www.villas.at>, 13.08.2016.

²³⁵ Abdichtungssysteme,
<https://www.iso-chemie.eu/de/home/>, 13.08.2016.

Gebäudetechnik

Die Gliederung der Gebäudetechnik wird nach Pistohl/Rechenauer/Scheurer in drei Bereichen vorgenommen:²³⁶

- Zentralen
- Anlagenteile
- Leitungen

Unter Zentralen werden Schnittstellen oder Räume verstanden, die als Übergabestationen für unterschiedliche Medien zwischen Gebäude und außerhalb liegender Infrastruktur dienen. Haustechnische Geräte, Messinstrumente und Armaturen werden als Anlagenteile bezeichnet. Die Leitungen haben die Aufgabe, die Zentralen mit den Anlagenteilen zu verbinden. In Form von Rohleitungen und Kabeln dienen Leitungsnetze zum Transport unterschiedlicher Medien wie z. B. Wasser, elektrischem Strom u. dgl.²³⁷.

Auf Grund der Komplexität der unterschiedlichen Themenbereiche der Gebäudetechnik beschränkt sich die Betrachtung ausschließlich auf die Integration der Leitungsführung im Brettsperrholzsystem. Dazu werden gemäß Konstruktionsmerkmale folgende drei Varianten der Installationsführung herangezogen:²³⁸

- Installation bei Sichtqualität der Oberflächen (Abb. 7.14)
- Installation bei nachträglicher Beplankung (Abb. 7.15)
- Installationsführung in einer Vorsatzschale (Abb. 7.16)

Die Analyse erfolgt auf Basis der Systemausschnitte der Hersteller nach den Abb. 7.14, 7.15, 7.16. Nach Hausladen/Huber/Hilger sind unter dem Begriff Installation Rohre, Leitungen und Kabel zu verstehen²³⁹.

Die Betrachtung der Leitungsführung erfolgt grundsätzlich ohne Unterscheidung zwischen der Art der Elektro- und Sanitärinstallation und ausschließlich nach den Untersuchungskriterien auf struktureller Ebene (Kap. 4). Untersuchungen gemäß einigen Demontageaspekten erfordern die Zuhilfenahme ausgewählter Produkte und Produkteigenschaften, deren Hersteller in den jeweiligen Abschnitten zitiert werden. Anforderungen betreffend Haustechnik, Bauphysik (schalltechnische Anforderungen), Statik u. dgl. und dazugehörige Normen und Regelwerke bleiben in der gegenständlichen Untersuchung unberücksichtigt.

3.7.5. Auswertung

Die Analyse und Bewertung der Bereiche tragende Rohbaukonstruktion, Fassade-Dach, Boden-Decke-Vorsatzschale und Gebäudetechnik erfolgt grundsätzlich getrennt gemäß den festgelegten Kriterien samt Gewichtung (Kap. 6). Die Analyse und Bewertung der tragenden BSP-Rohbaukonstruktion erfolgt auf Basis der Kriterien für Demontage und Recycling. Die übrigen Bereiche werden ausschließlich auf Basis der Kriterien für Demontage analysiert.

²³⁶ Vgl. Pistohl/Rechenauer/Scheurer 2013, Abschnitt A, 62.

²³⁷ Vgl. Schickhofer/Schmied 2014, Abschnitt A, 3, zitiert nach Pistohl/Rechenauer/Scheurer 2013.

²³⁸ Stora Enso (Hg.) 2012, Kap. 7, 8.

²³⁹ Vgl. Hausladen/Huber/Hilger 2008, 24.

4. Voraussetzungen für demontagegerechtes Bauen auf struktureller Ebene

4.1. Funktionale Gliederung

Der nach Abb. 3.3 dargestellte Aufbau einer Gebäudestruktur zeigt, dass sich ein Bauwerk aus einer Vielzahl von hierarchischen angeordneten Teilen und Elementen zusammensetzt, die in bestimmten Beziehungen und Abhängigkeiten zueinander stehen²⁴⁰. Jedes Bauteil dieses Gefüges hat eine bestimmte Aufgabe zu erfüllen und ist somit ein Träger einer Funktion²⁴¹. Nach diesem Prinzip der Funktionszuordnung erfolgt die Gliederung eines Bauwerkes durch alle Strukturebenen.

In der obersten Ebene der Gebäudehierarchie gliedern sich die Austauschcluster in Tragwerk, Fassade, Ausbau und Haustechnik²⁴². In der gegenständlichen Arbeit werden diese Bereiche als Hauptfunktionen bezeichnet. Diese erfüllen die Aufgaben des Tragens, Umschließens, Trennens und Versorgens²⁴³. Eine andere Unterteilung dieser sog. Hauptfunktionen erfolgt nach dem Kriteriensteckbrief Nr. 42 der DGNB in technische Gebäudeausrüstung, nichtkonstruktive (Aus-)Baulemente, nicht tragende Rohbaukonstruktion und tragende Rohbaukonstruktion²⁴⁴.

Die Nutzungseinheiten und Funktionseinheiten der unteren Gebäudehierarchie nach Abb. 3.3 werden in der gegenständlichen Arbeit als Träger von Nebenfunktionen und Teilfunktionen bezeichnet²⁴⁵. Diese erfüllen weitere Aufgaben in einem Gebäude wie z. B. isolieren, verbinden, abschließen usw.²⁴⁶.

Der Zweck eines Bauteils wird durch seine geforderte Funktion definiert. Demnach erfüllen Bauteile eine für sie vorgesehene Aufgabe. Ob ein Bauteil eine oder mehrere Funktionen (Aufgaben) erfüllt oder ob ein Bauteil Träger von separaten Funktionen ist, kann einen ersten Hinweis über die Demontagefähigkeit einer Struktur geben²⁴⁷. Entscheidungen hinsichtlich der Funktionszuordnung bzw. der Funktionstrennung werden in den Strukturebenen getroffen²⁴⁸.

Zu den Hauptaspekten der Funktionstrennung nach [249 250] zählen:

- die Unabhängigkeit der Funktionen
- und die systematische Anordnung der Bauteile in Form von modularen Einheiten (Bauteilgruppen).

²⁴⁰ Vgl. Brenner 2010, 51.

²⁴¹ Vgl. Durmisevic 2010, 135.

²⁴² Vgl. Brenner 2010, 52.

²⁴³ Vgl. Durmisevic 2010, 164.

²⁴⁴ Vgl. DGNB (Hg.): Kriteriensteckbrief Nr. 42 2012, 2.

²⁴⁵ Vgl. Brenner 2010, 51f.

²⁴⁶ Vgl. Durmisevic 2010, 164.

²⁴⁷ Ebda., 158.

²⁴⁸ Ebda., 158.

²⁴⁹ Ebda., 158-162.

²⁵⁰ Vgl. Brenner 2010, 55-56.

Folgende Aspekte bestimmen nach [251] die Unabhängigkeit der Funktionen:

- Die separate Anordnung verschiedener Funktionen innerhalb der Strukturebenen
- und die Selbständigkeit der unabhängigen Funktionen.

4.1.1. Funktionstrennung – Funktionsintegration

Die Zuordnung einer Funktion zu einem Bauteil, einer Bauteilgruppe oder einem Austauschcluster kann nach [252] in Form einer Funktionsintegration oder Funktionsseparation erfolgen (Abb. 4.1).

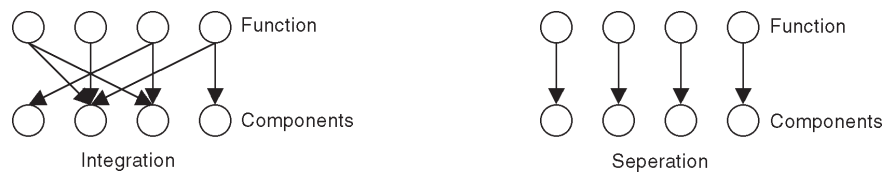


Abbildung 4.1: Unterscheidung der Funktionszuordnung in Form einer Funktionsintegration und Funktionstrennung

Funktionstrennung am Beispiel von drei Außenwandsystemen

Anhand von drei Außenwandsystemen nach [253] kann die Funktionstrennung und Funktionsintegration innerhalb der Strukturebenen wie folgt beschrieben werden (Abb. 4.2):

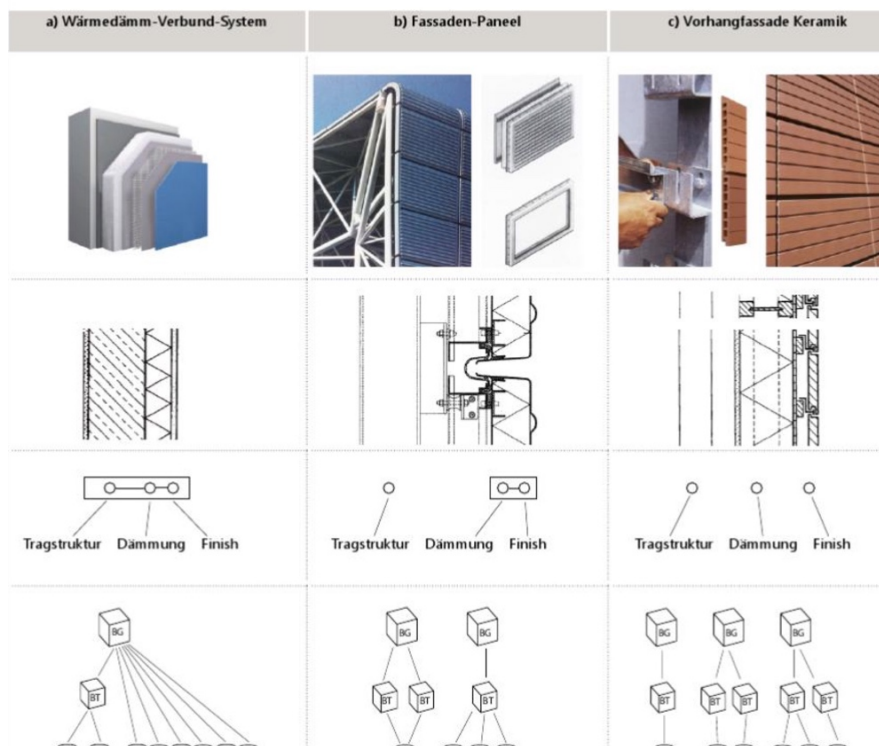


Abbildung 4.2: Funktionsintegration und Funktionstrennung am Beispiel von drei Außenwandsystemen

²⁵¹ Vgl. Durmisevic 2010, 158-162.

²⁵² Vgl. Durmisevic 2010, 159.

²⁵³ Vgl. Brenner 2010, 55-56.

Das Beispiel Wärmedämmverbundsystem zeigt die Integration der Funktionen Tragstruktur, Dämmung und Fassade in einem System. Hierbei werden alle Funktionen des Systems in direkten Bezug zueinander gebracht, ohne auf die unterschiedlichen Lebenszyklen der Bestandteile Rücksicht zu nehmen (vgl. Abb. 3.5 – Verbundbauweise). Erreicht ein Bestandteil des Verbundsystems das Ende seiner technischen Lebensdauer, kann es nur unter Beeinträchtigung des gesamten Systems getauscht oder gewartet werden, da alle Teile im System in gegenseitiger Abhängigkeit stehen.

Das Beispiel Fassaden-Paneel demonstriert die Trennung des Tragwerks von der restlichen Konstruktion. Die Funktionen Dämmung und Fassade werden in ein Verbundbauteil integriert.

Das Beispiel Vorhangfassade Keramik zeigt eine optimale Funktionstrennung auf. Die Bauteile der unterschiedlichen Funktionen werden zu separaten Bauteilgruppen zusammengefasst. Dieses Fassadensystem erlaubt durch die vorgesehene Funktionstrennung auf die unterschiedlichen Lebenszyklen der Bestandteile einzugehen, ohne dass bei der Demontage einzelner Bauteile die gesamte Struktur beeinträchtigt wird.

Nach ^[254] bietet ein entsprechender Aufbau der Strukturebenen den größten Gestaltungsspielraum hinsichtlich der Zuordnung der Funktionen zu den jeweiligen Elementen. Um eine optimale Funktionstrennung zu gewährleisten, sollten separate Bauteile und Bauteilgruppen für jede Funktion gewählt werden (Abb. 4.2 rechts). Am Beispiel der vorgehängten Keramikfassade erfolgt die Zerlegung des Fassadensystems nach dem Prinzip der Funktionstrennung in den Nebenfunktionen Tragwerk, Dämmung und Fassade. Jede dieser Funktionen wird einer separaten Bauteilgruppe zugeordnet, die wiederum aus mehreren Bauteilen besteht. Die Bauteile innerhalb der Bauteilgruppen sind ebenfalls so angeordnet, dass sie gemäß ihren Lebenszyklen demontiert, getauscht oder gewartet werden können, ohne das Gesamtsystem zu beeinträchtigen.

Durch die Gliederung der Fassade bzw. der gesamten Gebäudestruktur (Abb. 4.2 rechts) in unabhängige Funktionen oder in sog. Teilsystemen ergeben sich wesentliche Vorteile in den Stadien der Errichtung, der Nutzung, des Umbaus und der Demontage eines Gebäudes²⁵⁵. Sowohl kurzfristige Strategien in Zusammenhang mit sich ändernden Nutzeranforderungen oder Instandhaltungsarbeiten als auch langfristige Szenarien, die eine Verwertung von Materialien und Bauteilen inkludieren, können leichter berücksichtigt werden²⁵⁶.

Im Gegensatz zu einer vorgehängten Keramikfassade (Abb. 4.2 rechts) symbolisiert das VWS Fassadensystem (Abb. 4.2 links) die Integration der Funktionen Tragstruktur, Dämmung und Finish in einem Verbundsystem. Um dieses Fassadensystem für den Recyclingprozess zu optimieren, müssten alle Funktionen dieselben Austauschzyklen aufweisen und denselben Verwertungsverfahren zugeführt werden können²⁵⁷.

4.1.2. Funktionale Abhängigkeiten

Eine weitere Form der Funktionsintegration stellt die funktionale Abhängigkeit dar. Dabei kommt es durch die Aufnahme bzw. Eingliederung einer Funktion in eine unabhängige Funktion zu einer partiellen oder kompletten Abhängigkeit beider Funktionen²⁵⁸ (Abb. 4.3).

²⁵⁴ Vgl. Durmisevic 2010, 158.

²⁵⁵ Ebda., 156-162.

²⁵⁶ Ebda., 156-162.

²⁵⁷ Vgl. El khouli/John/Zeumer 2014, 56.

²⁵⁸ Vgl. Durmisevic 2010, 161- 162.

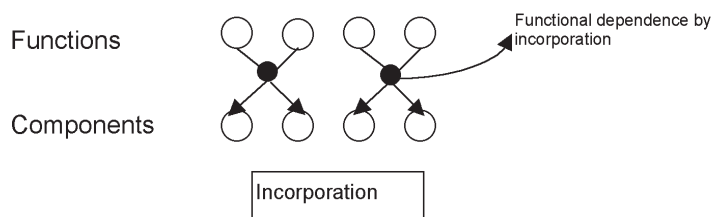


Abbildung 4.3: Funktionale Abhängigkeit durch funktionale Eingliederung

Durch vorgesehene planerische Maßnahmen oder einer nicht geplanten Funktionsintegration z. B. durch Verlagerung oder Größenänderung eines Bauteils wird die Unabhängigkeit einer Funktionseinheit beeinflusst.²⁵⁹

Am Beispiel eines Fußbodenaufbaus werden unterschiedlich herbeigeführte Abhängigkeiten nach [260] durch die Aufnahme der haustechnischen Komponenten demonstriert (Abb. 4.4).

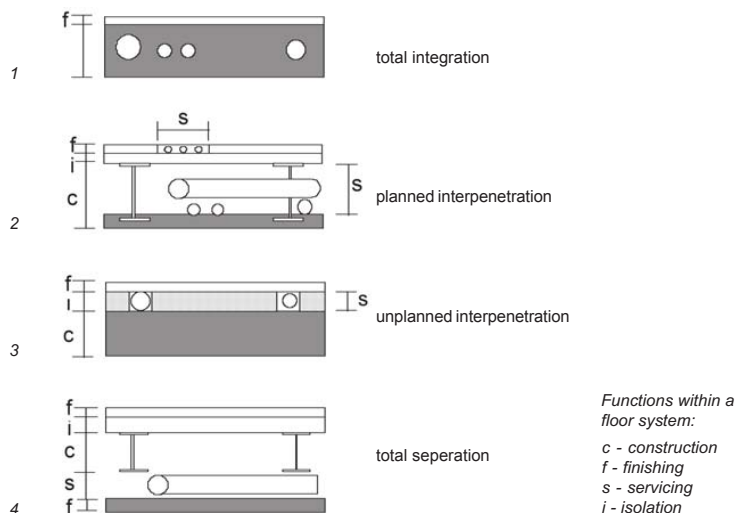


Abbildung 4.4: Funktionelle Abhängigkeit durch die Eingliederung haustechnischer Komponenten am Beispiel eines Fußbodensystems:

1. **Komplette Funktionsintegration:**
z. B. Bauteilaktivierung, Heiz-Estrich
2. **Geplante Abhängigkeit:**
Die geplante Aufnahme der Haustechnik in die Tragstruktur erfolgt über die Bereitstellung vorgefertigter Durchbrüche und Schlitze für die Installationen.
3. **Ungeplante Abhängigkeit (notwendig zustande gekommen, lösungsorientiert)**
Die Aufnahme der Haustechnik in die Tragstruktur erfolgt über die Bereitstellung eines Fußboden-Hohlraumes z. B. in Form eines Schiffbodens auf Polsterhölzern.
4. **Komplette Funktionstrennung:**
Die Leitungsführung erfolgt im Zwischenraum einer abgehängten Decke.

²⁵⁹ Vgl. Durmisevic 2010, 161-162.

²⁶⁰ Ebda., 161-162.

4.2. Systematischer Aufbau der Strukturebenen

Im Abschnitt 4.1 wird die Zerlegung der Struktur gemäß ihrer gestellten Aufgabe beschrieben. Dabei erfolgt die Gliederung eines Bauwerkes nach seinen funktionellen Anforderungen. Nach den Methoden des anforderungsgerechten Konstruierens können prinzipielle Anforderungen an Baukonstruktionen nach dem Stand der Technik beispielsweise wie folgt beschrieben werden.²⁶¹

- Schallschutz
- Wärmeschutz
- Brandschutz
- Standfestigkeit
- Nutzungssicherheit usw.

Aufgabe – Funktion – Nutzen

Der Zusammenhang zwischen Aufgabe, Funktion und Nutzen kann nach [^{262 263}] wie folgt beschrieben werden:

Der Zusammenschluss eines oder mehrerer Baustoffe bildet ein Bauteil, das als Funktionseinheit bereits eine bestimmte Aufgabe erfüllt (z. B. die Einzelteile eines Fensters: Isolierglas, Fensterrahmen, Beschläge usw.). Aus der Kombination mehrerer Bauteile entsteht eine Bauteilgruppe, die als Nutzungseinheit bereits einen konkreten Nutzen erfüllt (z. B. das komplette Fenster). Eine technische oder baukonstruktive Einheit setzt sich aus mehreren Bauteilgruppen zusammen und gliedert die Struktur in die Austauschcluster (z. B. die komplette Fassade).

Nach den zuvor genannten Prinzipien erfolgt der Aufbau der Strukturebenen zunächst nach folgenden Gesichtspunkten²⁶⁴:

- Funktionale Gliederung gemäß der gestellten Anforderung
- Zuordnung der Funktionen zu den jeweiligen Bauteilen

Für die funktionale Gliederung spielt die Unabhängigkeit der Funktionen und deren Zuordnung zu separaten Bauteilen eine entscheidende Rolle. Um die Unabhängigkeit und Separierbarkeit der Teile zu gewährleisten, bedarf es einer systematischen Gestaltung der Strukturebenen und eines dementsprechenden Aufbaus der Cluster²⁶⁵ (Abb. 4.5).

Der Abschnitt 4.2 befasst sich demnach mit der Gruppierung von Einzelteilen zu Bauteilen, Bauteilgruppen und Austauschclustern gemäß ihrer zugeordneten/geforderten Funktion (Abb. 4.5). Dabei werden Aspekte des modularen Bauens aufgezeigt, die als Handlungsanleitungen für den systematischen Aufbau der Strukturebene herangezogen werden. Unter Berücksichtigung bestimmter Gestaltungskriterien erfolgt die Bildung von Clustern (modularen Einheiten) und deren Eingliederung in den Strukturbaum.

²⁶¹ Vgl. Grobbauer 2003.

²⁶² Vgl. El khouli/John/Zeumer 2014, 64-65.

²⁶³ Vgl. Brenner 2010, 51-52.

²⁶⁴ Vgl. Durmisevic 2010, 156f.

²⁶⁵ Ebda., 156f.

use.

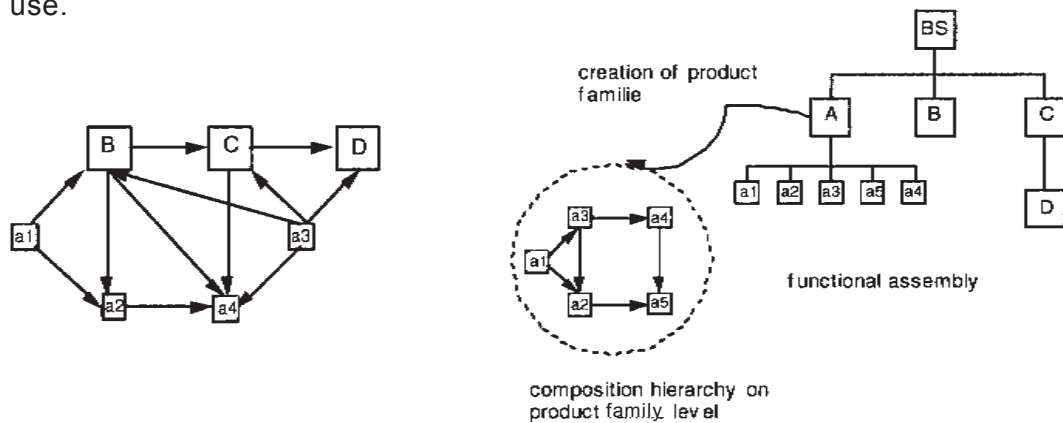


Abbildung 4.5: Clusterbildung

4.2.1. Modularer Aufbau

Das Prinzip der Modularität basiert auf einer Teilung eines Ganzen in einzelne Komponenten, die als Module bezeichnet werden²⁶⁶. Das Modul wird als austauschbares, komplexes Element innerhalb eines Gesamtsystems, eines Gerätes oder einer Maschine, das eine geschlossene Funktionseinheit bildet, bezeichnet²⁶⁷. Demnach kann die Gruppierung von Einzelteilen zu Bauteilgruppen und Austauschclustern als modularer Aufbau der Strukturebenen bezeichnet werden²⁶⁸.

Im Maschinenbau werden in sich geschlossene Elemente als Baugruppe bezeichnet, aus denen Maschinen und Geräte zusammengesetzt werden (Abb. 4.6)²⁶⁹. Die Definition einer Baugruppe kann dabei wie folgt lauten:²⁷⁰

„Jede Baugruppe erfüllt in der Maschine oder dem Gerät eine bestimmte Aufgabe, die auch nur von dieser Baugruppe und keiner anderen erfüllt wird. Somit sind Baugruppen modulare Einheiten, die nach Art eines Baukastensystems zu komplexen Geräten und Maschinen zusammengefügt werden können. ([...])“

²⁶⁶ Vgl. Pusch 2012, 18-22.

²⁶⁷ Modul,

http://www.duden.de/rechtschreibung/Modul_Element_Lehreinheit, 23.09.2015.

²⁶⁸ Vgl. Brenner 2010, 55-56.

²⁶⁹ Baugruppe Handrad,

<http://www.rogoengineering.com/rotationsstanzeinheit4.htm>, 23.01.2016.

²⁷⁰ Definition Baugruppe,

<http://www.metalltechnik-lexikon.de/baueinheiten-von-maschinen>, 09.04.2016.

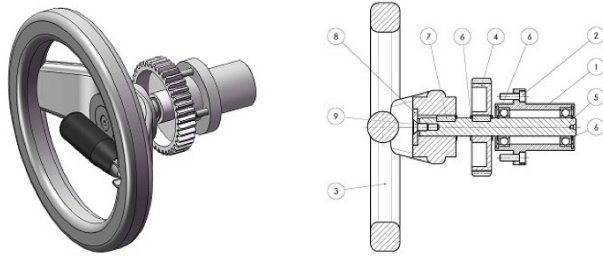


Abbildung 4.6: Darstellung einer Baugruppe am Beispiel eines Handrads

In monolithisch aufgebauten Baustrukturen haben alle Komponenten nur einen möglichen Platz und das System funktioniert nur als gesamter Block²⁷¹ (vgl. Abb. 4.7)²⁷². Hingegen werden in modularen Systemen die einzelnen Teile nicht nur durch ihre Position, sondern auch durch ihre Schnittstellen bestimmt²⁷³.

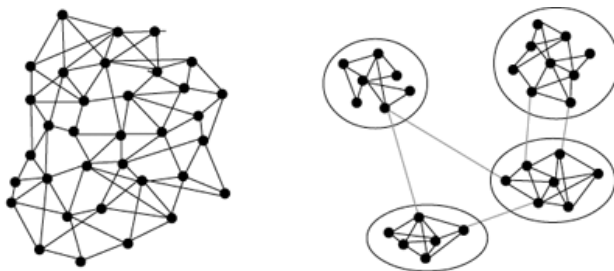


Abbildung 4.7: Gegenüberstellung nicht-modulares- und modulares Netzwerk

Durch die Übertragung der Prinzipien der Modularität auf das Bauwesen können wesentliche Vorteile für den Aufbau einer demontagefähigen Gebäudestruktur erwartet werden.

Vorteile des modularen Aufbaues

- Die Austauschbarkeit einzelner Module ist hierbei an erster Stelle zu nennen. Als Voraussetzung gilt die Definition der Module, als unabhängige und austauschbare Teile der Gesamtstruktur und die Lösbarkeit der Verbindungen zwischen den Modulen²⁷⁴.
- Unter den zuvor genannten Voraussetzungen können Einheiten getauscht, ergänzt und revisioniert werden, ohne die Funktionsfähigkeit benachbarter Module und somit die Gesamtstruktur zu beeinflussen.
- Eine flexiblere Handhabung der Austauschzyklen in Folge geänderter Nutzungsanforderungen sowie Wartung und Instandsetzung von Gebäudeteilen bezogen auf ihre technische Lebensdauer ist möglich.
- Je mehr Bauteile in modularen Einheiten zusammengefasst werden, desto leichter erfolgt eine Koordinierung der Teile entlang ihrer funktionellen Gliederung und der Betrachtung ihrer Lebenszyklen²⁷⁵.

²⁷¹ Vgl. Pusch 2012, 18-22.

²⁷² Nicht modulares und modulares Netzwerke,

<http://www.si-journal.de/index2.php?artikel=jg12/heft1/sij121-5.html>, 03.01.2016.

²⁷³ Vgl. Durmisevic 2010, 156f.

²⁷⁴ Vgl. Durmisevic 2010, 156f.

²⁷⁵ Ebda., 156f.

Weitere Vorteile des modularen Bauens nach [276] sind niedrigere Herstellungskosten auf Grund großer Loszahlen baugleicher Serien sowie geringe Entwicklungskosten und schnellere Produktzyklen in der Herstellung.

Darüber hinaus bieten vorgefertigte Module einfachere und schnellere Montageprozesse vor Ort und der Transport wird durch kleine Einheiten erleichtert²⁷⁷. Je mehr Bauteile im Werk zu Modulen zusammengefasst werden, desto geringer ist die Anzahl der reversiblen Verbindungen auf der Baustelle.

Wird die für die Rezyklierbarkeit entscheidende Demontage als quasi Umkehr des Montageprozesses begriffen, werden nach [278] weitere Vorteile modularer Einheiten ersichtlich. Je weniger Verbindungen, desto weniger Arbeitsschritte sind vor Ort zur Demontage einer Struktur erforderlich. Die Wahrscheinlichkeit einer unsachgemäßen Trennung der Einheiten wird dadurch reduziert.

4.2.2. Aufbau in Abhängigkeit der Montage/Demontageschritte

In modular aufgebauten Konstruktionen werden Materialien und Bauteile so zu Bauteilgruppen zusammengefasst, dass sie sowohl in der Herstellung und Montage, als auch in der Demontage und Verwertung eine unabhängige funktionale Einheit bilden²⁷⁹. Je mehr Bauteile in einer unabhängigen Gruppe gemäß ihrer funktionalen Anforderungen zusammengefasst werden, desto weniger reversible Verbindungen sind auf der Baustelle erforderlich. Die Anzahl der Verbindungen und die daraus resultierenden Demontageschritte können hierbei einen ersten Hinweis über die Recyclingfähigkeit einer Struktur geben. Wird die Anzahl der Demontageschritte zu hoch, kann auf Grund wirtschaftlicher Rahmenbedingungen der Abriss einer zerstörungsfreien Demontage vorgezogen werden^{280 281}. Unter dieser Prämisse rücken die Vorteile einer zweistufigen Montage bzw. Demontage in den Vordergrund.

- Vorfertigung im Werk
- Montage vor Ort

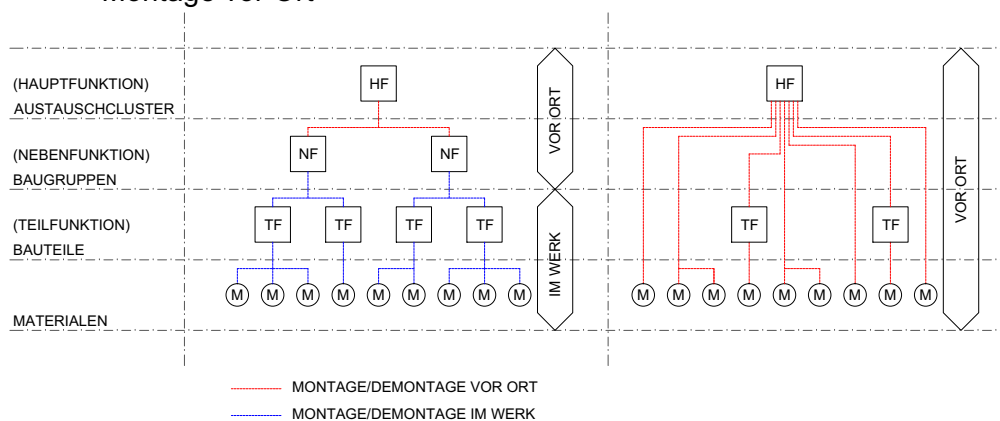


Abbildung 4.8: Zusammenhang zwischen modularem Aufbau und Vorfertigung in Abhängigkeit der Montage/Demontageschritte²⁸²

²⁷⁶ Vgl. Jäger, Masou u.a. (Hg.) 2013, 14.

²⁷⁷ Vgl. Pusch 2012, 18-22.

²⁷⁸ Vgl. Brenner 2010, 55-56.

²⁷⁹ Vgl. Durmisevic 2010, 162-165.

²⁸⁰ Vgl. Schneider/Böck/Mötzl 2010, 61f.

²⁸¹ Vgl. Durmisevic 2010, 162-165.

²⁸² In Anlehnung an Durmisevic 2010 164.

Anhand der Abb. 4.8 wird der Zusammenhang zwischen modularem Aufbau und den Möglichkeiten der Vorfertigung in Abhängigkeit der Montage/Demontageschritte verdeutlicht.

Abb. 4.8 links zeigt beispielhaft die Systematisierung der Strukturebenen nach dem Prinzip der funktionalen Gliederung. Die Zuordnung der Haupt-, Neben- und Teilfunktionen erfolgt in den jeweiligen hierarchischen Ebenen des Strukturbaumes. Dabei werden Materialien und Bauteile so zu modularen Einheiten zusammengefasst, dass sie unabhängige funktionale Einheiten bilden. Um die Montage/Demontage einzelner Module als Ganzes zu ermöglichen, müssen deren Bestandteile so aufeinander abgestimmt werden, dass sich deren Lebenszyklen gegenseitig entsprechen²⁸³.

Unter den genannten Voraussetzungen liegt der Vorteil des modularen Aufbaues auch in der Möglichkeit der Vorfertigung. Unter kontrollierten Bedingungen können Materialien und Bauteile im Werk zu Elementen zusammengefügt, auf die Baustelle transportiert und dort mit einer geringen Anzahl von Verbindungen zusammengesetzt werden²⁸⁴.

Dem gegenüber steht eine herkömmliche Gebäudestruktur, die sich durch eine hohe Funktions- und Materialintegration in einem System auszeichnet (Abb. 4.8 rechts). Um die Funktionsfähigkeit des Systems zu gewährleisten, sind alle Materialien und Bauteile aufeinander angewiesen. Auf Grund der fehlenden Modularität erfolgt der Zusammenbau solcher Strukturen hauptsächlich auf der Baustelle²⁸⁵. Die Austauschbarkeit einzelner Komponenten ist hier kaum gegeben, ohne die dazugehörigen, in Abhängigkeit stehenden Teile zu beschädigen.

Nach [286] zeigt die Systematisierung von Bauteilen in modulare Einheiten einen direkten Bezug zur Funktionalität des Moduls, zum Montageablauf und zur Austauschbarkeit der Bestandteile gemäß ihren Lebenszyklen. Die Lebenszyklen der Bauteile bestimmen auch die Hierarchie und Anordnung der Bestandteile im Modul und die Art der Verbindungen zwischen den Modulen²⁸⁷.

4.3. Konstruktiver Aufbau

Die funktionale Gliederung und der funktionelle Aufbau einer Gebäudestruktur wird in den Abschnitten Funktionstrennung und systematischer Aufbau der Strukturebenen beschrieben. Im Abschnitt Funktionstrennung erfolgen die Gliederung einer Gebäudestruktur nach den funktionalen Anforderungen und die Zuordnung der Funktionen zu den jeweiligen Bauteilen. Wesentlich für die Unabhängigkeit und Separierbarkeit der Teile ist die funktionale Gliederung, die durch den Aufbau der Strukturebenen in modularen Einheiten gewährleistet wird²⁸⁸.

Der Abschnitt konstruktiver Aufbau befasst sich mit der technisch-konstruktiven Gliederung einer Gebäudestruktur. Neben der Unabhängigkeit und Separierbarkeit der Gebäudeteile, die durch eine funktionale Gliederung zu erreichen ist, wird die Austauschbarkeit der Teile nach [289] durch den technisch-konstruktiven Aufbau und die Art der Verbindungen bestimmt.

Um die Austauschbarkeit der Gebäudeteile zu gewährleisten, sind folgende Aspekte entscheidend.²⁹⁰

²⁸³ Vgl. Hegger, Fuchs u.a. (Hg.) 2008, 32-33.

²⁸⁴ Vgl. Kaufmann 2013, 4f.

²⁸⁵ Vgl. Durmisevic 2010, 162-165.

²⁸⁶ Ebda., 165.

²⁸⁷ Ebda., 165.

²⁸⁸ Ebda., 156.

²⁸⁹ Ebda., 173.

²⁹⁰ Ebda., 173.

- Abhängigkeitsmuster,
- Hierarchie und Anordnung der Gebäudeteile
- und die Bildung eines Basisbauteiles.

Anhand zweier Bausysteme, die sich in der strukturellen Zusammensetzung grundsätzlich unterscheiden, kann ein erster Einblick über die konstruktiven Gestaltungsaspekte einer demontagefähigen Gebäudestruktur gegeben werden. Nach [291 292] wird eine Unterscheidung zwischen offenen und geschlossenen Systemen getroffen.

Merkmale geschlossener Systeme:

Das Hauptmerkmal eines geschlossenen Bausystems liegt in der festen Integration unterschiedlicher Funktionen in einer Komponente mit einem festen Lebenszyklus²⁹³ (Abb. 4.9, 4.10). Das bedeutet, dass alle Materialien und Bauteile aufeinander angewiesen sind, um die geforderte Funktionalität des Gesamtsystems zu erfüllen. So entsteht eine Abhängigkeit, mit der weder auf die unterschiedlichen Lebenszyklen der verbauten Materialien, noch auf sich ändernde Nutzeranforderungen reagiert werden kann. Diese hohe Material- und Funktionsintegration hat zur Folge, dass ein Tausch einzelner Bauteile nicht möglich ist, ohne die dazugehörigen in Beziehung stehenden Teile zu beschädigen (Abb. 4.10). Obwohl geschlossene Systeme sorgfältig zusammengesetzt werden, wird ihre Demontagefähigkeit durch ihren strukturellen Aufbau erschwert. Durch die beschriebene Anordnung und Beziehung der Teile zueinander wird das System unflexibel hinsichtlich Zugänglichkeit und Umgestaltung. Folglich wird das Austauschen und Wiederverwenden von Teilen erschwert und somit ein Recycling unmöglich gemacht.

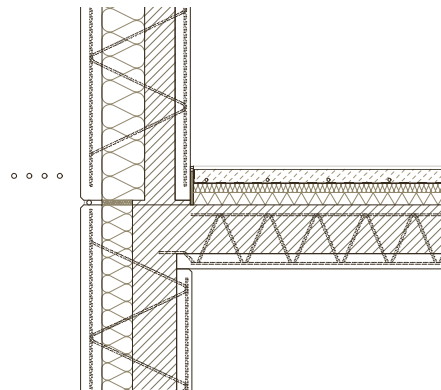


Abbildung 4.9: Thermowand der Firma SYSPRO am Beispiel eines Züricher Stadthauses²⁹⁴ (links)

Abbildung 4.10: Thermowand der Firma SYSPRO Systemschnitt²⁹⁵ (rechts)

²⁹¹ Vgl. Schulitz 2001, 611-613.

²⁹² Vgl. Durmisevic 2010, 147-150.

²⁹³ Vgl. Durmisevic 2010, 147-148.

²⁹⁴ Thermowand Syspro Beispiel eines Züricher Stadthauses,

<http://www.betonwerk-oschatz.de/website/var/assets/downloads/allgemein/thermowand-.pdf>, 12.02.2016.

²⁹⁵ Syspro-Gruppe Betonbauteile e.V. u.a (Hg.) 2010, 86.

Merkmale offener Systeme:

Im Gegensatz zu herkömmlichen Bauwerken, deren struktureller Aufbau meistens als geschlossenes System erfolgt, wird das Bauen mit System nach [296] (Abb. 4.11, 4.12) als offene Bauweise nach [297] bezeichnet. Kennzeichen offener Strukturen sind die Integration von unabhängigen Teilsystemen sowie die Möglichkeit der kontinuierlichen Veränderung und Ergänzung des Systems²⁹⁸. Als wichtigster Aspekt offener Systeme in Zusammenhang des strukturellen Aufbaues wird die Trennung in Teilsystemen entsprechend ihrer unterschiedlicher Funktionen und Lebenszyklen genannt²⁹⁹. Hierbei erfolgt eine systematische Anordnung der Materialien und Bauteile in unabhängige, funktionale Einheiten (vgl. Abschnitt 4.2). So können Teile zerstörungsfrei getauscht und gewartet werden, ohne die gesamte Struktur zu beeinflussen. Offene Systeme schaffen daher die Voraussetzungen für eine demontage- und recyclingfähige Gebäudestruktur.

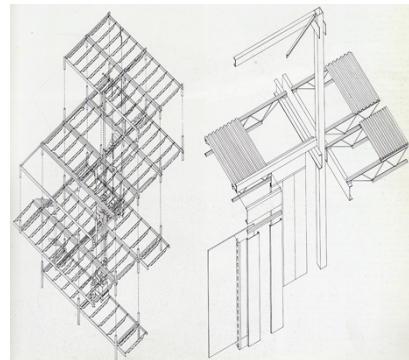


Abbildung 4.11: Wohnhaus in Beverly Hills, Helmut Schulitz, Kalifornien, 1976³⁰⁰ (links)

Abbildung 4.12: Explosionszeichnung, Helmut Schulitz, 1977³⁰¹ (rechts)

Am Beispiel offener und geschlossener Systeme wird deutlich, welchen Einfluss die gegenseitige Abhängigkeit der Gebäudeteile im Strukturgefüge auf die Demontage- und Recyclingfähigkeit eines Gebäudes haben. Im Gegensatz zu geschlossenen Systemen, in denen alle Teile aufeinander angewiesen sind, erlauben offene Systeme durch eine entsprechende hierarchische Anordnung der Gebäudeteile, einzelne Komponenten zu tauschen, ohne die restliche Struktur zu beeinflussen. Das heißt, in beiden Systemen sind Beziehungsmuster zu erkennen, die Aufschluss über die gegenseitigen Abhängigkeiten der Gebäudeteile geben.

Eine weitere Abhängigkeit der Gebäudeteile kann auf Grund des Kraftflusses durch ein Bauwerk festgestellt werden³⁰². Durch den Zusammenschluss von Fassade und Tragwerk zu einem Verbundbauteil (vgl. Abb. 4.10) sind alle Elemente vom Kraftfluss betroffen. Durch die Einführung eines sogenannten Basisbauteils nach [303] ist eine unabhängige Montage der Fassade am Tragwerk möglich. Am Beispiel der Pfosten-Riegelfassade kann das Rahmensystem,

²⁹⁶ Vgl. Haller 2015, 292-298.

²⁹⁷ Vgl. Schulitz 2001, 611-613.

²⁹⁸ Vgl. Staib/Dörrhöfer/Rosentahl (Hg.) 2008, 43.

²⁹⁹ Vgl. Durmisevic 2010, 148-150.

³⁰⁰ Wohnhaus in Beverly Hills,

<http://www.schulitz.de/haus-in-beverly-hills/beverly-hills-009/>, 12.02.2016.

³⁰¹ Explosionszeichnung,

<http://mrd.com/n/1538>, 12.02.2016.

³⁰² Vgl. Durmisevic 2010, 167-168.

³⁰³ Vgl. Brenner 2010, 56.

das die Lastabtragung für die Fassadenelemente übernimmt, als Basisbauteil bezeichnet werden (Abb. 4.13). Somit dient ein Basisbauteil als Vermittler zwischen verschiedenen Funktionen und Elementen³⁰⁴.

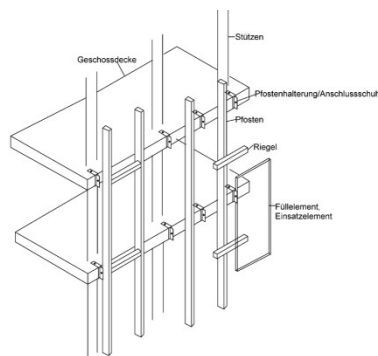


Abbildung 4.13: System: Pfosten-Riegel-Fassade³⁰⁵

4.3.1. Abhängigkeit und Austauschbarkeit der Teile

In der klassischen Gebäudeentwicklung liegt der Schwerpunkt der derzeitigen Bemühungen nach wie vor in der Planungs- und Errichtungsphase einer Immobilie^{306 307}. Trotz laufender Nutzungsänderungen in der Betriebsphase (Abb. 4.14), werden die entstehenden Kosten weder von der Ö-Norm B1801 Teil 1-4 noch von der DIN 276 bezüglich der unterschiedlichen Nutzungsphasen nach der Gebäudeerrichtung berücksichtigt³⁰⁸.

Das Gebäude - lebenszyklisch betrachtet

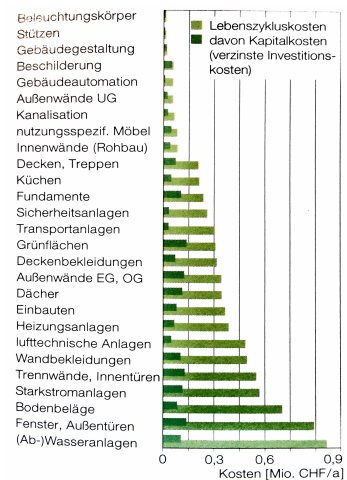
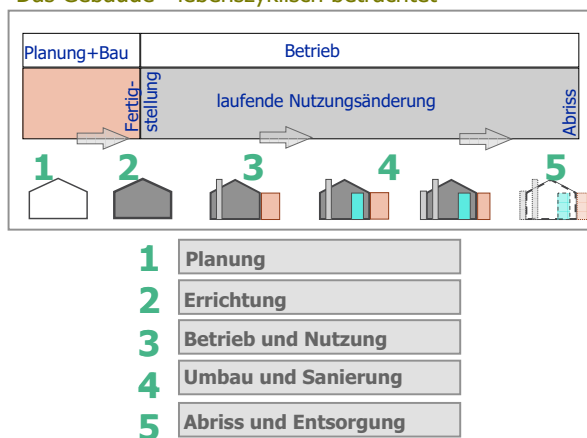


Abbildung 4.14: Darstellung der Nutzungsphasen nach der Gebäudeerrichtung³⁰⁹ (links)

Abbildung 4.15: Folgekosten von Bauteilen nach der Gebäudeerrichtung³¹⁰ (rechts)

³⁰⁴ Vgl. Durmisevic 2010, 167-168.

³⁰⁵ System Pfosten-Riegel-Fassade,

file:///Users/erichwutscher/Documents/Dissertation/Gliederung/Abbildungen/Abb.%20025/Montagetechnik%20-%20Fassade%20-%20-%20baunetzwissen.de.webarchive, 12.02.2016.

³⁰⁶ Vgl. ÖNORM B1801 2015.

³⁰⁷ Vgl. Floegel 2009.

³⁰⁸ Ebda., 2009, 1-9.

³⁰⁹ Floegel 2009, 2.

³¹⁰ El khouli/John/Zeuemer 2014, 63. zitiert nach Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.). Leitfaden Nachhaltiges Bauen, Berlin 2001.

Da bei herkömmlichen Objekten der Schwerpunkt nach wie vor in der Errichtung liegt, werden Gebäudestrukturen kaum danach ausgerichtet, auf geänderte Nutzeranforderungen oder auf die unterschiedlichen Austauschzyklen der verwendeten Materialien und Bauteile reagieren zu können. Eine Zusammensetzung der Gebäude erfolgt nach den Gesichtspunkten Zeit und Kosten, ohne darauf Bedacht zu nehmen, was mit dem Gebäude nach der Errichtungsphase passiert³¹¹ (vgl. Stewart Brand: what happens after they're built). Wenn mögliche Nutzungsszenarien in der Planungsphase unberücksichtigt bleiben, führt es in weiterer Folge oft dazu, dass die Folgekosten die Baukosten um ein Vielfaches übersteigen (Abb. 4.15).

Die Abhängigkeit zwischen den Gebäudeteilen ist oft der Grund dafür, warum diese in den Nutzungsphasen abgebrochen und unter hohem finanziellem Aufwand an die neuen Erfordernisse angepasst werden müssen³¹². Sind diese jedoch als unabhängige und austauschbare Teile der Gebäudestruktur definiert und die Verbindung zwischen den Teilen demontierbar, steigt in vielerlei Hinsicht das Optimierungspotential entlang des Gebäudelebenszyklus³¹³.

In herkömmlichen Bauwerken werden alle Bauteile und Materialien der Gebäudestruktur in direkte Abhängigkeit gebracht. Beziehungsdiagramme ermöglichen die Darstellung und Analyse dieser Abhängigkeiten. Dabei zeigt sich die Entwicklung von geschlossen zu offenen Systemen, das ist vor allem für die Austauschbarkeit und Wiederverwendung von Gebäudeteilen im Sinne einer recyclingfähigen Gebäudestruktur hilfreich³¹⁴. Die Entwicklung von geschlossenen zu offenen Systemen kann in Form von komplexen Diagrammen zu geordneten Beziehungsmustern dargestellt werden (Abb. 4.16, 4.17).

4.3.2. Beziehungsmuster:

Die Abhängigkeit der Gebäudeteile von geschlossenen und offenen Systemen wird anhand von zwei Diagrammen beispielhaft dargestellt³¹⁵. Abb. 4.17 zeigt fünf Gebäudeteile, die jeweils mit allen anderen Teilen verbunden sind. Dies führt zu einer großen Anzahl an Beziehungen und gegenseitiger Abhängigkeit zwischen den Gebäudeteilen.

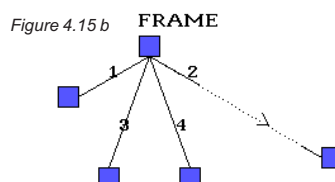
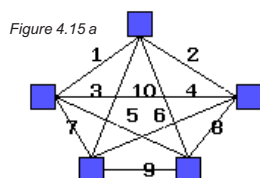


Abbildung 4.16: Geschlossenes Beziehungsmuster (links)

Abbildung 4.17: Offenes Beziehungsmuster (rechts)

Um die Anzahl der Beziehungen und Abhängigkeiten zwischen den Gebäudeteilen zu minimieren, werden die fünf Teile über ein vermittelndes Bauteil miteinander verbunden (Abb. 4.16). In offenen Strukturen wird das vermittelnde Bauteil als Basisbauteil bezeichnet, das eine unabhängige Anordnung der Bauteile erlaubt³¹⁶. Nach diesem Prinzip sollten die Beziehungen zwischen den modularen Einheiten (Nutzungseinheiten) und innerhalb dieser unabhängig voneinander gestaltet werden³¹⁷ (Abb. 4.18). So kann beispielsweise die Tragstruktur auf Ebene

³¹¹ Vgl. Brand 1994.

³¹² Vgl. Durmisevic 2010, 146-150.

³¹³ Vgl. El khouli/John/Zeumer 2014, 57-59.

³¹⁴ Vgl. Schulitz 2001, 611-613.

³¹⁵ Vgl. Durmisevic 2010, 142-145. zitiert nach Kapteijns at all 1998.

³¹⁶ Vgl. Brenner 2010, 56.

³¹⁷ Vgl. Durmisevic 2010, 142-145. zitiert nach Kapteijns at all 1998.

der Austauschcluster als Basisbauteil für Dach, Fassade, Innenausbau und Haustechnik dienen. Auf Ebene der Bauteilgruppen kann beispielsweise das Pfosten-Riegelsystem der Fassade als Basisbauteil für Verglasung, Fenster und Dämmpaneel dienen. Der Rahmen des Fensters ist wiederum das Basisbauteil für die Bauteile Isolierverglasung, Beschläge usw.

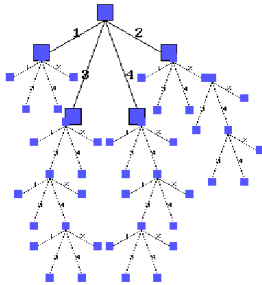


Abbildung 4.18: Basisbauteil für offene Beziehungsmuster

Gebäude, in denen alle Bauteile und Materialien voneinander abhängig sind, werden durch komplexe Beziehungsdiagramme charakterisiert (Abb. 4.16). In solchen Gebäudestrukturen kann der Austausch einzelner Bauteile einen beachtlichen Einfluss auf die benachbarten Teile und deren Verbindungen haben. Die Demontagefähigkeit einer Baustruktur kann daher auch durch die Anzahl der Verbindungen beeinflusst werden³¹⁸. Auf Basis unterschiedlicher Montagetypen lassen sich nach [319] sechs grundsätzliche Abhängigkeitsmuster unterscheiden (Abb. 4.19).

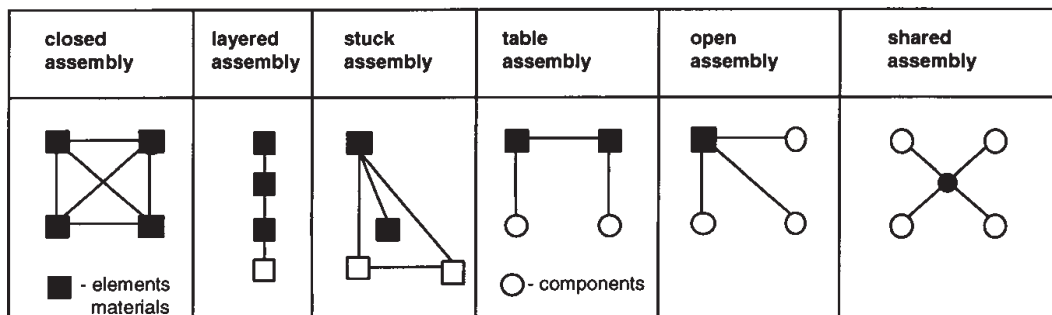


Abbildung 4.19: Beziehungsmuster auf Basis unterschiedlicher Montagetypen

- Geschlossene Abhängigkeit
- Lineare Abhängigkeit (sequenziell)
- Verschachtelte Abhängigkeit
- Tischmontage
- Offene Anordnungen

Die Beziehungsmuster der Montagetypen 1-3 nach Abb. 4.19 zeigen die größte Abhängigkeit der Teile. Strukturen, deren Bauteile nicht in unabhängige Einheiten zusammengefasst sind, werden hinsichtlich ihrer Montage/Demontagefähigkeit nach [320] als statisch bezeichnet. Ein Austauschen der Bauteile entsprechend ihrer Lebenszyklen kann nicht erfolgen, ohne benachbarte Teile zu beeinflussen oder gar zu beschädigen. Hingegen kann in offenen Hierarchien

³¹⁸ Vgl. Durmisevic 2010, 170.

³¹⁹ Ebda., 168.

³²⁰ Vgl. Durmisevic 2010, 168f.

die Montage und Demontage von Gebäudeteilen durch die Anordnung eines Basisbauteils nach [321] unabhängig voneinander erfolgen (vgl. Abb. 4.19 – Montagetypen 4-6).

4.3.3. Hierarchie und Anordnung der Teile

Zur Bewertung der Abhängigkeit sind nach [322] zwei Arten von Beziehungen zu unterscheiden:

- Die Beziehungen zwischen den modularen Einheiten (Nutzungseinheiten)
- Die Beziehungen innerhalb der modularen Einheiten (Nutzungseinheiten)

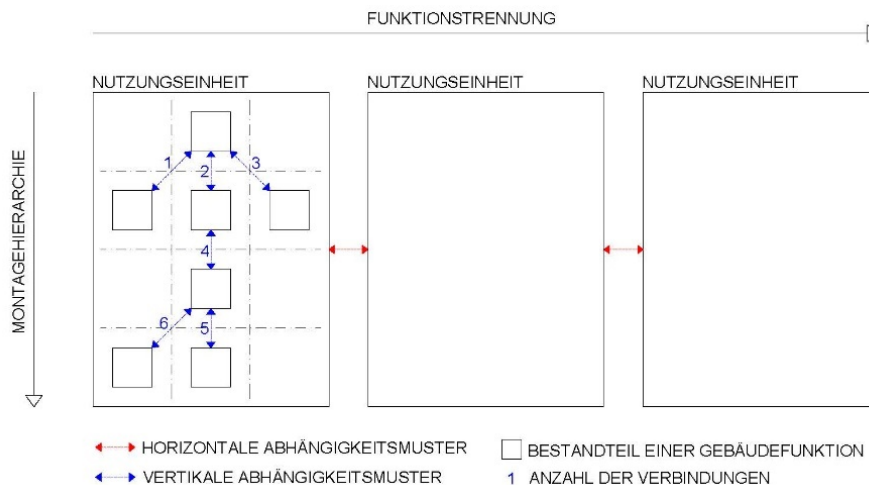


Abbildung 4.20: Position der Beziehungen zwischen modularen Einheiten und innerhalb modularer Einheiten³²³

Beide Beziehungen können über Diagramme analysiert werden. Neben den Abhängigkeiten zwischen den modularen Einheiten und innerhalb dieser geben Beziehungsdiagramme auch Aufschluss über die Anzahl der Verbindungen zwischen den Bestandteilen³²⁴ (Abb. 4.20). Eine systematische Darstellung dieser Beziehungen erfolgt in Zeilen und Spalten. In Diagrammen können die Bestandteile einer Gebäudefunktion entsprechend ihrer Montagehierarchie und gegenseitigen Abhängigkeit abgebildet werden. Hierbei zeigen horizontale Beziehungen Abhängigkeiten zwischen den Nutzungseinheiten und vertikale Beziehungen zeigen Abhängigkeiten innerhalb einer Nutzungseinheit (Abb. 4.20).

Strukturen mit vertikal orientiertem Abhängigkeitsmuster werden als dynamische Strukturen bezeichnet, jene mit horizontalem Muster als statisch³²⁵. Nach dem Prinzip der Funktionstrennung sollten Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Nutzungseinheiten vermieden werden. Dies würde die Austauschbarkeit einzelner Komponenten erschweren und somit zur Beeinträchtigung der Demontagefähigkeit der Gebäudestruktur führen. Abb. 4.20 zeigt beispielhaft die systematische Darstellung der Abhängigkeiten zwischen den Nutzungseinheiten und innerhalb der Nutzungseinheiten.

Beziehungsmuster, aus denen die Abhängigkeit zwischen verschiedenen Nutzungseinheiten ersichtlich wird, zeigen somit auch die funktionelle Abhängigkeit einer Struktur. Um diese Abhängigkeiten zu vermeiden, sollten horizontale Beziehungen nur zwischen den Basisbauteil

³²¹ Vgl. Brenner 2010, 56.

³²² Vgl. Durmisevic 2010, 170.

³²³ In Anlehnung an Durmisevic 2010, 171.

³²⁴ Vgl. Durmisevic 2010, 168- 171.

³²⁵ Ebda., 170.

einer Nutzungseinheit (modulare Einheit od. Bauteilgruppe) und dem Basisbauteil der Gesamtstruktur hergestellt werden³²⁶ (Abb. 4.21). So bleibt die Austauschbarkeit ganzer Nutzungseinheiten gewährleistet, ohne die Gesamtstruktur zu beeinflussen. Darüber hinaus zeigt Abb. 4.21 beispielhaft drei horizontale Beziehungen zwischen den Nutzungseinheiten in unterschiedlichen Montagehierarchien. Je höher die Beziehung in der Montagehierarchie angeordnet ist, desto größer wird die Anzahl der Bauteile, die bei einer Demontage zu entfernen sind, um die jeweilige Verbindung zu erreichen.

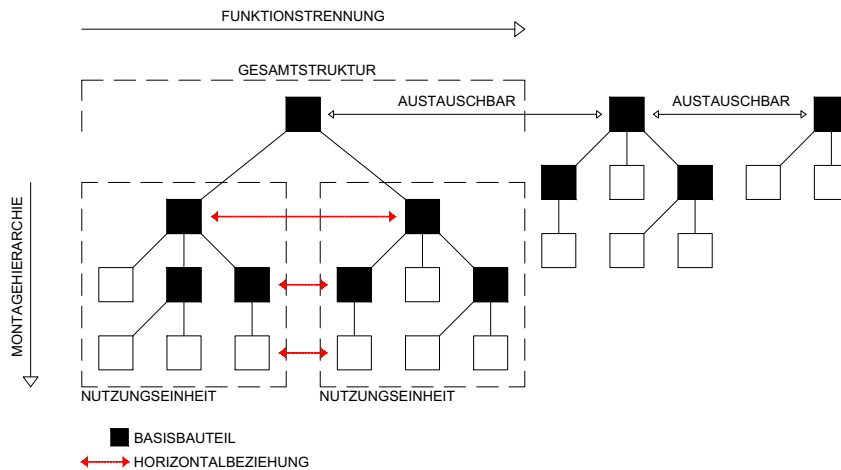


Abbildung 4.21: Horizontale Abhängigkeit der Nutzungseinheiten mit dem Basisbauteil der Gesamtstruktur³²⁷

4.3.4. Basisbauteil

Jeder Bestandteil eines Gebäudes hat eine bestimmte Aufgabe zu erfüllen und ist somit ein Träger einer Funktion (vgl. Abschnitt 4.1). Gemäß dem hierarchischen Aufbau einer Gebäudestruktur nach [328] werden aus Bauteilen Bauteilgruppen und aus Bauteilgruppen wiederum die Austauschcluster gebildet. In der gegenständlichen Arbeit erfolgt eine Kategorisierung dieser Gruppierungen, im Zuge der funktionalen Gliederung, hierarchisch von oben nach unten in Hauptfunktionen und Nebenfunktionen. Bauteile werden demnach als Träger von Teilfunktionen bezeichnet. Nach dem Prinzip der Modularität werden Gruppierungen von Bauteilen nach [329] auch als Nutzungseinheiten beschrieben.

Der Zweck eines Basisbauteils liegt darin, die Unabhängigkeit und Austauschbarkeit der Bauteile (Teilfunktionen) gemäß ihren technischen Lebensdauern und wirtschaftlichen Nutzungsdauern zu gewährleisten. Dabei kann der prinzipielle Zweck eines Basisbauteils nach [330 331] wie folgt beschrieben werden:

- Die Unabhängigkeit der Bauteile innerhalb einer Nutzungseinheit (Abb.026)
- Die Unabhängigkeit der Bauteile zwischen den Nutzungseinheiten (Abb.027)

³²⁶ Vgl. Durmisevic 2010, 168- 171.

³²⁷ In Anlehnung an Durmisevic 2010, 170-172.

³²⁸ Vgl. Brenner 2010, 51-52.

³²⁹ Vgl. Brenner 2010, 56.

³³⁰ Vgl. Durmisevic 2010,171-172.

³³¹ Vgl. Ponn/Lindemann 2008, 215.

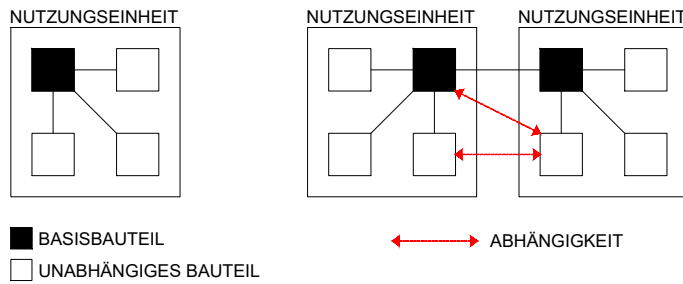


Abbildung 4.22: Anwendung eines Basisbauteils innerhalb einer Nutzungseinheit³³² (links)
 Abbildung 4.23: Anwendung eines Basisbauteils zwischen zwei Nutzungseinheiten³³³ (rechts)

Abb. 4.22 repräsentiert beispielhaft eine Nutzungseinheit (Bauteilgruppe), deren Bauteile nur Verbindungen mit dem Basisbauteil herstellen. So können Abhängigkeiten zwischen den Bauteilen innerhalb der Bauteilgruppe vermieden werden. Ein Tausch einzelner Teile wird möglich, ohne die benachbarten, zur Bauteilgruppe gehörenden Bestandteile zu beeinflussen. Um die Abhängigkeit der Bauteile mit anderen Bauteilgruppen zu vermeiden, sollte daher jedes Cluster mit einer Basis ausgestattet werden, auf der alle Komponenten des Clusters aufgebaut sind³³⁴ (Abb. 4.23). Folglich kann ein Basisbauteil auch als Vermittler zwischen unterschiedlichen Nutzungseinheiten bezeichnet werden.

Abb. 4.24 zeigt nach [335 336] die Anwendung eines Basisbauteils am Beispiel einer Wandkonstruktion. Dabei soll die Rolle des Vermittlers durch die Gegenüberstellung der Prinzipien Funktionstrennung, modularer Aufbau und Demontageeigenschaft verdeutlicht werden.

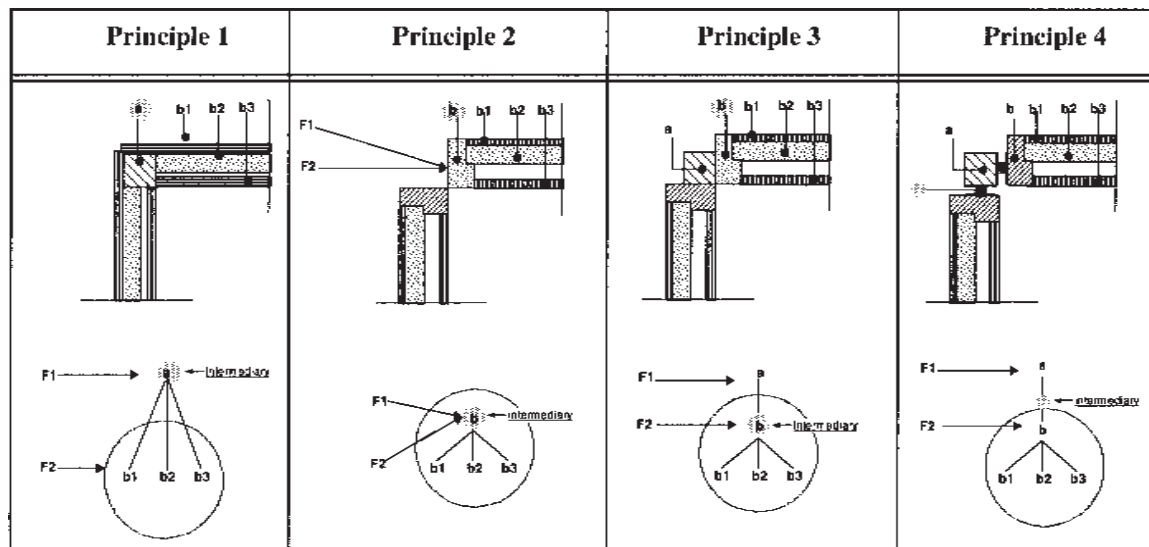


Abbildung 4.24: Anwendung eines Basisbauteils am Beispiel einer Wandkonstruktion

³³² In Anlehnung an Durmisevic 2010,171.

³³³ Vgl. Durmisevic 2010,171.

³³⁴ Ebda.,171-172.

³³⁵ Vgl. Brenner 2010, 56.

³³⁶ Vgl. Durmisevic 2010,172.

Prinzip 1:

Der konstruktive Aufbau gemäß Prinzip 1 erfolgt ohne Basisbauteil. Durch die Integration von Tragwerk (F1) und Fassade (F2) zu einer Einheit entsteht eine direkte Abhängigkeit der beiden Funktionen. Eine Montage bzw. Demontage von Tragwerk und Fassade kann auf der Baustelle nur gleichzeitig erfolgen.

Prinzip 2:

Gemäß Prinzip 2 werden Tragwerk (F1) und Fassade (F2=b, b1, b2, b3) zu einer modularen Einheit zusammengefügt. Der konstruktive Aufbau sieht vor, dass der Holzrahmen (b) das Basisbauteil für die Fassade ist und gleichzeitig die tragende Funktion des Bauwerkes übernimmt. Ein Tausch der Fassade hätte somit Einfluss auf das Tragverhalten der gesamten Struktur. Eine separate Demontage der beiden Funktionen F1 und F2 ist somit nicht möglich.

Prinzip 3:

Gemäß Prinzip 3 erfolgt die Trennung der Funktionen Tragwerk (F1) und Fassade (F2). Der modulare Aufbau der Fassade besteht aus den Teilen b, b1, b2, b3, wobei der Holzrahmen (b) als Basisbauteil für die Fassade fungiert. Durch die Einführung eines unabhängigen Bauteils (a) kann eine Trennung der Tragfunktion erfolgen. In diesem Fall übernimmt Bauteil (a) die Tragfunktion der gesamten Struktur und Bauteil (b) die Basis für die Fassade. Bauteil (b) ist somit der Vermittler zwischen Tragwerk (a) und Fassade (F2). Durch die Wahl der Verbindung zwischen Tragwerk (a) und Basisbauteil (b) wird die Demontagefähigkeit beeinflusst.

Prinzip 4:

Durch die Einführung eines zusätzlichen Verbindungselementes zwischen Tragwerk (a) und Basisbauteil (b) wird die unabhängige Demontage der Fassade (F2) gewährleistet.

4.4. Aufbau der Schnittstellen

Wie bereits unter Abschnitt 3.4 über die Unabhängigkeit und Austauschbarkeit als Kriterien für demontagefähige Strukturen beschrieben, hängt die Demontagefreundlichkeit einer Baustruktur im Wesentlichen von der Anordnung der Bauteile ab und in welcher Beziehung diese zueinanderstehen³³⁷. Der Demontageprozess ist davon geprägt, eine Baustruktur wieder in möglichst sortenreine Materialien und Bauteile aufzulösen³³⁸. Werden die eingesetzten Bauteile als unabhängige und austauschbare Teile einer Gebäudestruktur definiert und die Verbindungen der Bestandteile demontierbar gestaltet, kann die Demontagefähigkeit der Baustruktur und in weiterer Folge ein hochwertiges Recycling der Bestandteile gewährleistet werden³³⁹. Entscheidend für die Unabhängigkeit und Austauschbarkeit der Teile ist neben der Gestaltung der Strukturebenen und des konstruktiven Aufbaus der Gebäudestruktur auch die Ausführung der Fügstellen und die Wahl der Verbindungen. Die VDI Richtlinie 2243 beschreibt dazu folgende Anforderung für die Gestaltung demontagegerechter Verbindungen:³⁴⁰

„Die bei einem Produkt verwendeten Verbindungen der Bauteile müssen leicht lösbar und gut zugänglich sein. Beschädigungen an wiederverwendbaren Teilen sind zu vermeiden. Anzustreben ist eine Demontage, bei der die zu verbindenden Bauteile und die Verbindungselemente unbeschädigt wiederverwendbar oder zumindest aufarbeitbar sind. Ist dieses Idealziel nicht zu erreichen, sollten wenigstens die Bauteile unbeschädigt bleiben; die Verbindungselemente werden dann durch neue ersetzt.“

Obwohl sich die Handlungsanleitungen für die Gestaltung demontagegerechter Verbindungen der VDI Richtlinie 2243 auf die Produktentwicklung beziehen, sind deren Grundanforderungen

³³⁷ Vgl. VDI 2243 1991, 34.

³³⁸ Vgl. Brenner 2010, 51.

³³⁹ Vgl. Durmisevic 2010, 156-157.

³⁴⁰ VDI 2243 1991, 15.

in der gegenständlichen Arbeit auf den Gebäudesektor übertragbar. Gut zugängliche und lösbare Verbindungen erlauben nicht nur eine zerstörungsfreie Demontage der Komponenten, sondern auch die Wiederverwendung der Verbindungsmittel selbst. Um eine Rationalisierung der Montage- bzw. Demontageprozesse zu ermöglichen, sollte neben einer Reduktion und Vereinheitlichung der Verbindungsmittel auch eine Automatisierung der Verbindungs- und Demontagevorgänge angestrebt werden³⁴¹.

Die Wahrscheinlichkeit eines hochwertigen Material- und Produktrecyclings wird auch durch den Aufwand der Demontage mitbestimmt. Dabei sollten die Voraussetzungen für eine wirtschaftliche Umsetzung der Demontageprozesse bereits zu Beginn der Produktgestaltung geschaffen werden³⁴². Eine Beurteilung des Demontageaufwandes nach dem Kriteriensteckbrief Nr. 42 der DGNB wird in fünf Demontagestufen wie folgt vorgenommen:³⁴³

„Sehr gering: sehr leicht zu demontieren (z. B. geklemmte Verbindungen, lose Auflagen, einfache Klick- oder Schraubverbindungen)

Gering: mit geringem Aufwand zu demontieren, (z. B. Absaugung von geschütteten Materialien, Demontieren von abschraubbaren Verschalungen)

Mittel: mit mittlerem Aufwand zu demontieren, (z. B. Herauslösen von Fußböden, Entfernen von eingegossenen Folienelementen)

Hoch: mit hohem Aufwand zu demontieren, (z. B. Abschlagen von gut anhaftenden Beschichtungen)

Sehr hoch: mit sehr hohem Aufwand zu demontieren“

Anhand von offenen und geschlossenen Systemen wird verdeutlicht, dass es neben den Bauteilverbindungen noch weitere Aspekte gibt, die die Demontagefähigkeit einer Gebäudestruktur beeinflussen. In geschlossenen Systemen werden alle erforderlichen Funktionen zu einem Bauteil zusammengefügt (siehe Abschnitt 4.3). Das führt dazu, dass alle Materialien und Bauteile aufeinander angewiesen sind, um die geforderte Funktion des Gesamtsystems zu erfüllen (vgl. Abb. 4.10). So entstehen Abhängigkeitsmuster, die in Form geschlossener Montagehierarchien gekennzeichnet sind (Abb. 4.19). Hingegen erlauben offene Systeme durch ihre unabhängige Montageabfolge, die Demontage einzelner Komponenten, ohne benachbarte Bauteile zu beeinflussen (Abb.4.19). Neben den Montagesequenzen kann nach [³⁴⁴] auch eine entsprechende Bauteilgeometrie zur Vereinfachung des Demontageprozesses führen (Abb. 4.25, 4.26).

³⁴¹ Vgl. Schneider/Böck/Mötzl 2010, 190.

³⁴² Vgl. Kühn 2000, 105.

³⁴³ Vgl. DGNB (Hg.): Kriteriensteckbrief Nr. 42 2012, 4.

³⁴⁴ Vgl. Durmisevic 2010, 173-174.

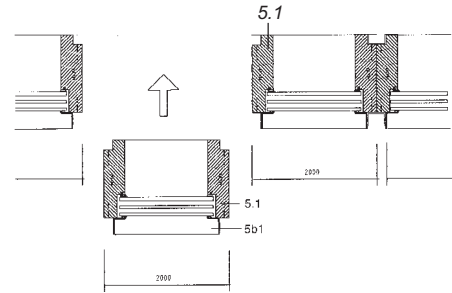
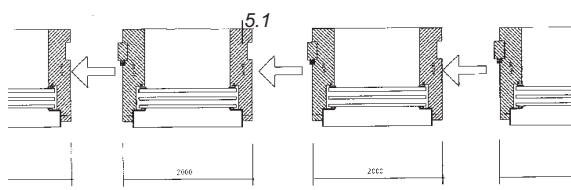


Abbildung 4.25: Einfluss der Fügstellengeometrie auf die Montageabfolge - sequentiellen Montageabfolge³⁴⁵ (links)

Abbildung 4.26: Einfluss der Fügstellengeometrie auf die Montageabfolge - parallele Montageabfolge³⁴⁶ (rechts)

Das geschlossene Abhängigkeitsmuster in Abb. 4.25 wird durch eine geringfügige Änderung der Pfostenprofile (Geometrie) zu einem offenen Muster umgewandelt (Abb. 4.26). Dies führt von einer sequentiellen Montageabfolge zu einer parallelen Montage³⁴⁷.

Folgende Indikatoren können nach [348 349] genannt werden, die eine demontagegerechte Integration der Gebäudekomponenten bestimmen:

- Geometrie der Fügstellen
- Montageablauf/ Montagereihenfolge
- Art der Verbindungen
- Lebenszyklusbetrachtung der eingesetzten Komponenten
- Zugänglichkeit der Verbindungen
- Reduktion und Vereinheitlichung der Verbindungsmittel

4.4.1. Geometrie der Fügstellen

Unter Fügstellen werden Schnittstellen verschiedenster Art zwischen einzelnen Bauteilen und Bauteilgruppen bezeichnet³⁵⁰. Im nachfolgenden Abschnitt erfolgt eine Unterscheidung der Fügstellen nach geometrischen Gesichtspunkten. Der Fokus bei der Gestaltung der Fügstellen sollte dabei in der Betrachtung der Montage- bzw. Demontageabläufe liegen³⁵¹. In Abb. 4.25 und 4.26 wird deutlich, dass die Montageabfolge durch die Geometrie der Fügstellen beeinflusst wird.

Eine Unterscheidung der Fügstellengeometrie hinsichtlich ihrer Demontagetauglichkeit wird nach [352 353] wie folgt vorgenommen:

³⁴⁵ Vgl. Durmisevic 2010, 193.

³⁴⁶ Ebda., 193.

³⁴⁷ Vgl. Ponn/Lindemann 2008, 215.

³⁴⁸ Vgl. Durmisevic 2010, 173.

³⁴⁹ Vgl. Schneider/Böck/Mötzl 2010, 190.

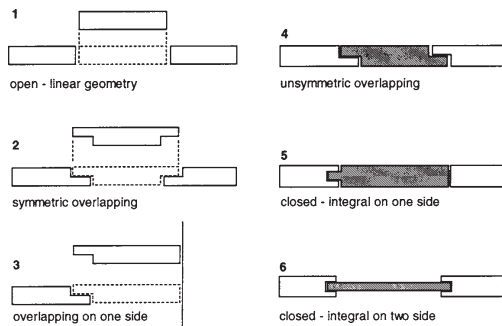
³⁵⁰ Vgl. Ponn/Lindemann 2008, 216.

³⁵¹ Vgl. Ponn/Lindemann 2008, 216.

³⁵² Vgl. Brenner 2010, 60.

³⁵³ Vgl. Durmisevic 2010, 174.

- Offene Geometrie
- Geschlossene Geometrie



1. Offene Geometrie
2. Symmetrisch überlappend
3. Einseitig überlappend
4. Asymmetrisch überlappend
5. Geschlossen einseitig eingebaut
6. Geschlossen beidseitig eingebaut

Abbildung 4.27: Geometrie der Fügestellen

Geschlossene oder sich gegenseitig durchdringende Verbindungs-Geometrien sollten vermieden werden, da sie nur eine sequentielle Demontageabfolge erlauben (Abb. 4.27 rechte Spalte). Im schlimmsten Fall können hier einzelne Komponenten nur durch die Zerstörung der Konstruktion entfernt werden. Hingegen erlauben offene Geometrien das Entfernen einzelner Bauteile, ohne die benachbarten Teile samt ihren Verbindungselementen zu beeinträchtigen (Abb. 4.27 linke Spalte). Am Beispiel eines Fenstereinbaudetails (Abb. 4.28 und 4.29) wird eine offene und geschlossene Bauteilgeometrie demonstriert.



Abbildung 4.28: Überlappende Geometrie am Beispiel eines Fenstereinbaudetails³⁵⁴ (links)

Abbildung 4.29: Einbau eines Fensters über eine geschlossene Verbindungsgeometrie³⁵⁵ (rechts)

4.4.2. Montageablauf

Unter dem Begriff „Design for Disassembly“ wird die Demontagefähigkeit einer Gebäudestruktur als Schlüsselfaktor für die Recyclingfähigkeit von Materialien und Bauwerkskomponenten bezeichnet. Die Demontagefähigkeit eines Bauwerkes gewährleistet dabei nicht nur die Zerlegung der gesamten Struktur, sondern vor allem auch das Entfernen und Tauschen von einzelnen Teilen der Struktur gemäß ihrer Austauschzyklen, ohne diese und benachbarte Teile zu beeinträchtigen.

³⁵⁴ Kaufmann 2002, 615.

³⁵⁵ Meesvisser Architekten 2016, 45.

Da die für die Recyclingfähigkeit eines Bauwerkes entscheidende Demontage in umgekehrter Weise der Montage entspricht, fällt die Art, wie ein Gebäude zusammengebaut wird, besonders ins Gewicht³⁵⁶.

Für den Zusammenbau einer Struktur werden grundsätzlich [³⁵⁷] zwei Montagesequenzen unterschieden:

- Parallele Montage
- Sequentielle Montage

Parallele Montagesequenzen sind dadurch gekennzeichnet, dass ein paralleles, also gleichzeitiges Verbauen mehrerer Komponenten ermöglicht wird. Hingegen folgt in sequenziellen Montageabfolgen immer nur ein Montageschritt auf den anderen. Auf Basis dieser beiden Prinzipien werden nach [³⁵⁸] fünf Montagebeziehungen unterschieden:

³⁵⁶ Vgl. VDI 1089 1993, 47.

³⁵⁷ Vgl. Ponn/Lindemann 2008, 214-215.

³⁵⁸ Vgl. Durmisevic 2010, 174-176.

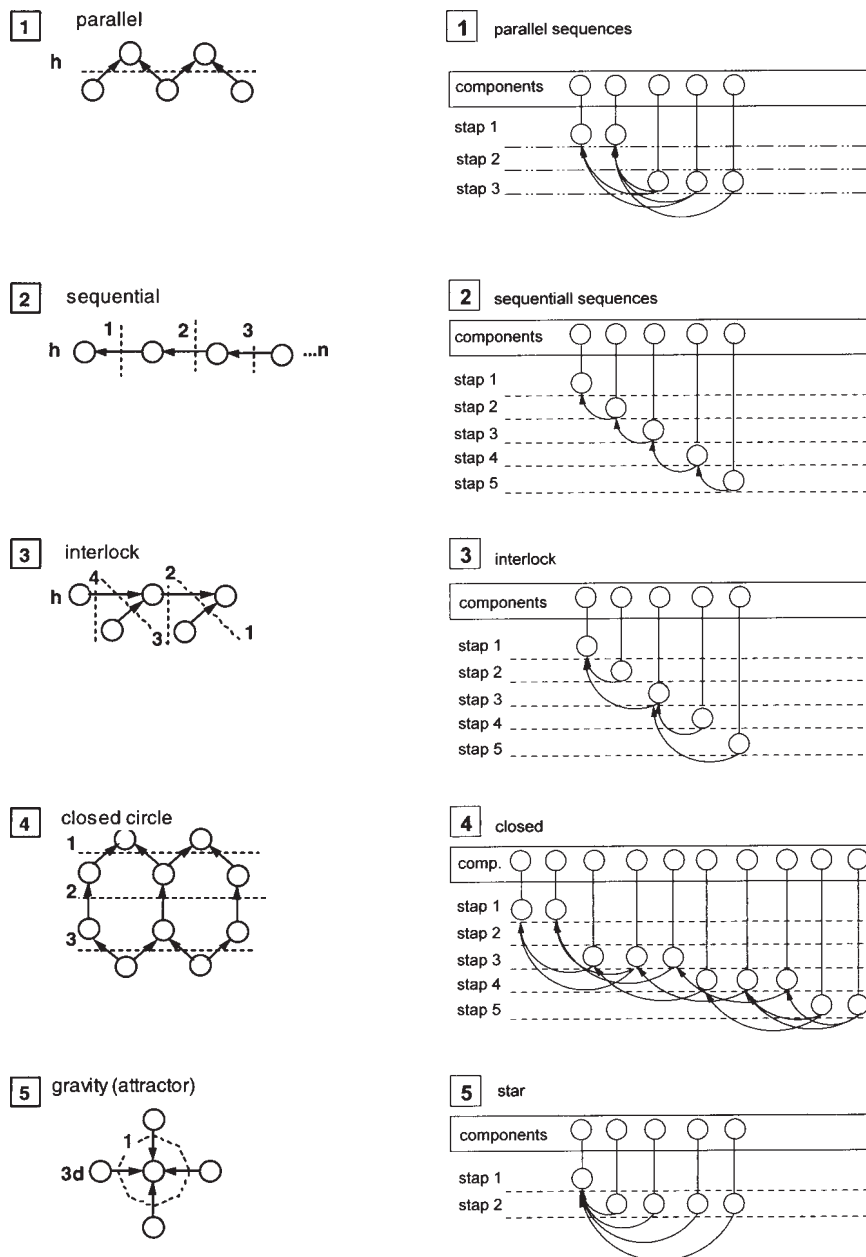


Abbildung 4.30: Abhängigkeitsmuster in Folge unterschiedlicher Montageabfolgen

Das wesentliche Unterscheidungsmerkmal der dargestellten Montageabfolgen liegt darin, in welchem Verhältnis die Elemente zueinanderstehen. Dabei lassen sich alle Abhängigkeitsmuster nach dem Prinzip der parallelen und sequenziellen Montageabfolge beschreiben. Letztere zeichnet sich dadurch aus, dass jede Komponente durch die nächste fixiert wird und dadurch ein Abhängigkeitsverhältnis zwischen den Komponenten entsteht (Abb. 4.30-2). Eine Demontage einzelner Komponenten gemäß ihren Austauschzyklen ist kaum möglich, ohne die benachbarten, in Beziehung stehenden Teile zu beeinträchtigen. Eine parallele Montageabfolge hingegen erlaubt das Verbauen und Tauschen einzelner Komponenten, ohne die anderen zur Struktur gehörenden Komponenten zu beeinflussen (Abb. 4.30-1). Dadurch entsteht

eine offene Abhängigkeit, die bei einer späteren Demontage einer geschlossenen Abhängigkeit vorzuziehen ist³⁵⁹. Abb. 4.30-3 zeigt eine Verschachtelung einzelner Komponenten in der Montageabfolge. Die dadurch entstehende Abhängigkeit ist mit jener gemäß Abb. 4.30-2 zu vergleichen. Eine Kombination zwischen paralleler und sequenzieller Montage wird unter Abb. 4.30-4 ersichtlich. In Abb. 4.30-5 erfolgt die Montage der Elemente entlang eines Basisbauteils. Eine Abhängigkeit zwischen den Elementen ist nicht gegeben.

4.4.3. Auswahl der Verbindungen

Demontagegerechte Strukturen eröffnen die Möglichkeit, ihre Komponenten entsprechend ihrer unterschiedlichen Lebenszyklen zu tauschen. Jedes Bauwerk setzt sich aus einem hierarchischen Gefüge unterschiedlichster Komponenten zusammen, die über ihre Verbindungen in definierter Beziehung stehen³⁶⁰. Daher sollte vor allem bei Bauteilen unterschiedlicher Lebensdauer darauf geachtet werden, dass ihre Fügung einen zerstörungsfreien Austausch erlauben. Besonders für den Recyclingprozess spielt das Auflösen dieser Verbindungen eine entscheidende Rolle.

Um die richtige Auswahl der Verbindungsarten zu treffen, sind zunächst nach [³⁶¹ ³⁶²] folgende Fragen zu klären:

- Auf welcher hierarchischen Ebene, gemäß Abb. 3.3 in der Baustruktur, soll die Verbindung im Zuge der Demontage gelöst werden?
- Erfolgt die Demontage auf der Baustelle oder unter kontrollierten Bedingungen im Werk?
- Welchen Verwertungsverfahren werden die zu demontierenden Teile im Anschluss zugeführt?

Je höher sich die Verbindung in der Hierarchie der Strukturebenen innerhalb einer Nutzungseinheit einreicht, desto größer wird auch die Anforderung an die Lösbarkeit des Verbindungsmittels³⁶³ (Abb. 4.31). Bei Beziehungen zwischen zwei Nutzungseinheiten steigt mit zunehmender Höhe der Verbindungen in der Montagehierarchie auch die Anzahl der Komponenten, die bei einer Demontage entfernt werden müssen, um die jeweilige Verbindung zu erreichen³⁶⁴ (Abb. 4.21).

Um die Wechselwirkung zwischen den jeweiligen Strukturebenen und der Auswahl der Verbindungsarten zu erläutern, muss im Vorfeld ein Überblick über das Prinzip der Verwertungskompatibilität der eingesetzten Materialien gegeben werden.

³⁵⁹ Vgl. Brenner 2010, 56.

³⁶⁰ Vgl. El khouli/John/Zeumer 2014, 64.

³⁶¹ Vgl. Brenner 2010, 57-59.

³⁶² Vgl. Jäger, Masou u.a. (Hg.) 2013, 20-22.

³⁶³ Vgl. VDI 2243 1991, 15-16.

³⁶⁴ Vgl. Durmisevic 2010, 170.

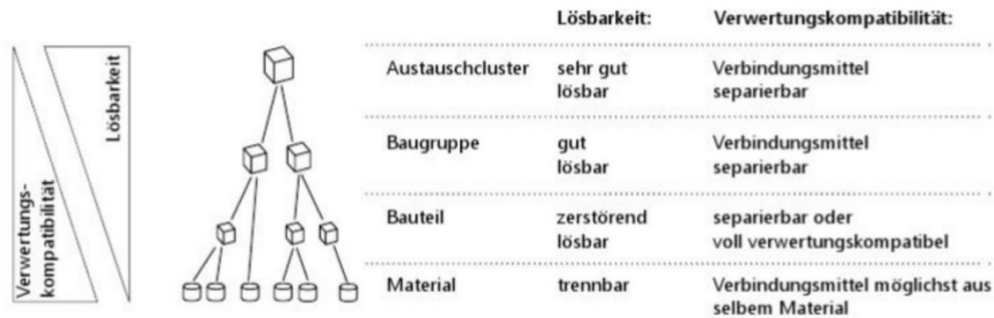


Abbildung 4.31: Anforderungen an Verbindungen in Abhängigkeit des hierarchischen Gefüges³⁶⁵

Verwertungskompatibilität:

Gemäß dem Prinzip der stofflichen Verwertung sollte jede Komponente eines Bauwerkes in möglichst sortenreine Bestandteile zerlegt werden³⁶⁶. Demnach müssten auch alle Verbindungen innerhalb einer Komponente lösbar gestaltet sein. Diese Vorgehensweise scheint aber weder aus wirtschaftlicher Sicht noch aus Sicht der heutigen Verwertungsverfahren zielführend³⁶⁷. Kenntnisse über die gängigen Verwertungsverfahren zeigen, dass auch bestimmte Materialkombinationen, die im Zuge des Demontageprozesses nicht in sortenreine Bestandteile zerlegt werden, einem Recyclingverfahren zugeführt werden können.

Abb. 4.32 nach [368] gibt einen groben Überblick über die Verträglichkeit gängiger Baumaterialien im Recyclingprozess. Durch die Kombination von Materialien einer Stoffklasse oder Verbundwerkstoffen aus verwertungskompatiblen Materialien entstehen Materialeinheiten, die eine gemeinsame Verwertung mit gängigen Recyclingmethoden erlauben. Diese Verwertungseinheiten bilden die kleinste Einheit im Recyclingprozess und müssen nicht weiter separiert werden³⁶⁹. Um Materialzusammenschlüsse als Verwertungseinheiten zu gestalten, bedarf es einer genauen Kenntnis der gängigen Verwertungsverfahren, der eingesetzten Materialien und deren Kombinationsmöglichkeiten.

Bei nicht verwertungskompatiblen Materialzusammenschlüssen hat sich gezeigt, dass gut zerlegbare Konstruktionen mit separierbaren Materialien auch bei großer Materialvielfalt als recyclingfähig gelten³⁷⁰. Folglich lassen sich aus der Wechselwirkung zwischen der Materialverträglichkeit in der Verwertung und einer möglichen Separierbarkeit der Materialien zwei grundsätzliche Lösungswege unterscheiden, die für die Auswahl der Verbindungsarten entscheidend sind:

- Die eine Möglichkeit besteht darin, Komponenten wie Bauteile oder Bauteilgruppen als Verwertungseinheit zu gestalten,
- die zweite Möglichkeit liegt in der Gestaltung von Gebäudekomponenten aus leicht separierbaren Materialien.

³⁶⁵ Brenner 2010, 57.

³⁶⁶ Vgl. Scheibengraf/Reisinger 2005, 35-42.

³⁶⁷ Vgl. Schneider/Böck/Mötzl 2010, 61-62.

³⁶⁸ Vgl. Brenner 2010, 62.

³⁶⁹ Ebda., 62-63.

³⁷⁰ Vgl. Schneider/Böck/Mötzl 2010, 191.

Überschusskomponente →	Beton	Stahl	Flachglas	Gips	Holz (unbehandelt)	Kunststoff (Schaum)
Beton	Monostoffbauteil	Gut separierbar, recycling Technologien für Stahl und Beton vorhanden	kaum separierbar, keine Recyclingtechnologie vorhanden	kaum separierbar, keine Recyclingtechnologie vorhanden	schwer separierbar, Downcyclingtechnologien vorhanden	schwer separierbar, keine Recyclingtechnik vorhanden
Stahl	Gut separierbar, Recyclingtechnologien für Stahl und Beton vorhanden	Monostoffbauteil	gut separierbar, Glas recycelbar (nur eingeschr. wieder als Flachglas)	Separierbar, Recyclingtechnologie für Gips und Stahl vorhanden	gut separierbar, Recyclingtechnologien vorhanden	Separierbar, kaum Recyclingtechnologien vorhanden
Flachglas	Schwer separierbar, nur Downcycling möglich	Gut separierbar, Recyclingtechnologien für Stahl und Glas vorhanden	Monostoffbauteil	kaum separierbar	separierbar, eingeschränkt Downcyclingtechnologien vorhanden	Separierbar, kaum Recyclingtechnologie vorhanden
Gips	Gips ist ein Störstoff im Betonabbruch, nur sehr geringe Mengen zulässig wegen Sulfatreiben	Gut separierbar, Recyclingtechnologien für Stahl und Gips vorhanden	kaum separierbar, keine Recyclingtechnologie vorhanden	Monostoffbauteil	schwer separierbar, Gips stört stoffliches Recycling und Verbrennen	schwer separierbar, keine Recyclingtechnologie vorhanden
Holz (unbehandelt)	Kleine stark verschmutzte Holzteile sind mitunter schwer trennbar. Großformatige Holzreste unproblematisch	Gut separierbar, Recyclingtechnologien für Stahl und Holz vorhanden	teilweise separierbar, Holz ist Störstoff in Glasproduktion, Downcycling möglich	schwer separierbar, eingeschränkte Technologien vorhanden	Monostoffbauteil	Separierbar, kaum Recyclingtechnologie vorhanden
Kunststoff (Schaum)	Schwer separierbar, bei sehr geringem Kunststoffanteil Downcycling möglich	teilweise trennbar, Kunststoff verbrennt beim Einschmelzen	teilweise separierbar, Kunststoff schmilzt im Produktionsprozess, Downcycling mögl.	schwer separierbar, keine Technologien zum Recycling vorhanden	schwer separierbar, Kunststoff stört stoffliches Recycling, nur Verbrennen möglich	Monostoffbauteil (technisch recycelbar, kaum realisiert)

 verträglich, gut recycelbar
 eingeschränkt verträglich, Downcycling möglich
 unverträglich, kein Recycling möglich

Abbildung 4.32: Überblick der Verwertungskompatibilität unterschiedlicher Materialkombinationen

Folgende Verbindungen innerhalb der unterschiedlichen Strukturebenen können nach [371] unterschieden werden:

Verbindungen zwischen gemeinsam recyclingfähiger Materialien:

Materialien und deren Verbindungen innerhalb einer Verwertungseinheit werden so gewählt, dass sie einem gemeinsamen Verwertungsverfahren zugeführt werden können. Je weiter unten sich die Verbindungen in der Gebäudehierarchie einreihen, desto wichtiger wird auch die Verwertungskompatibilität der Verbindungsmittel (Abb. 4.31). Die Lösbarkeit der Verbindung ist nicht erforderlich, solange diese den Recyclingprozess nicht negativ beeinflussen. Verbindungen auf Ebene der Verwertungseinheiten werden üblicherweise in Aufbereitungsanlagen gelöst. Besteht eine Verwertungseinheit aus mehreren Bauteilen oder Bauteilgruppen mit unterschiedlichen Austauschzyklen, sind die Verbindungen zwischen den Einheiten lösbar zu gestalten³⁷².

³⁷¹ Vgl. Brenner 2010, 59.

³⁷² Vgl. VDI 1089 1993, 57.

Verbindungen auf Bauteilebene:

Bauteile, die nicht aus gemeinsam recyclingfähigen Materialien bestehen, müssen in verwerkungs-kompatible Einheiten zerlegbar sein. Ist eine Gestaltung solcher Einheiten nicht möglich, müssen die Materialien der Bauteile trennbar miteinander verbunden sein. Dabei sollten die Verbindungen eine Demontage ermöglichen, bei der die Verbindungsmittel und Bauteile möglichst unbeschädigt wiederverwendbar bleiben³⁷³.

Verbindungen auf Ebene der Bauteilgruppen:

Auf Ebene der Bauteilgruppen erfolgen üblicherweise der Austausch und die Instandhaltung einzelner Gebäudekomponenten. Diese Arbeiten werden üblicherweise vor Ort durchgeführt. Um eine Optimierung der Austauschzyklen zu gewährleisten, sollten die Verbindungen zwischen den Gebäudeteilen auf dieser Ebene reversibel gestaltet sein³⁷⁴.

Einfluss der Verbindungsarten auf die Wirtschaftlichkeit des Demontageprozesses

Aus heutiger Sicht wird das Recycling von Baustoffen vorwiegend von wirtschaftlichen Rahmenbedingungen bestimmt³⁷⁵ (Abb. 4.33). Der erforderliche Aufwand zur Aufbereitung bestimmter Materialfraktionen wird dabei immer im Verhältnis zum Gewinn betrachtet. Eine höhere Sortenreinheit kann durch eine zunehmende Demontagetiefe erzielt werden, die jedoch zur Erhöhung der Demontageskosten führen. Dabei erfolgt die Ermittlung der Demontageskosten „aus dem Stundensatz und den Demontagezeiten aller zum Ausbau des Demontageobjekts zu trennenden Verbindungen.“³⁷⁶ Hieraus wird deutlich, welchen Einfluss die Verbindungsart auf die Wirtschaftlichkeit des Demontageprozesses nimmt.

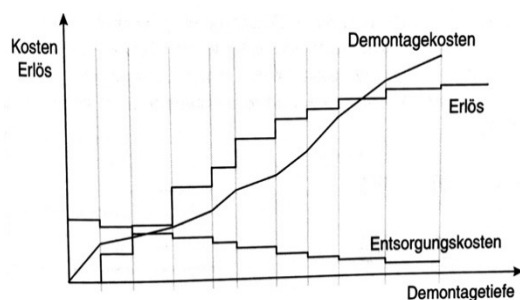


Abbildung 4.33: Einfluss der Verbindungen auf die Wirtschaftlichkeit des Demontageprozesses

Zugänglichkeit der Verbindungen:

Um eine einfache Wartung und Demontage zu ermöglichen, sollten Gebäudeteile und deren Verbindungen zugänglich gestaltet werden. Dies kann durch eine entsprechende Anordnung der Schichten gemäß ihrer Dauerhaftigkeit erfolgen (siehe Abschnitt 4.5). Die Erkennbarkeit und Lösbarkeit der Verbindungsstellen kann dabei einen zerstörungsfreien Tausch der Komponenten samt ihren Verbindungsmitteln am Ende ihrer Lebenszyklen unterstützen³⁷⁷. Folglich sollte die Funktionsfähigkeit der Verbindungen über die gesamte Lebensdauer und darüber hinaus gewährleistet werden.

³⁷³ Vgl. VDI 2243 1991, 15.

³⁷⁴ Vgl. VDI 1089 1993, 57.

³⁷⁵ Kühn 2001, 76-77.

³⁷⁶ Ebda., 76.

³⁷⁷ Vgl. VDI 1089 1993, 53-57.

Reduktion und Vereinheitlichung der Verbindungsmittel:

Durch die Reduktion und Vereinheitlichung der Fügstellen kann der Arbeitsaufwand bei der Demontage reduziert werden. In der Automobilindustrie kommen Fügetechniken zur Anwendung, die eine Rationalisierung der Demontageprozesse erlauben. Dabei kommen standardisierte Verbindungstypen zum Einsatz, die eine geringe Anzahl von Demontagemethoden und Spezialwerkzeugen erfordern³⁷⁸.

4.4.4. Verbindungsarten

Der vorangegangene Abschnitt gibt einen Überblick über jene Faktoren, die bei der Gestaltung und Beurteilung demontagegerechter Verbindungen zu beachten sind. Der Schlüssel der konstruktiven Überlegung nach [³⁷⁹] liegt in der Eigenschaft einer Verbindung, Folgendes zu erlauben:

- Das Auseinandernehmen
- Das Ersetzen
- Das Hinzufügen
- Das Entfernen

Das bedeutet, dass die Demontagefähigkeit eines Gebäudes nicht allein durch die Auflösung der gesamten Struktur bestimmt wird, sondern diese auch durch das Hinzufügen, Entfernen und Ersetzen einzelner Teile der Struktur angepasst und verändert werden kann.

Gemäß diesen Eigenschaften können Verbindungen in einer hierarchischen Reihenfolge von lösbaren Verbindungen zu permanenten Verbindungen kategorisiert werden³⁸⁰ (Abb. 4.36). Eine Definition des Begriffes Verbindungen wird in der VDI 2232 folgendermaßen beschrieben:³⁸¹

„Verbindungen sind Zusammenschlüsse von zwei oder mehreren widerstandsfähigen Körpern (bzw. den beiden Enden eines Körpers), die eine Trennung der Körper auch unter Betriebskräften verhindern. Sie können in bewegliche und feste Verbindungen unterteilt werden, je nachdem, ob an der Verbindungsstelle eine Relativbewegung der Partner mindestens in einem Richtungssinn möglich ist oder nicht. Die Relativbewegung bezieht sich nicht auf eventuelle elastische Verformungen, Wärmedehnungen, Quellungen usw.“

Im Zusammenhang einer Gebäudekonstruktion werden Verbindungen immer in ein statisches System eingebunden. In diesem Kontext wird ihnen die Aufgabe der Kraftübertragung zugewiesen. Das Weiterleiten von Kräften äußert sich dabei in der Anzahl der Bewegungen (Freiheitsgrade), die eine Verbindung ermöglicht³⁸². Je nach Bewegungsfreiheit an der Verbindungsstelle kann nach [³⁸³] zwischen festen und beweglichen Verbindungen unterschieden werden (Abb. 4.34).

³⁷⁸ Vgl. VDI 1089 1993, 53-57.

³⁷⁹ Vgl. Durmisevic 2010, 178.

³⁸⁰ Vgl. Jäger, Masou u.a. (Hg.) 2013, 20.

³⁸¹ VDI 2232 2004, 3-5.

³⁸² Vgl. Moro, Rottner u.a. (Hg.) 2009, 48.

³⁸³ Ebda., 2009, 48.

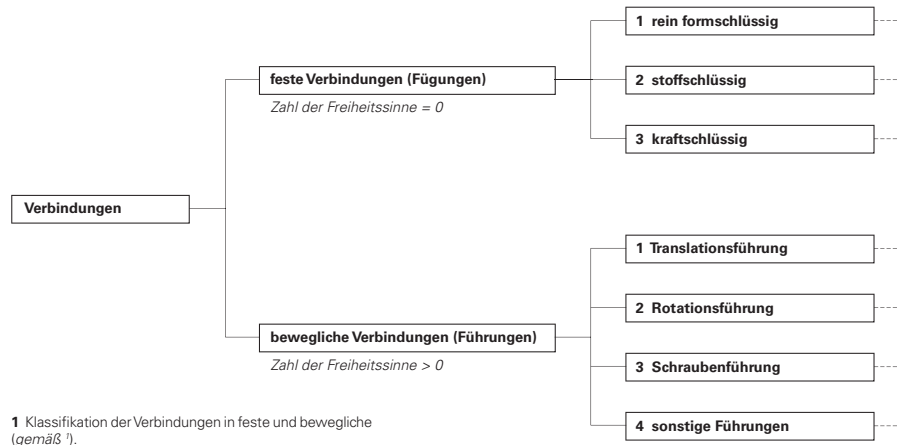


Abbildung 4.34: Klassifizierung von Verbindungen

In der gegenständlichen Arbeit erfolgt eine Betrachtung der Fügung ausschließlich unter den Gesichtspunkten fester Verbindungen. Je nach dem Prinzip der Kraftübertragung an den Berührflächen wird eine Unterscheidung fester Verbindungen nach drei Schlussarten vorgenommen³⁸⁴ (Abb. 4.34):

Formschluss:

Bei einer formschlüssigen Verbindung wird der Verbund auf Grund der Fügegeometrie gehalten. Nach Abb. 4.36 werden unter dieser Schlussart alle Schnapp- und Klippverbindungen gelistet. Weiteres finden sich unter dieser Kategorie auch Verbindungspartner, die über Stifte und Niete sowie durch Schraub-, Spann-, und Drehverschlüsse gehalten werden.

Kraftschluss:

Bei kraftschlüssigen Verbindungen erfolgt der Schluss über eine Haftreibung der berührenden Flächen beider Verbindungspartner. Diese Haftreibung wirkt als Gegenkraft zur auftretenden Normalkraft und verhindert dadurch das Verrutschen der beiden verbundenen Flächen. Dieser sogenannte Reibschluss wird in der Regel über zusätzliche Verbindungsteile erzeugt. Nach Abb. 4.36 erfolgt eine Kategorisierung in Nagel-, Magnet-, Klett- und Schraubverbindungen.

Stoffschluss:

Stoffschlüssige Verbindungen entstehen durch eine Stoffvereinigung beider Verbindungspartner an ihren Grenzflächen. Dabei entsteht die Verbundwirkung durch die gleichen elektromagnetischen Molekularkräfte wie auch der Stoffzusammenhalt im Werkstoff der zu fügenden Teile. Dazu zählen nach Abb. 4.36 Klebe-, Schweiß- und Lötverbindungen.

Um die Eignung der Bauteilverbindungen für den Demontageprozess aufzuzeigen, erfolgt nach Abb. 4.35 eine Betrachtung der unterschiedlichen Schlussarten entsprechend ihrer Demontagefähigkeit von unlösbaren bis lösbaren Verbindungen³⁸⁵:

³⁸⁴ Vgl. Moro, Rottner u.a. (Hg.) 2009, 50-55.

³⁸⁵ Vgl. Durmisevic 2010, 177-179.

Stoffschlüssige Verbindungen werden als unlösbare Verbindungen kategorisiert. Da diese über ihren Schluss in direkter Abhängigkeit stehen, führt das Lösen der Verbindung oft unweigerlich zur Zerstörung der beiden Partner. Die Möglichkeit einer Wiederverwendung der Teile ist somit nicht gegeben. Ein Verwerten der Materialien ist, je nach Möglichkeiten, in Abhängigkeit der Stoffzusammensetzung zu prüfen. Die Unabhängigkeit und Austauschbarkeit der Teile ist somit nicht gegeben³⁸⁶ (Abb. 4.35 – I, III).

Die Betrachtung formschlüssiger Verbindungen erfolgt nach Abb. 4.35 – II. Die Lösbarkeit richtet sich im Wesentlichen nach der Geometrie der Fügestelle und der Bewegungsmöglichkeit der beiden Verbindungspartner. Im Fall der Zapfenverbindung erfolgt die Kraftübertragung über den Kontakt ihrer Berührflächen. Die Demontage erfolgt genau in umgekehrter Richtung. Die Fügegeometrie gestattet somit nur eine sequenzielle Montage- bzw. Demontageabfolge. Ein Herauslösen der Teile ist nicht möglich, ohne die benachbarten, in direkter Abhängigkeit stehenden Teile zu beeinträchtigen. Im Fall der Zapfenverbindung wird das Herauslösen die Teile zerstören und somit ein Wiederverwenden dieser unmöglich machen.

Verbindungen in Folge des Kraftschlusses werden grundsätzlich als gut lösbar bezeichnet. Die Separierbarkeit hängt insbesondere von der Positionierung der zusätzlichen Verbindungsteile sowie von der Materialität und Geometrie der Fügstellen ab. (Abb. 4.35 – IV-VII). Im Gegensatz zu außen angeordneten Verbindungen verursachen innenliegende meist eine Abhängigkeit der Verbindungspartner (Abb. 4.35 – V). In diesem Fall wird zum Lösen der Verbindung eine sequentielle Demontageabfolge erforderlich. Hingegen gewährleisten zugängliche Anschlussdetails mit zusätzlichen Verbindungselementen die Separierbarkeit der Teile (Abb. 4.35 – VII).















	type of connection	graphic representation	dependence in assembly
fixed	 I Direct chemical connection two elements are permanently fixed (no reuse, no recycling)		$m1 \text{---} e12$
	 II direct connections between two pre-made components two elements are dependent in assembly/ disassembly (no component reuse)		$e11 \rightarrow e12$
	 III indirect connection with third chemical material two elements are connected permanently with third material (no reuse, no recycling)		$e11 \xrightarrow{m1} e12$
	 IV direct connections with additional fixing devices two elements are connected with accessory which can be replaced. If one element has to be removed than whole connection needs to be dismantled		$e11 \begin{matrix} \nearrow c1 \\ \searrow e12 \end{matrix}$
	 V indirect connection via dependent third component two elements/components are separated with third element/component, but they have dependence in assembly (reuse is restricted)		$e11 \rightarrow c1 \rightarrow e12$
	 VI indirect connection via independent third component there is dependence in assembly/ disassembly but all elements could be reused or recycled		$e11 \begin{matrix} \nearrow c1 \\ \searrow e12 \\ \nearrow c2 \\ \searrow e12 \end{matrix}$
	 VII indirect with additional fixing device with change of one element another stays untouched all elements could be reused or recycled		$e3 \rightarrow C \leftarrow e1$ $e2 \uparrow$
flexible			

Abbildung 4.35: Demontagefähigkeit unterschiedlicher Schlussarten

³⁸⁶ Vgl. Durmisevic 2010, 156-157.

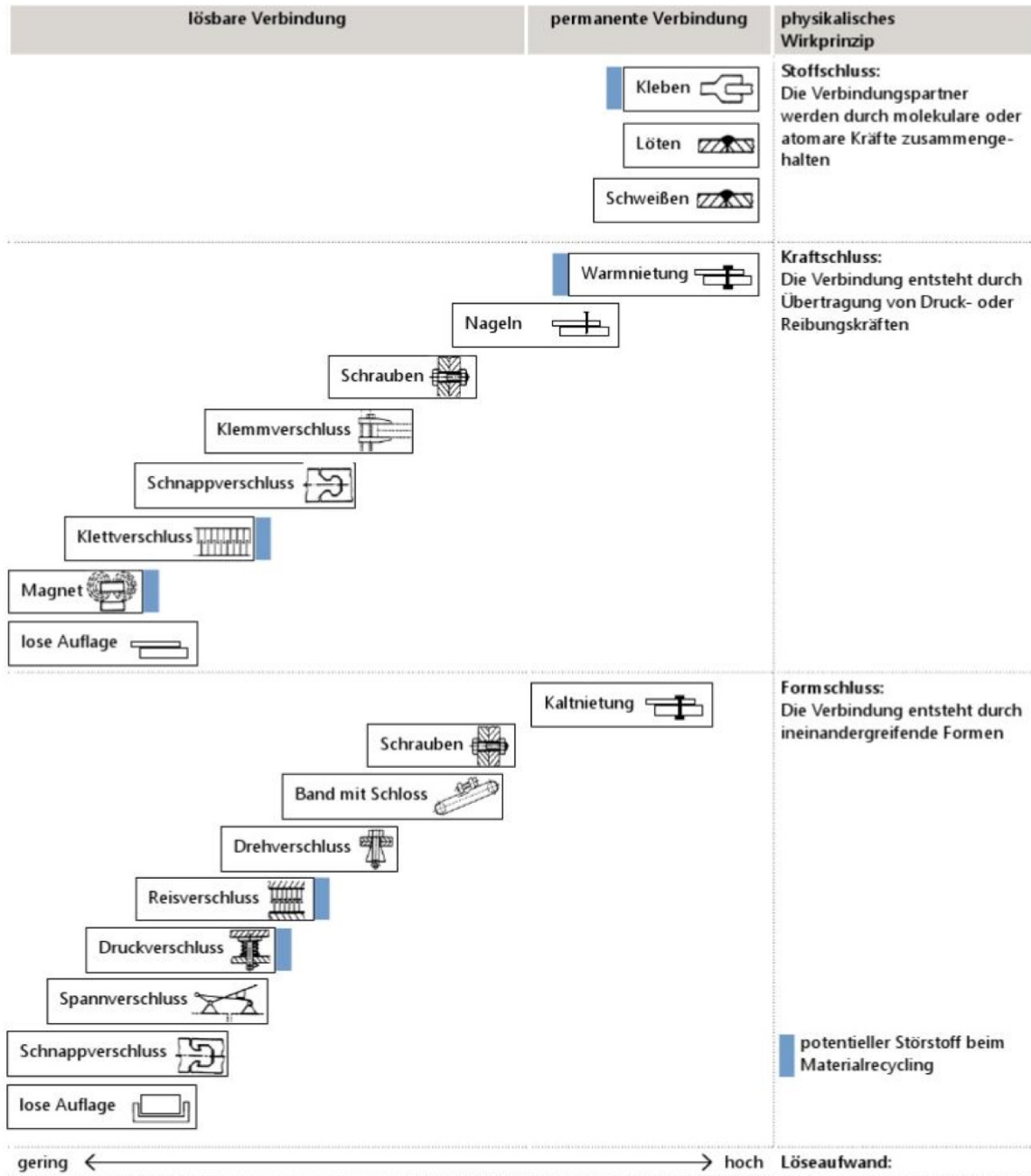


Abbildung 4.36: Wirkungsprinzipien und Lösbarkeit von Bauteilverbindungen³⁸⁷

³⁸⁷ Brenner 2010, 58.

4.5. Lebenszyklusbetrachtung

Einen weiteren Aspekt bei der Planung demontagefähiger Strukturen stellt die Integration von Bauteilen unter Berücksichtigung ihrer Lebenszyklen dar. Bauwerke bestehen aus einer Vielzahl von Bestandteilen mit unterschiedlicher Lebensdauer, deren Austausch am Ende ihrer Lebenszyklen erforderlich wird³⁸⁸. Aus diesem Grund sollten Materialien so verbaut werden, dass ein Tauschen ohne Beeinträchtigung und Zerstörung anderer Teile möglich wird. Durch eine „Entflechtung“ des Beziehungsgefüges im strukturellen Aufbau (vgl. Abschnitt 4.2) kann eine Trennung in kurzlebigen- und langlebigen Einheiten entsprechend ihrer Instandhaltungs- und Austauschzyklen erreicht werden^{389, 390}. Demnach sollten Bauteile und Materialien, die einen längeren Lebenszyklus und eine größere Abhängigkeit in der Struktur aufweisen, zuerst zusammengebaut und zuletzt auseinandergelöst werden. Bestandteile mit kürzeren Austauschzyklen und geringeren Abhängigkeiten werden zum Schluss verbaut und zuerst demontiert³⁹¹.

Die Lebenszyklusbetrachtung in Abhängigkeit des Montage- bzw. Demontagezeitpunktes, wird nach [392] durch die Unterscheidung zwischen symmetrischen und parallelen Diagrammen verdeutlicht (Abb. 4.37):

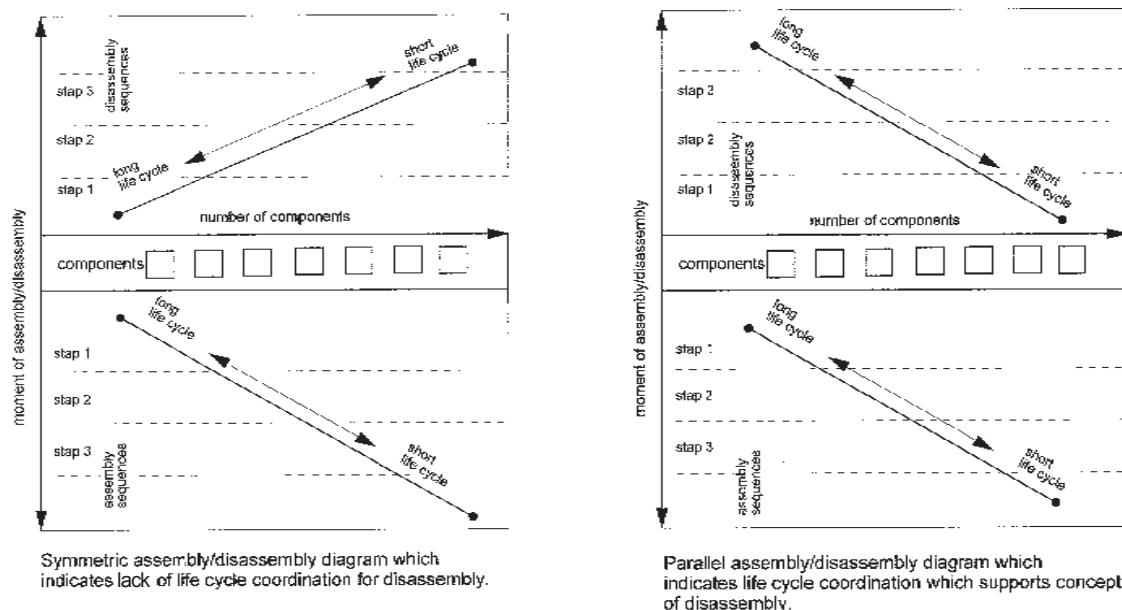


Abbildung 4.37: Lebenszyklusbetrachtung in Abhängigkeit des Montage- bzw. Demontagezeitpunktes anhand eines symmetrischen- und parallelen Diagramms

Symmetrische Diagramme zeigen Montageabfolgen, bei denen die Montage langlebiger Komponenten zuerst stattfindet und bei einer Demontage auch vorab wieder auseinandergelöst werden. Im Falle einer Abhängigkeit der darauffolgenden Komponenten müssen diese bei einer Demontage ebenfalls auseinandergelöst werden, um die zu tauschende Komponenten zu erreichen (Abb. 4.37 links). Im Idealfall sollte daher die Demontage der Komponenten mit langem Lebenszyklus zuletzt stattfinden (Abb. 4.37 rechts).

³⁸⁸ Vgl. Hegger, Fuchs u.a. (Hg.) 2008, 32-33.

³⁸⁹ Vgl. Schneider/Böck/Mötzl 2010, 188.

³⁹⁰ Vgl. El khoul/John/Zeumer 2014, 64.

³⁹¹ Vgl. Durmisevic 2010, 179-180.

³⁹² Ebda., 180.

In der Praxis wird ein Anordnen der Schichten nach ihrer Dauerhaftigkeit folglich, nach dem zuvor genannten Prinzip, weder sinnvoll noch immer möglich sein. In diesem Fall wird die Zugänglichkeit der Komponenten oder der Einsatz lösbarer Verbindungen ein Austauschen ermöglichen. Ist nach wie vor kein Zugriff möglich, sind die einzelnen Bestandteile aufeinander abzustimmen, damit sich deren Lebenszyklen gegenseitig entsprechen und ein Austauschen als Ganzes erlauben³⁹³.

Um eine Optimierung der Austauschzyklen nach der Dauerhaftigkeit der Bestandteile vorzunehmen, sind nach [³⁹⁴] zwei Aspekte bei der Auswahl der Bauteile zu beachten – der Einsatz von Bauteilen, die sich über ihre Lebenszyklen unterscheiden und die Verwendung von Bauteilen, deren Funktion unterschiedliche Lebenszyklen aufweisen.

Um dies zu verdeutlichen, wird nach [³⁹⁵] eine Unterscheidung zwischen

- technischer Lebensdauer von Bauteilen und
- wirtschaftlicher Nutzungsdauer eines Gebäudes vorgenommen

Technische Lebensdauer von Bauteilen:

„Mit der technischen Lebensdauer eines Bauteiles ist der Zeitraum angesprochen, in dem dieses physisch zur Verfügung steht und den geforderten Eigenschaften ohne Einschränkungen entspricht. Die Bauteile bilden die Voraussetzung für die langfristige Nutzung eines Gebäudes insgesamt, so verleiht z. B. das Tragwerk dem Gebäude die Standfestigkeit. Andere Bauteile, z. B. die des Ausbaus, haben aufgrund der Abnutzung eine vergleichsweise kurze Lebensdauer. Sie müssen im Lebenszyklus eines Gebäudes ein- oder mehrmals ersetzt werden und sind damit in größerem Umfang Gegenstand der Instandhaltung.“³⁹⁶

Ein Auszug einiger Bauteile und deren Lebensdauer kann am Beispiel einer Zusammenstellung der BTE Arbeitsgruppe [³⁹⁷] verdeutlicht werden (Abb. 4.38).

³⁹³ Vgl. Brenner 2010, 56.

³⁹⁴ Vgl. Durmisevic 2010, 180.

³⁹⁵ Vgl. Kalusche 2004, 1-11.

³⁹⁶ Ebda., 2.

³⁹⁷ Vgl. Bund Technischer Experten e.V. (Hg.) 2008, 3/13.

BTE-Arbeitsgruppe
LEBENSDAUER VON BAUTEILEN

AGETHEN-FRAHM-RENN-THIEES

Bauteilgliederung	[3] Umfrage BTE			[4] Klocke			[5] IFB 2004			[6] Nutz-Katalog öbuv Öst.			[7] WertR			[8] Schmitz			[9] LB			[10] IEMB			[11] IFB-Umfrage WU		
	von	MW	bis	von	MW	bis	von	MW	bis	von	MW	bis	von	MW	bis	von	MW	bis	von	MW	bis	von	MW	bis	von	MW	bis
2.4.4																											
2.4.5				5		25																					
2.4.5.1							5	8	10								6	15		15			15	5		10	
2.4.5.2							5	8	10								6	15		20			20	5		10	
2.4.6									15								6	15		20			20			15	
2.4.7							5	8	10															5		10	
2.4.8							5	8	10															5		10	
2.5																											
2.5.1																											
2.5.1.1				40	50	60			80	50	60	70	80	100	31	41	50		70			50			80		
2.5.1.2				30	33	35			40	30	50	70	30	50	31	41	50		40			40			40		
2.5.1.3									80	40	50	60			31	41	50		45						80		
2.5.1.4									50	60	70								45				45				
2.5.1.5				40	45	50			40	30					31		50		25			50			40		
2.5.2																											
2.5.2.1				30	40	50			40	25		40							40			40			40		
2.5.2.2									40										25			25			40		
2.5.2.3									20										22			22			20		
2.5.3																											
2.5.3.1				40	50	60			80										100			80			80		
2.5.3.2				20	30	40			40	20									25			25			40		
2.5.3.3									40										25			25			40		
2.5.4																											
2.5.4.1									20										20			20			20		
2.5.4.2									10										12			12			10		
2.5.5																											
2.5.5.1							5		10	4		8												5	7,5 10		
2.5.5.2									5																5		
2.5.6																											
2.5.6.1				20	25	30			40	20	30	40	20	30	16	30			35						40		

Zusammenstellung bisheriger Veröffentlichungen

3/13

Abbildung 4.38: Auszug Lebensdauer von Bauteilen

Die Bemessung der technischen Lebensdauer von Bauteilen erfolgt unter Berücksichtigung zahlreicher Einflüsse nach Abb. 4.39. Damit die Bauteile den Einflüssen standhalten, werden ihre Eigenschaften durch eine Vielzahl an Regelwerken, Normen und Leistungsbeschreibungen bestimmt³⁹⁸.

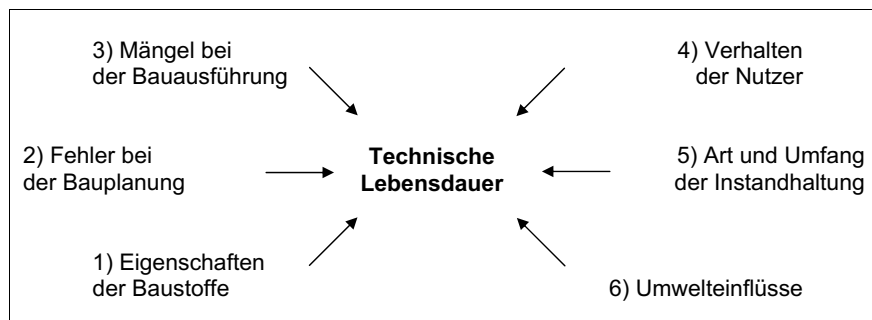


Abbildung 4.39: Einflüsse auf die technische Lebensdauer von Bauteilen

Wirtschaftliche Nutzungsdauer eines Gebäudes:

„Die wirtschaftliche Nutzungsdauer eines Gebäudes ist der Betrachtungszeitraum, welcher aus Sicht des Bauherrn vorab oder langfristig erforderlich ist, um

- eine Grundlage für eine Wirtschaftlichkeitsermittlung zu geben,
- die Erhaltung des Gebäudes zu planen,
- den Gebrauchswert des Gebäudes nachhaltig zu verbessern.“³⁹⁹

³⁹⁸ Vgl. Kalusche 2004, 3.

³⁹⁹ Ebda., 5.

Gemäß der Definition nach Kalusche wird die wirtschaftliche Nutzungsdauer eines Gebäudes ausschließlich durch wirtschaftlichen Zielsetzungen der Bauherren bestimmt.

Als Basiswert für die Planung eines Gebäudes wird von jener Nutzungsdauer ausgegangen, die sowohl den Zweck der Nutzung, als auch der Dauer der Finanzierung entspricht⁴⁰⁰.

Zur Veranschaulichung unterschiedlicher Nutzungsdauern von Gebäuden wird beispielhaft ein Auszug aus der Verkehrswertermittlung von Gebäuden herangezogen⁴⁰¹ (Abb. 4.40).

Einfamilienhäuser (entsprechend ihrer Qualität)	60 – 100 Jahre
Einfamilienhaus auch mit Einliegerwohnung	
Zwei- und Dreifamilienhaus	
Reihenhaus (bei leichter Bauweise kürzer)	
Fertighaus in Massivbauweise	60 – 80 Jahre
Fertighaus in Fachwerk- und Tafelbauweise	60 – 70 Jahre
Siedlungshaus	50 – 60 Jahre
Holzhaus	
Schlichthaus (massiv)	50 – 60 Jahre
Mietwohngebäude (freifinanziert)	60 – 80 Jahre
e (sozialer Wohnungsbau)	50 – 70 Jahre
Gemischt genutzte Häuser mit einem gewerblichen Mietertragsanteil bis 80 %	50 – 70 Jahre
Verwaltungs- und Bürogebäude	50 – 80 Jahre
Schulen, Kindergärten	
Gewerbe- und Industriegebäude	40 – 60 Jahre
bei flexibler und zukunftsgerechter Ausführung	
Tankstellen	10 – 20 Jahre
Einkaufszentrum/SB-Märkte	30 – 50 Jahre
Hotels/Sanatorien/Kliniken	40 – 60 Jahre

Abbildung 4.40: Auszug wirtschaftlicher Nutzungsdauer von Gebäuden

Die Voraussetzung für eine wirtschaftliche Planung und Nutzung eines Gebäudes nach Kalusche liegt in einer umfassenden Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen technischer Lebensdauer von Bauteilen und der wirtschaftlicheren Nutzungsdauer eines Gebäudes. Hierzu zählt vor allem auch die Betrachtung der Einflüsse auf die Nutzungsdauer eines Gebäudes, die im Wesentlichen die Eigenschaften der Materialien und Bauteile bestimmen⁴⁰² (Abb. 4.41). Die technische Lebensdauer der Bauteile wird dabei als Voraussetzung für die wirtschaftliche Nutzungsdauer gesehen. Ist die wirtschaftliche Nutzungsdauer nicht mehr gegeben, führt dies in den meisten Fällen auch zum Ende der technischen Lebensdauer⁴⁰³.

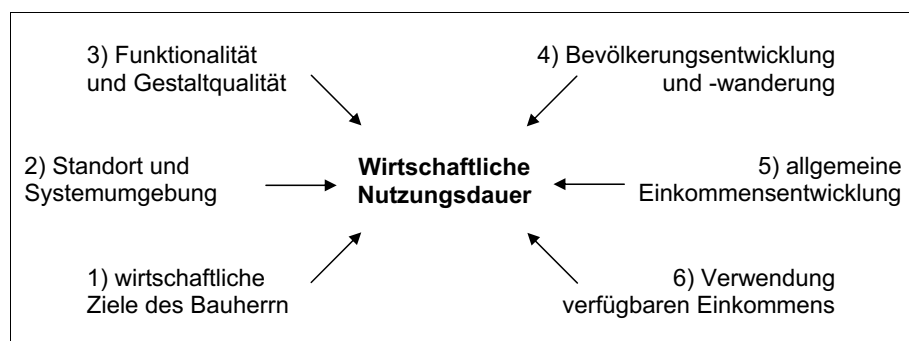


Abbildung 4.41: Einflüsse auf die Wirtschaftliche Nutzungsdauer eines Gebäudes und seinen Lebenszyklus

⁴⁰⁰ Vgl. Kalusche 2004, 6.

⁴⁰¹ Vgl. Kalusche 2004, 6. zitiert nach Kleiber/Simon/Weyers: Verkehrswertermittlung von Grundstücken. 3. Aufl. Köln, in: Bundesanzeiger, 1998, S. 2123.

⁴⁰² Vgl. Kalusche 2004, 7-9.

⁴⁰³ Ebda., 1.

Die Betrachtung der Wechselwirkung zwischen technischer Lebensdauer und wirtschaftlicher Nutzungsdauer nach Kalusche erlaubt nun eine grundsätzliche Unterscheidung der beiden Begriffe.

Eine weitere Lebenszyklusbetrachtung in Abhängigkeit des Recyclingverhaltens kann nach Durmisevic vorgenommen werden. Bauteile, deren technische Lebensdauer in einer Unverhältnismäßigkeit zur ihrer Nutzungsdauer stehen, sind unter bestimmten Voraussetzungen als ökonomisch und ökologisch wertvolle Teile einer Gebäudestruktur zu werten⁴⁰⁴. Ihr Wiederverwendungspotential steigt, indem die definierte Nutzungsdauer die technische Lebensdauer unterschreitet und die Unabhängigkeit und Austauschbarkeit der Teile gewährleistet ist⁴⁰⁵ (Abb. 4.42). Umgekehrt wird die technische Lebensdauer am Beispiel der Fassade und Dachdeckung von der geplanten Nutzungsdauer überschritten. In diesem Fall wird ein Austauschen der Teile erforderlich (Abb. 4.42).

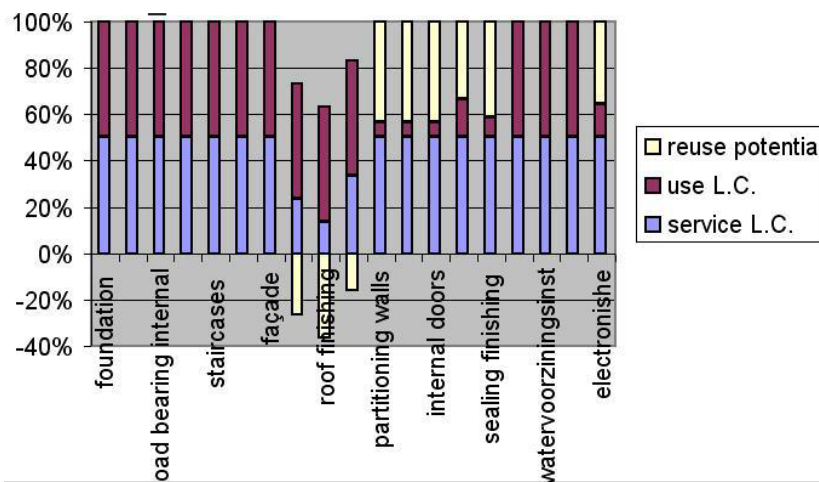


Abbildung 4.42: Verhältnis technischer Lebensdauer von Bauteilen zur Nutzungsdauer und das daraus resultierende Wiederverwendungspotential

Am nachfolgenden Beispiel soll nun nach [406] das Montageverhalten einer Konstruktion in Abhängigkeit der Lebenszyklusbetrachtung verdeutlicht werden (Abb. 4.43):

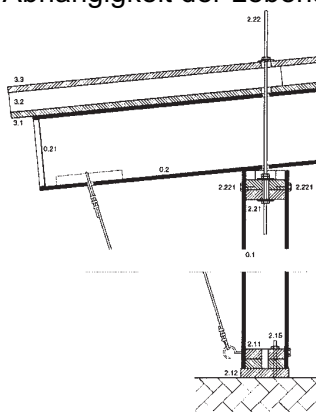


Abbildung 4.43: Konstruktionsbeispiel

⁴⁰⁴ Vgl. Durmisevic 2010, 110-113.

⁴⁰⁵ Ebda., 110-113.

⁴⁰⁶ Vgl. Durmisevic 2010, 181-182.

Die Vergleichsmatrix zeigt dabei den Ausschnitt der Gebäudekonstruktion nach Abb. 4.43, deren Bauteile unterschiedliche Zeithorizonte aufweisen (Abb. 4.44).

Die geplante Nutzungsdauer von 10 Jahren unterscheidet sich dabei wesentlich von den technischen Lebensdauern der eingesetzten Komponenten. Vor allem das Bauteil mit der größten Abhängigkeit (222) weist durch seine fünfjährige technische Lebensdauer das größte Missverhältnis zur geplanten Nutzungsdauer auf (Abb. 4.45).

	use life cycle			technical life cycle										
	0.1	0.1	0.2	222	221	211	1.3	1.4	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	
Load bearing constuction	10	15	5	15										
enclosing verrical	10				15	15	5	10						
enclosing horizontal	10								3	5	25	5	5	
intermidier	10			5										

Abbildung 4.44: Auszug einer Lebenszyklusmatrix am Beispiel Abb. 4.43

Das Verbindungsstück (222) zwischen Stütz- und Dachkonstruktion verursacht eine Abhängigkeit, deren Tausch bereits nach fünf Jahren eine Beeinträchtigung der gesamten Struktur, trotz länger geplanter Nutzungsdauer, mit sich bringen würde. Die zum Tausch des Verbindungsstückes (222) erforderlichen Demontageschritte und die in Abhängigkeit stehenden Bauteile, sind der Abb. 4.46 zu entnehmen.

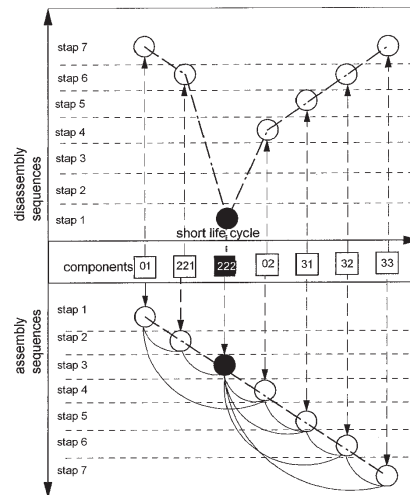
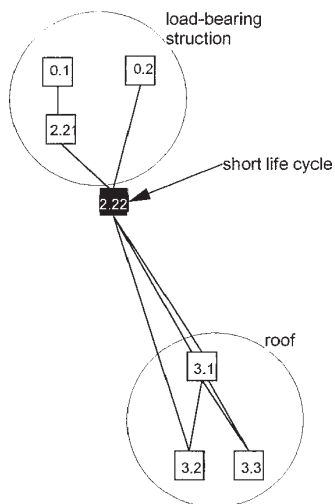


Abbildung 4.45: Abhängigkeitsmuster Bauteil (222) (links)

Abbildung 4.46: Montage- bzw. Demontagediagramm Bauteil (222) (rechts)

5. Voraussetzungen für recyclinggerechtes Bauen auf stofflicher Ebene

5.1. Kreislauffähigkeit der Materialien

Das Ziel auf stofflicher Ebene umfasst die Rückgewinnung von nachweislich recyclingfähigen Materialien und Produkten am Ende ihres Lebenszyklus. Welche Möglichkeiten es dazu gibt, wird in den nachfolgenden Abschnitten erörtert.

Deklaration und Zertifizierung von Baustoffen und Produkten

Um die Umweltauswirkungen von Baustoffen und Produkten nachzuweisen, steht hier eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Verfügung. Die Palette reicht von branchenspezifischen Qualitätssicherungssystemen, Umweltzeichen, bis hin zu diversen ÖKO-Labels, Normen und Datenbanken⁴⁰⁷. Im Weiteren werden nur jene Deklarierungs- und Zertifizierungssysteme behandelt, die relevante Daten für den Recyclingprozess bereitstellen.

Hersteller und Rücknahmeverpflichtung

Im Gegensatz zur Bauindustrie verpflichtet sich die Automobilindustrie im Rahmen der Produktverantwortung unter anderem zur kostenlosen Rücknahme der Altfahrzeuge. Dabei wurde auf Ebene der Europäischen Union per Altfahrzeugrichtlinie 2000/53/EG ab 2015 eine Verwertungsquote für das Wiederverwenden und Recycling von 85% bzw. für das Verwerten von insgesamt 95% beschlossen. Darüber hinaus stellt die Altfahrzeugrichtlinie konkrete Anforderungen an die Kennzeichnung von Bauteilen und Werkstoffen und technische Anforderungen im Zuge der Demontageprozesse bei der Altfahrzeugbehandlung⁴⁰⁸. Im Zuge des Forschungsgegenstandes erfolgt eine Untersuchung der verwendeten Materialien hinsichtlich ihrer Rücknahmeverpflichtung.

Produktleasing

Ein weiteres Konzept der Kreislaufwirtschaft von Materialien beinhaltet das Prinzip „cradle to cradle“ (von der Wiege zur Wiege) von Michael Braungart und William McDonough. In Form eines Leasings geht am Ende der Nutzungsdauer das Produkt bzw. deren Rohstoffe wieder an den Hersteller zurück. Dieser sichert sich damit nicht nur hochwertige Materialien, sondern sorgt auch für eine sortenreine Trennung, Aufbereitung und Weiterverwertung dieser⁴⁰⁹. Eine weitere Sichtweise in diesem Zusammenhang ist die Betrachtung der Gebäude als Rohstoffdepots, die ihre Materialien am Ende der Nutzungsdauer wieder bereitstellen. Unter ökonomischen Gesichtspunkten ist das für die Materialien gebunden Kapital nicht verloren, sondern wird ähnlich einer mittel- bis langfristigen Wertanlage wieder freigegeben⁴¹⁰. Entscheidend für die Rentabilität ist dabei die Art der eingesetzten Rohstoffe und deren künftige Preisentwicklung⁴¹¹.

⁴⁰⁷ Vgl. Bundes- Abfallwirtschaftsplan 2011.

⁴⁰⁸ Vgl. Altfahrzeugrichtlinie 2000/53/EG 2000.

⁴⁰⁹ Vgl. Braungart/ McDonough 2009.

⁴¹⁰ Vgl. Drees & Sommer 2014.

⁴¹¹ Vgl. Drees & Sommer 2014.

5.2. Deklarierung und Zertifizierung von Baustoffen und Produkten

Zur Bewertung der Baustoffe und Produkte des gewählten Forschungsgegenstandes werden ausschließlich Produktzertifizierungen herangezogen, die für den Recyclingprozess relevante Daten bereitstellen. Eine entsprechend umfassende ökologische Produktbewertung wird unter anderem durch folgende Normen geregelt:⁴¹²

- ÖNORM EN ISO 14025 Umweltkennzeichnungen und -deklarationen, Typ III Umweltdeklarationen – Grundsätze und Verfahren
- DIN EN 15804 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen

Zur Information und Kommunikation von Geschäftspartnern, Investoren und Verbrauchern werden von Produzenten zunehmend fundierte Informationen zu den Umweltwirkungen ihrer Produkte gefordert. Dazu bietet die Typ III Umweltdeklaration die Grundlage zur Bereitstellung quantitativer umweltbezogener Produktdaten. Diese werden auch als Ökopprofile, Umweltdeklarationen für Produkte und Umweltproduktdeklarationen (en: Environmental Product Declaration, EPD) bezeichnet⁴¹³. Umweltproduktdeklarationen bieten auf Ökobilanzen basierende Informationen, die eine Vergleichbarkeit der Produkte ermöglichen (vgl. Ö-Norm EN ISO 14040). Die ISO 14025 regelt dabei die Verfahren zur Prüfung und Verifizierung der Öko-Daten durch unabhängige Dritte und darüber hinaus die Erstellung von Typ III Umweltdeklarationen. Die 2012 veröffentlichte EN 15804 soll nun europaweit eine einheitliche Basis für Ökobilanzen im Baubereich schaffen. Diese dient, ebenso wie die internationale Norm ISO 14025 auf europäischer Ebene, als Grundlage zur Erstellung von Umweltproduktdeklaration und kommt auch bei Typ III Deklarationen zur Anwendung⁴¹⁴.

Umweltproduktdeklarationen (EPD) nach EN 15804

Wie bereits im vorangegangenen Abschnitt erwähnt, werden mit der EN 15804 auf europäischer Ebene die Grundregeln für die Erstellung von Umweltproduktdeklarationen (EPD) für Bauprodukte geschaffen. Diese bilden die Basis für Zertifizierungssysteme zur Nachhaltigkeitsbeurteilung über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes. Als wesentliche Bestandteile einer EPD werden die Ergebnisse von Ökobilanzen für die jeweiligen Baustoffe herangezogen⁴¹⁵. Je nachdem, welche Stadien im Lebensweg eines Bauproduktes bei der Bilanzierung erfasst und kommuniziert werden sollen, erlaubt die EN 15804 eine Unterscheidung zwischen drei möglichen Typen bei der Gestaltung von Umweltproduktdeklarationen⁴¹⁶:

⁴¹² EPD – Environmental Product Declaration (Umwelt-Produktdeklaration), <http://ibu-epd.com/epd-programm/wozu-eine-epd/>, 17.05.2016

⁴¹³ Vgl. ÖNORM EN ISO 14025 2010.

⁴¹⁴ Vgl. Forschungsprogramm Zukunft Bau (Hg.) 2013, 3-4.

⁴¹⁵ Vgl. Rüter 2012, 56-57.

⁴¹⁶ Ebda., 57.

Produktionsstadium			Stadium der Errichtung des Bauwerks		Nutzungsstadium							Entsorgungsstadium				Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenze
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Rohstoffversorgung	Transport	Herstellung	Transport zur Baustelle	Einbau ins Gebäude	Nutzung / Anwendung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Erneuerung	Energieeinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Wassereinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Rückbau / Abriss	Transport	Abfallbehandlung	Deponierung	Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- oder Recyclingpotenzial
X (aggregiert)										X				X	X	X

Abbildung 5.1: Einteilung der Lebenszyklusinformationen in Modulen nach EN 15804⁴¹⁷

- Von der Wiege bis zum Werkstor (cradle to gate):
Hier werden ausschließlich die Aufwendungen für das Produktstadium A1- A3 berücksichtigt (Abb. 5.1).
- Von der Wiege bis zum Werkstor mit Optionen (cradle to gate with options):
Hier werden neben dem Produktstadium A1- A3 noch weitere Aufwendungen in Form von Szenarien miteinbezogen: z. B. C1-C4 (Abb. 5.1).
- Von der Wiege bis zur Bahre (cradle to grave):
Hier werden alle Aufwendungen entlang des Gebäudelebenszyklus berücksichtigt: A1-C4 (Abb. 5.1).

Über die Systemgrenzen der Entsorgungsphase (C1-C4) hinaus werden im Modul D ergänzende Informationen zu Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und Recyclingpotentiale miteinbezogen. Aus den insgesamt 24 Indikatoren, die in Umweltproduktdeklarationen nach EN 15804 enthalten sind, entfallen vier Indikatoren auf das Modul D. Im Modul D werden potentielle Gutschriften aus der Bereitstellung von Sekundärmaterial oder zurückgewonnener Energie deklariert⁴¹⁸ (Abb. 5.2). Dazu zählen zusätzliche Indikatoren:

- Komponenten für die Wiederverwendung
- Stoffe zum Recycling
- Stoffe für die Energierückgewinnung
- Exportierte Energie (elektrische- und thermische Energie)

⁴¹⁷ Erläuterungsdokument ÖKOBAU.DAT 2013, http://www.oekobaudat.de/fileadmin/downloads/oekobaudat2013/OEKOBAU.DAT_2013_Erlaeuterungsdokument_2013-08-15.pdf, 17.07.2016.

⁴¹⁸ Vgl. Schmincke 2013.

Ökobau.dat - Neues XML-Format			
Umweltindikatoren	Einheit	Methode für Wirkbilanz	Bezug zum alten Ökobau.dat Format
Indikatoren der Sachbilanz			
Inputs			
Erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PERE)	MJ		zusätzlicher Indikator
Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PERM)	MJ		zusätzlicher Indikator
Total erneuerbare Primärenergie (PERT)	MJ		Alt "PE erneuerbar (gesamt)"
Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PENRE)	MJ		zusätzlicher Indikator
Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PENRM)	MJ		zusätzlicher Indikator
Total nicht erneuerbare Primärenergie (PENRT)	MJ		Alt "PE nicht erneuerbar (gesamt)"
Einsatz von Sekundärstoffen (SM)	MJ		Teilmenge aus Alt "Sekundärbrennstoffe"
Erneuerbare Sekundärbrennstoffe (RSF)	MJ		Teilmenge aus Alt "Sekundärbrennstoffe"
Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe (NRSF)	MJ		zusätzlicher Indikator
Einsatz von Süßwasserressourcen (FW)	m ³		Alt "Wassernutzung"
Outputs			
Gefährlicher Abfall zur Deponie (HWD)	kg		Alt "Sonderabfälle"
Entsorger nicht gefährlicher Abfall (NHWD)	kg		Alt "Abraum" und "Hausmüll und Gewerbeabfälle"
Entsorger radioaktiver Abfall (RWD)	kg		Alt "Sonderabfälle"
Komponenten für die Wiederverwendung (CRU)	kg		zusätzlicher Indikator
Stoffe zum Recycling (MFR)	kg		zusätzlicher Indikator
Stoffe für die Energierückgewinnung (MER)	kg		zusätzlicher Indikator
Exportierte elektrische Energie (EEE)	MJ		zusätzlicher Indikator
Exportierte thermische Energie (EET)	MJ		zusätzlicher Indikator
Indikatoren der Wirkbilanz			
Globales Erwärmungspotenzial (GWP)	kg CO ₂ -Äquiv.	CML 2001 – November 2010	Alt "GWP (nach CML 2009)"
Abbau Potential der stratosphärischen Ozonschicht (ODP)	kg R11-Äquiv.	CML 2001 – November 2010	Alt "ODP (nach CML 2009)"
Versauerungspotenzial von Boden und Wasser (AP)	kg CSO ₂ -Äquiv.	CML 2001 – November 2010	Alt "AP (nach CML 2009)"
Eutrophierungspotenzial (EP)	kg PO ₄₃ -Äquiv.	CML 2001 – November 2010	Alt "EP (nach CML 2009)"
Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon (POCP)	kg C ₂ H ₄ -Äquiv.	CML 2001 – November 2010	Alt "POCP (nach CML 2009)"
Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen (ADPE)	kg Sb-Äquiv.	CML 2001 – November 2010	Alt "ADP (nach CML 2001 – Dezember 2007)"
Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe (ADPF)	MJ	CML 2001 – November 2010	zusätzlicher Indikator

Abbildung 5.2: Umweltindikatoren gemäß EN 15804⁴¹⁹

Stehen für den Untersuchungsgegenstand keine Umweltproduktdeklarationen zur Verfügung, bieten Materialdatenbanken oft ausführlichen Informationen zu umweltrelevanten Daten von Baustoffen und Produkten. Ein nennenswertes Informationsportal ist die Internetplattform „WECOBIS“ des deutschen Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau- und Reaktorsicherheit (BMUB)⁴²⁰. Aus Österreich ist die Web Plattform „baubook“ anzuführen⁴²¹. Beide Portale unterstützen mit breitgefächerten Baustoffdatenbanken die Umsetzung von nachhaltigen Gebäuden. Darunter befinden sich umfassende Informationen zur Herstellung, Verarbeitung und Nutzung von Bauprodukten jeder Art. Darüber hinaus werden auch vereinzelt Aussagen über Nachnutzung und Entsorgung getroffen.

5.3. Stoffliche Vielfalt

Jedes Produkt bzw. jede Baustruktur setzt sich aus einer Vielzahl von Komponenten zusammen, die wiederum verschiedene Materialien enthalten⁴²². Da seitens der Hersteller eine laufende funktionsorientierte Optimierung der Werkstoffe und Produkte stattfindet, wird das

⁴¹⁹ Erläuterungsdokument ÖKOBADU.DAT 2013, http://www.oekobaudat.de/fileadmin/downloads/oekobaudat2013/OEKOBADU.DAT_2013_Erlaeuterungsdokument_2013-08-15.pdf, 17.07.2016.

⁴²⁰ Wecobis – Ökologisches Baustoffinformationssystem, <http://www.wecobis.de>, 18.02.2016.

⁴²¹ baubook Oekoindex, <http://www.baubook.at/oekoindex/?SW=35>, 19.02.2016.

⁴²² Vgl. Brenner 2010, 51.

Spektrum der verwendeten Materialien immer breiter⁴²³. Folglich nimmt auch die Anzahl der verschiedenen Materialfraktionen in einem Gebäude zu. Dies führt wiederum zu einem höheren Demontageaufwand und erschwert die Erkennung, Trennung und Sortierung der Fraktionen als Voraussetzung für eine sortenreine Verwertung⁴²⁴. Einer stofflichen Vielfalt steht grundsätzlich nichts entgegen, solange die Kreislauffähigkeit der Materialien gewährleistet ist⁴²⁵. In der Praxis führt jedoch eine zu große Vielfalt an Baustoffen zu Schwierigkeiten, da ein getrenntes Sortieren den Faktoren Platz-, Zeit- und Kostenaufwand gegenübersteht und somit unweigerlich zur Einschränkung bei der Sortenreinheit führt⁴²⁶.

Um ein möglichst hohes Maß an Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit sicherzustellen, wird seitens DGNB bei der Planung eines Gebäudes und in der Auswahl der Baumaterialien eine grundlegende Homogenität in der Stoffauswahl empfohlen⁴²⁷ (Abb. 5.3). Das bedeutet, je weniger unterschiedliche Materialien in einem Gebäude Verwendung finden, desto weniger unterschiedliche Entsorgungswege müssen berücksichtigt werden. In diesem Zusammenhang setzt auch die VDI Richtlinie 2243 eine Reduktion der Werkstoffvielfalt voraus⁴²⁸.

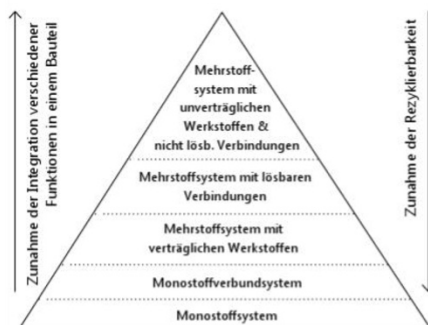


Abbildung 5.3: Werkstoffsysteme⁴²⁹

Eine Eingrenzung der Materialwahl ist durch den Untersuchungsgegenstand bereits gegeben. Daher werden in weitere Folge nur mehr Potentiale erörtert, die eine weitere Reduktion der stofflichen Vielfalt unter Beibehaltung der funktionalen Anforderungen an die Konstruktion erlauben. Möglichkeiten finden sich zum einen bei der Integration mehrerer Funktionen in einem Produkt bzw. Bauteil, aber andererseits auch in der Reduktion überflüssiger Beschichtungen und Verkleidungen sowie in der Vereinfachung der Baustruktur⁴³⁰. Eine Reduktion der stofflichen Vielfalt mit Hilfe von Funktionsintegration wird nachfolgend beschrieben.

Funktionsintegration

In der Konstruktionslehre versteht man unter Funktionsintegration, dass ein Bauteil mehrere Funktionen übernimmt⁴³¹. Damit diese nicht im Widerspruch zur Funktionstrennung steht, sind zunächst zwei Aspekte zu beachten. Eine Funktionsintegration innerhalb eines Werkstoffes (vgl. Abb. 3.5 – Integralbauweise) verfügt über gute Recyclingeigenschaften, da mehrere Funktionen von einem einzigen Material übernommen werden. Die zweite Möglichkeit ist eine

⁴²³ Vgl. Kühn 2000, 130.

⁴²⁴ Ebda., 130-131.

⁴²⁵ Vgl. Braungart/McDonough 2009.

⁴²⁶ Vgl. Brenner 2010, 48.

⁴²⁷ Vgl. DGNB (Hg.): Kriteriensteckbrief Nr. 42, 3-4.

⁴²⁸ Vgl. VDI 2243 1991, 9-10.

⁴²⁹ Brenner 2010, 48. zitiert nach Brinkmann, Ehrenstein, Steinhilper, 1996.

⁴³⁰ Vgl. Brenner 2010, 51.

⁴³¹ Vgl. Ehrlenspiel 2003, 445.

Funktionsintegration, bei der mehrere Funktionen zu einem einschaligen Bauteil (siehe Verbundbauweise) zusammengefasst werden. Hier erfolgt meist die Integration von lang- und kurzlebeigen Materialien zu einem Mehrstoffbauteil, dessen Recyclingeigenschaft sich nach der Verwertungskompatibilität der verwendeten Materialien richtet.

5.4. Substitution durch Recycling-Baustoffe

Unter Recyclingbaustoffe sind Sekundärrohstoffe zu verstehen, die durch Aufbereitung aus Abfällen gewonnen werden und als Ausgangsstoff für neue Produkte dienen (Materialrecycling)⁴³². Hingegen erlaubt das Produktrecycling eine erneute Nutzung von gebrauchten Produkten für den denselben oder einen anderen Verwendungszweck (die Wieder- oder Weiterverwendung von Produkten)⁴³³.

Abfälle aus dem Bauwesen bilden daher auf Grund zunehmender Ressourcenverknappung, schwindender Deponiereserven und steigenden Material- und Energieverbrauchs eine zunehmend wichtige Ressource zur Gewinnung von sog. Sekundärrohstoffen, die zur Herstellung von Recyclingbaustoffen verwendet werden (vgl. Abschnitt 1.1). Obwohl RC-Baustoffe keinen direkten Einfluss auf die Recyclingfähigkeit der Gebäudekomponenten bzw. Materialien nehmen, tragen sie doch zu einem mittlerweile geforderten Kreislaufdenken bei.

Das derzeit ermittelte Abfallaufkommen in Österreich beläuft sich auf rund 53,5 Millionen Tonnen⁴³⁴. Unter der Berücksichtigung des Aushubmaterials kann ein überwiegender Teil dieses Aufkommens dem Bauwesen zugerechnet werden (Abb. 5.4). Folglich ist sich die Bauwirtschaft als Verursacher des größten Abfallstroms in Österreich verantwortlich.

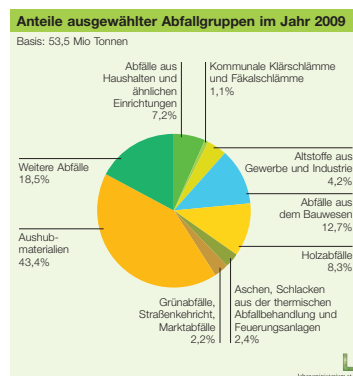


Abbildung 5.4: Anteile der ausgewählten Abfallgruppen im Jahr 2009

Daher sollen nach den Vorgaben der Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle 70% der Baurestmassen einer Verwertung zugeführt werden und das bis 2020⁴³⁵. Dazu regelt die mit 1. Jänner 2016 in Kraft getretene Recycling Baustoffverordnung alle Maßnahmen für eine bessere Eignung der Abfälle für die Herstellung von Recyclingbaustoffen⁴³⁶. Darüber hinaus wurde zur Steigerung der Recyclingquote vom österreichischen Baustoff Recyclingverband eine internetbasierte Recyclingbörse eingerichtet, die Informationen über Angebot und Nachfrage von Recyclingbaustoffen bietet⁴³⁷.

⁴³² Vgl. Schneider, Mötzl u.a. (Hg.) 2010, 42.

⁴³³ Vgl. VDI Richtlinie 2243 2002, 2.

⁴³⁴ Vgl. BAWP 2011, Kap.2.

⁴³⁵ Vgl. Richtlinie 2008/98/EG, Kap. 2, Art. 11, Abs. 2b.

⁴³⁶ Vgl. Recycling Baustoffe BGBl. II Nr. 181/2015.

⁴³⁷ Recycling-Börse Bau,
http://www.recycling.or.at/rbb/cake_rbb/, 04.04.2016.

5.5. Materialmenge und graue Energie

Ein weiterer wichtiger Kennwert für die ökologische Bewertung von Produkten und Dienstleistungen im Zusammenhang mit dessen Energieverbrauch ist der kumulierte Energieaufwand. Der kumulierte Energieaufwand (auch graue Energie genannt) gibt die Gesamtheit des Primärenergieaufwandes an, der für Herstellung, Transport, Nutzung und Entsorgung eines Produktes oder einer Dienstleistung erforderlich ist⁴³⁸.

Je weniger Material bei definiertem Leistungsstandard zum Einsatz kommt, desto geringer ist auch die gebundene graue Energie über den gesamten Lebenszyklus einer Konstruktion⁴³⁹. Daher sollten bei der Auswahl der Materialien nur jene Qualität und Menge verwendet werden, die zum Erreichen der funktionalen und statisch-konstruktiven Anforderungen notwendig sind. Somit scheint auch die Forderung nach ^[440] nach einem optimierten Verhältnis aus statischer Leistung und spezifischem Gewicht in Anbetracht unser endlichen Ressource gerechtfertigt zu sein.

Im Vergleich zu anderen Baustoffen weist Holz einen vergleichsweise geringen Anteil an grauer Energie auf⁴⁴¹ (vgl. Abb. 1.7). Einige Gründe nach ^[442] können dazu genannt werden:

- Regionale Verfügbarkeit (geringe Transportwege),
- Holz wächst quasi von selbst nach (der dazu benötigte Regen und Sonnenschein scheint in der Ökobilanz nicht als Aufwand auf),
- Vergleichsweise geringer Aufwand für Waldpflege und Holzernte,
- Kohlenstoffspeicher aus dem in der Luft enthaltenen CO₂.

Zur Darstellung der „Leistungsfähigkeit“ des Baustoffes Holz im Verhältnis zu seinem spezifischen Gewicht kann auf eine Vergleichsberechnung im Rahmen einer Studie von König Holger verwiesen werden. Dabei wird das Einsatzspektrum des Baustoffes Holz in einer vergleichenden Ökobilanzierung anderen Materialien gegenübergestellt⁴⁴³:

Dazu wurden fünf Gebäude ausgewählt, in denen der Baustoff Holz in unterschiedlichster Art und Weise zur Anwendung kommt. Um ein möglichst repräsentatives Ergebnis erwarten zu können, musste der Großteil des primären Tragwerkes aus Holz gefertigt sein. In einer Ökobilanzierung wurde jedes dieser Gebäude einer vergleichenden Untersuchung mit einer Standardausführung aus weitgehend mineralischen, synthetischen oder metallischen Baustoffen unterzogen. Die Ergebnisse zeigen, dass die aus Holz errichteten Gebäude nur knapp über 50% des Gewichtes gegenüber den konventionellen Gebäudemodellen erreichen (Abb. 5.5). Max. 1% des Gesamtgewichtes der konventionellen Gebäudemodelle entfällt auf nachwachsende Rohstoffe. Hingegen macht bei aus Holz errichteten Gebäuden der Anteil nachwachsender Rohstoffe fast ein Viertel des Gesamtgewichtes aus. Dies wird damit begründet, dass die untersuchten Gebäude max. drei Obergeschosse aufweisen und dadurch der Anteil mineralischer Baustoffe durch die betonierte Bodenplatte relativ hoch wird. Eine Relativierung der Masse der Bodenplatte erfolgt erst mit steigender Geschossanzahl⁴⁴⁴.

⁴³⁸ Vgl. VDI 4600 2015, 4.

⁴³⁹ Vgl. Hegger, Fuchs u.a. (Hg.) 2008, 168.

⁴⁴⁰ Vgl. Sobek/Trumpf/Heinlein 2010, 426-427.

⁴⁴¹ Vgl. Ecorys Copenhagen Resource Institut (Hg.) 2014, 35.

⁴⁴² Vgl. proHolz Austria u.a. (Hg.): Holz und Klimaschutz 2010, 13.

⁴⁴³ Vgl. König 2011, 49-64.

⁴⁴⁴ Ebda., 39-69.

Vergleich Materialbedarf für Herstellung und Instandsetzung in kg pro m² Bruttogrundfläche

Holz – nicht regenerierbar – nachwachsend

Standard – nicht regenerierbar – nachwachsend

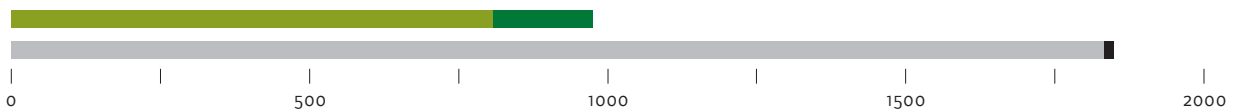


Abbildung 5.5: Vergleich von Materialbedarf für Herstellung und Instandsetzung am Projekt Gemeindezentrum Ludesch/A⁴⁴⁵

Die aus diesem Forschungsprojekt gewonnenen Erkenntnisse zeigen, dass Gebäude mit Bauteilen aus nachwachsenden Rohstoffen gegenüber jenen Gebäuden, deren Bauteile endliche Ressourcen enthalten, ein deutliches Entlastungspotential für das Ökosystem bieten. Vor allem zeigt der Materialbedarf im Vergleich zu den unterschiedlichen Bausystemen, dass mit dem Baustoff Holz ein sehr gutes Verhältnis aus spezifischem Gewicht und Tragfähigkeit zu erzielen ist.

Trotz geringer Umweltwirkungen des Baustoffes Holz kann die Materialmenge nach [446] durch folgende planerische Maßnahmen weiter minimiert werden:

- Reduktion der Verschnittmengen durch gezieltes Aufstellen von Gestaltungsregeln
- Klare Bauteilgeometrie und verschnittintensive Sonderlösungen

5.6. Schadstoffe und recyclingkritische Störstoffe

Durch eine gezielte Lenkung der Stoffflüsse soll eine Beeinträchtigung des Menschen und der Umwelt durch Schadstoffe verhindert und eine Verschwendung von Rohstoffen und Energie vermieden werden⁴⁴⁷. Schadstoffe sind daher Stoffe bzw. Stoffgemische, die eine Schädigung von Mensch und Umwelt bewirken können.

Auf Grund einer laufenden funktionsorientierten Optimierung von Werkstoffen und Produkten wird auch das Spektrum der stofflichen Zusammensetzung immer breiter⁴⁴⁸. Folglich ist auch damit zu rechnen, dass in den europaweit etwa 20.000 verschiedenen Materialien und Produkten, die für die Errichtung von Gebäuden auf dem Markt sind, Schadstoffe enthalten sind⁴⁴⁹. Als gesetzliche Grundlage für Bauprodukte, die dazu bestimmt sind, dauerhaft in Bauwerken zu verbleiben, regelt die europäische Bauprodukteverordnung die wesentlichen Anforderungen an solche Produkte⁴⁵⁰. Erfüllt ein Produkt die Anforderungen, darf der Hersteller das Produkt mit CE (für Conformité Européenne, europäische Konformität) kennzeichnen und in den Verkehr bringen.

Bauprodukte setzen sich aus natürlichen oder künstlichen Werkstoffen oder aus einer Kombination dieser beiden zusammen:⁴⁵¹

⁴⁴⁵ Gemeindezentrum Ludesch/A,
<http://www.proholz.at/haeuser/gemeindezentrum-ludescha/>, 19.06.2016.

⁴⁴⁶ Vgl. Schneider/Böck/Mötzl 2010, 179 f.

⁴⁴⁷ Vgl. Abfallwirtschaftsgesetz 2015, §1.

⁴⁴⁸ Vgl. Kühn 2000, 130.

⁴⁴⁹ Vgl. Bundesanstalt für Materialforschung und Prüfung u.a. (Hg.) 2007, 12.

⁴⁵⁰ Vgl. BauPVo, Verordnung EU 305/2011.

⁴⁵¹ Vgl. Bundesanstalt für Materialforschung und Prüfung u.a. (Hg.) 2007, 8.

„Zu den natürlichen Werkstoffen gehören beispielsweise Sand, Kies, Naturstein, Holz und Kork, zu den künstlichen Bauprodukten anorganische Materialien, wie Zement, Beton, Glas und Keramik sowie eine Vielzahl organischer synthetisch hergestellter Werkstoffe, insbesondere Kunststoffe und Kunstharze. Eine Kombination liegt beispielsweise bei Holzwerkstoffen vor, die Holz und synthetische Kleber enthalten, oder auch bei Korkfertigparkett, das meist eine synthetische Beschichtung trägt. Sogar in auf den ersten Blick rein anorganischen Produkten können geringe Mengen organischer Hilfsstoffe sein. Beispielsweise kann Porenbeton organische Hydrophobierungsmittel zur Verbesserung der Feuchtebeständigkeit enthalten.“

Organische Produkte zählen nach [452] zu den Hauptemittenten von Schadstoffen. Synthetische Materialien enthalten zur Verbesserung ihrer Eigenschaften oft chemische Zusätze und eine Vielzahl von organischen und anorganischen Hilfsstoffen wie z. B. Weichmacher und Flammschutzmittel. Aber auch natürliche organische Produkte wie z. B. Holz oder bestimmte Wachse und Öle enthalten Harze und andere Lösemittel. Ein Überblick über häufig vorkommende Schadstoffe in Gebäuden kann wie folgt gegeben werden:⁴⁵³

- Formaldehyd, Terpene, Aldehyde (Holzwerkstoffe)
- PCP, Lindan, Pyrethroide, Chlornaphtaline (Holzschutzmittel)
- Polychlorierte Biphenyle PCB (Fugenmasse, Anstriche, Farben)
- Asbest
- Künstliche Mineralfasern KMF (Wärmedämmstoffe)
- Asbest, Naphthalin, Styrol, Nitrosamine (Bodenbeläge)
- Glykole, Glykoether (Farben, Lacke)
- Ethylhexanol, Phenole, PAK (Klebstoffe)
- Benzylalkohol (Bodenbeschichtungen)

Trotz gesetzlich festgelegter Grenzwerte kommen immer wieder neue Schadstoffe hinzu. Die Begründung liegt darin, Materialien und Produkte entsprechend zu modifizieren. Damit werden immer neue Eigenschaften und Anwendungsbereiche ermöglicht. Für den Recyclingprozess ist es insofern von Bedeutung, weil durch den Verwertungsprozess von Materialien und Produkten Schadstoffe in das Rezyklat gelangen und somit in Form von neuen Produkten im Stoffkreislauf verbleiben⁴⁵⁴. Durch die Fülle an unterschiedlichen Komponenten, die in einem Gebäude verbaut werden, wird der Einsatz gänzlich schadstofffreier Materialien und Produkte nicht immer möglich sein. Um dennoch negative Auswirkungen auf die Gebäudekonstruktion und Verwertungswege zu reduzieren, empfiehlt sich eine unabhängige und austauschbare Anordnung der schadstoffhaltigen Bauteile und Materialien.

Recyclingkritische Störstoffe

Im Gegensatz zu Schadstoffen, die zumeist toxische Eigenschaften aufweisen und eine Gefährdung für Mensch und Umwelt darstellen, sind recyclingkritische Störstoffe jene Stoffe, die eine Verwertung erschweren oder unmöglich machen. Dazu schreibt die Recyclingbaustoffverordnung wie folgt:⁴⁵⁵

⁴⁵² Ebda., 8.

⁴⁵³ Vgl. Bünger 2006.

⁴⁵⁴ Vgl. Brenner 2010, 49.

⁴⁵⁵ Vgl. Recycling Baustoffe BGBl. II Nr. 181/2015, §5.

„Der Abbruch eines Bauwerks hat als Rückbau gemäß ÖNORM B 3151 zu erfolgen. Es ist sicherzustellen, dass Bauteile, die einer Vorbereitung zur Wiederverwendung zugeführt werden können und welche von Dritten nachgefragt werden, so ausgebaut und übergeben werden, dass die nachfolgende Wiederverwendung nicht erschwert oder unmöglich gemacht wird. Schadstoffe, insbesondere gefährliche Abfälle (z. B. Asbestzement, asbesthaltige Abfälle, teerhaltige Abfälle, PCB-haltige Abfälle, phenolhaltige Abfälle und (H)FCKW-haltige Dämmstoffe oder Bauteile) und Störstoffe (z. B. gipshaltige Abfälle), die ein Recycling erschweren, sind zu entfernen. Der Ausbau von wiederverwendbaren Bauteilen und die Schad- und Störstoffentfernung haben vor einem allfälligen maschinellen Rückbau zu erfolgen.“

Damit Bauteile überhaupt einer Wiederverwendung oder einer Vorbereitung zur Wiederverwendung zugeführt werden dürfen, sind vorher etwaige enthaltene schad- und recyclingkritische Störstoffe zu entfernen. Entfernte Abfälle, die Schad- und Störstoffe enthalten, sind bereits vor Ort voneinander zu trennen und einer ordnungsgemäßen Behandlung zuzuführen⁴⁵⁶. Um eine hohe Wiederverwendungsrate zu erzielen (vgl. Abschnitt. 2.4, Abb. 2.6), sollte die Anordnung der schad- und recyclingkritischen Störstoffen im strukturellen Gefüge möglichst separierbar gestaltet werden, damit diese entsprechend leicht entfernt werden können, ohne die benachbarte Konstruktion zu beeinträchtigen. Welche Stoffe tatsächlich als recyclingkritisch gelten, muss je nach Materialkombination und Verwertungsverfahren im Speziellen beurteilt werden⁴⁵⁷.

5.7. Separierbarkeit und Materialverträglichkeit

Vor Beginn der Überlegungen zu einer separierbaren Anordnung von schad- und recyclingkritischen Störstoffen sollte zunächst die Materialverträglichkeit in Abhängigkeit des Verwertungsprozesses betrachtet werden. Dazu ist grundsätzlich festzuhalten, dass demontagefreundliche Strukturen, die ein einfaches Separieren der Schad- und Störstoffe erlauben, auch bei größerer Materialvielfalt recyclingfreundlicher sind, als dies bei Gebäudestrukturen aus nicht separierbaren Verbundmaterialien der Fall ist⁴⁵⁸. Folglich lassen sich für den strukturellen Aufbau nach [459] zwei alternative Lösungswege unterscheiden:

- Ein Aufbau mit geringer Materialvielfalt aus verwertungskompatiblen Stoffen
- Ein Aufbau mit hoher Materialvielfalt aus separierbaren Stoffen

Gemäß der im Abschnitt 4.4.3 unter Auswahl der Verbindungen erläuterten Verwertungskompatibilität werden in weiterer Folge nach [460], in Anlehnung an Birkmann/Ehrenstein/Steinhilper, einige Formen der Verwertungskompatibilität beispielhaft gezeigt (Abb. 5.6):

⁴⁵⁶ Vgl. Recycling Baustoffe BGBl. II Nr. 181/2015, §5.

⁴⁵⁷ Vgl. Brenner 2010, 50.

⁴⁵⁸ Vgl. Schneider/Böck/Mötzl 2010, 191.

⁴⁵⁹ Ebda., 191f.

⁴⁶⁰ Vgl. Brenner 2010, 63.

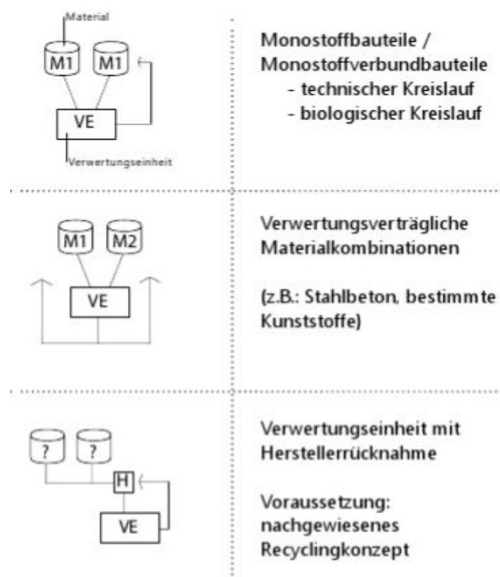


Abbildung 5.6: Formen der Verwertungskompatibilität

Monostoffbauteile/Monostoffverbundbauteile

Als Beispiel für eine Monostoffverbundbauweise wird auf das System Holz 100 der Firma Thoma verwiesen⁴⁶¹ (Abb. 5.7). Hier wurde ein Bauteil entwickelt, das aus einer Stoffkategorie besteht und durch seinen Aufbau in der Lage ist, mehrere Funktionen zu erfüllen. Das Bauteil besteht aus einzelnen Brettern und Kanthölzern, die aneinander geschichtet und über Hartholzdübel zu einem Wandelement gehalten werden. Durch den vielschichtigen Aufbau und den Eigenschaften des Holzes können bauphysikalische Kriterien an Wärmeschutz, Brandschutz, Diffusionsverhalten usw. erfüllt werden. Das Recyclingverhalten dieses Bauteils wird im Wesentlichen durch seine Sortenreinheit bestimmt. Durch den ausschließlichen Einsatz des Baustoffes Holz kann hier von einer Verwertungseinheit ausgegangen werden, die nicht weiter separiert werden muss.

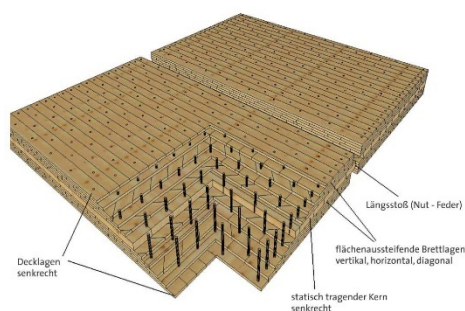


Abbildung 5.7: Monostoff-Verwertungseinheit am Beispiel des „System Holz 100“ der Firma Thoma

Verwertungsverträgliche Materialkombinationen

Als Beispiel für eine verwertungsverträgliche Materialkombination kann der Verbundwerkstoff Stahlbeton genannt werden. Ein Separieren der beiden Komponenten Stahl und Beton ist auf der Baustelle nicht möglich. Trotzdem sind diese beiden Stoffe sehr gut verwertungsverträg-

⁴⁶¹ System Holz 100,
<http://www.thoma.at/holz100>, 07.11.2016.

lich, da es Aufbereitungsanlagen gibt, die Stahl und Beton maschinell trennen und zu Sekundärrohstoffen verarbeiten. Da es für diesen Materialverbund ein gängiges Aufbereitungsverfahren gibt, kann hier wieder von einer Verwertungseinheit ausgegangen werden.

Herstellerrücknahme

Als Beispiel können hier Elektro- und Elektronikaltgeräte genannt werden. Elektrogeräte sind gekennzeichnet durch deren komplexen Aufbau und ihrer großen Materialvielfalt. Die fast 1000 verschiedenen Stoffe in einem Elektrogerät können auf der Baustelle nicht mehr separiert werden⁴⁶². Daher gewährleistet die Elektroaltgeräteverordnung kostenlose Rückgabemöglichkeiten für nicht mehr gebrauchte Geräte⁴⁶³. Diese werden in weitere Folge gesammelt und speziell dafür vorgesehen Aufbereitungsanlagen zugeführt. Da das gesamte Gerät einem nachweislichen Aufbereitungs- und Verwertungsprozesses zugeführt wird, kann hier ebenfalls von einer Verwertungseinheit ausgegangen werden.

5.8. Materialkennzeichnung und Dokumentation

Unter den heutigen gesetzlichen Rahmenbedingungen ist ein Gebäudeabbruch ohne Trennung der unterschiedlichen Baumaterialien nicht mehr möglich. Der Gesetzgeber schreibt eine getrennte Sammlung und Verwertung der bei Bautätigkeiten anfallenden Materialien vor⁴⁶⁴. Die Zielsetzung der Verordnung nach BGBl. II Nr. 181/2015 § 1 kann wie folgt beschrieben werden:

„Ziel dieser Verordnung ist die Förderung der Kreislaufwirtschaft und Materialeffizienz, insbesondere die Vorbereitung zur Wiederverwendung von Bauteilen und die Sicherstellung einer hohen Qualität von Recycling-Baustoffen, um das Recycling von Bau- und Abbruchabfällen im Sinne unionsrechtlicher Zielvorgaben zu fördern.“⁴⁶⁵

Um diese Ziele zu erreichen, hat der Abbruch eines Bauwerkes gemäß BGBl. II Nr. 181/2015 § 5 als Rückbau zu erfolgen. Die ÖNORM B 3151 schafft dafür ein Regelwerk, das das Ausbauen und Übergeben von Bauteilen zur Wiederverwendung, Vorbereitung zur Wiederverwendung und einem Recycling sicherstellt⁴⁶⁶. Darüber hinaus wird die Trennung der anfallenden Bau- und Abbruchabfälle unter Berücksichtigung der Schadstoffgehalte angestrebt, sodass eine Vermischung oder Verunreinigung der anfallenden Bau- und Abbruchabfälle minimiert und ein Entweichen von Schadstoffen verhindert wird⁴⁶⁷.

Im Zuge der Schad- und Störstofferkundung nach BGBl. II Nr. 181/2015 Recyclingbaustoffverordnung sind nicht nur schadstoffhaltige Bauteile zu erkunden und zu dokumentieren, sondern auch jene, die einer Vorbereitung zur Wiederverwendung zugeführt werden können⁴⁶⁸. Angesichts der Unmengen an unterschiedlichen Materialien, die heute am Bau Verwendung finden, wird eine Identifikation der Teile immer aufwendiger – zumal nicht alle Materialien auf Grund der Gegebenheiten optisch identifizierbar sind und gewisse stoffliche Zusammensetzungen erst durch aufwendige Erkundungen und etwaige zusätzliche Abbrucharbeiten erkennbar werden.

Die mit der BGBl. II Nr. 181/2015 verlautbarte Recycling Baustoffverordnung wird seitens der

⁴⁶² Vgl. BAWP 2011, 70f.

⁴⁶³ Vgl. Elektroaltgeräteverordnung EAG-VO, BGBl. II Nr. 121/2005.

⁴⁶⁴ Vgl. Recycling Baustoffe BGBl. II Nr. 181/2015.

⁴⁶⁵ Recycling Baustoffe BGBl. II Nr. 181/2015, § 1.

⁴⁶⁶ Ebda., §5.

⁴⁶⁷ Vgl. ÖNORM B 3151 2014, 4.

⁴⁶⁸ Vgl. Recycling Baustoffe BGBl. II Nr. 181/2015.

österreichischen Wirtschaftskammer als überbordende bürokratische und kostentreibende Bestimmung gewertet⁴⁶⁹. Angesichts dieser Tatsache braucht es Überlegungen, die im Zuge des Rückbaues ein rasches Identifizieren der zu trennenden Fraktionen erlauben (die stoffliche Zusammensetzung aller verbauten Teile), damit diese weitgehend wirtschaftlichen Wiederverwendungs- und Recyclingprozessen zugeführt werden können.

An dieser Stelle muss im Abschnitt 5.8 wieder auf die Fahrzeugindustrie verwiesen werden, der per Altfahrzeugrichtlinie 2000/53/EG ab 2015 eine Verwertungsquote für das Wiederverwenden und Recycling von 85% bzw. für das Verwerten von insgesamt 95% vorgeschrieben wird. Darüber hinaus stellt die Altfahrzeugrichtlinie an Fahrzeughersteller und Werkstoffzulieferer konkrete Anforderungen an die Kennzeichnung von Bauteilen und Werkstoffen⁴⁷⁰. Der Verband der Automobilindustrie legt dabei für alle Produzenten von Fahrzeugteilen durch die NORM 260 die Art und Weise einer dauerhaften Materialkennzeichnung fest⁴⁷¹. Gemäß VDA 260 liegt der Zweck der Kennzeichnung in der zunehmenden Notwendigkeit einer eindeutigen Identifizierung von Materialien und Bauteilen für:

- eine möglichst sortenreine Trennung, um die geforderte Wiederverwendungs- und Recyclingquote zu erreichen,
- für Reparatur und Wartungsarbeiten und
- für eine ggf. erforderliche gezielte Beseitigung.

Am Beispiel eines Bauteils soll nun die eine Werkstoffkennzeichnung nach VDA 260 demonstriert werden (Abb. 5.8). Der Werkstoff „PBT – GF 30“, dessen Kennzeichnung sich aus einer Buchstaben- und Zahlenkombination zusammensetzt, wird als Polybutylenterephthalat mit 30 % Glasfaseranteil bezeichnet⁴⁷².

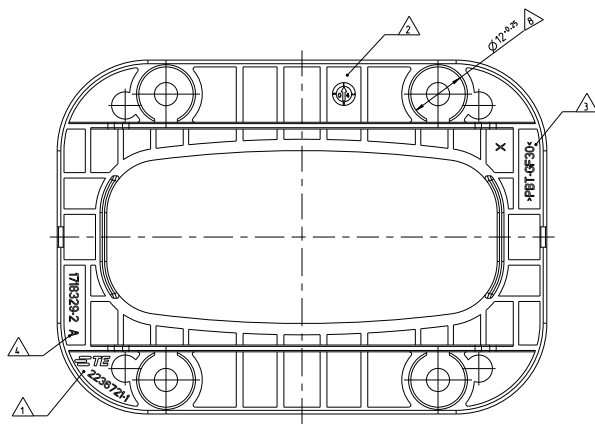


Abbildung 5.8: Werkstoffkennzeichnung nach VDA 260 am Beispiel eines Adapters für Flachstecker-Gehäuse⁴⁷³

Das Ziel in der gegenständlichen Arbeit ist es nun, alle verwendeten Materialien bzw. Produkte des Untersuchungsgegenstandes auf eine vorhandene Kennzeichnung hin zu untersuchen

⁴⁶⁹ WKO über Recyclingbaustoffverordnung, <https://www.wko.at/Content.Node/Service/Umwelt-und-Energie/Abfall/Abfallbehandlung/Recycling-Baustoffverordnung-verlautbart.html>, 01.04.2016

⁴⁷⁰ Vgl. Altfahrzeugrichtlinie 2000/53/EG 2000, Art. 25.

⁴⁷¹ Vgl. VDA 260 2007.

⁴⁷² Werkstoffkennzeichnung PBT – GF 30, http://www.kern.de/de/technisches-datenblatt/polybutylenterephthalat-pbt-gf30?n=1323_1, 05.03.2016.

⁴⁷³ Adapter für Flachstecker-Gehäuse, http://sigma.octopart.com/41600745/technical_drawing/TE-Connectivity-2236721-1.pdf, 04.04.2016.

und ob diese, im Zuge einer weiteren Verwendung oder Verwertung, ein rasches Identifizieren der stofflichen Zusammensetzungen erlauben. Bei vorhandenen Materialkennzeichnungen ist darauf zu achten, dass diese auch nach vielen Jahren des Gebrauchs dauerhaft lesbar bleiben und die Zugänglichkeit der Informationen auch ohne großen Demontageaufwand gewährleistet ist⁴⁷⁴.

Gemäß BGBl. II Nr. 181/2015 Recyclingbaustoff Verordnung erfolgt eine Dokumentation der schadstoffhaltigen sowie der zur Wiederverwendung bestimmten Materialien ausschließlich im Zuge der Erstellung eines Rückbaukonzeptes⁴⁷⁵. Dazu besagt die ÖNORM 3151, dass die Dokumentation vor dem Rückbau zu erfolgen hat⁴⁷⁶. Folglich sind die hierfür benötigten Informationen erst durch aufwendige Erkundungen am bestehenden bzw. rückzubauenden Objekt zu finden. Idealerweise sollte ein Gebäudeinformationssystem vorliegen, das sämtliche recyclingrelevanten Informationen, darunter Baustoffzusammensetzung, Wartungs- und Demontageanleitungen sowie Verwertungsoptionen schon beinhaltet⁴⁷⁷. Darüber hinaus würde eine kontinuierliche Ergänzung der Inhalte, z. B. bei Umbauten, für eine aktuelle Informationsbereitstellung sorgen⁴⁷⁸.

⁴⁷⁴ Vgl. Brenner 2010, 66.

⁴⁷⁵ Vgl. Recycling Baustoffe BGBl. II Nr. 181/2015, §5.

⁴⁷⁶ Vgl. ÖNORM B 3151 2014, Abs. 6.

⁴⁷⁷ Vgl. Scheibengraf/Reisinger 2005, 123.

⁴⁷⁸ Ebda., 123.

6. Definition und Gewichtung der Bewertungskriterien

Gemäß der beschriebenen Bewertungsmethodik nach [479] (Abschnitte. 3.5, 3.6, 3.7) erfolgt auf Basis der jeweiligen Voraussetzungen für demontage- und recyclingfähiges Bauen auf struktureller und stofflicher Ebene (Kap. 5, 6) die Festlegung der Bewertungskriterien und die dazugehörige Gewichtung, in Anlehnung an die Bewertungsstruktur nach Abb. 3.10.

6.1. Bewertungskriterien auf struktureller Ebene

Funktionstrennung/ Funktionsintegration

Unter Funktionstrennung wird im Rahmen der gegenständlichen Arbeit, zum Erreichen der geforderten Anforderungen, die Zuordnung nur einer Aufgabe (Funktion) zu einem Bauteil verstanden. Hingegen übernimmt bei der Funktionsintegration der „Träger“ der Funktionen mehr als eine Aufgabe. Übernimmt ein Bauteil mehr als eine Funktion, ist darauf zu achten, dass die Funktionen dieselben Austauschzyklen aufweisen. Zur Bewertung der Funktionstrennung und Funktionsintegration werden folgende Merkmale herangezogen:

- Es ist zu beurteilen, ob einem Bauteil eine oder mehrere Funktionen zugeordnet sind und
- übernimmt ein Bauteil mehr als eine Funktion, ist zu beurteilen, ob die Funktionen dieselben oder unterschiedliche Austauschzyklen aufweisen.

Funktionstrennung - Funktionsintegration	Komplette Funktionstrennung	1
	Funktionsintegration in einem Bauteil mit denselben Austauschzyklen	0.6
	Funktionsintegration in einem Bauteil mit unterschiedlichen Austauschzyklen	0.1

Tabelle 6.1: Bewertungskriterium: Funktionstrennung-Funktionsintegration

Funktionale Abhängigkeit

In der gegenständlichen Arbeit wird unter funktionaler Abhängigkeit jener Umstand bezeichnet, der unabhängige Nutzungseinheiten durch eine teils vorgesehene (geplante) oder notwendige Aufnahme/Eingliederung einer weiteren Funktion in eine partielle oder komplette Abhängigkeit führt. Zur Bewertung der funktionalen Abhängigkeit werden folgende Merkmale herangezogen:

- Es ist zu beurteilen, ob eine Abhängigkeit zwischen den Nutzungseinheiten vorliegt.
- Liegt eine Abhängigkeit zwischen den Nutzungseinheiten vor, ist zu beurteilen, ob es sich um eine bewusst geplante Abhängigkeit handelt oder um eine Abhängigkeit, die nicht geplant ist, sich aber notwendigerweise lösungsorientiert ergibt.

Funktionale Abhängigkeit	Unabhängige Nutzungseinheiten	1
	(notwendig) zustande gekommene Abhängigkeit (Lösungsorientiert)	0.6
	Geplante Abhängigkeit	0.4
	Komplette Abhängigkeit/Funktionsintegration	0.1

Tabelle 6.2: Bewertungskriterium: Funktionale Abhängigkeit

⁴⁷⁹ Vgl. Durmisevic 2010, 200-220.

Systematischer Aufbau der Strukturebenen

Unter systematischem Aufbau der Strukturebene wird in der gegenständlichen Arbeit der strukturelle Aufbau in Bauteilen und Bauteilgruppen gemäß ihren gestellten Anforderungen (Funktionen) bezeichnet. Je mehr Einzelteile in Bauteilgruppen zusammengefasst werden, desto einfacher erfolgt eine Koordinierung der Teile entsprechend ihrer Funktionen, der Austauschzyklen, Vorfertigung und bei der Montage bzw. Demontage. Zur Bewertung des strukturellen Aufbaus werden folgende Merkmale herangezogen:

- Es erfolgt eine grundsätzliche Analyse des strukturellen Aufbaues nach Materialien, Bauteilen und Bauteilgruppen, entsprechend ihren Funktionen.
- Idealerweise erfolgt der strukturelle Aufbau in Bauteilgruppen. Die Integration aller Materialien und Bauteile in einem System stellt den schlechtesten Fall dar.

Systematischer Aufbau der Strukturebenen	Ausschließlich Bauteilgruppen	1
	Aufbau in Bauteilen und Bauteilgruppen	0.8
	Nur Bauteile	0.6
	Aufbau in Materialien, Bauteilen und Bauteilgruppen	0.4
	Aufbau in Materialien und Bauteilen	0.2
	Nur Materialien	0.1

Tabelle 6.3: Bewertungskriterium: Systematischer Aufbau der Strukturebenen

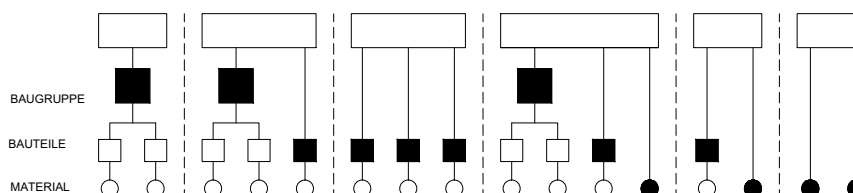


Abbildung 6.1: Grafische Erläuterung zu Bewertungskriterium: Systematischer Aufbau der Strukturebenen

Modularität

Unter Modul oder Cluster wird im Rahmen der gegenständlichen Arbeit die Gruppierung von Bauteilen zu Bauteilgruppen bezeichnet, um unabhängig von der restlichen Konstruktion getauscht, gewartet oder demontiert zu werden. Dabei kann die Gruppierung der Bauteile nach unterschiedlichen Gesichtspunkten erfolgen. Als Hauptaspekt kann, nach dem Prinzip der Funktionstrennung, das Clustern von Bauteilen in unabhängigen Nutzungseinheiten genannt werden. Ist das Clustern der Bauteile getrennt nach Funktionen nicht möglich, sollten Bauteile mit ähnlicher technischer Lebensdauer zu einer Einheit zusammengefasst werden. Im Idealfall werden unter den genannten Voraussetzungen aus Bauteilen Module vorgefertigt, um dann als Einheit, unabhängig von der restlichen Konstruktion, vor Ort montiert bzw. demontiert zu werden. Ist das Zusammenfassen von Bauteilen weder nach ihrer Funktionalität noch in Abstimmung ihrer Lebensdauer möglich, kann ein weiterer Grund der Clusterbildung in der schnelleren Montage der Einheiten liegen. Um den strukturellen Aufbau des BSP-Bausystems hinsichtlich seiner Modularität zu bewerten, werden folgende Beurteilungsmerkmale herangezogen:

- Die Beurteilung der Modularität erfolgt auf Basis des strukturellen Aufbaus (siehe vorangegangener Abschnitt),
- Die Art und Grund der Clusterbildung ist zu definieren (z. B. Funktionstrennung, Lebenszyklusbetrachtung, Montage und Demontage),
- Es ist zu beurteilen, ob Module vorgefertigt vor Ort montiert werden oder die Bauteile vor Ort zu einer Einheit zusammengebaut werden,
- Es ist zu beurteilen, ob eine klare Funktionstrennung vorliegt und
- Es ist zu beurteilen, ob die Abstimmung der Einzelteile in einer Nutzungseinheit unter Berücksichtigung ihrer Lebenszyklen erfolgt.

Modularität	Clustern nach Funktionstrennung und Vorfertigung	1
	Clustern nach Funktionstrennung, Zusammenbau vor Ort	0.8
	Clustern von Bauteilen mit ähnlichen Lebenszyklen und Vorfertigung	0.6
	Clustern von Bauteilen mit ähnlichen Lebenszyklen, Zusammenbau vor Ort	0.4
	Clustern zum Zwecke einer schnelleren Montage	0.2
	kein modularer Aufbau	0.1

Tabelle 6.4: Bewertungskriterium: Modularität

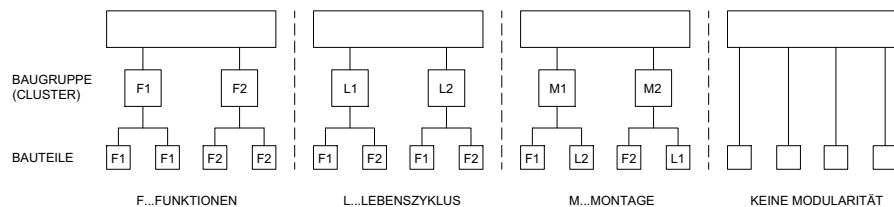


Abbildung 6.2: Grafische Erläuterung zu Bewertungskriterium: Modularität

Lebenszyklusbetrachtung

Lebenszyklusbetrachtung bedeutet in der gegenständlichen Arbeit die Koordination der Bauteile entsprechend ihrer Lebensdauer. Das bedeutet, dass Bauteile mit einer längeren technischen Lebensdauer und einer größeren Abhängigkeit in der Montagehierarchie zuerst zusammengebaut bzw. montiert werden und zuletzt auseinandergebaut bzw. demontiert werden. Umgekehrt sollten Bauteile mit kurzer technischer Lebensdauer und geringer Abhängigkeit in der Montagehierarchie zuletzt zusammengebaut bzw. montiert werden und zuerst auseinandergebaut bzw. demontiert werden. Die wirtschaftliche Nutzungsdauer des BSP-Bausystems wird in der gegenständlichen Arbeit mit 50 Jahren angenommen. Zur Bewertung der Lebenszykluskoordination werden folgende Merkmale herangezogen:

- Erfolgt die Montage der Bauteile unter Berücksichtigung ihrer technischen Lebensdauer?
- Bauteile mit langer techn. LD- werden zuerst montiert und zuletzt demontiert, Bauteile mit kurzer techn. LD- werden als letztes montiert und als erstes demontiert.
- Auf welcher Montagehierarchie befinden sich die Bauteile mit kurzer techn. LD?
- Auf welcher Montagehierarchie befinden sich die Bauteile mit langer techn. LD?

Lebenszykluskoordinat ion	LC lang: Montage zuerst- Demontage zuletzt / LC kurz: Montage zuletzt- Demont age zuerst	1
	Interpolieren in Abhängigkeit der Montageschritte	0.6
		0.3
	LC kurz: Montage zuerst- Demontage zuletzt / LC Lang: Montage zuletzt- Demont age zuerst	0.1

Tabelle 6.5: Bewertungskriterium: Lebenszyklusbetrachtung

Beziehungsmuster

Als Beziehungsmuster werden in der gegenständlichen Arbeit Diagramme bezeichnet, aus denen die Abhängigkeiten der Gebäudeteile ablesbar sind. Dabei werden alle Bauteile des BSP-Systems entsprechend ihrer Funktion und Montagehierarchie systematisch in Zeilen und Spalten dargestellt. Beziehungen sind im Rahmen der gegenständlichen Arbeit grafische Verbindungen, die Abhängigkeiten indizieren. Horizontale Beziehungen zeigen Abhängigkeiten zwischen den Nutzungseinheiten und vertikale Beziehungen zeigen Abhängigkeiten innerhalb der Nutzungseinheiten. Nach dem Prinzip der Funktionstrennung sollten horizontale Beziehungen zwischen den Nutzungseinheiten vermieden werden. Sind diese dennoch zu erkennen, ist zu prüfen, in welcher Montagehierarchie sie sich befinden. Je höher eine horizontale Beziehung in der Montagehierarchie angeordnet ist, desto mehr Bauteile müssen entfernt werden, um die jeweilige Verbindung zu erreichen. Um die Abhängigkeiten zwischen den Nutzungseinheiten zu bewerten, werden folgende Beurteilungsmerkmale herangezogen:

- An Hand von Beziehungsdigrammen ist zu beurteilen, ob horizontale Verbindungen zwischen den Nutzungseinheiten erkennbar sind.
- Treten horizontale Beziehungen zwischen den Nutzungseinheiten auf, ist zu beurteilen, auf welcher Ebene sich diese in der Montagehierarchie befindet.

Hierarchie und Anord nung	ausschließlich vertikale Beziehungen innerhalb der Nutzungseinheiten	1
	Beziehungen (horizontal) in den unteren Ebenen der Montagehierarchie	0.6
	Beziehungen (horizontal) zw. unteren und oberen Ebenen der Montagehierarchie	0.3
	Beziehungen (horizontal) in den oberen Ebenen der Montagehierarchie	0.1

Tabelle 6.6: Bewertungskriterium: Beziehungsmuster

Basisbauteil

Als Basisbauteile werden im Rahmen der gegenständlichen Arbeit Bauteile bezeichnet, die entweder innerhalb einer Nutzungseinheit als „Träger“ dienen, auf dem weitere Bauteile montiert sind oder als vermittelndes Element zwischen zwei Nutzungseinheiten. In beiden Fällen dienen Basisbauteile einer unabhängigen und somit austauschbaren Anordnung von Bauteilen bzw. Nutzungseinheiten. Um Abhängigkeiten zwischen den Nutzungseinheiten zu vermeiden, sollten horizontale Beziehungen im Idealfall nur zwischen dem Basisbauteil der Nutzungseinheit und dem Basisbauteil der Gesamtstruktur hergestellt werden. Ist keine Verbindung zum Basisbauteil der Gesamtstruktur möglich, sollten Verbindungen zwischen den Nutzungseinheiten auch nur über das Basisbauteil erfolgen. Als Basisbauteil der Gesamtstruktur wird in der gegenständlichen Arbeit die tragende BSP-Konstruktion bezeichnet. Zur Bewertung der BSP-Bauweise hinsichtlich Basisbauteilbildung werden folgende Beurteilungsmerkmale herangezogen:

- Auf welcher Ebene in der Gebäude- bzw. Montagehierarchie befindet sich das Basisbauteil?
- Oberste Ebene: Basisbauteile als Vermittler zwischen Nutzungseinheit und Gesamtstruktur
- Beinhaltet die Gesamtstruktur kein Basisbauteil, ist zu prüfen, ob die Beziehung zwischen zwei Nutzungseinheiten über ein Basisbauteil einer Nutzungseinheit erfolgt.
- Es ist zu beurteilen, ob ein Bauteil einer Nutzungseinheit gleichzeitig Basisbauteil einer anderen Nutzungseinheit ist.

Basisbauteil	Basisbauteil als Vermittler zwischen Nutzungseinheiten und Gesamtstruktur/Austauschcluster	1
	Basisbauteil einer Nutzungseinheit als Vermittler für weitere Nutzungseinheiten	0.6
	Bauteil einer Nutzungseinheit ist Basisbauteil für eine andere Nutzungseinheit	0.4
	Kein Basisbauteil	0.1

Tabelle 6.7: Bewertungskriterium: Basisbauteil

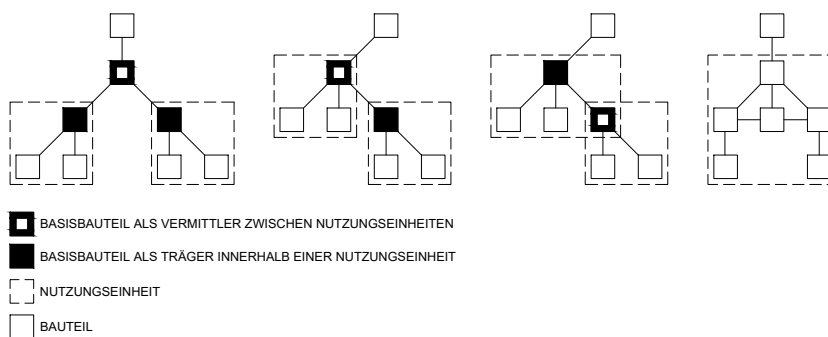


Abbildung 6.3: Grafische Erläuterung zu Bewertungskriterium: Basisbauteil

Geometrie der Fügstellen

Unter Geometrie der Fügstellen wird im Rahmen der gegenständlichen Arbeit die Ausbildung der Bauteilkanten bezeichnet. Je nach Ausbildung kann dadurch der Montage- bzw. Demontageablauf beeinflusst werden. Offene Kanten-Geometrien erleichtern den Montagablauf, hingegen machen geschlossene Geometrien eine Demontage der Bauteile oft unmöglich, ohne diese zu zerstören. Zur Bewertung der Bauteilkanten werden folgende Beurteilungsmerkmale herangezogen:

- Offene Bauteilkante
- Symmetrisch überlappende Bauteilkante
- Einseitig überlappende Bauteilkante
- Asymmetrisch überlappende Bauteilkante
- Geschlossen einseitig eingebaut
- Geschlossen beidseitig eingebaut

Geometrie der Fügestellen	Offene Bauteilkanten	1
	Symmetrisch überlappende Bauteilkante	0.8
	Einseitig überlappende Bauteilkante	0.6
	Asymmetrisch überlappende Bauteilkante	0.4
	Geschlossen einseitig eingebaut	0.2
	Geschlossen beidseitig eingebaut	0.1

Tabelle 6.8: Bewertungskriterium: Geometrie der Fügestellen

Montageablauf

Der Montageablauf beschreibt in der gegenständlichen Arbeit die Abfolge des Zusammenbaus des BSP-Bausystems. Dabei entstehen Abhängigkeiten zwischen den Bauteilen, die grundsätzlich durch parallele und sequentielle Montageabfolgen entstehen. Da die Demontage in umgekehrter Weise der Montage entspricht, kommen den Montagesequenzen besondere Bedeutungen zu. Um Abhängigkeiten in Folge des Montageablaufes zu vermeiden, sind parallele, offene Montagesequenzen sequentiellen, geschlossenen Montagesequenzen vorzuziehen. Zur Bewertung des Montageablaufes und den daraus entstehenden Abhängigkeiten zwischen den Bauteilen werden folgende Beurteilungsmerkmale herangezogen:

- Parallele, offene Montage
- Verschachtelte Montage
- Sequentielle, geschlossenen Montage

Montageablauf	Parallele, offene Montage	1
	Verschachtelte Montage	0.6
	Basiselement in verschachtelter Montage	0.4
	Sequentielle geschlossene Montage	0.1

Tabelle 6.9: Bewertungskriterium: Montageablauf

Verbindungsarten

Verbindungsarten beschreiben in der gegenständlichen Arbeit die verschiedenen Arten der Verbindungen, die zur Befestigung der einzelnen Bauteile im BSP-System verwendet werden. Grundsätzliche Voraussetzung für Verbindungen von demontagegerechten Strukturen ist deren Lösbarkeit, um eine zerstörungsfreie Demontage zu ermöglichen. In der gegenständlichen Arbeit erfolgt eine Betrachtung der Fügung ausschließlich unter den Gesichtspunkten fester Verbindungen, die je nach dem Prinzip der Kraftübertragung an den Berührflächen eine Unterscheidung in formschlüssiger-, kraftschlüssiger- und stoffschlüssiger Verbindungen erlauben. Zur Bewertung der verwendeten Verbindungsarten im BSP-System wird als Beurteilungsmerkmal die Lösbarkeit der Verbindungsmittel herangezogen. Bei der Klassifizierung von festen zu lösbaren Verbindungen werden weitere Beurteilungsmerkmale herangezogen. Dazu zählen folgende Aspekte:

- Die Abhängigkeit der Bauteile, die bei der Montage bzw. Demontage durch die jeweilige Verbindungsart entsteht,
- Das Wiederverwendungspotential demontierter Bauteile infolge der Wahl der Verbindungsart.

Folgende Unterteilung von festen zu lösbaren Verbindungen unter Berücksichtigung der zuvor genannten Aspekte wird vorgenommen:

- Stoffschlüssige Verbindungen ohne weitere Unterscheidung zwischen Kleben, Löten, Schweißen usw.: Die unlösbaren Verbindungen stehen über ihren Schluss in direkter Abhängigkeit. Ein Lösen der Verbindung führt unweigerlich zur Zerstörung der beiden Verbindungspartner.
- Formschlüssige Verbindungen ohne zusätzliche Verbindungsteile: Die Fügegeometrie gestattet meist nur eine sequentielle Demontageabfolge (z. B. Zapfenverbindung). Ein Herauslösen der Teile ist nicht möglich, ohne die benachbarten, in direkter Abhängigkeit stehenden Teile zu beeinträchtigen. Da das Lösen der Verbindungen meist zur Zerstörung der Verbindungspartner führt, ist eine Wiederverwendung der Teile nicht möglich.
- Formschlüssige Verbindungen mit zusätzlichen Verbindungsteilen: Die Fügegeometrie der Verbindungspartner benötigt ein zusätzliches Verbindungsteil (z. B. überlappende Bauteilkante). Wird ein Bauteil entfernt, muss die ganze Verbindung abgebaut werden. Dies erfolgt meist zerstörungsfrei.
- Kraftschlüssige Verbindungen mit innenliegenden Verbindungsteilen: Innenliegend, angeordnete Verbindungsteile verursachen meist eine Abhängigkeit der Verbindungspartner. Das Lösen erfordert meist eine sequentielle Montageabfolge. Auf Grund der Möglichkeit einer zerstörungsfreien Demontage ist eine Wiederverwendung der Bauteile gegeben.
- Kraftschlüssige Verbindungen mit außenliegenden Verbindungsteilen: Außenliegende und daher leicht zugängliche Verbindungsteile erlauben eine gute Separierung der Bauteile.

Verbindungsarten	Kraftschlüssige Verbindungen mit außenliegenden Verbindungsteilen	1
	Kraftschlüssige Verbindungen mit innenliegenden Verbindungsteilen	0.8
	Formschlüssige Verbindungen mit zusätzliche Verbindungsteilen	0.6
	Formschlüssige Verbindungen ohne zusätzliche Verbindungsteile	0.4
	Stoffschlüssige Verbindungen	0.1

Tabelle 6.10: Bewertungskriterium: Verbindungsarten

Zugänglichkeit der Verbindungen

Unter Zugänglichkeit der Verbindungen wird im Rahmen der gegenständlichen Arbeit jener Umstand bezeichnet, der Zugang zu Verbindungen und Bauteilen im Zuge von Wartung und Demontage erlaubt. Die Erkennbarkeit und Lösbarkeit der Verbindungsstellen kann dabei einen zerstörungsfreien Tausch der Komponenten samt ihren Verbindungsmitteln am Ende ihrer Lebenszyklen unterstützen. Zur Bewertung der Zugänglichkeit der Verbindungen werden folgende Beurteilungsmerkmale herangezogen:

- Ist die Zugänglichkeit zu den Verbindungen grundsätzlich gegeben?
- Sind dafür zusätzliche Demontageschritte notwendig?
- Entsteht im Falle einer Montage ein Schaden an der Konstruktion?
- Ist der Schaden reparabel?

Zugänglichkeit der Verbindungen	Zugänglichkeit der Verbindungsstellen ohne zusätzliche Demontageschritte	1
	Zugänglichkeit der Verbindungsstellen mit zusätzlichen Demontageschritten ohne Schaden	0.8
	Zugänglichkeit der Verbindungsstellen mit zusätzlichen Demontageschritten mit Schaden reparabel	0.6
	Zugänglichkeit der Verbindungsstellen mit zusätzlichen Demontageschritten mit Schaden irreparabel	0.4
	Nicht Zugänglich	0.1

Tabelle 6.11: Bewertungskriterium: Zugänglichkeit der Verbindungen

6.2. Bewertungskriterien auf stofflicher Ebene

Kreislauffähigkeit der Materialien

Unter Kreislauffähigkeit der Materialien werden in der gegenständlichen Arbeit belastbare Nachweise zur Kreislaufführung aller verwendeten Produkte des BSP-Bausystems verstanden, die Angaben zur Nachnutzungsphase beinhalten. Zur Bewertung der Kreislauffähigkeit sollten in erster Linie Nachweise herangezogen werden, die für den Recyclingprozess relevante Daten liefern. Die Betrachtungsgrenze „cradle to grave“ – von der Wiege bis zur Bahre inkl. Module D nach EN 15804 sowie Produktleasing und Hersteller-Rücknahmeverpflichtungen gelten als Nachweis zur Kreislaufführung. Ökobilanzen, die die Umweltwirkungen des jeweiligen Produktes nur bis zur Betrachtungsgrenze „cradle to gate“ betrachten und optional keine Angaben zur Nachnutzungsphase bieten, gelten nicht als Nachweis zur Kreislaufführung.

Als Nachweis zur Kreislaufführung der Produkte werden folgende Beurteilungsmerkmalen herangezogen:

- Gibt es einen Nachweis zur Kreislaufführung?
- Gibt es Angaben zu den Umweltwirkungen des Produktes?

Kreislauffähigkeit der Materialien	Nachweis zur Kreislaufführung (Recycling)	1
	Angaben zu Umweltwirkungen des Produktes	0.5
	Kein Nachweis	0.1

Tabelle 6.12: Bewertungskriterium: Kreislauffähigkeit der Materialien

Stoffliche Vielfalt und deren Verträglichkeit

Unter stofflicher Vielfalt wird in der gegenständlichen Arbeit die Anzahl der Materialfraktionen verstanden, die für eine sortenreine Verwertung erkannt, getrennt und sortiert werden müssen. Solange die Kreislauffähigkeit der Materialfraktionen gegeben ist, steht einer stofflichen Vielfalt grundsätzlich nichts entgegen. Auf der Baustelle jedoch verursacht das Sortieren einer zu großen Vielfalt an Fraktionen einen enormen Aufwand, der unweigerlich zur Einschränkung in der Sortenreinheit führt. Um ein möglichst hohes Maß an Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit sicherzustellen, sollte bei der Auswahl der Materialien einerseits eine grundlegende Homogenität angestrebt werden, da so die Anzahl der unterschiedlichen Entsorgungswege reduziert wird und andererseits sollte auf die Verträglichkeit der verwendeten Materialien geachtet werden. Unter Materialverträglichkeit sind in der gegenständlichen Arbeit Materialkombinationen zu verstehen, die entweder verwertungskompatibel aufeinander abgestimmt sind, sodass sie

als ganze Einheit einem Recyclingverfahren zugeführt werden können oder als leicht separierbare Materialien angeordnet, sodass diese in getrennten Fraktionen verwertet werden können. Durch die Kombination von Materialien einer Stoffklasse oder Verbundwerkstoffen aus verwertungskompatiblen Materialien entstehen Materialeinheiten, die eine gemeinsame Verwertung mit gängigen Recyclingmethoden erlauben. Bei nicht verwertungskompatiblen Materialzusammenschlüssen hat sich gezeigt, dass gut zerlegbare Konstruktionen mit separierbaren Materialien auch bei großer Materialvielfalt als recyclingfähig gelten. Zur Bewertung der Materialvielfalt in Abhängigkeit ihrer Verwertungskompatibilität werden folgende Beurteilungsmerkmale herangezogen:

- BT/BG aus einem Material (Monostoffsysteme)
- BT/BG aus Materialkombinationen einer Stoffklasse (Monostoffverbundsysteme)
- BT/BG aus verwertungskompatiblen Materialkombinationen
- BT/BG aus nicht verwertungskompatiblen Materialkombinationen, aber separierbar
- BT/BG als Verbundkonstruktionen, nicht verwertungskompatibel und nicht separierbar

Stoffliche Vielfalt und deren Verträglichkeit	BT/BG aus einem Material (Monostoffsysteme)	1
	BT/BG aus Materialkombinationen einer Stoffklasse (Monostoffverbundsysteme)	0.8
	BT/BG aus verwertungskompatiblen Materialkombinationen	0.6
	BT/BG aus nicht verwertungskompatiblen Materialkombinationen aber separierbar	0.4
	BT/BG aus Verbundkonstruktionen nicht verwertungskompatibel und nicht separierbar	0.1

Tabelle 6.13: Bewertungskriterium: Stoffliche Vielfalt und deren Verträglichkeit

Substitution durch Recycling Baustoffe

Unter Substitution durch Recyclingbaustoffe wird in der gegenständlichen Arbeit der Einsatz von Recyclingbaustoffen verstanden, die durch Aufbereitung aus Abfällen gewonnen werden und als Ausgangsstoffe (Sekundärrohstoffe) für neue Materialien dienen (Materialrecycling). Zur Bewertung des BSP-Systems hinsichtlich des Einsatzes von Recyclingbaustoffen werden folgende Beurteilungsmerkmale herangezogen:

- Materialeinsatz aus Primärrohstoffen
- Materialrecycling: Kommen Recyclingbaustoffe zum Einsatz? (Wiederverwertung, Weiterverwertung)
- Produktrecycling: Kommen gebrauchte Produkte zum Einsatz, die im BSP-System für denselben oder einen anderen Verwendungszweck genutzt werden (Wieder- oder Weiterverwertung von Produkten)

Substitution durch Recyclingbaustoffe	Produktrecycling	1
	Materialrecycling	0.6
	Primärrohstoffe	0.1

Tabelle 6.14: Bewertungskriterium: Substitution durch Recyclingbaustoffe

Schadstoffe und recyclingkritische Störstoffe

Als Schadstoffe und recyclingkritische Störstoffe werden im Rahmen der gegenständlichen Arbeit Stoffe bezeichnet, die im BSP-System vorkommen können und dadurch ein Verwerten

der Bauteile erschweren oder unmöglich machen. Das Separieren von Störstoffen sollte möglichst schadensfrei erfolgen, damit Bauteile einer abermaligen Verwendung zugeführt werden können. Müssen im Zuge von Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten Schadstoffe und recyclingkritische Störstoffe oder damit kontaminierte Bauteile ausgetauscht werden, sollte dies ebenfalls ohne Beeinträchtigung der übrigen Konstruktion erfolgen. Um eine Bewertung des BSP-Systems nach Schadstoffen und recyclingkritischen Störstoffen vornehmen zu können, werden folgende Beurteilungsmerkmale herangezogen:

- Kommen Schadstoffe oder recyclingkritische Störstoffe vor, die eine Verwertung stören?
- Ist ein Entfernen der Schadstoffe oder recyclingkritischer Störstoffe möglich, ohne das auszutauschende Bauteil oder die übrige Konstruktion zu beeinträchtigen?

Schadstoffe und recyclingkritische Störstoffe	Keine Schadstoffe oder recyclingkritischen Störstoffe	1
	Störstoffe entfernbar, ohne Schaden zu verursachen	0.5
	Störstoffe entfernbar mit Schadensverursachung	0.1

Tabelle 6.15: Bewertungskriterium: Schadstoffe und recyclingkritische Störstoffe

Materialkennzeichnung und Dokumentation

Unter Materialkennzeichnung und Dokumentation wird im Rahmen der gegenständlichen Arbeit die Kennzeichnung und Dokumentation der verwendeten Materialien und Bauteile verstanden. In der Regel müssen diese für den Rückbau erst erkundet werden, um, in Fraktionen aufgeteilt, den entsprechenden Verwertungsverfahren zugeführt werden zu können. Der Zweck der Kennzeichnung liegt dabei in einer schnelleren und eindeutigeren Identifizierung der Bauteile und ihrer stofflichen Zusammensetzung. Idealerweise sind Materialkennzeichnungen zugänglich, um eine Identifizierung der Bauteile ohne größeren Demontageaufwand zu ermöglichen.

Zur Bewertung des BSP-Systems hinsichtlich der Kennzeichnung seiner Bauteile und deren Dokumentation werden folgende Beurteilungsmerkmale herangezogen:

- Beinhaltet die Kennzeichnung relevante Daten zur stofflichen Zusammensetzung?
- Beinhaltet die Kennzeichnung sonstige Angaben, die eine Identifizierung erleichtern?
- Bei vorhandenen Kennzeichnungen ist darauf zu achten, dass diese auch nach vielen Jahren des Gebrauchs dauerhaft lesbar bleiben und die Zugänglichkeit der Informationen auch ohne großen Demontageaufwand gewährleistet ist.

Materialkennzeichnung und Dokumentation	Kennzeichnung beinhaltet stoffliche Zusammensetzung, zugänglich	1
	Kennzeichnung beinhaltet stoffliche Zusammensetzung, nur unter Demontageaufwand zugänglich	0.6
	Sonstige Kennzeichnungen, die eine Identifizierung ermöglichen	0.4
	Keine Kennzeichnung	0.1

Tabelle 6.16: Bewertungskriterium: Materialkennzeichnung und Dokumentation

6.3. Zusammenfassung der Bewertungskriterien

				Gewichtung
Bewertungskriterien auf struktureller Ebene	A	Funktionstrennung - Funktionsintegration	Komplette Funktionstrennung	1.0
			Funktionsintegration in einem Bauteil mit denselben Austauschzyklen	0.6
			Funktionsintegration in einem Bauteil mit unterschiedlichen Austauschzyklen	0.1
	B	Funktionale Abhängigkeit	Unabhängige Nutzungseinheiten/ Funktionstrennung	1.0
			Notwendig zustande gekommene Abhängigkeit (Lösungsorientiert)	0.6
			Geplante Abhängigkeit	0.3
			Komplette Abhängigkeit/ Funktionsintegration	0.1
	C	Systematischer Aufbau der Strukturebene	Ausschließlich Baugruppen	1.0
			Aufbau in Bauteilen und Baugruppen	0.8
			Nur Bauteile	0.6
			Aufbau in Materialien, Bauteilen und Baugruppen	0.4
			Aufbau in Materialien und Bauteilen	0.2
			Nur Materialien	0.1
	D	Modularer Aufbau	Modularer Aufbau nach Funktionstrennung und Vorfertigung	1.0
			Modularer Aufbau nach Funktionstrennung, Zusammenbau vor Ort	0.8
			Zusammenfassen von Bauteilen mit ähnlichen Lebenszyklen und Vorfertigung	0.6
			Zusammenfassen von Bauteilen mit ähnlichen Lebenszyklen, Zusammenbau vor Ort	0.4
			Modularer Aufbau zum Zwecke einer schnelleren Montage	0.2
			Kein modularer Aufbau	0.1
	E	Basisbauteil	Basisbauteile als Vermittler zwischen Nutzungseinheit und Gesamtstruktur/Austauschcluster	1.0
Basisbauteil einer Nutzungseinheit als Vermittler für weitere Nutzungseinheiten			0.6	
Bauteil einer Nutzungseinheit ist Basisbauteil für ein andere Nutzungseinheit			0.3	
Keine Basisbauteile			0.1	
F	Lebenszyklusbetrachtung	Basisbauteile als Vermittler zwischen Nutzungseinheit und Gesamtstruktur/Austauschcluster	1.0	
		Basisbauteil einer Nutzungseinheit als Vermittler für weitere Nutzungseinheiten	0.6	
		Bauteil einer Nutzungseinheit ist Basisbauteil für ein andere Nutzungseinheit	0.3	
		Keine Basisbauteile	0.1	
G	Beziehungsmuster	Ausschließlich vertikale Beziehungen innerhalb der Nutzungseinheiten	1.0	
		Horizontale Beziehungen in den unteren Ebenen der Montagehierarchie	0.6	
		Horizontale Beziehungen zw. unteren und oberen Ebenen der Montagehierarchie	0.3	
		Horizontale Beziehungen in den oberen Ebenen der Montagehierarchie	0.1	
H	Montageablauf	Parallele offene Montage	1.0	
		Verschachtelte Montage	0.6	
		Basiselement in verschachtelter Montage	0.4	
		Sequentielle geschlossene Montage	0.1	
I	Geometrie der Fugstellen	Offene Bauteilkanten	1.0	
		Symmetrisch überlappende Bauteilkanten	0.8	
		Einseitig überlappende Bauteilkanten	0.6	
		Assymetrisch überlappende Bauteilkanten	0.4	
		Geschlossen einseitig eingebaut	0.2	
		Geschlossen beidseitig eingebaut	0.1	
J	Verbindungsarten	Kraftschlüssige Verbindungen mit außenliegenden Verbindungsteilen	1.0	
		Kraftschlüssige Verbindungen mit innenliegenden Verbindungsteilen	0.8	
		Formschlüssige Verbindungen mit zusätzliche Verbindungsteilen	0.6	
		Formschlüssige Verbindungen ohne zusätzliche Verbindungsteile	0.4	
		Stoffschlüssige Verbindungen	0.1	
K	Zugänglichkeit der Verbindungen	Zugänglichkeit der Verbindungsstellen ohne zusätzliche Demontageschritte	1.0	
		Zugänglichkeit der Verbindungsstellen mit zusätzlichen Demontageschritten ohne Schaden	0.8	
		Zugänglichkeit der Verbindungsstellen mit zusätzlichen Demontageschritten mit Schaden reparabel	0.6	
		Zugänglichkeit der Verbindungsstellen mit zusätzlichen Demontageschritten mit Schaden irreparabel	0.4	
		Nicht Zugänglich	0.1	
Bewertungskriterien auf stofflicher Ebene	L	Kreislauffähigkeit der Materialien	Nachweis zur Kreislaufführung (Recycling)	1
			Angaben zu Umweltwirkungen des Produktes	0.5
			Kein Nachweis	0.1
	M	Stoffliche Vielfalt und deren Verträglichkeit	BT/BG aus einem Material (Monostoffsysteme)	1
			BT/BG aus Materialkombinationen einer Stoffklasse (Monostoffverbundsysteme)	0.8
			BT/BG aus verwertungskompatiblen Materialkombinationen	0.6
			BT/BG aus nicht verwertungskompatiblen Materialkombinationen aber separierbar	0.4
			BT/BG als Verbundkonstruktionen nicht verwertungskompatibel und nicht separierbar	0.1
	N	Substitution durch Recyclingbaustoffe	Produktrecycling	1
			Materialrecycling	0.6
			Primärrohstoffe	0.1
	O	Schadstoffe und recyclingkritische Störstoffe	Keine Schadstoffe oder recyclingkritischen Störstoffe	1
Störstoffe entfernbar ohne Schaden zu verursachen			0.5	
Störstoffe entfernbar mit Schadensverursachung			0.1	
P	Materialkennzeichnung und Dokumentation	Kennzeichnung beinhaltet stoffliche Zusammensetzung, zugänglich	1	
		Kennzeichnung beinhaltet stoffliche Zusammensetzung, nur unter Demontageaufwand zugänglich	0.6	
		Sonstige Kennzeichnungen, die eine Identifizierung ermöglichen	0.4	
		Keine Kennzeichnung	0.1	

Tabelle 6.17: Zusammenfassung der Bewertungskriterien auf struktureller und stofflicher Ebene mit dazugehöriger Gewichtung

7. Das Brettsperrholzsystem

Der Ursprung der Holzmassivbauweise ist auf den mittelalterlichen und neuzeitlichen Block- oder Strickbau zurückzuführen (Abb. 7.1). Die aus den Alpenländern und Skandinavien bekannten Bauweisen bestehen aus behauenen Stammhölzern, die waagrecht, meist durch überkreuzte Eckverbindungen, zu einer Wand aufgestapelt wurden⁴⁸⁰.

„Waren früher stabförmige Konstruktionen wie die Rahmen- oder die Skelettbauweise die häufigsten Varianten und gab es Holzmassivbau mehr oder weniger ausschließlich in Form der Blockbauweise, so erweitert das Brettsperrholz die Möglichkeiten im Holzbau ganz grundlegend.“⁴⁸¹

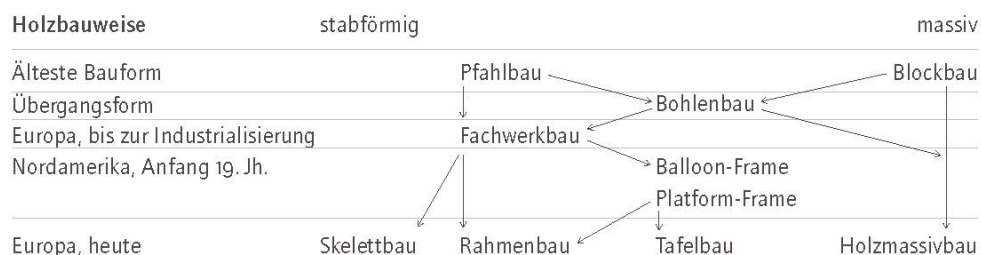


Abbildung 7.1: Entwicklung der Holzbauweisen⁴⁸²

Das Prinzip der kreuzweisen Verleimung bestehend aus einer ungeraden Zahl von Schichten aus Schälfnieren und Stabhölzern, wurde bereits vor der Entwicklung von Brettsperrholz zur Herstellung formstabiler Holzwerkstoffplatten genutzt⁴⁸³. Dem Prinzip der Holzwerkstoffplatten folgend, aber in größeren Dimensionen, wurden aus den Anschnittbrettern der Sägebetriebe die ersten Brettsperrholzplatten erzeugt⁴⁸⁴.

Die ersten bauaufsichtlichen Zulassungen der heute unter den Namen Kreuzlagenholz, Cross Laminated Timber CLT, X-Lam oder BSP bekannten mehrschichtigen Massivholzplatten wurden 1998 erstmals erteilt⁴⁸⁵. Inzwischen wird Brettsperrholz als modernes, ökologisches Produkt für den vielfältigen Einsatz im konstruktiven Holzbau geachtet. Sei es nun die statische Platten- und Scheibenwirkung, die im Gegensatz zu den stabförmigen Konstruktionen ein völlig neues Gestaltungspotential bietet. Oder der Einsatz neuer Bearbeitungstechnologien (Stichwort: Roboting) oder die Möglichkeiten der Vorfertigung – Gründe dafür gibt es viele. Weitere produktspezifische Eigenheiten können aus den jeweiligen Herstellerinformationen nach [⁴⁸⁶ ⁴⁸⁷] entnommen werden.

⁴⁸⁰ Winter/Lattke 2011, 13.

⁴⁸¹ Guttman 2008, 2.

⁴⁸² Winter/Lattke 2011, 13. zitiert nach Mehrgeschossiger Holzbau in Österreich – Holzskelett- und Holzmassivbauweise, proHolz Austria (Hg.), Wien 2002.

⁴⁸³ Vgl. Nutsch u.a (Hg.) 133-138.

⁴⁸⁴ Guttman 2008, 12.

⁴⁸⁵ Vgl. Bogensperger/Schickhofer 2010.

⁴⁸⁶ CLT - Cross Laminated Timber, <http://www.clt.info>, 12.08.2016.

⁴⁸⁷ Kreuzlagenholz, <http://www.klh.at/product/klh/>, 12.08.2016.

7.1. Konstruktionsmerkmale

Eine Beschreibung der Konstruktionsmerkmale des BSP-Bausystems erfolgt gemäß Systemausschnitt nach Abschnitt 3.7.3 nach den herstellereigenen Angaben der Firmen Stora Enso⁴⁸⁸ und KLH Massivholz GmbH⁴⁸⁹.

7.1.1. Tragende Rohbaukonstruktion

Ausschnitt Sockel – Wand:

Das Versetzen der BSP Elemente erfolgt entweder im Mörtelbett (Toleranzausgleich) (Abb. 7.3) oder auf eine zuvor versetzte Schwelle (Abb. 7.2). In beiden Fällen sind die BSP Platten vor aufsteigender Feuchtigkeit unter Verwendung einer geeigneten Feuchtigkeitsabdichtung zu schützen. Bei Verwendung eines Schwellenholzes ist die Fuge zwischen Schwelle und BSP-Wandscheibe mittels Fugendichtbänder abzudichten.

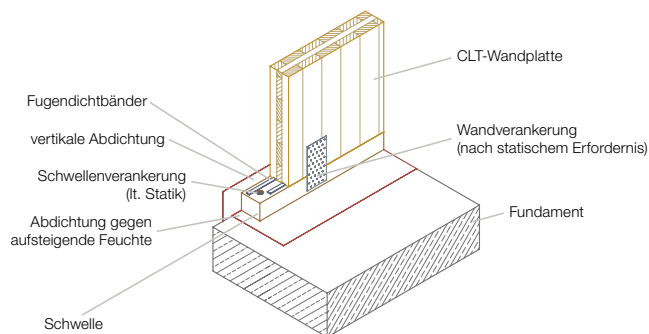


Abbildung 7.2: Sockelausbildung mit Schwellenholz (CLT-Stora Enso) (links)

Abbildung 7.3: Versetzen der BSP Platten im Mörtelbett (CLT- Stora Enso) (rechts)

Ausschnitt Wand – Decke:

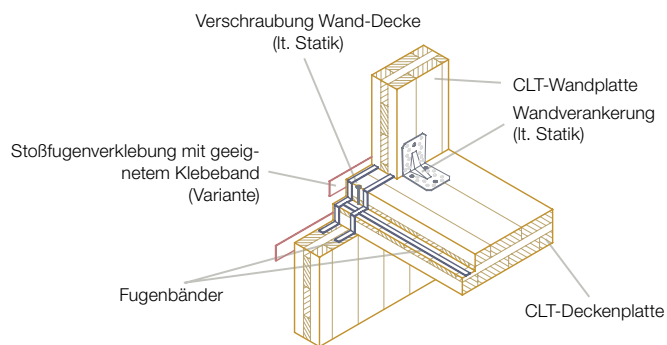


Abbildung 7.4: Verbindungsknoten Wand- Decke- Wand (CLT- Stora Enso)

⁴⁸⁸ Stora Enso (Hg.) 2012, Kap. Konstruktion.

⁴⁸⁹ KLH Massivholz GmbH (Hg.) 2012, Bauphysik.

Zur Gewährleistung einer luftdichten Ausführung der BSP Konstruktion stehen einige grundsätzliche Möglichkeiten zur Verfügung⁴⁹⁰:

Messungen der Firma KLH haben gezeigt, dass 3-lagige KLH Massivholzplatten in einseitiger Industrie- oder Wohnsichtqualität ausreichend luftdicht sind und somit als luftdichte Schicht angesetzt werden können. Bei fünf- oder mehrlagigen KLH Massivholzelementen wird die Luftdichtheit auch in Nichtsichtqualität erreicht. Dabei müssen die Bauteilkanten sowie alle Fugen zwischen den Bauteilen oder zu angrenzenden Bauteilen abgedichtet werden (Abb. 7.6). Bei Stoßfugenverklebungen können diese entweder an der Innen- bzw. Außenseite der Platten angebracht werden⁴⁹¹ (vgl. Abb. 7.4). Eine weitere Möglichkeit bietet der Einsatz einer zusätzlichen strömungsdichten Schicht, um die Luftdichtheit der Konstruktion zu gewährleisten (Abb. 7.5). Diese muss nach bauphysikalischen Erfordernissen auf den weiteren Wandaufbau abgestimmt werden.

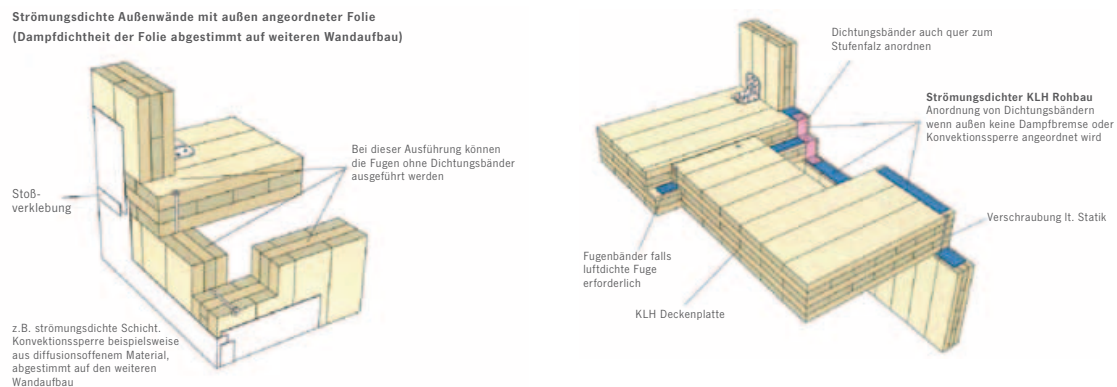


Abbildung 7.5: Strömungsdichter Anschluss durch Einhüllen und Verkleben mittels Konvektionsperre (KLH Massivholz GmbH) (links)

Abbildung 7.6: Strömungsdichter Anschluss von KLH Massivholzplatten mit Hilfe von Dichtungsbändern (KLH Massivholz GmbH) (rechts)

Ausschnitt Wand – Dach:

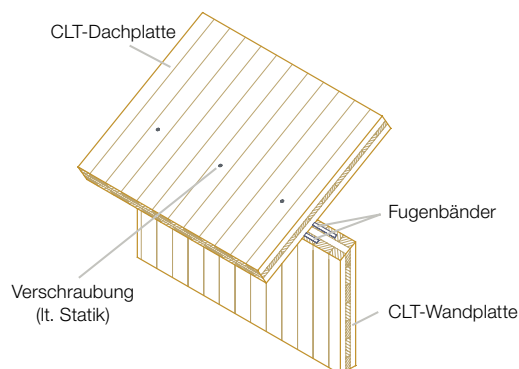


Abbildung 7.7: BSP Dachkonstruktion stumpf auf Wandscheibe (CLT- Stora Enso)

⁴⁹⁰ Vgl. KLH Massivholz GmbH (Hg.) 2012, Bauphysik, 4.

⁴⁹¹ Vgl. Stora Enso (Hg.) 2012, Kap. Bauphysik.

7.1.2. Fassade – Dach

Ausschnitt Sockel – Wand:

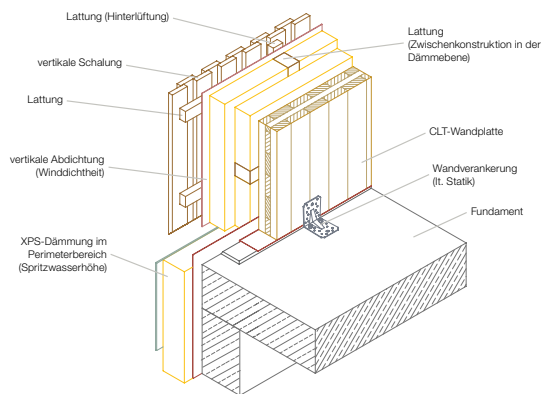


Abbildung 7.8: Sockelausbildung bei hinterlüfteter Fassade (CLT- Stora Enso)

Ausschnitt Wand – Decke:

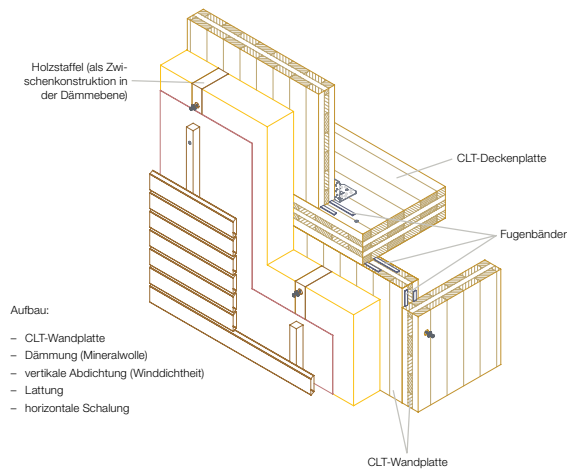


Abbildung 7.9: Holzfassade hinterlüftet mit Mineralwolle-Dämmung (CLT- Stora Enso)

Ausschnitt Wand – Dach:

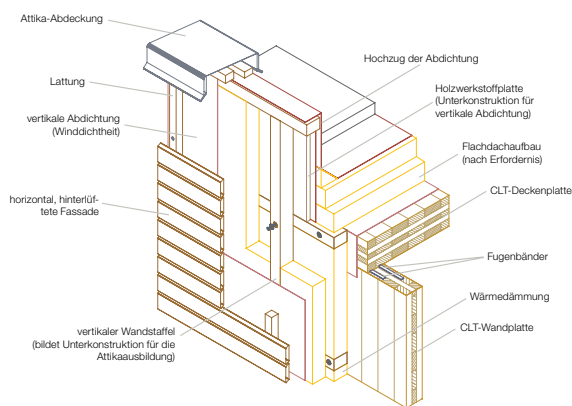


Abbildung 7.10: Attikausbildung mit Wandstaffeln bei hinterlüfteter Fassade (CLT- Stora Enso)

7.1.3. Boden – Decke – Vorsatzschale

Boden:

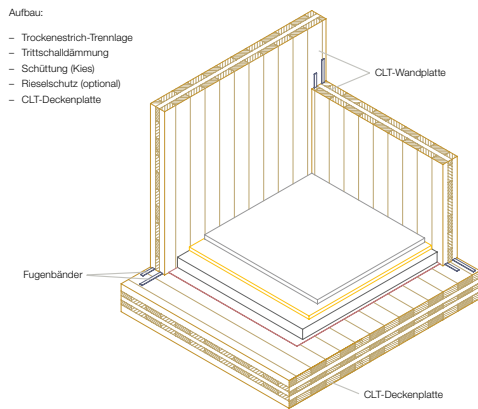


Abbildung 7.11: Fußbodenaufbau mit Trockenestrich (CLT- Stora Enso)

Decke:

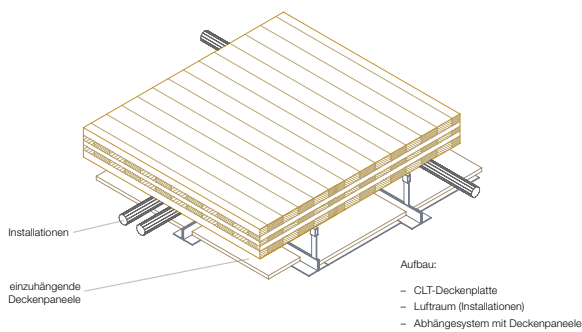


Abbildung 7.12: Abgehängte Decke (CLT- Stora Enso)

Vorsatzschale:

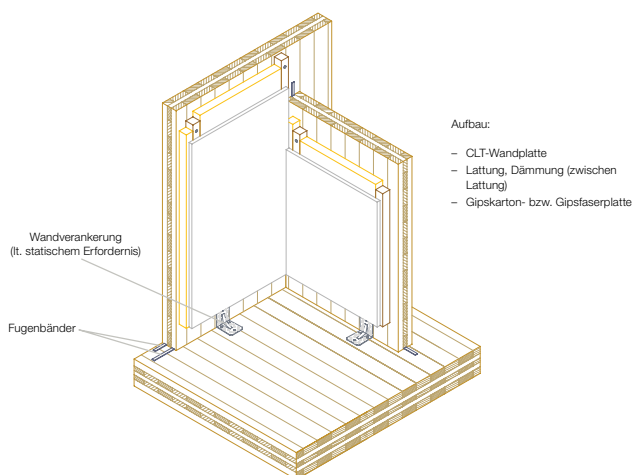


Abbildung 7.13: Vorsatzschale mit Holzlattung (CLT- Stora Enso)

7.1.4. Gebäudetechnik

Ausführungsvariante A:

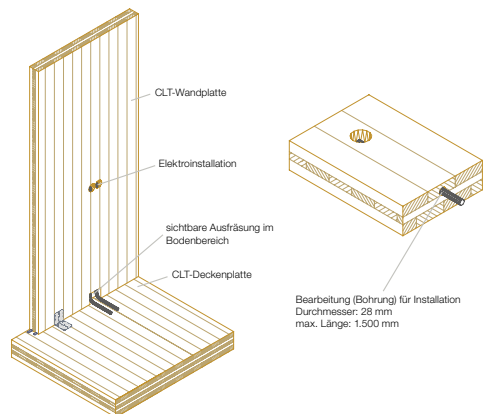


Abbildung 7.14: Elektroinstallation bei Sichtqualität der Oberfläche (CLT- Stora Enso)

Ausführungsvariante B:

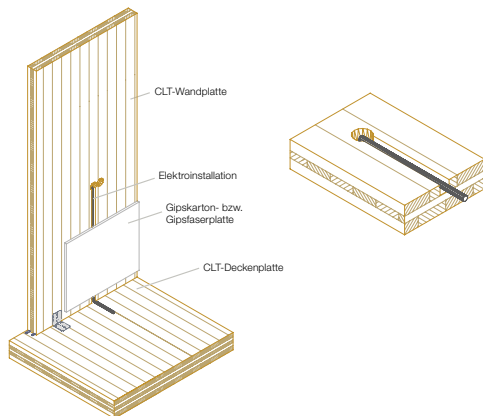


Abbildung 7.15: Elektroinstallation bei nachträglicher Beplankung (CLT- Stora Enso)

Ausführungsvariante C:

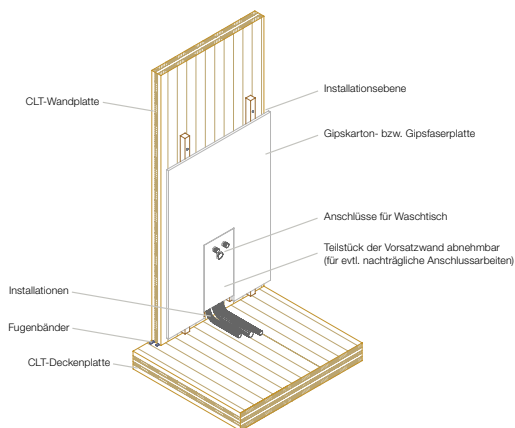
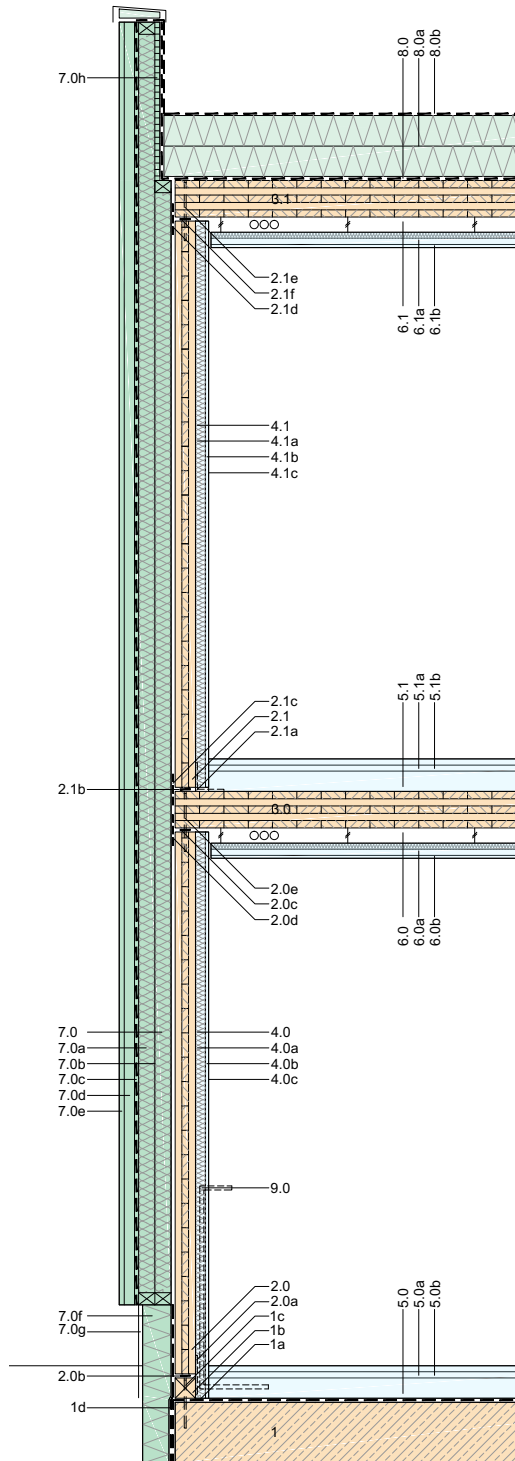


Abbildung 7.16: Vorbereitung für Waschtischanschluss (Vorsatzschale) (CLT- Stora Enso)

7.2. Zusammenfassung Abschnitt 7.1



Nr.:	Bauteilbezeichnung/Funktion	Lebensdauer (a)
1	Fundament/ Bodenplatte	100
1a	Abdichtung horizontal	25
1b	Schwellholz	40
1c	Schwellenverankerung	50
1d	Abdichtung vertikal	25
2.0	BSP Wand	50
2.0a	Wandverankerung	50
2.0b	Fugendichtband (Kompriband)	20
2.0c	Fugendichtband (Kompriband)	20
2.0d	Stoßfugenverklebung	20
2.0e	Verschraubung	50
2.1	BSP Wand	50
2.1a	Wandverankerung	50
2.1b	Fugendichtband (Kompriband)	20
2.1c	Stoßfugenverklebung	20
2.1d	Stoßfugenverklebung	20
2.1e	Verschraubung	50
2.1f	Fugendichtband (Kompriband)	20
3.1	BSP Decke	65
3.2	BSP Decke	65
4.0	Holzlattung	40
4.0a	Mineralwolle	40
4.0b	Gipskarton	40
4.0c	Oberfläche	8
5.0	Schüttung	40
5.0a	Trittschalldämmung	40
5.0b	Trockenestrich	60
6.0	Abhängessystem	40
6.0a	Deckenpaneele	30
6.0b	Oberfläche	
7.0	Lattung quer (Dämmebene)	40
7.0a	Lattung längs (Dämmebene)	40
7.0b	Dämmung	40
7.0c	Winddichtung	40
7.0d	Lattung (Hinterlüftung)	30
7.0e	Holzfassade	30
7.0f	XPS Sockeldämmung	40
7.0g	Faserzementplatte (Oberfläche)	35
7.0h	Holzwerkstoffplatte (OSB)	40
8.0	Dampfsperre	40
8.0a	Gefälledämmung (MW)	40
8.0b	Abdichtung	25
9.0	Installation (zb.PVC-Rohre)	70

Quelle: Bund Technischer Experten e.V. (Hg.): Arbeitsblatt der BTE-Arbeitsgruppe. Lebensdauer von Bauteilen. Zeitwerte, Essen

Tabelle 7.1: Bauteilliste mit Angaben zu den Lebensdauern⁴⁹² (rechts)

Abbildung 7.17: Schematische Darstellung der Konstruktionsmerkmale des BSP-Bausystems auf Basis System CLT Stora Enso

⁴⁹² Bund Technischer Experten e.V. (Hg.) 2008.

8. Analyse und Bewertung der tragenden Rohbaukonstruktion

8.1. Funktionstrennung – Funktionsintegration

Im ersten Schritt erfolgt eine Zerlegung der gesamten BSP-Konstruktion in seine Einzelteile (Tabelle 7.17). Die funktionale Zerlegung zeigt, dass jede Funktion der tragenden BSP-Rohbaukonstruktion einem separaten Bauteil zugeordnet werden kann (Tabelle. 8.1). Daraus folgt, dass jedes Bauteil ein Träger einer separaten Funktion ist und somit eine komplette Funktionstrennung des tragenden BSP-Systems vorliegt.

FUNKTION:	BAUTEIL:
FUNDAMENT	1
ABDICHTUNG HOR.	1a
SCHWELLENHOLZ	1b
FUGENDICHTBAND	2.0b
BSP WAND	2.0
ABDICHTUNG VER.	1d
FUGENDICHTBAND	2.0c
BSP DECKE	3.0
FUGENDICHTBAND	2.1b
BSP WAND	2.1
FUGENDICHTBAND	2.1f
BSP DECKE	3.1

Tabelle 8.1: Funktionale Zerlegung der tragenden Rohbaukonstruktion⁴⁹³

8.2. Funktionale Abhängigkeit

Gemäß den Bauteilen der tragenden BSP-Konstruktion kann eine Gliederung entsprechend den Anforderungen an die Konstruktion vorgenommen werden. Dazu werden folgende Anforderungen bestimmt:⁴⁹⁴

- Anforderungen Feuchteschutz
- Anforderungen Luftdichtheit
- Anforderungen Tragwerk

Gemäß den genannten Anforderungen werden die Bauteile der tragenden Rohbaukonstruktion in der gegenständlichen Arbeit vier Funktionsbereichen zugeordnet (Abb. 8.3). Die Bauteile (1a, 1d) übernehmen die Funktion des Feuchteschutzes. Die Funktion der Luftdichtheit wird von den Bauteilen (2.0b, 2.0c, 2.1b, 2.1f) übernommen. Bauteil (1) Fundament und die Bauteile (1b, 2.0, 3.0, 2.1, 3.1) bilden gemeinsam das Tragwerk. Auf Basis des Beziehungsdiagrammes (Abb. 8.1), in dem alle Bauteile des tragenden BSP-Systems nach Funktionen und Montagehierarchie systematisch in Zeilen und Spalten abgebildet sind, kann die Abhängigkeit der vier Funktionsbereiche vereinfacht dargestellt werden (Abb. 8.2).

Abhängigkeiten entstehen vor allem zwischen Tragwerk (Fundament und BSP-Konstruktion) und den Funktionen Feuchteschutz und Luftdichtheit. Das BSP-System ist im Bereich der Sockelausbildung vor aufsteigender Feuchtigkeit zu schützen (Abb. 8.4)⁴⁹⁵. Dies erfolgt einerseits durch das Anbringen einer horizontalen Abdichtung zwischen Fundament und Schwellenholz und andererseits durch eine vertikale Abdichtung im Außenbereich des Sockels (Abb. 8.4). Das Abhängigkeitsverhältnis zwischen horizontaler Abdichtung und BSP-Konstruktion (Schwellenholz) entsteht vor allem durch die sequentielle Montageabfolge, wonach ein Bauteil auf das

⁴⁹³ In Anlehnung an Durmisevic 2010, 189.

⁴⁹⁴ Vgl. KLH Massivholz GmbH (Hg.) 2012, Bauphysik.

⁴⁹⁵ Vgl. Stora Enso (Hg.) 2012, Kap. Konstruktion, Abschnitt 1.2.

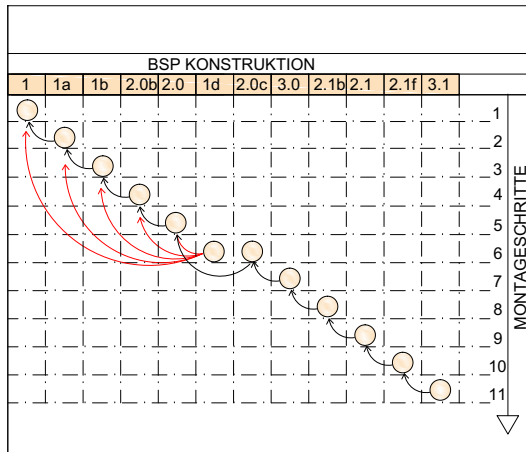
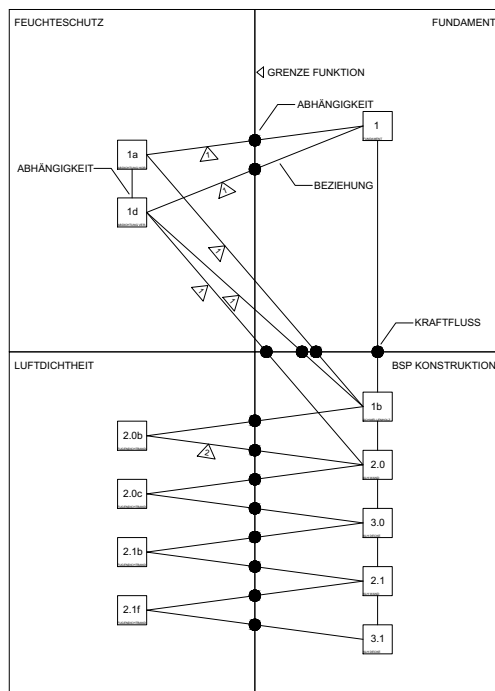


Abbildung 8.2: Montagediagramm tragende Rohbaukonstruktion⁴⁹⁹



1... NOTWENDIG ZUSTANDE GEKOMMENE ABHÄNGIGKEIT (LÖSUNGSORIENTIERT)
2... GEPLANTE ABHÄNGIGKEIT

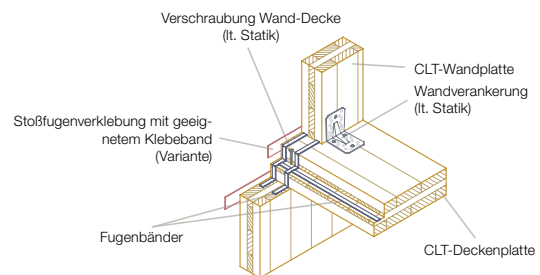
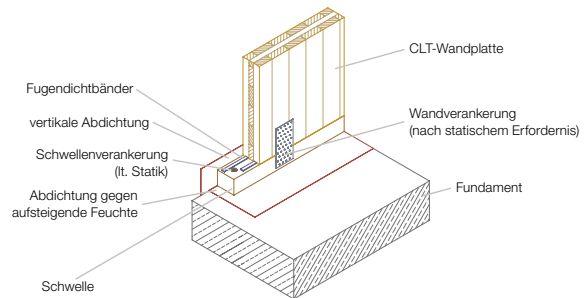


Abbildung 8.3: Funktionale Abhängigkeit der tragenden BSP- Konstruktion⁵⁰⁰ (links)

Abbildung 8.4: Sockelausbildung mit Schwellenholz (CLT- Stora Enso) (rechts oben)

Abbildung 8.5: Verbindungsknoten Wand- Decke- Wand (CLT- Stora Enso) (rechts unten)

⁴⁹⁹ In Anlehnung an Durmisevic 2010, 189.

⁵⁰⁰ In Anlehnung an Durmisevic 2010, 224.

8.3. Systematischer Aufbau der Strukturebenen

Die tragende BSP-Rohbaukonstruktion setzt sich ausschließlich aus Bauteilen zusammen, die unterschiedliche Aufgaben erfüllen (Abb. 8.3). Nach dem Prinzip der Funktionstrennung (Tabelle 8.1) können die Bauteile zwar unterschiedlichen Funktionsbereichen zugeordnet werden, eine Gestaltung der Funktionsbereiche in unabhängige Einheiten (Bauteilgruppen) ist auf Grund der funktionalen Abhängigkeit (Abb. 8.3) nicht zu erkennen. Um die geforderte Funktionalität des tragenden BSP-Systems zu erfüllen, werden sämtliche Bauteile aller Funktionsbereiche in ein System integriert (Abb. 8.6). Demnach setzt sich die tragende Rohbaukonstruktion ausschließlich aus Bauteilen zusammen.

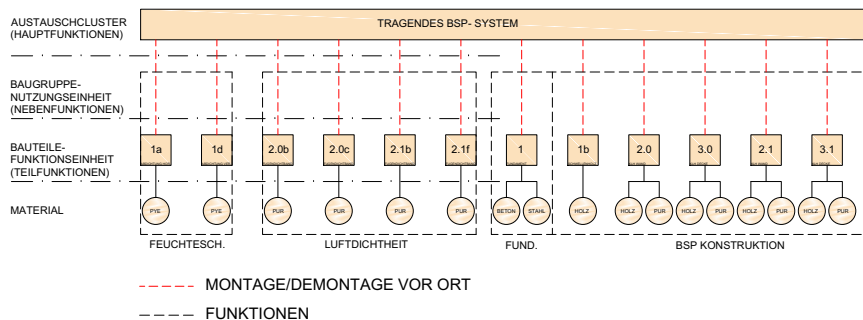


Abbildung 8.6: Struktureller Aufbau des tragenden BSP-Systems⁵⁰¹

8.4. Modularität

Die strukturelle Analyse zeigt, dass die einzelnen Bauteile der BSP-Rohbaukonstruktion den Funktionen Tragwerk, Feuchteschutz und Luftdichtheit zuordenbar sind (Abb. 8.6). Diese sind jedoch nicht als unabhängige und austauschbare Teilsysteme (Module/ Bauteilgruppen) definiert, sondern werden unter gegenseitiger Abhängigkeit (Abb. 8.3) in die Rohbaukonstruktion integriert. Der fehlende modulare Aufbau und die gegenseitige Abhängigkeit der Funktionen zeigen, dass der Tausch oder die Demontage einzelner Bauteile nur unter Beeinträchtigung der gesamten Rohbaukonstruktion möglich ist. Des Weiteren zeigt die strukturelle Analyse, dass durch die fehlende Modularität die Montage aller Einzelteile auf der Baustelle gleichzeitig stattfinden muss (Abb. 8.6). Dies führt folglich zu einer hohen Anzahl an Verbindungen, die im Zuge des Demontageprozesses wieder vor Ort gelöst werden müssen. Wird dabei der Demontageaufwand zu hoch, kann auf Grund wirtschaftlicher Rahmenbedingungen der Abriss einer zerstörungsfreien Demontage vorgezogen werden⁵⁰². Dies kann wiederum zur Beeinträchtigung der Wieder- od. Weiterverwendung der BSP-Bauteile führen.

8.5. Basisbauteil

Die Aufgabe eines Basisbauteils liegt darin, die Montage- bzw. Demontage einzelner Bauteile/Bauteilgruppen zu ermöglichen, ohne die restliche Struktur zu beeinträchtigen⁵⁰³. Betrachtet werden Bauteile der Funktionen Feuchteschutz, Luftdichtheit und Tragwerk gemäß Abb. 8.3. Gemäß der strukturellen Analyse sind die einzelnen Bauteile der BSP-Rohbaukonstruktion zwar unterschiedlichen Funktionen zuordenbar, jedoch sind diese nicht als unabhängige und austauschbare Teilsysteme definiert (Abb. 8.6). Durch die Integration aller Bauteile

⁵⁰¹ In Anlehnung an Durmisevic 2010, 163-165.

⁵⁰² Vgl. Schneider/Böck/Mötzl 2010, 61f.

⁵⁰³ Vgl. Durmisevic 2010, 171-172.

zu einer Einheit entsteht eine direkte Abhängigkeit der Funktionen. Ein Tausch der Horizontalabdichtung (1a) bzw. der Fugenbänder (2.0b, 2.0c, 2.1b, 2.1f) hätte somit Einfluss auf die gesamte Tragstruktur. Hingegen erlaubt die parallele Montage der Vertikalabdichtung (1d) eine Demontage, ohne weitere Bauteile der BSP-Rohbaukonstruktion abbauen zu müssen. Demnach kann die tragende BSP-Rohbaukonstruktion (1, 1b, 2.0, 3.0, 2.1, 3.0), als Basisbauteil für den Feuchteschutz vertikal (1d) gewertet werden. Für die Funktionen Feuchteschutz horizontal (1a) und Luftdichtheit (2.0b, 2.0c, 2.1b, 2.1f) stellt das Tragwerk auf Grund des Abhängigkeitsverhältnisses kein Basisbauteil dar.

8.6. Lebenszyklusbetrachtung

Zur Verdeutlichung der Lebenszyklusbetrachtung wird für die BSP-Rohbaukonstruktion eine wirtschaftliche Nutzungsdauer von 50 Jahren angenommen (vgl. Abb. 4.40). Die Lebensdauer der Bauteile ist der Tabelle 7.1 zu entnehmen⁵⁰⁴. Aus der Gegenüberstellung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer der BSP-Rohbaukonstruktion mit den technischen Lebensdauern der verwendeten Bauteile wird deutlich, dass die Lebensdauer einiger Bauteile die wirtschaftliche Nutzungsdauer unterschreitet. Die Bauteile der Funktion Luftdichtheit weisen eine technische Lebensdauer von 20 Jahren auf und die der Funktion Feuchteschutz 25 Jahre⁵⁰⁵. Unter Betrachtung des Montageablaufes wird ersichtlich, dass Bauteile mit langer technischer Lebensdauer auf vorangegangene Bauteile mit kurzer technischer Lebensdauer montiert werden (Abb. 8.7). Das heißt, hier erfolgt abwechselnd die Montage von langlebigen und kurzlebigen Bauteilen. Es ist davon auszugehen, dass die Bauteile mit kurzer technischer Lebensdauer ihre geforderten Eigenschaften nicht ohne Einschränkungen bis zum Ablauf der angenommen 50-jährigen Nutzungsdauer erfüllen können⁵⁰⁶. Folglich müssen diese unter Betrachtung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer der gesamten BSP-Rohbaukonstruktion einmal getauscht werden. Dabei zeigt die Analyse des Montageablaufes, dass beim Tausch der kurzlebigen Bauteile auch die langlebigen Bauteile auf Grund ihrer gegenseitigen Abhängigkeit demontiert werden müssen, um die kurzlebigen Bauteile in der Montagehierarchie zu erreichen (Abb. 8.7).

⁵⁰⁴ Vgl. Bund Technischer Experten e.V. (Hg.) 2008.

⁵⁰⁵ Vgl. Bund Technischer Experten e.V. (Hg.) 2008.

⁵⁰⁶ Vgl. Kalusche 2004.

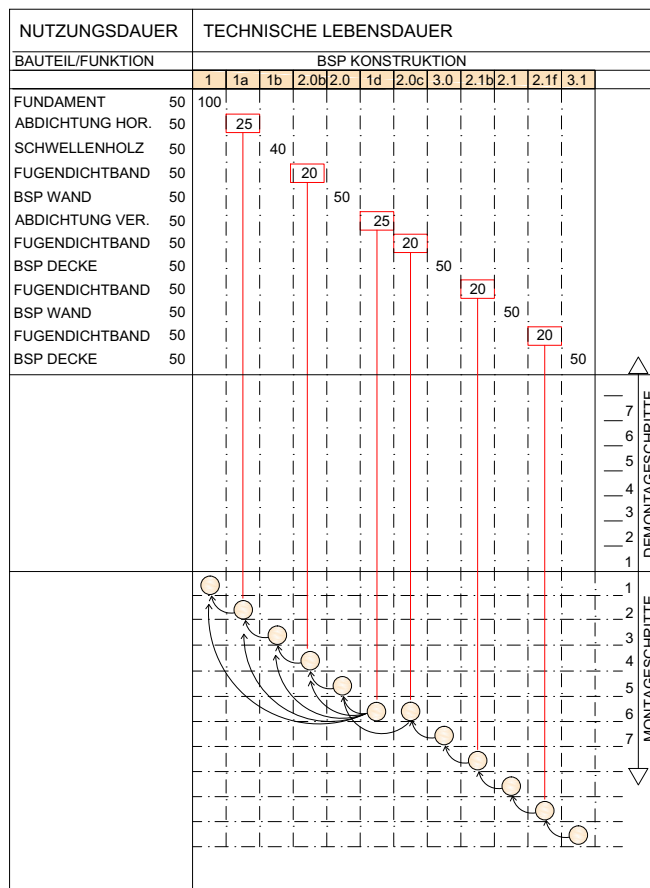


Abbildung 8.7: Lebenszyklusbetrachtung der Bauteile des tragenden BSP- Systems in Abhängigkeit der Montage-bzw. Demontagehierarchie⁵⁰⁷

8.7. Hierarchie und Anordnung der Teile

In einem Beziehungsdiagramm werden alle Bauteile der BSP-Rohbaukonstruktion getrennt nach Funktionen und Montagehierarchie abgebildet (Abb. 8.8). Die ausschließlich vertikalen Verbindungen zeigen Abhängigkeiten innerhalb einer Nutzungseinheit. Die nicht vertikalen Verbindungen zeigen Abhängigkeiten zwischen den Einheiten. Im Falle der tragenden BSP-Rohbaukonstruktion sind sämtliche Bauteile, mit Ausnahme des Bauteils (1d), über vertikale Beziehungen verbunden. Das heißt, dass alle Bauteile innerhalb dieser Einheit in gegenseitiger Abhängigkeit stehen (vgl. Abb. 8.2). Die Funktion Feuchteschutz vertikal (1d) ist über horizontale Verbindungen mit der restlichen Konstruktion verbunden (Abb. 8.8). In weiterer Folge wird nun beurteilt, auf welcher Höhe in der Montagehierarchie die Funktionen Feuchteschutz und Luftdichtheit Abhängigkeiten (Verbindungen) zum Tragwerk aufweisen bzw. wie viele Bauteile entfernt werden müssen, um die jeweilige Verbindung zu erreichen bzw. zu lösen. Die Funktion Feuchteschutz horizontal (1a) weist in der oberen Ebene der Montagehierarchie eine Abhängigkeit zur restlichen Konstruktion auf. Unter Betrachtung des Montageablaufes erfordert die Demontage der horizontalen Abdichtung (1a) das Entfernen sämtlicher Bauteile der unteren Montageebenen, zumal die Montage von (1a) sequentiell erfolgt. Die horizontalen

⁵⁰⁷ In Anlehnung an Durmisevic 2010, 181.

Verbindungen der vertikalen Abdichtung (1d) verursachen bei der Demontage weniger Aufwand, da diese über eine parallele Montageabfolge mit den Bauteilen (1, 1a, 1b, 2.0) verbunden sind und für die Demontage von (1d) nicht demontiert werden müssen. Demnach wird für die Bewertung eine Beziehung in der unteren Montagehierarchie angenommen. Die Funktion Luftdichtheit (2.0b, 2.0c, 2.1b, 2.1f) weist in mehreren Ebenen Verbindungen zum Tragwerk auf (Abb. 8.8). Je nach Montageebene des zu demontierenden Fugendichtbandes müssen alle in der Montagehierarchie darunterliegenden Bauteile entfernt werden, um das jeweilige Bauteil zu erreichen.

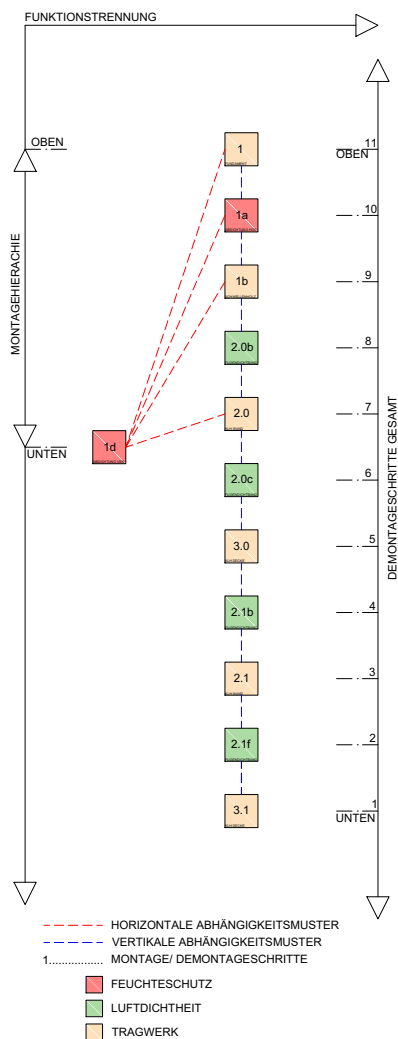


Abbildung 8.8: Hierarchie und Anordnung der Beziehungen zwischen den Funktionen⁵⁰⁸

8.8. Montageablauf

Das Demontageverhalten der BSP-Rohbaukonstruktion wird im Wesentlichen von der Montageabfolge der verwendeten Bauteile bestimmt. Durch die sequentielle Montageabfolge, bei der ein Montageschritt auf den anderen folgt, entsteht ein Abhängigkeitsverhältnis aller Bauteile (Abb. 8.2). So kann die Demontage der Bauteile mit kurzer Lebensdauer nur unter Beeinträchtigung der gesamten BSP-Rohbaukonstruktion erfolgen. Unter Betrachtung der Montageschritte wird deutlich, dass einzig die vertikale Abdichtung (1d) ab dem Montageschritt 6,

⁵⁰⁸ In Anlehnung an Durmisevic 2010, 171.

parallel ohne Abhängigkeit der darauffolgenden Bauteile montiert werden kann (Abb.8.2). Folglich ist auch eine Demontage der vertikalen Abdichtung (1d) möglich, ohne weitere Bauteile dafür demontieren zu müssen. Zur Bewertung werden sämtliche für das tragende BSP-System erforderlichen Bauteile herangezogen.

8.9. Geometrie der Fugestellen

Eine Betrachtung der Fugestellen erfolgt innerhalb der Wand- und Deckenelemente (2.0, 3.0, 2.1, 3.1) und zwischen Wand- und Deckenelementen und den übrigen Bauteilen (1, 1b) der tragenden Rohbaukonstruktion (Abb. 8.9). Die Bauteile Feuchteschutz (1a, 1d) und Luftdichtigkeit (2.0b, 2.0c, 2.1b, 2.1f) bleiben für die Bewertung unberücksichtigt. Eine Betrachtung erfolgt unter Abschnitt 8.10.

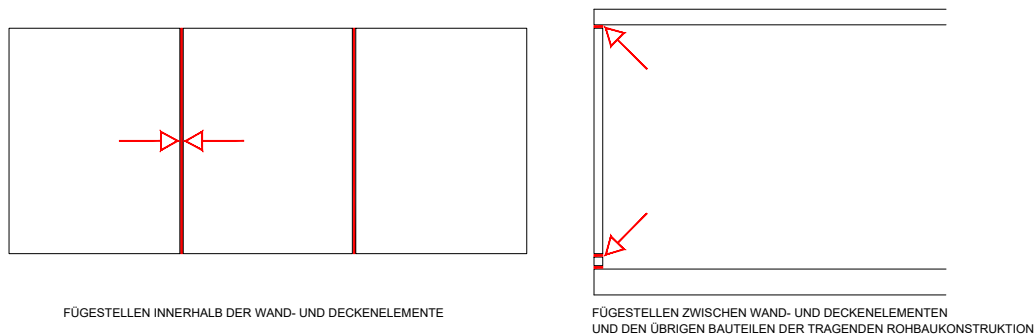


Abbildung 8.9: Übersicht Fugestellen

Fugestellen innerhalb der Wand- und Deckenelemente

Vorzugsweise sind BSP-Bauteile über die volle Geschosshöhe ohne Plattenstöße auszuführen⁵⁰⁹. Übersteigt die Geschosshöhe das maximale Plattenformat, besteht unter bestimmten statischen Voraussetzungen die Möglichkeit, Wände vertikal oder horizontal zu stoßen⁵¹⁰ (Abb. 8.10).

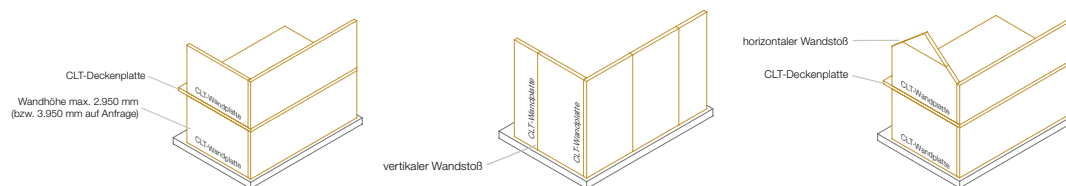


Abbildung 8.10: Konstruktionsregeln bei Wandstößen (CLT- Stora Enso)

Die Geometrie der Fugestellen horizontaler Wandstöße kann wie folgt ausgeführt werden:⁵¹¹ (Abb. 8.11, 8.12)

⁵⁰⁹ Vgl. Stora Enso (Hg.) 2012, Kap. Konstruktion.

⁵¹⁰ Vgl. Stora Enso (Hg.) 2012, Kap. Konstruktion, Abschnitt 2.1 – 2.7.

⁵¹¹ Vgl. Stora Enso (Hg.) 2012, Kap. Konstruktion, Abschnitt 2.3 – 2.5.

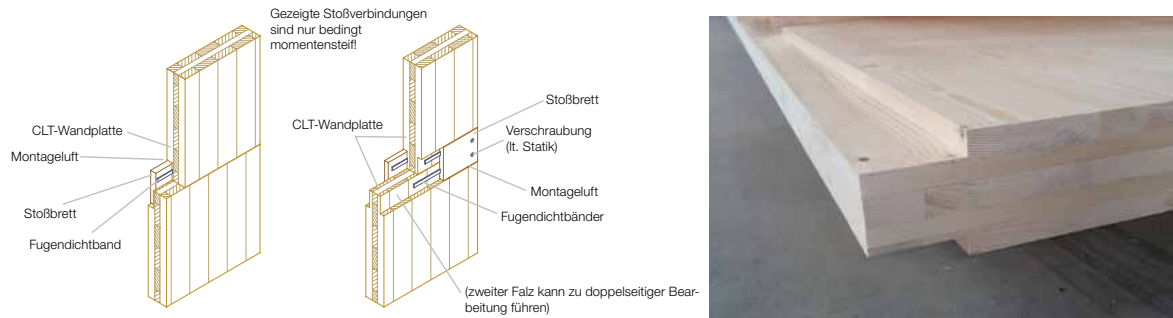


Abbildung 8.11: Wandstöße horizontal mit Stoßbrett (CLT- Stora Enso) (links)
Abbildung 8.12: Wandstöße horizontal mit Stufenfalz (CLT- Stora Enso) (rechts)

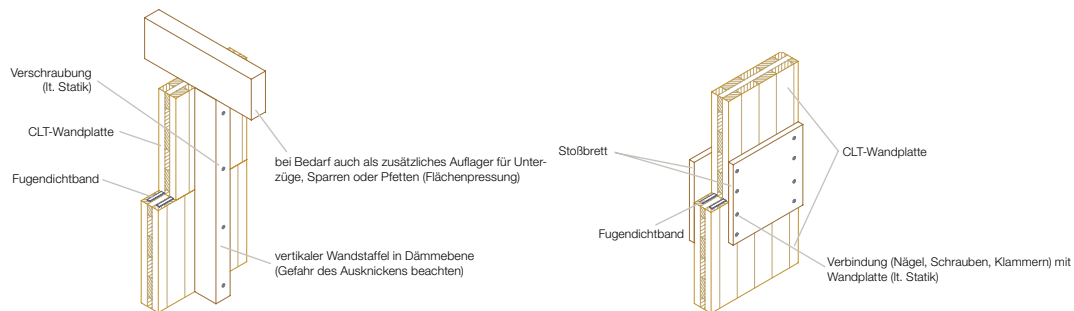


Abbildung 8.13: Wandstöße horizontal stumpf (CLT- Stora Enso) (links)
Abbildung 8.14: Wandstöße horizontal mit außenliegenden Laschen (CLT- Stora Enso) (rechts)

Die Geometrie der Fugestellen vertikaler Wandstöße kann wie folgt ausgeführt werden⁵¹² (Abb. 8.15, 8.16):



Abbildung 8.15: Wandstöße vertikal mit Stufenfalz (CLT- Stora Enso)



Abbildung 8.16: Wandstöße vertikal mit Stoßbrett (CLT-Stora Enso)

⁵¹² Vgl. Stora Enso (Hg.) 2012, Kap. Konstruktion, Abschnitt 2.6 – 2.7.

Das Demontageverhalten einer Baustruktur wird mitunter durch eine unabhängige und austauschbare Anordnung ihrer Bauteile beeinflusst⁵¹³. Durch den Kräftefluss in der tragenden BSP-Rohbaukonstruktion entsteht jedoch eine Abhängigkeit zwischen den Bauteilen, die zunächst, bei der Betrachtung der Fügestellungsgeometrie, unberücksichtigt bleibt⁵¹⁴.

Unbeachtet, ob vertikale oder horizontale Wandstöße, kann je nach statischen- und konstruktiven Anforderungen eine Unterscheidung in der Ausführung der Kanten­geometrie zwischen stumpfer Kantenausführung und Kantenausführung mit Stufenfalz festgehalten werden⁵¹⁵. Die Verschraubung der Stoßkanten mit Stufenfalz erfolgt entweder mit einem Stoßbrett (Abb. 8.16) oder direkt im Falz der Stoßkanten (Abb. 8.15)⁵¹⁶. Bei Deckenstößen erfolgt je nach statischer und konstruktiver Anforderung die Kantenausführung hauptsächlich mit Stufenfalz⁵¹⁷. Die Verschraubung der Stoßkanten ergibt sich analog der Wandstöße entweder mit einem Stoßbrett oder auch direkt im Falz der Stoßkanten⁵¹⁸.

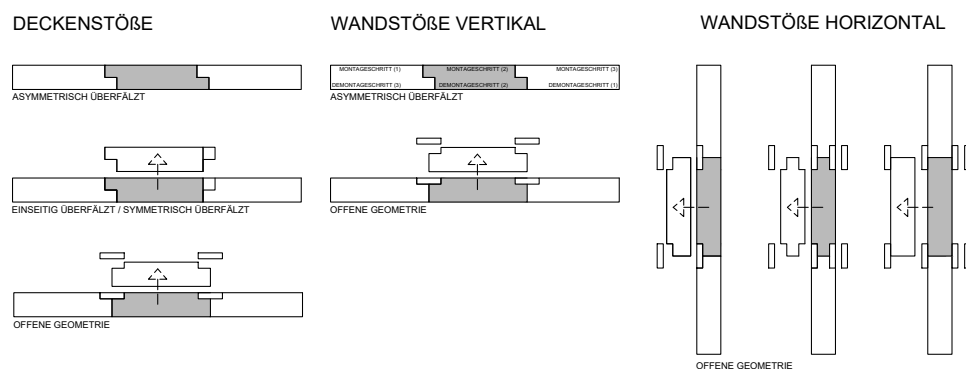


Abbildung 8.17: Analyse der Fügestellungsgeometrie bei Wand- und Deckenstößen⁵¹⁹

Die Analyse der Bauteilkanten zeigen, dass sowohl die vertikalen als auch die horizontalen Wandstöße mit Stufenfalz und Stoßbrett eine offene Geometrie aufweisen (Abb. 8.17 Mitte, rechts). Wandstöße mit asymmetrisch überfälzter Kantenausführung lassen eine geschlossene Geometrie erkennen (Abb. 8.17 Mitte, links). Deckenstößen mit einseitiger und symmetrischer überfälzter Kantenausführung sowie Kanten mit Stufenfalz und Stoßbrett weisen ebenfalls eine offene Geometrie auf (Abb. 8.17 links). Die asymmetrisch überfälzten Kantenausführungen der Deckenelemente lassen eine geschlossene Geometrie erkennen (Abb. 8.17 links).

Bei geschlossener Kanten­geometrie mit asymmetrischem Stufenfalz erfolgt die Montage- bzw. Demontage der BSP-Bauteile ausschließlich über eine sequentielle Montageabfolge. Die dadurch entstehende Abhängigkeit der einzelnen BSP-Bauteile wirkt sich in den meisten Fällen erschwerend auf den Demontageablauf aus. In der Regel muss bei der Demontage mit dem letztmontierten Bauteil begonnen werden, da ansonsten das Entfernen eines Bauteils nicht möglich ist, ohne die benachbarten, in Abhängigkeit stehenden Bauteile zu beschädigen (Abb. 8.17 oben Mitte).

Hingegen entsteht bei Bauteilen mit offener Kanten­geometrie keine Abhängigkeit, dadurch wird ein paralleler Montage- bzw. Demontageablauf ermöglicht.

⁵¹³ Vgl. Durmisevic 2010, 156-157.

⁵¹⁴ Ebda., 167-168.

⁵¹⁵ Vgl. Stora Enso (Hg.) 2012, Kap. Konstruktion, Abschnitt 2.3 – 2.7.

⁵¹⁶ Ebda., Abschnitt 2.3 – 2.7.

⁵¹⁷ Ebda., Abschnitt 4.1 – 4.3.

⁵¹⁸ Ebda., Abschnitt 4.1 – 4.3.

⁵¹⁹ In Anlehnung an Durmisevic 2010, 174.

Fügestellen zwischen Wand- und Deckenelementen und den übrigen Bauteilen der tragenden Rohbaukonstruktion

Die Fügestellen zwischen den Wand- und Deckenelementen (2.0, 2.1, 3.0, 3.1) und den übrigen Bauteilen der tragenden Rohbaukonstruktion (1, 1b) weisen ebene Kanten-Geometrien auf (vgl. Abb. 7.2, 7.4). Obwohl die Bauteile in Form offener Geometrien gefügt werden, ist die Demontage einzelner Bauteile, auf Grund der Abhängigkeit in Folge der Verbindungsmittel und des Kraftflusses, in der tragenden Rohbaukonstruktion in der Regel nicht möglich. Die tragende Rohbaukonstruktion erlaubt ausschließlich eine Demontage in entgegengesetzter Montagerichtung (vgl. Abb. 4.30 – sequentielle Montageabfolge). Demnach ist die Bewertung dieses Aspektes mit dem Wert 0.1 nach Tabelle 6.8 anzunehmen. Jedoch erleichtern offene Kanten-Geometrien aus Sicht des Autors nicht nur das Entfernen einzelner Bauteile, sondern auch den kompletten umgekehrten Montageprozess einer Struktur. Daher erfolgt im Falle der tragenden BSP-Elemente die Bewertung der Fügestellen-Geometrien mit dem Wert 1.0 nach Tabelle 6.8.

8.10. Verbindungsarten und Auswertung der Verbindungen

Unter Verbindungsarten erfolgt eine Betrachtung der unterschiedlichen Verbindungsmittel, die zur Befestigung der einzelnen Bauteile in der BSP-Rohbaukonstruktion zur Anwendung kommen. Zur Bewertung der verwendeten Verbindungen wird als Beurteilungsmerkmal die Lösbarkeit der Verbindungsmittel herangezogen. Zur Klassifizierung von festen zu lösbaren Verbindungen erfolgt eine Zuordnung nach dem Prinzip der Kraftübertragung in formschlüssige-, kraftschlüssige- und stoffschlüssige Verbindungen. Als weitere Beurteilungskriterien werden dazu folgende Aspekte herangezogen:

- Die Abhängigkeit der Bauteile, die bei der Montage bzw. Demontage durch die jeweilige Verbindungsart entsteht,
- das Wiederverwendungspotential demontierter Bauteile in Folge der Verbindungsmittel und
- das Wiederverwendungspotential der Verbindungsmittel.

Eine Betrachtung der Verbindungsmittel geschieht prinzipiell nach den Konstruktionsvorschlägen der Hersteller^{520, 521}. Die Auswahl und Bemessung erfolgt ausschließlich nach statischen Anforderungen und bleibt in der gegenständlichen Arbeit unberücksichtigt. Daher werden Verbindungsmittel nur beispielhaft herangezogen.

Schwellenverankerung

Die Verbindung des Schwellenholzes am Fundament (Abb. 8.4) wird über einen Bolzenanker hergestellt (Abb. 8.18). Bei sog. Spreizdübelssystemen (Abb. 8.19) wird ein Konuselement in die Spreizhülse eingezogen und dadurch die Hülsesegmente gegen die Bohrlochwandung gepresst⁵²². Der dadurch entstehende Reibschluss zwischen Bohrlochwandung und den Spreizelementen eignet sich dazu, hohe Lasten in den Ankergrund einzubringen⁵²³.

⁵²⁰ CLT - Cross Laminated Timber,
<http://www.clt.info>, 12.08.2016.

⁵²¹ Kreuzlagenholz,
<http://www.klh.at/product/klh/>, 12.08.2016.

⁵²² Simpson Strong-Tie (Hg.): BOAX Bolzenanker für Verankerungen im Beton 2016, 5.

⁵²³ Simpson Strong-Tie (Hg.): BOAX Bolzenanker für Verankerungen im Beton 2016, 5.

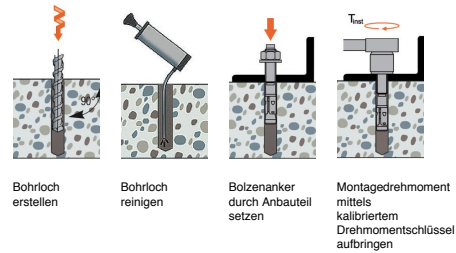


Abbildung 8.18: BOAX – Bolzenanker für Verankerungen im Beton (Simpson Strong-Tie)

Abbildung 8.19: Spreizdübelssystem (Simpson Strong-Tie) (Mitte)

Abbildung 8.20: Montageanleitung (Simpson Strong-Tie) (rechts)

Wandverankerung am Schwellenholz

Die Verbindung zwischen BSP-Wandelement und Schwellenholz (Abb. 8.4) wird im Untersuchungsgegenstand mittels NP-Lochbleche hergestellt (Abb. 8.21). Die Befestigung des Lochbleches erfolgt, je nach statischem Erfordernis, mit Kammnägeln oder Schrauben (Abb. 8.22, 8.26)⁵²⁴. Bei der Anwendung von Kammnägeln kann je nach stat. Erfordernis zwischen zwei unterschiedlichen Arten der Vernagelung unterschieden werden (Abb.8.23)⁵²⁵.

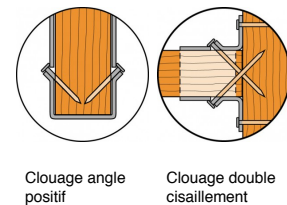


Abbildung 8.21: NP- Lochblech (Simpson Strong-Tie) (links)

Abbildung 8.22: CNA Kammnägeln (Simpson Strong-Tie) (Mitte)

Abbildung 8.23: Anwendung von Kammnägeln (Simpson Strong-Tie) (rechts)

Verbindung Wand – Decke – Wand

Bei Wand- und Deckenverbindungen ist zwischen Wand- und Deckenverschraubung und Wandverankerung zu unterscheiden (Abb. 8.5). Gemäß des Montageablaufes erfolgt die Verschraubung des Deckenelementes an der Stirnseite des Wandelementes mittels Holzbauschrauben mit Senkkopf (Abb. 8.24). Bei der Montage der darauffolgenden Wandelemente kommen hauptsächlich Winkelverbinder zum Einsatz (Abb. 8.25). Die Befestigung dieser erfolgt ebenfalls, wie bei Lochblechen nach stat. Erfordernis, mittels Kammnägeln und Schrauben (Abb. 8.22, 8.26)⁵²⁶.

⁵²⁴ Simpson Strong-Tie (Hg.): CNA – Kammnägeln/ CSA – Schrauben 2016.

⁵²⁵ Simpson Strong-Tie (Hg.): CNA – Kammnägeln 2016, 1.

⁵²⁶ Simpson Strong-Tie (Hg.): CNA – Kammnägeln/ CSA – Schrauben 2016.



Abbildung 8.24: ESCRC Holzbauschraube mit Senkkopf (Simpson Strong-Tie) (links)

Abbildung 8.25: ABR Winkelverbinder mit Rippe (70 90 98 105) (Simpson Strong-Tie) (Mitte)

Abbildung 8.26: CSA Schrauben (Simpson Strong-Tie) (rechts)

Verschraubung von Wand- und Deckenstößen

Sämtliche Wand,- Decken- und Eckstöße werden je nach statischem Erfordernis mittels Holzbauschrauben verbunden (Abb. 8.27)⁵²⁷.

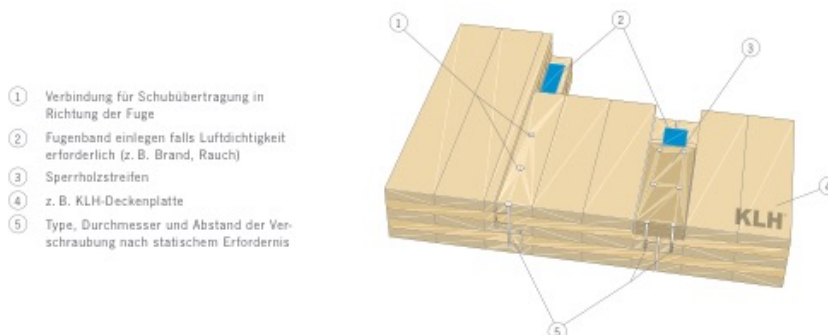


Abbildung 8.27: Stoßverschraubung am Beispiel eines Deckenelementes mit Stufenfalz und Stoßbrett (KLH Massivholz GmbH)

Verbindung Fugendichtbänder

Um die geforderte Luftdichtheit der Konstruktion zu erreichen, erfolgt eine Betrachtung ausschließlich unter Verwendung von Fugendichtbändern (Abb. 8.5). Die Auswahl und der Einsatz der Materialien erfolgt nach bauphysikalischen Erfordernissen, die in der gegenständlichen Arbeit unberücksichtigt bleiben. Zur weiteren Betrachtung der Befestigung von Fugendichtbändern werden Kompribänder herangezogen⁵²⁸ (Abb. 8.28). Als Lieferform werden Kompribänder in vorkomprimierter Rollenware mit einseitiger Selbstklebung als Montagehilfe angeboten⁵²⁹. Eine Verklebung erfolgt in den Stoßfugen der BSP-Elemente⁵³⁰ (Abb. 8.5, 8.29).

⁵²⁷ Vgl. KLH Massivholz GmbH (Hg.) 2012, Bauteilkatalog Konstruktion 4 – 15.

⁵²⁸ Stora Enso (Hg.) 2012, Kap. Bauphysik, Abschnitt Luftdichtheit.

⁵²⁹ Produktdatenblatt ISO-Bloco 600,

<https://www.iso-chemie.eu/de/abdichtungsloesungen/abdichtungsprodukte/vorkomprimierte-fugendichtbaender/>, 19.08.2016

⁵³⁰ Stora Enso (Hg.) 2012, Kap. Bauphysik, Abschnitt Luftdichtheit.



Kompriband



Abbildung 8.28: Kompriband als Fugendichtband (CLT- Stora Enso) (links)

Abbildung 8.29: Stoßfugenverklebung mittels Kompriband (CLT- Stora Enso) (rechts)

Verbindung Abdichtung

Die Auswahl und Herstellung der vertikalen und horizontalen Abdichtung erfolgt grundsätzlich nach gegebenen Lastfällen entsprechend der Ö-Norm B 3692, die in der gegenständlichen Arbeit unberücksichtigt bleibt. Zur weiteren Betrachtung der Abdichtungsbefestigung wird beispielhaft eine Polymerbitumen Kellerabdichtungs- und Mauersperrbahn (VILLAS HYDROSTOP S4) der Firma Villas herangezogen⁵³¹ (Abb. 8.30): Die Verarbeitung erfolgt, je nach Untergrund, in mehreren Arbeitsschritten. Zur Haftvermittlung wird ein Bitumen-Voranstrich (VILLAS EMULBIT) aufgetragen. Die Verarbeitung erfolgt mittels Pinsel, Bürste, Roller oder Spritzgerät. Nach der Trockenzeit des Voranstriches wird die Abdichtungsbahn, vollflächig geflämmt, verarbeitet. Dabei wird die vertikale Abdichtungsbahn mit der horizontalen Abdichtung verbunden. Zur Herstellung des Hochzuges und zur Überbrückung des Schwellenholzes kommt beispielsweise eine selbstklebende Polymer-Bitumenbahn (VILLASELF E-4 SK) zum Einsatz⁵³², die im Kaltklebverfahren mit der vertikalen Abdichtungsbahn, dem Schwellenholz und dem BSP-Wandelement verklebt wird⁵³³ (Abb. 8.31).

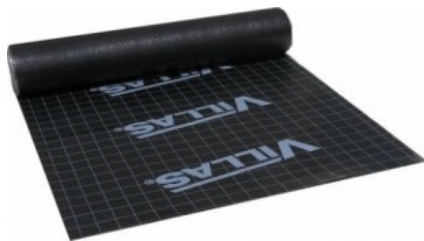


Abbildung 8.30: Abdichtungsbahn VILLAS HYDROSTOP S4 (Villas Austria GmbH) (links)

Abbildung 8.31: Vertikale Abdichtung (CLT- Stora Enso)⁵³⁴

⁵³¹ VILLAS HYDROSTOP S4,

<http://www.villas.at/de/co585/bauwerk/systemprodukte/villas-hydrostop-s4/>, 08.09.2016.

⁵³² VILLASELF E-4 SK,

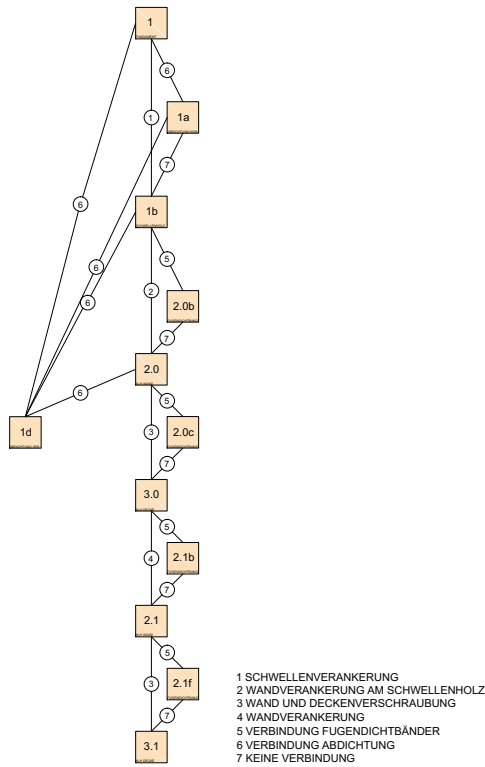
<http://www.villas.at/de/co574/dichtdach/flachdach/systemprodukte/villaself-e-4-sk/>, 08.09.2016.

⁵³³ Vgl. ÖNORM B 3691 2012.

⁵³⁴ Stora Enso (Hg.) 2012, Kap. Konstruktion, Abschnitt 1.3.

Auswertung der Verbindungen

In Tabelle 8.2 erfolgt eine Beurteilung der Verbindungen hinsichtlich ihrer Lösbarkeit, Zugänglichkeit und dem Wiederverwendungspotential der Verbindungsmittel und der Bauteile in Folge ihrer Demontage.



Nr.:	Bezeichnung	Beziehung / Abhängigkeit	Anzahl	Lösbarkeit der Verbindung		Zugänglichkeit der Verbindungsstellen				Wiederverwendungspotential der Bauteile in Folge Lösen der Verbindungspartner		Wiederverwendungspotential Verbindungsmittel	
				gering	hoch	hoch	gering	JA	NEIN	JA	NEIN		
1	Schwellenverankerung	1 - 1b	1x		X		X			X ₁		X	
2	Wandverankerung am Schwellenholz	1b - 2.0	1x		X	X				X		X ₂	
3	Wand- und Deckenverschraubung	2.0 - 3.0	2x		X	X				X		X	
4	Wandverankerung	3.0 - 2.1	1x		X	X				X		X	
5	Verbindung Fugendichtbänder	1b - 2.0b	4x	X		X				X ₃		X	
6	Verbindung Abdichtung	1 - 1a	5x	X			X			X		X	
7	Lose Auflage	1a - 1b	5x										
8	Verschraubung Wand- und Deckenstöße	2.0 - 2.0 / 3.0 - 3.0			X	X				X		X	

1...Betrifft nur das Schwellenholz, 2...Betrifft gleichermaßen NP Lochbleche, CNA Kammnägel und CSA Schrauben, 3...Betrifft ausschließlich die Kompribänder,

Tabelle 8.2: Auswertung der Verbindungen hinsichtlich ihrer Lösbarkeit und Zugänglichkeit
Abbildung 8.32: Übersicht Verbindungen (oben links)

1. Schwellenverankerung

Die Lösbarkeit der Schwellenverankerung kann auf Grund ihrer kraftschlüssigen Verbindung als hoch eingestuft werden. Die Abhängigkeit der Verbindungspartner entsteht wegen der sequentiellen Montageabfolge der tragenden BSP-Bauteile und des Kraftflusses in der Struktur (Abb. 8.2). Daher kann die Zugänglichkeit der innenliegenden Bolzenanker ohnehin erst durch eine komplette Demontage der tragenden Bauteile gewährleistet werden. Das Wiederverwenden der Bolzenanker ist nicht möglich, da sich beim Hineinschrauben das Konuselement (Abb.

8.19) im Beton verkeilt und gemeinsam mit dem Gewindebolzen beim Lösen der Bolzenmutter im Bohrloch verbleibt⁵³⁵. Der aus dem Bohrloch vorstehende Bolzenanker wird beim Demontagevorgang in der Regel flächenbündig mit dem Fundament gekürzt⁵³⁶. Durch das Lösen der Bolzenmutter vom Bolzenanker kann das Schwellenholz nahezu unbeschädigt demontiert werden. Daher ist unbeachtet der derzeitigen Verwertungsverfahren für Holzabfälle eine Wiederverwendung bzw. Weiterverwendung der Schwellenhölzer grundsätzlich möglich⁵³⁷.

2. Wandverankerung am Schwellenholz

Die Erkennbarkeit und Zugänglichkeit der Wandverankerungen am Schwellenholz kann auf Grund der außenliegenden Verbindungsmittel als hoch eingestuft werden. Ebenso die Lösbarkeit der genagelten oder geschraubten Lochbleche. Erleiden die Lochbleche bei der Demontage eine Verformung, verlieren sie ihre Zulassung und dürfen nicht wiederverwendet werden⁵³⁸. Die für die Montage der Lochbleche erforderlichen Kammnägeln oder Schrauben verlieren nach einmaliger Verwendung ihre Festigkeit und dürfen somit, lt. technischer Zulassung, nach der Demontage keiner Wiederverwendung zugeführt werden⁵³⁹. Lochblechverbindungen können als gut lösbare Verbindungsmittel eingestuft werden und erlauben, bis auf die Nagel- oder Schraublöcher, eine zerstörungsfreie Montage der beiden Verbindungspartner. Daher bieten Lochblechverbindungen, unbeachtet der derzeitigen Verwertungsverfahren für Brettsperrholz, ein hohes Wiederverwendungspotential der Bauteile.

3. Wand- und Deckenverschraubungen

Die Erkennbarkeit und Zugänglichkeit zu den Wand- und Deckenverschraubungen kann auf Grund der sequentiellen Montageabfolge nur durch zusätzliche Demontageschritte erreicht werden (Abb. 8.2). Durch den Einsatz von Holzbauschrauben als Verbindungsmittel zwischen Wand- und Deckenelementen kann eine gute Lösbarkeit der Verbindungspartner gewährleistet werden. Bis auf die Schraublöcher erlauben Verbindungen mit Holzbauschrauben grundsätzlich eine zerstörungsfreie Demontage und somit ein hohes Wiederverwendungspotential der BSP-Bauteile. Holzbauschrauben verlieren nach einmaliger Verwendung ihre Festigkeit und werden nach ihrer Demontage für keine Wiederverwendung zugelassen⁵⁴⁰.

4. Wandverankerungen

Wandverankerungen mittels ABR Winkelverbinder (Abb. 8.25) sind hinsichtlich ihrer Lösbarkeit und Zugänglichkeit mit Lochblechverbindungen zu vergleichen (Abb. 8.21). Genauso verhält es sich mit dem Wiederverwendungspotential der Verbindungspartner und den Verbindungsmitteln.

5. Verbindung Fugendichtbänder

Die Erkennbarkeit und Zugänglichkeit der Fugendichtbänder kann auf Grund der sequentiellen Montageabfolge nur durch zusätzliche Demontageschritte erreicht werden (Abb. 8.2). Die einseitige Verklebung der Kompribänder mit den BSP-Bauteilen führt beim Lösen der Klebeverbindung zur Zerstörung dieser. Ein Wiederverwenden der Fugendichtbänder ist daher nicht mehr möglich. Durch die einseitige Selbstklebung der Bänder bleiben beim Ablösen Kleberückstände an den BSP-Bauteilen haften. Diese können mit geringem Arbeitsaufwand z. B.

⁵³⁵ Vgl. Simpson Strong-Tie (Hg.), Tel. Befragung techn. Beratung (Herr Heinemann) am 9. Juni 2016, 11:45.

⁵³⁶ Vgl. Simpson Strong-Tie (Hg.), Tel. Befragung techn. Beratung (Herr Heinemann) am 9. Juni 2016, 11:45.

⁵³⁷ Vgl. BAWP 2011, 74-76.

⁵³⁸ Vgl. Simpson Strong-Tie (Hg.), Tel. Befragung techn. Beratung (Herr Heinemann) am 9. Juni 2016, 11:45.

⁵³⁹ ETA-Danmark A/S (Hg.), 2015.

⁵⁴⁰ Vgl. Simpson Strong-Tie (Hg.), Tel. Befragung techn. Beratung (Herr Heinemann) am 9. Juni 2016, 11:45.

mit einem Stemmeisen abgeschabt werden. Ein Wiederverwenden der BSP-Bauteile ist daher grundsätzlich möglich.

6. Verbindung Abdichtung

Die Zugänglichkeit der vertikalen und horizontalen Abdichtung ist grundsätzlich gegeben. Jedoch steht die horizontale Abdichtung auf Grund der sequentiellen Montageabfolge in Abhängigkeit zu den darauffolgend montierten Bauteilen (Abb. 8.2). Die vertikale Abdichtung erzeugt eine Abhängigkeit zwischen den Bauteilen (1, 1a, 1b, 2.0). Das Lösen der Abdichtung ist auf Grund der stoffschlüssigen Verbindung (Flämmen und Kleben) nur unter Zerstörung der Abdichtung und Beeinträchtigung der in Beziehung stehenden Bauteile möglich. Durch das Lösen der Abdichtung bleiben Bitumenrückstände auf den Bauteilen, die ein Wiederverwenden dieser unmöglich machen⁵⁴¹.

7. Lose Auflage

Durch das einseitig klebende Kompriband entsteht nur auf der Seite der Klebefläche eine stoffschlüssige Verbindung mit dem BSP-Bauteil. Auf der gegenüberliegenden Seite erfolgt, unbeachtet der Verbindung 3 (Abb. 8.24), eine lose Auflage der darauffolgenden Bauteile. Daher kann, unbeachtet der Wand- und Deckenverschraubung durch Verbindung 3 (Abb. 8.24), nach Abb. 4.36 von einer kraftschlüssigen Verbindung in Folge von Druck- bzw. Reibungskräften ausgegangen werden⁵⁴².

8. Verschraubung Wand- und Deckenstöße

Die Lösbarkeit der Wand- und Deckenstoßverschraubungen kann als hoch eingestuft werden. Durch die außenliegende Anordnung der Holzbauschrauben ist eine gute Erkennbarkeit und Zugänglichkeit der Verbindungsstellen gegeben. Bis auf die Schraublöcher erlauben Verbindungen mit Holzbauschrauben grundsätzlich eine zerstörungsfreie Demontage und somit ein hohes Wiederverwendungspotential der Verbindungspartner. Holzbauschrauben verlieren nach einmaliger Verwendung ihre Festigkeit und werden nach ihrer Demontage für keine Wiederverwendung zugelassen⁵⁴³.

8.11. Zugänglichkeit der Verbindungen

Eine Bewertung der Zugänglichkeit zu den Verbindungsstellen erfolgt ausschließlich an der BSP-Rohbaukonstruktion (Abb. 7.17). Fassade, Dach und Ausbau bleiben bei der Bewertung der BSP-Rohbaukonstruktion unberücksichtigt. Eine Erläuterung der Zugänglichkeit erfolgte bereits im vorangegangenen Abschnitt.

8.12. Kreislauffähigkeit der Materialien

Brettsperrholz

Als Nachweis zur Kreislaufführung von Brettsperrholz kann eine Umwelt-Produktdeklaration (EPD) nach ISO 14025 und EN 15804 herangezogen werden⁵⁴⁴. Als Referenz bzw. Deklarationsinhaber der betrachteten EPD's kann die Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. und die

⁵⁴¹ Vgl. Villas Austria GmbH, lt. tel. Abklärung tech. Beratung Villas Austria GmbH vom 02. Juni 2016.

⁵⁴² Vgl. Brenner 2010, 58.

⁵⁴³ Vgl. Simpson Strong-Tie (Hg.), Tel. Befragung techn. Beratung (Herr Heinemann) am 9. Juni 2016, 11:45.

⁵⁴⁴ Vgl. Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hg.).

KLH Massivholz GmbH genannt werden^{545 546}. Da es sich unbeachtet der Produktbezeichnungen/Marken beider Deklarationsinhaber gleichermaßen auch um Produkte der Bezeichnung Brettsperrholz (BSP), Kreuzlagenholz (KLH), X-Lam oder Cross Laminated Timber (CLT) handelt, wird zur weiteren Betrachtung die EPD des Deklarationsinhabers KLH Massivholz GmbH herangezogen⁵⁴⁷:

- Nachnutzungsphase

Obwohl BSP-Massivholzplatten bei Umbau-oder Rückbau wiederverwendet werden können, wird eine energetische Verwertung in kontrollierten Feueranlagen zur Erzeugung von Prozessenergie und eventuell auch Strom (KWK- Anlagen) auf Grund des hohen Heizwertes des Holzes als sinnvoll erachtet.

- Entsorgung

Grundsätzlich sind BSP-Massivholzplatten aus Rückbaumaßnahmen stofflich wiederzuverwenden. Besteht keine Möglichkeit der Wiederverwendung, müssen diese einer energetischen Verwertung zugeführt werden. Das Deponieren von BSP-Massivholzplatten ist nicht zulässig.

Der Deklarationstyp entspricht einer EPD „von der Wiege bis Werkstor mit Optionen“. Hier werden ausschließlich die Aufwendungen für das Produktstadium A1- A3 berücksichtigt (cradle to gate) (Abb. 5.1). Über die Systemgrenzen des Lebenswegs hinaus erfolgen als Optionen die Betrachtung der Gutschriften und Lasten im Modul D gemäß EN 15804. Dabei bilanziert Modul D außerhalb der Systemgrenzen die thermische Verwertung und die daraus resultierenden Gutschriften. Die Module B (Nutzungsstadium) und Module C (Entsorgungsstadium) werden als Szenarien (siehe Nachnutzungsphase und Entsorgung) miteinbezogen.

Verbindungsteile aus verzinktem Stahl

Für die gegenständliche Untersuchung werden Verbindungsteile der Firma Simpson Strong-Tie herangezogen. Lt. Firmenauskunft steht für keines der Produkte eine Umwelt- Produktdeklarationen zur Verfügung⁵⁴⁸. Lt. technischer Produktdatenblätter der nachfolgend gelisteten Verbindungsteile kann von folgenden stofflichen Zusammensetzungen ausgegangen werden:⁵⁴⁹

- BOAX – Bolzenanker (Stahl galvanisch verzinkt, passiviert)
- NP- Lochbleche (Stahlqualität: S 250 GD +Z 275 gemäß DIN EN 10346, Korrosionsschutz: 275 g/m2 beidseitig - entsprechend einer Zinkschichtdicke von ca. 20 µm)
- ABR Winkelverbinder mit Rippe (Stahlqualität: S 250 GD +Z 275 gemäß DIN EN 10346, Korrosionsschutz: 275 g/m2 beidseitig – entsprechend einer Zinkschichtdicke von ca. 20 µm)
- CNA Kamrnägel (Stahlqualität: C9D oder C10D, Korrosionsschutz: Galvanisch verzinkt Fe/Zn12C, mit einer Schichtdicke >12 µm)
- CSA Schrauben (Stahlqualität: C18D, Korrosionsschutz: Galvanisch verzinkt Fe/Zn12C, mit einer Schichtdicke >12 µm)

⁵⁴⁵ Vgl. Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hg.): EPD – Brettsperrholz 2015.

⁵⁴⁶ Vgl. Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hg.): EPD – KLH Massivholzplatten (Kreuzlagenholz) 2012.

⁵⁴⁷ Vgl. Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hg.): EPD – KLH Massivholzplatten (Kreuzlagenholz) 2012.

⁵⁴⁸ Vgl. Simpson Strong-Tie (Hg.), Tel. Befragung techn. Beratung (Herr Heinemann) am 13. Juni 2016, 16:15.

⁵⁴⁹ Vgl. Simpson Strong-Tie (Hg.).

- ESCRC Holzbauschraube mit Senkkopf (Stahlqualität: gehärteter Kohlenstoffstahl, Korrosionsschutz: gelbpassivierte Verzinkung $\geq 5\mu\text{m}$ mit zusätzlicher Gleitbeschichtung)

Die stoffliche Zusammensetzung zeigt, dass alle Verbindungsteile der Verwertungseinheit verzinkter Stahlschrott zugeordnet werden können⁵⁵⁰. Als Nachweis zur Kreislaufführung wird der Prozess-Datensatz: End of Life von verzinktem Stahl herangezogen, dessen Datenmodellierung auf Basis der EN 15804 erfolgt⁵⁵¹: Als Referenzfluss wird von 1,0 Kg (Masse) Stahlschrott (verzinkt) ausgegangen.

Der Datensatz trifft die Annahme, dass verzinkte Stahlbleche zu 100% aus Primärmaterialien hergestellt werden. Für das Modul C (Entsorgungsstadium) werden für Recyclingprozesse 5% Verluste angenommen, die deponiert werden. Die restlichen 95% können stofflichen Recyclingverfahren zugeführt werden (Modul D). Folgende Szenarien können danach beschrieben werden:⁵⁵²

- Nachnutzungsphase

Verzinkter Stahlschrott kann nach dem Rückbau problemlos recycelt werden. Das heißt, dass ca. 90% der Produkte für eine geschlossene Kreislaufführung der Materialien verwendet werden.

- Entsorgung

Auf Grund der hohen Wertigkeit von verzinktem Stahlschrott als Rohstoff wird dieser nicht entsorgt, sondern etablierten Kreisläufen zur Wiederverwertung bzw. Recycling zugeführt.

Fugendichtbänder

Als Nachweis zur Kreislaufführung von Fugendichtbändern kann eine Umwelt Produktdeklaration (EPD) nach ISO 14025 und EN 15804 der Firma ISO Chemie GmbH als Deklarationsinhaber herangezogen werden⁵⁵³. Die EPD gilt ausschließlich für Dichtbänder aus Polyurethan und Polyethylen der Firma Iso Chemie GmbH. Folgende Szenarien für eine Nachnutzung und Entsorgung können daraus beschrieben werden:⁵⁵⁴

- Nachnutzungsmöglichkeiten

Dichtbänder werden in der Regel gemeinsam mit den Bauelementen zur zentralen Sammelstelle gebracht und dort entsprechend getrennt und recycelt. Alle nicht recycelten Dichtbänder werden gemeinsam mit dem Bauschutt auf Deponien entsorgt.

⁵⁵⁰ Recycling von Zink aus verzinktem Stahl,
<http://www.initiative-zink.de/presse/pressemitteilungen/artikel/datum/2015/05/29/recycling-von-zink-aus-verzinktem-stahl/>, 04.09.2016.

⁵⁵¹ Prozess-Datensatz: Feuerverzinktes Stahlblech,
<http://www.oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/resource/datastocks/2996a689-b1ec-4b3b-a672-0c3a02afaa3d/processes/50c9e674-afd9-456c-9440-6506bec6d55b?format=html&lang=de>, 04.09.2016.

⁵⁵² Vgl. Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hg.): EPD – Feuerverzinkte Baustähle. Offene Walzprofile und Grobbleche 2013.

⁵⁵³ Vgl. ift Rosenheim GmbH (Hg.): EPD – Dichtbänder aus Polyurethan und Polyethylen 2011.

⁵⁵⁴ Vgl. ift Rosenheim GmbH (Hg.): EPD – Dichtbänder aus Polyurethan und Polyethylen 2011.

- Entsorgung

Auf Grund der problemlosen, händischen Demontage von Dichtbändern können diese relativ einfach und sortenrein von anderen Bauteilen getrennt und recycelt werden. Erfolgt keine Separierung der Dichtbänder, werden diese gemeinsam mit den Bauelementen einer Verwertung zugeführt.

Der Deklarationstyp entspricht einer EPD „von der Wiege bis zur Bahre“. Hier werden alle Aufwendungen entlang des Gebäudelebenszyklus berücksichtigt (cradle to grave) (Abb. 5.1). Die Module B (Nutzungsstadium) und Module C (Entsorgungsstadium) wurden als Szenarien (siehe Nachnutzungsmöglichkeiten und Entsorgung) bereits beschrieben. Darüber hinaus werden im Modul D nach EN 15804, Gutschriften (thermisch und elektrisch) aus Verbrennung bilanziert. Folglich kann bei Fugendichtbändern von einem verhältnismäßig geringen Recyclingpotential ausgegangen werden, da diese zu 90% einer thermischen Verwertung zugeführt werden. Die 10% nicht erfassbaren Mengen und Verluste aus der Verwertungskette C1 und C3 werden deponiert.

Schwellenholz

Als Nachweis zur Kreislaufführung der Schwellenhölzer wird in der gegenständlichen Untersuchung eine Umwelt Produktdeklaration (EPD) nach ISO 14025 und EN 15804 von Konstruktionsvollholz herangezogen. Als Deklarationsinhaber der betrachteten EPD kann die Überwachungsgemeinschaft Konstruktionsvollholz e.V. genannt werden⁵⁵⁵. Konstruktionsvollhölzer kommen für tragende Bauteile zur Anwendung und werden aus Fichten-, Tannen-, Kiefer-, Lärchen- oder Douglasienholz hergestellt. Folgende Szenarien für eine Nachnutzung und Entsorgung können daraus beschrieben werden:⁵⁵⁶

- Nachnutzungsphase

Grundsätzlich können Konstruktionsvollhölzer am Ende der Nutzungsphase, im Falle eines selektiven Rückbaues, problemlos wieder- oder weiterverwendet werden. Ist dies nicht der Fall, werden Konstruktionsvollhölzer auf Grund ihres hohen Heizwertes einer thermischen Verwertung zur Erzeugung von Prozesswärme und Strom zugeführt. Dabei sind je nachdem, ob das Holz unbehandelt oder mit Holzschutzmittel versehen ist, unterschiedliche Anforderungen bei der thermischen Verwertung zu beachten.

- Entsorgung

Nach §9 Altholzverordnung muss Altholz, das nicht verwertet wird, zum Zwecke der Beseitigung einer dafür zugelassenen thermischen Behandlungsanlage zugeführt werden. Eine Deponierung von Altholz ist daher nicht zulässig.

Der Deklarationstyp entspricht einer EPD „von der Wiege bis Werkstor mit Optionen“. Hier werden Aufwendungen für das Produktstadium (A1- A3) sowie Teile des Ende des Lebensweges (Modul C2-C4) berücksichtigt (cradle to gate) (Abb. 5.1). Modul B (Nutzungsstadium) wird als Szenario (siehe Nachnutzungsphase) miteinbezogen. Über die Systemgrenzen des Lebenswegs hinaus erfolgt als Optionen die Betrachtung der Gutschriften und Lasten im Modul D gemäß EN 15804. Dabei bilanziert Modul D außerhalb der Systemgrenzen die thermische Verwertung und die daraus resultierenden Gutschriften. Das heißt, die für Modul D durchgeführte Systemraumerweiterung entspricht einem energetischen Verwertungsszenario für Altholz.

⁵⁵⁵ Vgl. Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hg.): EPD – Konstruktionsvollholz KVH 2015.

⁵⁵⁶ Vgl. Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hg.): EPD – Konstruktionsvollholz KVH 2015.

Bauwerksabdichtung

Für die gegenständliche Untersuchung werden Bauabdichtungssysteme der Firma Villas herangezogen. Für keines der nachfolgend gelisteten Referenzprodukte kann auf eine Umwelt-Produktdeklaration verwiesen werden.

- Polymerbitumen- Kellerabdichtungs- und Mauersperrbahn (VILLAS HYDROSTOP S4)
- Bitumen- Voranstrich (VILLAS EMULBIT)
- selbstklebende Polymer- Bitumenbahn (VILLASELF E-4 SK)

Lt. Herstellerproduktinformation erfolgt eine Produktlistung unter www.baubook.at, dem österreichischen Portal zur Unterstützung bei der Umsetzung von nachhaltigen Gebäuden. Hier erfolgt ausschließlich eine ökologische Bewertung (Ökobilanz) der Materialien mittels Ökoinde- x 3 nach ÖNORM EN ISO 14040 und 14044. Relevante Daten für den Recyclingprozess konnte der Ökobilanzierung nicht entnommen werden⁵⁵⁷. Seitens Hersteller können Produkte aus Bitumen bzw. Polymerbitumen nach ihrer Nutzungsphase folgenden Entsorgungswegen zugeführt werden:⁵⁵⁸

- Deponierfähig als Eluatklasse Ia bis Ib
- Verbrennung in Wirbelschichtofen ohne Bildung von Dioxinen

Sortenreine Bitumenabfälle aus der Produktion und Verarbeitung werden einer thermischen Verwertung zugeführt und die Asche als Füllstoff bei der Bitumenproduktion wieder zum Ein- satz gebracht⁵⁵⁹. Da Bitumen aus der Erdölfraktionierung in ausreichenden Maße zur Verfü- gung steht, erscheint ein Recycling aus derzeitiger Sicht nicht rentabel⁵⁶⁰. Auf Grund des ho- hen Heizwertes von Bitumen wird aus heutiger Sicht eine thermische Verwertung als sinnvoll erachtet⁵⁶¹.

8.13. Stoffliche Vielfalt und Materialverträglichkeit

Brettsperrholz

Für die Herstellung von BSP-Massivholzplatten kommen hauptsächlich Nadelhölzer zum Ein- satz. Neben dem vorwiegend verwendeten Fichtenholz sind weiteren Holzarten wie Kiefer, Tanne und Zirbe auf Anfrage erhältlich. Nach dem Vorhobeln von Brettern und Bohlen werden diese durch Keilzinkverbindungen zu endlos langen Lamellen gestoßen. Nach einem weiteren vierseitigen Hobelvorgang werden die Lamellen an der Schmalseite zu einer Einschichtplatte verklebt. In einem weiteren Arbeitsschritt werden die Einschichtplatten nach einem weiteren Hobelvorgang, in einer ungeraden Zahl (3-, 5-, 7- oder mehr Schichten), kreuzweise in der Fläche verklebt. Zur Herstellung von zertifizierten Holzbauteilen mit statischer Funktion wie z.B. Brettsperrholz werden hauptsächlich folgende Klebstoffe verwendet.⁵⁶²

- Melaminharzleime (MF/MUF)
- Phenol-Resorcin-Harzleime (PF/RF/PRF)

⁵⁵⁷ Baubook Deklarationszentrale – Produkte Villas, <http://www.baubook.info/zentrale/>, 26.08.2016.

⁵⁵⁸ Vgl. Villas Austria GmbH (Hg.): Gesundheit und Umwelt 2006.

⁵⁵⁹ Vgl. Villas Austria GmbH (Hg.), Tel. Befragung techn. Beratung Labor (Herr Bacher) am 16. Juni 2016, 11:30.

⁵⁶⁰ Polymerbitumen – Ökobilanz, <http://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Polymerbitumen>, 25.06.2016.

⁵⁶¹ Polymerbitumen – Ökobilanz, <http://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Polymerbitumen>, 25.06.2016.

⁵⁶² Vgl. Purbond AG (Hg) 2009, 2.

- Polyurethan-Klebstoffe (PUR)

Die Anteile der Inhaltsstoffe je m³ Brettsperrholz setzen sich wie folgt zusammen⁵⁶³ (Abb. 8.33)⁵⁶⁴

- Nadelholz, vorwiegend Fichte ca. 87,5%
- Wasser ca. 10,5 %
- PUR Klebstoffe ca. 0,5 %
- MUF Klebstoffe ca. 1,4 %
- EPI Klebstoffe ca. 0,1 %

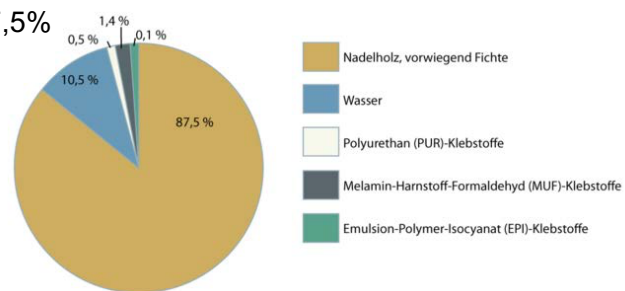


Abbildung 8.33: Stofflichen Zusammensetzung je m³ Brettsperrholz

Unter Betrachtung der Verwertungskompatibilität können BSP-Massivholzplatten auf Grund der stofflichen Zusammensetzung als Monostoffverbundbauteile kategorisiert werden (Abb. 5.6). Die verwertungsverträgliche Materialkombination aus Holz und Klebstoffen erlaubt somit, auch nach der Nutzungsphase, eine stoffliche und thermische Verwertung der BSP-Massivholzplatten, ohne weiter getrennt oder aufbereitet zu werden⁵⁶⁵. Brettsperrholz stellt somit eine Verwertungseinheit dar.

Verbindungssteile aus verzinktem Stahl

Im Zuge des Demontageprozesses können kraftschlüssige Verbindungsmittel, auf Grund ihrer guten Lösbarkeit, bereits vor Ort von den BSP-Bauteilen separiert und somit getrennten Verwertungswegen zugeführt werden. Die stoffliche Zusammensetzung erlaubt, dass alle Verbindungsteile nach dem Separieren, ohne weiter getrennt und aufbereitet zu werden, der Verwertungseinheit- verzinkter Stahlschrott zugeordnet werden⁵⁶⁶. Bei der Wiederverwertung von zinkbeschichtetem Stahl werden Stahl und Zink in speziellen Recyclingverfahren getrennt, um sie als die ursprünglichen Metalle wiederzugewinnen⁵⁶⁷. Folglich handelt es sich bei Verbindungsteilen aus verzinktem Stahl um verwertungskompatible Materialkombinationen.

Fugendichtbänder

Das Lösen der stoffschlüssigen Verbindung zwischen Fugendichtbändern und BSP-Bauteilen stellt in der Praxis einen erheblichen zeitlichen Aufwand dar. Werden BSP-Massivholzplatten einer thermischen Verwertung zugeführt, ist unter Anbetracht der derzeitigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen ein vorheriges Separieren der Fugendichtbänder ausgeschlossen⁵⁶⁸. Eine Vorbereitung zur Wiederverwertung inkludiert Verfahren zur Prüfung, Reinigung und Reparatur⁵⁶⁹. Folglich müssen Fugenbänder von den BSP-Bauteilen entfernt werden, damit

⁵⁶³ Vgl. Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hg.): EPD – Brettsperrholz 2015.

⁵⁶⁴ Stofflichen Zusammensetzung je m³ Brettsperrholz,

http://www.wecobis.de/fileadmin/_processed_/csm_Brettsperrholz_2.1.1_8943c469e6.png, 21.09.2016.

⁵⁶⁵ Vgl. Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hg.): EPD – Brettsperrholz 2015, 4.

⁵⁶⁶ Recycling von Zink aus verzinktem Stahl,

<http://www.initiative-zink.de/presse/pressemitteilungen/artikel/datum/2015/05/29/recycling-von-zink-aus-verzinktem-stahl/>, 04.09.2016.

⁵⁶⁷ Vgl. EUROFER A.S.B.L und IZA- Europe (Hg.), 1999 1-9.

⁵⁶⁸ Vgl. KLH Massivholz GmbH (Hg.), Tel. Befragung techn. Beratung (Herr Mühlbacher Daniel) am 15. Juni 2016, 15:15.

⁵⁶⁹ Vgl. Richtlinie 2008/98/EG, Art. 3.

die Massivholzplatten ohne weitere Vorbehandlung wiederverwendet werden können. Bei einer stofflichen Wiederverwertung ist auf Grund der unzähligen Verfahren im Einzelnen zu prüfen, inwieweit Fugenbänder den Verwertungsprozess stören.

Da sowohl BSP-Massivholzplatten als auch Fugendichtbänder einer thermischen Verwertung zugeführt werden können, ist ein Separieren der Bauteile nicht erforderlich^{570 571}. Folglich stellen BSP-Bauteile, im Falle einer thermischen Verwertung mit nicht abgelösten Fugenbändern, eine verwertungskompatible Materialkombination dar.

Schwellenhölzer

Grundsätzlich können Schwellenhölzer, in Anbetracht der lösbaren Verbindungsmittel, von der restlichen Konstruktion separiert und somit entsprechenden Verwertungsverfahren zugeführt werden (siehe Kreislauffähigkeit der Materialien). Zur Gewährleistung des Feuchteschutzes wird an der Außenseite der Konstruktion eine vertikale Abdichtung angebracht (Abb. 8.4). Diese wird per Flämm- und oder Klebverfahren am Fundament, Schwellenholz und am Fußpunkt der BSP-Wand verarbeitet (Abb. 8.4). Beim Ablösen der Abdichtung ist damit zu rechnen, dass Bitumen-, Kleber und Haftvermittlerückstände auf dem Schwellenholz haften bleiben und somit zur Verunreinigung des Holzes führen⁵⁷². In diesem Fall sind Holzabfälle entsprechend der Abfallverzeichnisverordnung einzustufen, um einen entsprechenden Verwertungsweg zu finden⁵⁷³. In der Regel werden mit Bitumen verunreinigte Holzabfälle einer thermischen Verwertung zur Erzeugung von Prozesswärme und Strom zugeführt⁵⁷⁴. Somit werden mit Bitumen verunreinigte Schwellenhölzer im Falle einer thermischen Verwertung als verwertungskompatible Materialkombination kategorisiert.

Bauwerksabdichtung

Bituminöse Bauwerksabdichtungen der Firma Villas werden im Falle einer sortenreinen Trennung einer thermischen Verwertung zugeführt und die daraus resultierende Asche als Füllstoff bei der Bitumenproduktion unter bestimmten Voraussetzungen wieder zum Einsatz gebracht⁵⁷⁵. Im Falle einer Verunreinigung mit anderen Fraktionen gelten Bitumen als nicht rezyklierbare Abfälle und müssen auf Grund der Inhomogenität deponiert werden⁵⁷⁶. Da die untersuchten Bauwerksabdichtungen über Flämm- und Klebverfahren verarbeitet werden, herrscht zwischen den Verbindungspartnern ein stoffschlüssiger Verbund (vgl. Abb. 4.36). Unter den derzeitigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen ist ein sortenreines Trennen bzw. Separieren bituminöser Abdichtungen kaum möglich und führt zu Verunreinigung der Bauteile⁵⁷⁷. Aus diesem Grund gelten bituminöse Bauwerksabdichtungen in der gegenständlichen Arbeit als nicht separierbar und werden im Falle einer Deponierung als nicht verwertungskompatibel eingestuft.

Betonfundament

Obwohl die Fundierung nicht Bestandteil der gegenständlichen Untersuchung ist, kann Stahlbeton als gutes Beispiel einer verwertungsverträglichen Materialkombination herangezogen werden (Abb. 5.6). In etablierten Aufbereitungsverfahren werden Stahl und Beton zu Sekundärrohstoffen verarbeitet, um dann einer weiteren Verwertung zugeführt werden zu können.

⁵⁷⁰ Vgl. ift Rosenheim GmbH (Hg.): EPD – Dichtbänder aus Polyurethan und Polyethylen 2011.

⁵⁷¹ Vgl. Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hg.): EPD – Brettsperrholz 2015.

⁵⁷² Vgl. Villas Austria GmbH (Hg.), Tel. Befragung techn. Beratung am 30. Mai 2016, 11:45.

⁵⁷³ Vgl. Abfallverzeichnisverordnung 2008.

⁵⁷⁴ Vgl. Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hg.): EPD – Konstruktionsvollholz KVH 2015, 4.

⁵⁷⁵ Vgl. Villas Austria GmbH (Hg.), Tel. Befragung techn. Beratung Labor (Herr Bacher) am 16. Juni 2016, 11:30.

⁵⁷⁶ Vgl. BAWP 2011, 64.

⁵⁷⁷ Vgl. Villas Austria GmbH (Hg.), Tel. Befragung techn. Beratung am 30. Mai 2016, 11:45.

8.14. Substitution durch Recyclingbaustoffe

Brettsperrholz

Die zur Untersuchung herangezogenen Produkte der Firma KLH - Kreuzlagenholz und STO-RAENSO – Cross Laminated Timber wurden einer PEFC Zertifizierung unterzogen. Mit einer PEFC Zertifizierung erbringt der Hersteller den Nachweis, seine verwendeten Rohstoffe aus ökologisch, ökonomisch und sozial nachhaltiger Forstwirtschaft zu beziehen⁵⁷⁸. Nicht erneuerbare Baustoffe bzw. Primärrohstoffe können durch den Einsatz des nachwachsenden Rohstoffes Holz substituiert werden⁵⁷⁹. Der dadurch erzielte ökologische und energetische Nutzen kann wie folgt beschrieben werden:⁵⁸⁰

„Die Umwelt- und Klimaentlastungspotenziale durch Substitution nicht erneuerbarer Roh- und Baustoffe liegen nach neuesten wissenschaftlichen Studien beim Bauen mit Holz gegenüber Standardbauweisen zwischen 30 und 70%, ohne die traditionellen Anforderungen an Baustoffe und Konstruktionen – wie Festigkeiten, Brand-, Wärme- und Schallschutz sowie Langlebigkeit – zu vernachlässigen.“

Somit bietet der Wald bzw. der Baustoff Holz ein enormes Substitutionspotenzial, da auf freien Waldflächen neues Holz nachwächst und damit zukünftig weitere, nicht erneuerbare Ressourcen ersetzt werden können⁵⁸¹. Holz nimmt als nachwachsender Rohstoff eine Sonderstellung ein, mit dessen Hilfe nicht erneuerbare Baustoffe bzw. Primärrohstoffe substituiert werden können. Daher wird für die Bewertung der Wert 1.0 angesetzt.

Verbindungsteile aus verzinktem Stahl

Für die in der gegenständlichen Untersuchung betrachteten Verbindungsteile der Firma Simpson Strong-Tie liegt keine Zulassung vor, ob diese nach ihrer Nutzungsphase einer Wiederverwendung zugeführt werden dürfen⁵⁸². In etablierten Verfahren (Elektrolichtbogenofen) wird verzinkter Stahlschrott in Stahl und Zink getrennt und in weiteren Kreisläufen einer Wiederverwertung zugeführt⁵⁸³.

Der aus Stahlschrott gewonnene Stahl benötigt weitaus weniger Energie und Rohstoffe als Primärstahl, der aus Eisenerz gewonnen wird. Dabei bietet Stahl die Möglichkeit, ohne Qualitätsverluste (Downcycling), unbegrenzt wiederverwertet zu werden⁵⁸⁴. Folglich erweist sich Stahl als idealer Baustoff zur Herstellung von Produkten nach dem Prinzip „Cradle to Cradle“ (von der Wiege zur Wiege). Der Anteil von Stahlschrott bei der weltweiten Stahlerzeugung kann mit etwa 37% beziffert werden (Quelle: Wirtschaftsvereinigung Stahl). Studien über den Schrottanfall in den Industrieländern belegen, dass in den letzten zehn Jahren die Verwertung von Stahlschrott um ca. 25% gesteigert werden konnte⁵⁸⁵. Für das Recycling von Zink aus verzinktem Stahlschrott werden nur ca. 5% der Energie verwendet, die für die Gewinnung von

⁵⁷⁸ Wofür steht PEFC,
<http://pefc.at/wofuer-steht-pefc/>, 13.06.2016.

⁵⁷⁹ Holzprodukte sind Kohlenstoffspeicher,
<http://www.proholz.at/holz-ist-genial/co2-neutral/kohlenstoffspeicher/>, 17.06.2016.

⁵⁸⁰ Ökologischer und energetischer Nutzen,
<http://www.lignotrend.de/magazin/holz-nachhaltigkeit/materialgerecht/>, 17.06.2016.

⁵⁸¹ Bauen mit Holz als Klimaschutz,
<http://www.proholz.at/co2klimawald/oekobilanzierung/>, 17.06.2016.

⁵⁸² Vgl. Simpson Strong-Tie (Hg.), Tel. Befragung techn. Beratung (Herr Heinemann) am 13. Juni 2016, 16:15.

⁵⁸³ Vgl. EUROFER A.S.B.L und IZA- Europe (Hg.), 1999 1-9.

⁵⁸⁴ Vgl. Stahlinstitut VDeh/Wirtschaftsvereinigung Stahl (Hg.): 2015, 9-11.

⁵⁸⁵ Stahl Ökobilanz,
<http://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Stahl>, 21.06.2016.

Zink aus Erzen erforderlich ist⁵⁸⁶. Die weltweite Recyclingquote von Zink beträgt etwa 50% (Quelle: Initiative Zink).

Der Erfolg des Zinkrecyclings aus Elektroofenstäuben der Stahlindustrie in Europa hängt vor allem vom Recycling des Stahls am Ende seiner Nutzungsphase ab:⁵⁸⁷

„Für Baustähle wird die Sammelrate mit 99 % angegeben. Etwa 11 % davon werden einer direkten Wiederverwertung zugeführt, also in gleicher Funktion an anderer Stelle wieder genutzt. 89 % des gesammelten Stahlschrotts werden einem Recycling zugeführt.“

Aus den vorangegangenen Fakten ist zu entnehmen, dass die für die Herstellung der für Verbindungsmittel erforderlichen Rohstoffe, zu einem Großteil durch Sekundärrohstoffe substituiert werden. Demnach kann bei der Beurteilung von einem Materialrecycling (Wiederverwertung, Weiterverwertung) ausgegangen werden.

Fugendichtbänder

Betrachtet werden Polyurethan Fugendichtbänder der Firma ISO Chemie. Als Ausgangsstoff zur Herstellung der Dichtbänder wird seitens ISO Chemie Polyurethan Schaum genannt⁵⁸⁸. Über den Anteil an verwendeten Sekundärrohstoffen zur Erzeugung von PUR-Fugendichtbändern konnte seitens ISO Chemie keine Auskunft gegeben werden.

Je nach Art der Kunststoffe kann der Verwertungsanteil grundsätzlich als sehr hoch eingestuft werden⁵⁸⁹: Unter Betrachtung des Kunststoffrecyclings in Deutschland werden 99% der Kunststoffabfälle einer Verwertung zugeführt. Davon werden ca. 60% einer energetischen (thermischen) und 40% einer stofflichen Verwertung unterzogen. Da Fugendichtbänder hauptsächlich einer thermischen Verwertung zugeführt werden, wird in der gegenständlichen Untersuchung von einem geringen Sekundärrohstoffanteil aus stofflicher Verwertung (werkstofflich und rohstofflich) zur Herstellung von Polyurethan-Fugendichtbändern ausgegangen⁵⁹⁰.

Schwellenhölzer

Hohes Substitutionspotenzial auf Grund nachwachsender Rohstoffe⁵⁹¹. (Siehe Brettsperrholz)

Bauwerksabdichtung

Hersteller von bituminösen Bauwerksabdichtungen, wie z. B. die Firma Villas, bieten eine Rücknahme von Verarbeitungsresten an. Bei einer entsprechenden Sortenreinheit werden diese einer thermischen Verwertung zugeführt und die daraus gewonnene Asche als Füllstoff bei der Bitumenproduktion wieder zum Einsatz gebracht. Die Verarbeitung der Abdichtungsbahnen im Flämm- oder Gießverfahren verursacht Verunreinigungen durch andere Baustoffe, die auf der Baustelle nicht mehr zu trennen sind. Auf Grund der Inhomogenität ist der „Materialmix“ wirtschaftlich kaum wiederzuverwenden⁵⁹². Unter bestimmten Voraussetzungen dürfen

⁵⁸⁶ Vgl. Initiative Zink (Hg.) 2014, 1-3.

⁵⁸⁷ Initiative Zink (Hg.) 2015, 24-25.

⁵⁸⁸ Vgl. ISO Chemie, Tel. Befragung (Frau Lenz) am 20. Juni 2016, 09:45.

⁵⁸⁹ Kunststoffrecycling in Deutschland,

<https://www.kunststoffe.de/specials/kunststoff-recycling/kunststoffrecycling-deutschland>, 20.06.2016.

⁵⁹⁰ Vgl. ift Rosenheim GmbH (Hg.): EPD – Dichtbänder aus Polyurethan und Polyethylen 2011.

⁵⁹¹ Bauen mit Holz als Klimaschutz,

<http://www.proholz.at/co2klimawald/oekobilanzierung/>, 17.06.2016.

⁵⁹² Vgl. Villas Austria GmbH (Hg.), Tel. Befragung techn. Beratung Labor (Herr Bacher) am 16. Juni 2016, 11:30.

Bitumen nach Deponieverordnung (DepVO 2008) Liste 2 auf Baurestmassendeponien abgelagert werden⁵⁹³. Da Bitumen als „Koppelprodukt“ in Erdölraffinerien in ausreichendem Maß anfällt, bestehen aus ökonomischer Sicht keine Anreize, Bitumenabdichtungsbahnen in den Mengen, wie sie im Hochbau anfallen, stofflich zu verwerten⁵⁹⁴. Demnach wird bei der Bewertung des Materialeinsatzes von Primärrohstoffen ausgegangen.

8.15. Schadstoffe und recyclingkritische Störstoffe

Als Nachweis enthaltener Schadstoffe und recyclingkritischer Störstoffe werden die vorhandenen Umwelt-Produktdeklarationen der jeweiligen Materialkomponenten der BSP-Rohbaukonstruktion herangezogen. Schad- und Störstoffemissionen in der Herstellungsphase (A1- A5) nach EN 15804 bleiben in der Betrachtung unberücksichtigt. Bei vorliegenden EPD's werden Umwelt- und Gesundheitsaspekte während der Nutzungsphase (B1-B7) nach EN 15804 kurz erörtert, ansonsten liegt der Schwerpunkt der Betrachtung auf den Entsorgungsphasen (C1-C4, D) nach EN 15804. Detaillierte Daten sind den jeweiligen Ökobilanzen zu entnehmen.

Brettsperrholz

Schadstoffauswirkungen auf Umwelt- und Gesundheit sind nachweislich belegt. Formaldehyd, flüchtige organische Verbindungen (VOC) und MDI (chemische Verbindungen) sind unter den Emissionsgrenzwerten⁵⁹⁵. In unbehandelter Form und unbeachtet des gebundenen Kohlenstoffes aus dem Kohlendioxid der Atmosphäre, der über den Zeitraum des Wachstums und bei weiterer Verwendung als Bauprodukt über die gesamte Nutzungsperiode temporär im Holz gespeichert bleibt, sind lt. Umwelt- Produktdeklaration im Brettsperrholz keine recyclingkritischen Störstoffe enthalten⁵⁹⁶. Bei organisch behandelten Holzabfällen sind im Falle einer energetischen Verwertung die Abfallschlüsselnummern gemäß Abfallverzeichnisverordnung nach ÖNORM S2100 oder nach Europäischem Abfallkatalog zu beachten⁵⁹⁷.

Verbindungsteile aus verzinktem Stahl

Schadstoffauswirkungen auf Umwelt- und Gesundheit sind bei entsprechenden Verwendungszweck von verzinkten Stahlteilen während der Nutzungsphase nicht bekannt⁵⁹⁸. Bei sortenreiner Trennung von verzinktem Stahlschrott sind keine recyclingkritischen Störstoffe bekannt, die vor einer Wiederverwendung oder einer Vorbereitung zur Wiederverwendung entfernt werden müssten.

Fugendichtbänder

Die betrachteten Fugendichtbänder der Firma ISO Chemie weisen vor allem in der Nutzungsphase keine negativen Umwelteinflüsse auf⁵⁹⁹. Die stoffliche Zusammensetzung beinhaltet keine Störstoffe, die vor dem Verwerten zu separieren sind⁶⁰⁰.

⁵⁹³ Vgl. Deponieverordnung 2008, Liste 2.

⁵⁹⁴ Vgl. Ecobis 2000 (Hg.) 2000, 7-8.

⁵⁹⁵ Vgl. Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hg.): EPD – Brettsperrholz 2015, 8.

⁵⁹⁶ Langzeitbindung,

<http://www.proholz.at/zuschnitt/24/langzeitbindung/>, 19.06.2016.

⁵⁹⁷ Vgl. Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hg.): EPD – KLH Massivholzplatten (Kreuzlagenholz) 2012, 4.

⁵⁹⁸ Vgl. Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hg.): EPD – Feuerverzinkte Baustähle. Offenen Walzprofile und Grobbleche 2013.

⁵⁹⁹ Vgl. ift Rosenheim GmbH (Hg.): EPD – Dichtbänder aus Polyurethan und Polyethylen 2011, 9.

⁶⁰⁰ Vgl. ift Rosenheim GmbH (Hg.): EPD – Dichtbänder aus Polyurethan und Polyethylen 2011, 7.

Schwellenhölzer

Schadstoffgehalt und recyclingkritische Störstoffe entsprechen den Angaben gemäß Brettsperrholz⁶⁰¹. Bitumenrückstände aus der Feuchteabdichtung sind, im Falle einer thermischen Verwertung, verwertungskompatibel und brauchen nicht separiert werden (siehe Abschnitt 8.13). Im Falle einer stofflichen Verwertung sind die Anforderungen der Holzwerkstoffindustrie an Holzabfälle zu beachten⁶⁰².

Bauwerksabdichtung

Bituminöse Bauwerksabdichtungen der Firma Villas stellen keine Gefahr für Gesundheit und Umwelt dar. Wissenschaftliche Studien belegen, dass Bitumen bei der Herstellung, bei der Verarbeitung und in eingebautem Zustand gesundheitlich unbedenklich sind⁶⁰³; Bitumen enthalten keine wasserlöslichen oder wasserbelastenden Stoffe⁶⁰⁴. Ebenfalls emittieren, im Falle einer thermischen Verwertung, keine Dioxine und Furane⁶⁰⁵. Da Bitumen vorwiegend als Verbundbaustoffe (Flämm- oder Gießverfahren) eingebaut werden, kommt es zur Verbindung mit sortenfremden Bauteilen, dessen Trennung in einzelne Fraktionen meist nur unter hohem Aufwand durchzuführen ist⁶⁰⁶.

8.16. Materialkennzeichnung und Dokumentation

Eine Beurteilung der Produkte, hinsichtlich einer Kennzeichnung zur Identifizierung der stofflichen Zusammensetzung, erfolgt auf Basis von Interviews mit den nachfolgenden Firmen. Der Schwerpunkt der Befragung richtet sich dabei auf die direkte Werkstoffkennzeichnung am Produkt in Anlehnung der VDA 260 – Bauteile von Kraftfahrzeugen – Kennzeichnung der Werkstoffe⁶⁰⁷.

Verbindungsteile aus verzinktem Stahl (Simpson Strong-Tie)

Die im Untersuchungsgegenstand herangezogenen Produkte der Firma Simpson Strong-Tie sind konform mit der BauPVO und nach CE gekennzeichnet⁶⁰⁸. Mit Inkrafttreten der neuen Bauprodukteverordnung muss für ein Bauprodukt, das nach einer harmonisierten Norm (hEN) oder ETA (European Technical Assessment) geregelt ist, eine Leistungserklärung (DoP) bereitgestellt werden. Dabei stellt die Leistungserklärung das zentrale Element der BauPVO dar, die dem Produkt eine CE Kennzeichnung erlaubt⁶⁰⁹. In den europäischen technischen Zulassungen, als Nachweis zur technischen Brauchbarkeit eines Produktes, finden sich unter anderem auch detaillierte Produktbeschreibungen mit Angaben verwendeter Werkstoffe. Zur Untersuchung der Produktkennzeichnung wird beispielhaft ein ABR Winkelverbinder mit Rippe der Simpson Strong-Tie herangezogen.

⁶⁰¹ Vgl. Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hg.): EPD – Konstruktionsvollholz KVH 2015.

⁶⁰² Vgl. BAWP 2011, Bd. 2, 246.

⁶⁰³ Vgl. Villas Austria GmbH (Hg.): Gesundheit und Umwelt 2006.

⁶⁰⁴ Vgl. Bundesministerium der Justiz (Hg.) 2005, Anhang 1, Kenn Nr.: 326.

⁶⁰⁵ Vgl. Villas Austria GmbH (Hg.): Gesundheit und Umwelt 2006.

⁶⁰⁶ Bitumen Ökobilanz,

<http://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Bitumen>, 25.06.2016.

⁶⁰⁷ Vgl. VDA 260 2007.

⁶⁰⁸ Vgl. BauPVo, Verordnung EU 305/2011.

⁶⁰⁹ BauPVO, ETA und DoP - Konformität als Verpflichtung, <http://www.strongtie.de/resources/agreements-techniques>, 11.08.2016.

BEISPIEL: ETA-PRODUKT TEXT LABEL

<p>Das Jahr der ersten CE-Kennzeichnung des Produkts durch Simpson Strong-Tie (letzte zwei Ziffern des Jahres).</p>	<p>Simpson Strong-Tie Artikel Nummer und Beschreibung.</p>	<p>CE-Zeichen und Kennnummer der fremdüberwachenden Stelle, welche die werkseigene Produktionskontrolle durchführt.</p>
<p>Nummer der Leistungserklärung (DoP, jederzeit erhältlich).</p>	<p>Zertifikat-Nummer der werkseigenen Produktionskontrolle.</p>	<p>Angaben über die vorgesehene Verwendung des Produktes und seiner grundlegenden Anforderungen.</p>
<p>Zu Grunde gelegte Technische Regel.</p>		

ABR 105-R PCS: 50

Intended use:
Refer to ETA-06/0106

Essential Requirements:
Refer to ETA-06/0106

ETA-06/0106
ETA0015

DoP-466106
3039-CPO-361637

5 701953 360721

ABR 105-R PCS: 50

CE 0636

ETA-06/0106
ETA0015

Produced by a Certified Manufacturing Plant of Simpson Strong-Tie. Contact information: www.simpsonstrongtie.de

A = 90 mm
B = 105 mm
C = 105 mm

5 701953 360721

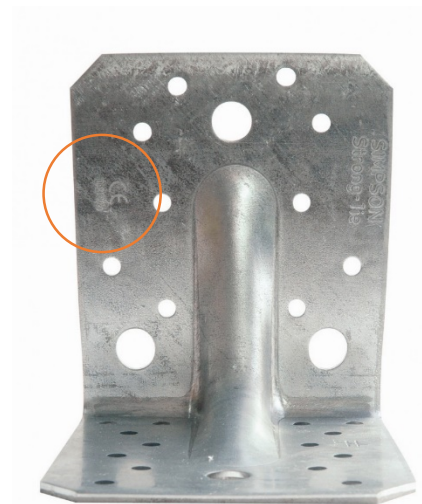


Abbildung 8.34. ETA (European Technical Assessment) Produkt- Label

Abbildung 8.35: ABR Winkelverbinder mit Rippe (70 90 98 105) und CE Kennzeichnung

Die Produktverpackungen der Firma Simpson Strong-Tie werden mit einem ETA- Produkt Label versehen, dessen Inhalt der BauPVO entspricht (Abb. 8.34)⁶¹⁰. Mit Hilfe der ETA- Nummer am Label (Kenncode) kann die zu Grunde gelegte technische Regel (z.B. ETA- 06/0106) zugeordnet werden⁶¹¹. Am Produkt selbst findet sich neben dem Firmenlogo nur das CE-Zeichen mit der vierstelligen Kennnummer der fremdüberwachenden Stelle (Abb. 8.35)⁶¹². Die vierstellige „Identifikationsnummer“ weist darauf hin, dass das Produkt durch eine unabhängige Stelle auf die Einhaltung der Richtlinien überprüft wurde. Weder CE-Zeichen noch Kennnummer geben einen direkten Rückschluss auf die stoffliche Zusammensetzung des Produktes. Wobei die ETA im Fall des vorliegenden Beispiels über die Kennnummer am Produkt und der ETA Nummer am Produkt Label identifizierbar wird und somit Zugriff auf Produkteigenschaften gewährt⁶¹³. Die technischen Unterlagen und die Leistungserklärung (DoP) sind nach BauPVO vom Hersteller zehn Jahre ab dem Inverkehrbringen des Bauprodukts aufzubewahren⁶¹⁴. Wobei der Zeitraum der Aufbewahrung je nach Lebenserwartung oder Bedeutung des Produktes abgeändert werden kann⁶¹⁵. Unter diesen Umständen kann unter einen längeren Zeitraum hinaus die Identifikation der Bauteile über die ETA oder DoP erfolgen.

Obwohl die Verbindungsteile der Firma Simpson Strong-Tie unter Umständen über die technischen Zulassungen identifizierbar bleiben, weisen sie dennoch keine eigene Werkstoffkennzeichnung auf, die auf eine stoffliche Zusammensetzung hinweist (vgl. Abb. 5.8).

Brettsperrholz (KLH Massivholz GmbH)

Als Untersuchungsgegenstand werden Produkte der Firma KLH Massivholz GmbH herangezogen. Lt. Hersteller erfolgt aus logistischen Gründen eine Etikettierung der Bauteile mit Angaben zu Kunde, Bauvorhaben, Plattencode, Abmessungen, Qualität, Datum, Uhrzeit usw.,

⁶¹⁰ BauPVO, ETA und DoP - Konformität als Verpflichtung, <http://www.strongtie.de/resources/agreements-techniques>, 11.08.2016.

⁶¹¹ Vgl. BauPVo, Verordnung EU 305/2011 Art. 11, Abs. 4.

⁶¹² Vgl. Simpson Strong-Tie (Hg.), Tel. Befragung techn. Beratung (Herr Wanic) am 22. Juni 2016, 10:30.

⁶¹³ Vgl. Simpson Strong-Tie (Hg.), Tel. Befragung techn. Beratung (Herr Wanic) am 22. Juni 2016, 10:30.

⁶¹⁴ Vgl. BauPVo, Verordnung EU 305/2011, Art. 11, Abs. 2.

⁶¹⁵ Vgl. BauPVo, Verordnung EU 305/2011, Art. 60, Abs. c.

die in Form eines Aufklebers angebracht werden. Die Dauerhaftigkeit des Klebeetiketts ist nicht gewährleistet. Eine genaue stoffliche Zusammensetzung kann dem Etikett nicht entnommen werden⁶¹⁶. Ein EG-Konformitätszertifikat (CE-Zertifikat) liegt vor. Eine Kennzeichnung am Bauteil erfolgt nicht.

Lt. Bauprodukteverordnung (BauPVo) stellt der Hersteller sicher, dass seine Produkte zur eindeutigen Identifizierung eine Typen-, Chargen-, Seriennummer oder ein anderes Kennzeichen tragen⁶¹⁷ (vgl. Abb. 8.34). Falls dies jedoch auf Grund der Art und Größe des Produktes nicht möglich sein sollte, sind die erforderlichen Informationen auf der Verpackung oder in den dem Bauprodukt beigefügten Unterlagen anzugeben⁶¹⁸. Ist das Produkt erstmal verbaut, ist davon auszugehen, dass nach fünfzigjähriger Nutzungsphase keine Produktbeschreibung (z. B. ETA) dem Produkt ohne Kennzeichnung oder Seriennummer zuordenbar ist.

Fugendichtbänder (ISO Chemie GmbH)

Fugendichtbänder der Firma ISO Chemie können auf Grund ihrer Produktstruktur mit keiner Werkstoffkennzeichnung versehen werden⁶¹⁹. Die Kennzeichnung zur Produktidentifikation wird gemäß BauPVo Art. 11, Abs. 4 an der Verpackung des Produktes angebracht. Folglich ist davon auszugehen, dass Fugenbänder, nach Beendigung der Nutzungsphase und im Falle eines Rückbaues, stofflich nicht mehr eindeutig zu identifizieren sind.

Bauwerksabdichtung (Villas Austria GmbH)

Eine direkte Werkstoffkennzeichnung bituminöser Abdichtungsprodukte ist auf Grund der Produktstruktur und Verarbeitungstechniken nicht möglich⁶²⁰. Gemäß BauPVo Art. 11, Abs. 4 erfolgt die Produktidentifikation über eine an der Verpackung des Produktes angebrachte Chargennummer. Zum jetzigen Zeitpunkt erscheint eine direkte Identifikationsnummer am Produkt lt. Hersteller ausgeschlossen. Folglich ist auch davon auszugehen, dass im Falle eines Rückbaues keine eindeutige Identifizierung der stofflichen Zusammensetzung möglich wird.

Schwellenhölzer

Zur Beurteilung der Materialkennzeichnung von Schwellenhölzern wurde keine herstellende Firma interviewt. Als Informationsportal wurde die Überwachungsgemeinschaft Konstruktionsvollholz e.V. herangezogen⁶²¹. Für Konstruktionsvollholz, gemäß europäischer harmonisierter Produktnormen, muss ebenfalls eine Leistungserklärung (DoP) erstellt werden, in der gemäß BauPVo Art. 11, Abs. 4 eine eindeutige Produktidentifizierung anzubringen ist⁶²². Eine Kennzeichnung in Form von Typen-, Chargen- oder Seriennummer wird nicht am Produkt durchgeführt.

⁶¹⁶ Vgl. KLH Massivholzplatten GmbH (Hg.), Tel. Befragung (Herr Wabl) am 22. Juni 2016, 13:30.

⁶¹⁷ Vgl. BauPVo, Verordnung EU 305/2011 Art. 11, Abs. 4.

⁶¹⁸ Vgl. BauPVo, Verordnung EU 305/2011 Art. 11, Abs. 4.

⁶¹⁹ Vgl. ISO Chemie GmbH (Hg.), Tel. Befragung techn. Beratung (Frau Lenz) am 23. Juni 2016, 09:30.

⁶²⁰ Vgl. Villas Austria GmbH (Hg.), Tel. Befragung techn. Beratung Labor (Herr Bacher) am 16. Juni 2016, 11:30.

⁶²¹ Allgemeines über Kennzeichnung,

<http://www.kvh.eu/konstruktionsvollholz-kvhr/ueberwachung-und-kennzeichnung/>, 23.06.2016.

⁶²² Vgl. BauPVo, Verordnung EU 305/2011 Art. 11, Abs. 4.

9. Analyse und Bewertung Fassade – Dach

9.1. Funktionstrennung – Funktionsintegration

Gemäß Tabelle 7.17 erfolgt eine Zuordnung der Einzelteile zu den Funktionen Fassade und Dach. Die funktionale Gliederung zeigt, dass jedem Bauteil nur eine Funktion zugeordnet werden kann (Tabelle 9.1). Da jedes Bauteil ein Träger einer separaten Funktion ist, liegt eine komplette Funktionstrennung vor.

FUNKTION:	BAUTEIL:
LATTUNG QUER	→ 7.0
LATTUNG LÄNGS	→ 7.0a
HOLZWERKSTOFFPL.	→ 7.0h
DÄMMUNG	→ 7.0b
WINDDICHTUNG	→ 7.0c
LATTUNG HINTERL.	→ 7.0d
HOLZFASSADE	→ 7.0e
SOCKELDÄMMUNG	→ 7.0f
FASERZEMENTPL.	→ 7.0g
DAMPFSPERRE	→ 8.0
GEFÄLLEDÄMMUNG	→ 8.0a
ABDICHTUNG	→ 8.0b

Tabelle 9.1: Funktionstrennung Fassade- Dach⁶²³

9.2. Funktionale Abhängigkeit

Auf Basis eines Beziehungsdiagrammes, in dem alle Bauteile des gesamten Brettsperrholzsystems nach Funktionen und Montagehierarchie systematisch in Zeilen und Spalten abgebildet sind, kann zunächst eine Zonierung der Fassaden- und Dachbauteile in folgende Nutzungseinheiten vorgenommen werden (Abb. 9.1):

- Sockeldämmung
- Fassade hinterlüftet
- Dach

Die Sockeldämmung stellt eine unabhängige Nutzungseinheit dar. Der Anschluss der Perimeterdämmung (7.0f) zur Lattung und Dämmung (7.0, 7.0a, 7.0b) der hinterlüfteten Fassade verursacht keine gegenseitige Abhängigkeit der beiden Einheiten. Eine Montage bzw. Demontage zwischen Sockeldämmung und Fassade hinterlüftet ist grundsätzlich unabhängig voneinander möglich, da beide ausschließlich mit der tragenden Rohbaukonstruktion verbunden sind (vgl. Abb. 9.2).

Die Nutzungsbereiche Fassade hinterlüftet und Dach zeigen auf Höhe der Holzwerkstoffplatte (7.0h) in der Montagehierarchie eine gegenseitige Abhängigkeit auf (Abb. 9.1). Die Fassade bildet mit der Lattung längs (7.0a) und der Holzwerkstoffplatte (7.0h) den Attikahochzug aus, der zur Montage der Dampfsperre (8.0) und Dachabdichtung (8.0b) benötigt wird. Aus dem Montagediagramm wird ersichtlich, dass erst in Schritt 4, also nach der Montage der Holzwerkstoffplatte (7.0h), mit den Dacharbeiten begonnen werden kann (Abb. 9.2). Die gegenseitige Abhängigkeit hat zur Folge, dass die Montage des Dachaufbaues nicht ohne die vorherige Montage der Fassadenbauteile (7.0, 7.0a, 7.0b, 7.0h) erfolgen kann. Umgekehrt ist die Demontage der gesamten hinterlüfteten Fassade nicht möglich, ohne die Dachkonstruktion zu beeinflussen. Abhängigkeiten zur tragenden Rohbaukonstruktion bleiben vorerst unberücksichtigt. Eine Analyse erfolgt unter Betrachtung der Basisbauteile.

⁶²³ In Anlehnung an Durmisevic 2010, 189.

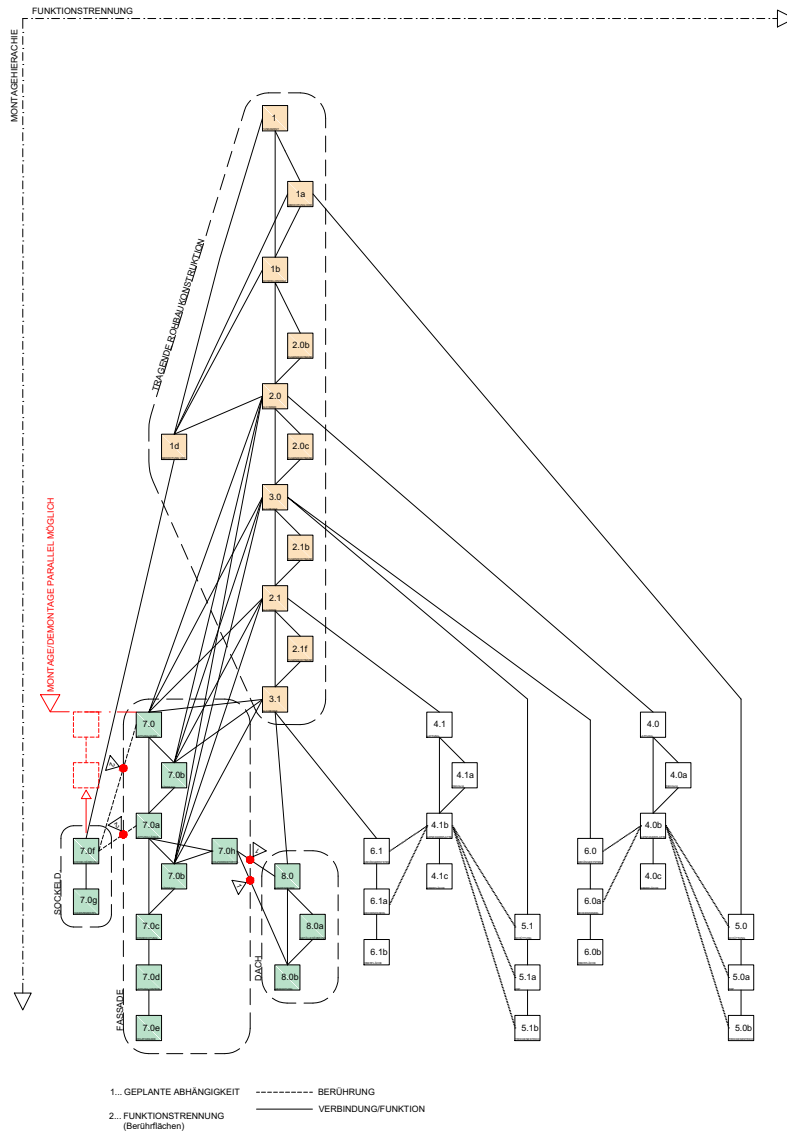


Abbildung 9.1: Beziehungsdiagramm Fassade – Dach⁶²⁴

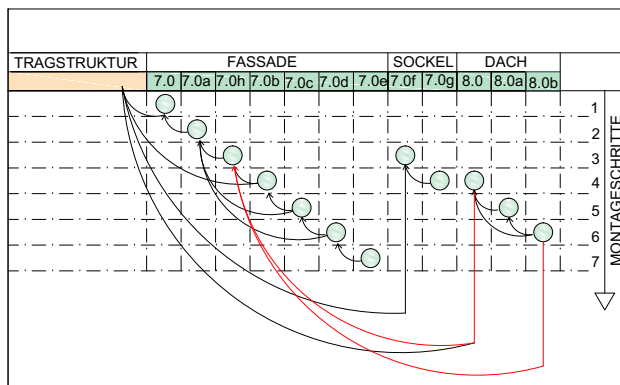


Abbildung 9.2: Montagediagramm Fassade-Dach⁶²⁵

⁶²⁴ In Anlehnung an Durmisevic 2010, 189.

⁶²⁵ In Anlehnung an Durmisevic 2010, 189.

9.3. Systematischer Aufbau der Strukturebenen

Nach dem Prinzip der Funktionstrennung kann eine Gliederung der Fassaden- und Dachbauteile in drei Nutzungseinheiten (Bauteilgruppen) vorgenommen werden (Abb. 9.1). Die hinterlüftete Fassade, die Sockeldämmung und das Dach bilden gemeinsam ein Austauschcluster. Jede der drei Bauteilgruppen besteht aus mehreren Bauteilen, die unterschiedliche Aufgaben (Funktionen) erfüllen. Die hinterlüftete Fassade setzt sich aus den Bauteilen Traglattung (7.0, 7.0a, 7.0h), Wärmedämmung (7.0b), Winddichtung (7.0c) und finaler Fassadenoberfläche (7.0d, 7.0e) zusammen. Die Bauteilgruppe Sockeldämmung setzt sich aus den Bauteilen Perimeterdämmung (7.0f) und einer Faserzementabdeckung (7.0g) zusammen. Die Bauteilgruppe Dach besteht aus den Bauteilen Dampfsperre (8.0), Gefälledämmung (8.0a) und Abdichtung (8.0b) (Abb. 9.3).

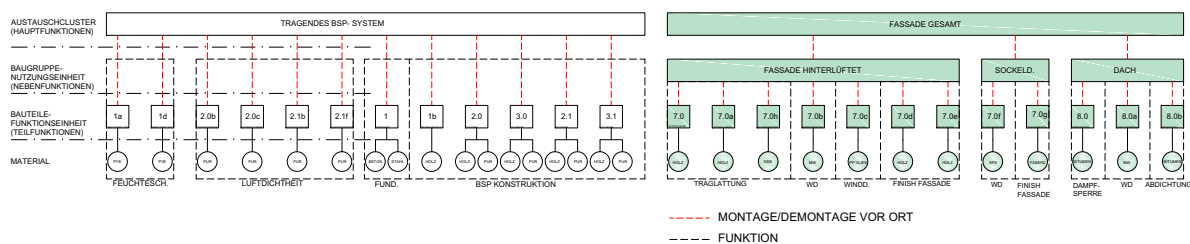


Abbildung 9.3: Struktureller Aufbau Fassade, Dach und tragende Rohbaukonstruktion⁶²⁶

9.4. Modularität

Gemäß Abb. 9.3 sind die einzelnen Fassaden- und Dachbauteile den Nutzungseinheiten Fassade hinterlüftet, Sockeldämmung und Dachaufbau zuordenbar. Die Montage erfolgt nicht in vorgefertigten Modulen, sondern in Einzelteilen vor Ort. Sockeldämmung und Fassade hinterlüftet können grundsätzlich unabhängig voneinander montiert bzw. demontiert werden. Fassade hinterlüftet und Dachaufbau weisen eine gegenseitige Abhängigkeit auf (vgl. Abb. 9.1). Diese hat zur Folge, dass die Montage des Dachaufbaues nicht ohne die vorherige Montage der Fassadenunterkonstruktion erfolgen kann (Abb. 9.1, 9.2). Umgekehrt ist die Demontage der gesamten Fassade nicht möglich, ohne die Dachkonstruktion zu beeinflussen. Unter Betrachtung der Bauteillebenszyklen kann für die jeweiligen Nutzungseinheiten Folgendes festgehalten werden (Abb. 9.6): Die Bauteile der hinterlüfteten Fassade und der Sockeldämmung weisen eine ähnliche technische Lebensdauer auf, anders bei der Dachkonstruktion. Hier weist die Abdichtung (8.0b) nur die ca. die Hälfte der technischen Lebensdauer auf als die Bauteile der übrigen Konstruktion.

9.5. Basisbauteil

Die Nutzungseinheiten Fassade hinterlüftet, Sockeldämmung und Dachaufbau weisen bis auf die Verbindung (8.0/8.0b zu 7.0h) keine gegenseitige Abhängigkeit auf (Abb. 9.1). Eine Montage erfolgt ausschließlich an der tragenden Rohbaukonstruktion (Abb. 9.5). Da diese eine unabhängige und austauschbare Anordnung der Nutzungseinheiten erlaubt, kann die tragende Rohbaukonstruktion als Basisbauteil bzw. Vermittler zwischen den Nutzungseinheiten verstanden werden. Innerhalb der Nutzungseinheiten erfolgt die Anordnung der Bauteile ausschließlich in Form sequentieller Montageabfolgen und somit in gegenseitiger Abhängigkeit (Abb. 9.4).

⁶²⁶ In Anlehnung an Durmisevic 2010, 163-165.

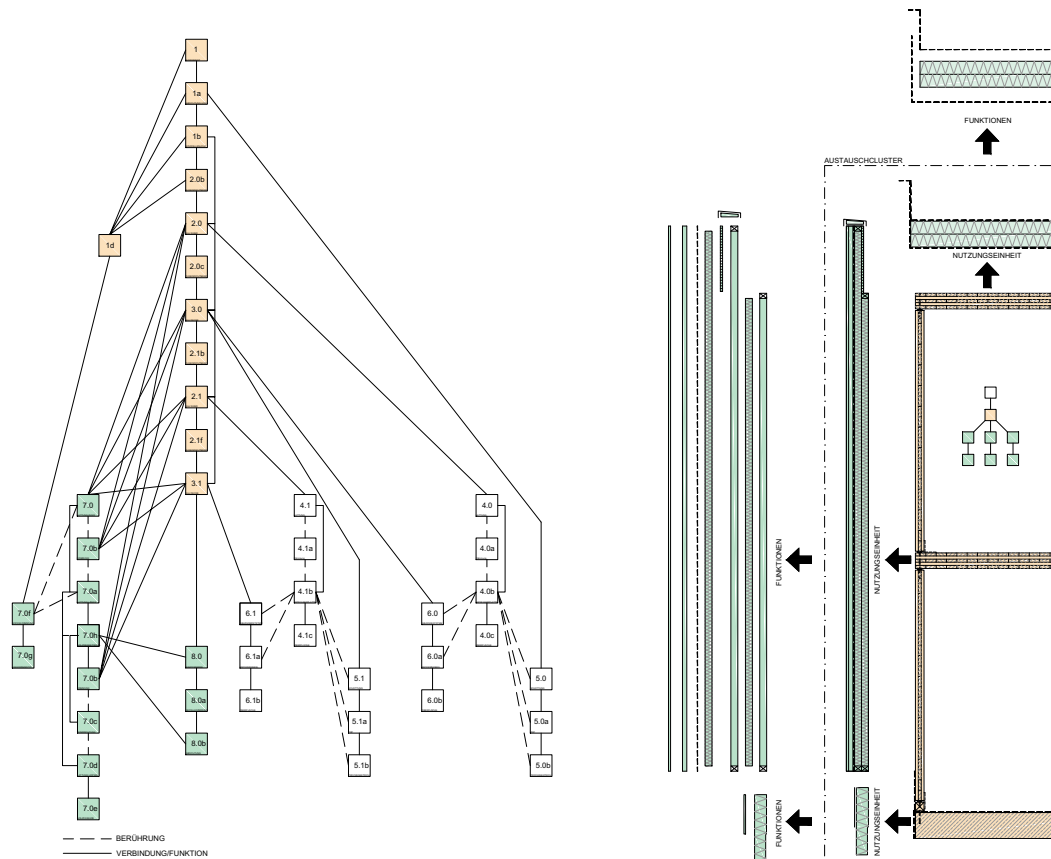


Abbildung 9.4: Beziehungsdiagramm Fassade – Dach

Abbildung 9.5: Schematische Darstellung der Nutzungseinheiten Sockeldämmung, Fassade hinterlüftet und Dachaufbau in Abhängigkeit der tragenden Rohbaukonstruktion

9.6. Lebenszyklusbetrachtung

Zur Verdeutlichung der Lebenszyklusbetrachtung wird für das gesamte System eine wirtschaftliche Nutzungsdauer von 50 Jahren angenommen (Abb. 9.6). Die Lebensdauern der Bauteile sind der Tabelle 7.1 zu entnehmen⁶²⁷. Aus der Gegenüberstellung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer des Bausystems mit den technischen Lebensdauern der verwendeten Bauteile wird ersichtlich, dass die Lebensdauern einiger Bauteile die wirtschaftliche Nutzungsdauer unterschreiten. Die Bauteile (7.0, 7.0a, 7.0h, 7.0b, 7.0c) der hinterlüfteten Fassade weisen eine technische Lebensdauer von 40 Jahren auf. Lattung hinterlüftet und Holzfassade (7.0d, 7.0e) weisen jeweils eine technische Lebensdauer von 30 Jahre auf. Unter Betrachtung des Montageablaufes der hinterlüfteten Fassade wird deutlich, dass die Montage der Bauteile mit langer Lebensdauer (7.0, 7.0a, 7.0h, 7.0b, 7.0c) vor der Montage der kurzlebigeren Bauteile erfolgt (7.0d, 7.0e).

Es ist davon auszugehen, dass die Bauteile mit der kürzeren technischen Lebensdauer ihre geforderten Eigenschaften nicht ohne Einschränkungen bis zum Ablauf der angenommen 50-jährigen Nutzungsdauer erfüllen. Folglich müssen diese unter Betrachtung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer des Gesamtsystems einmal getauscht werden. Dabei zeigt die Analyse des Montagablaufes, dass der Tausch der kurzlebigen Bauteile ohne Beeinträchtigung der langlebigen Bauteile möglich ist (vgl. Abb. 4.37). Das Montageverhalten der Sockeldämmung und des Dachaufbaues ist ähnlich dem der hinterlüfteten Fassade. Hier erfolgt ebenfalls zuerst die

⁶²⁷ Vgl. Bund Technischer Experten e.V. (Hg) 2008.

Montage der Bauteile mit langer Lebensdauer und größere Abhängigkeit in der Montagehierarchie. Auf diese folgen dann die Bauteile mit kürzerer Lebensdauer und geringerer Abhängigkeit (7.0g, 8.0b). Bei der Demontage können so die kurzlebigen Bauteile zuerst demontiert werden, ohne die langlebigen zu beeinträchtigen.

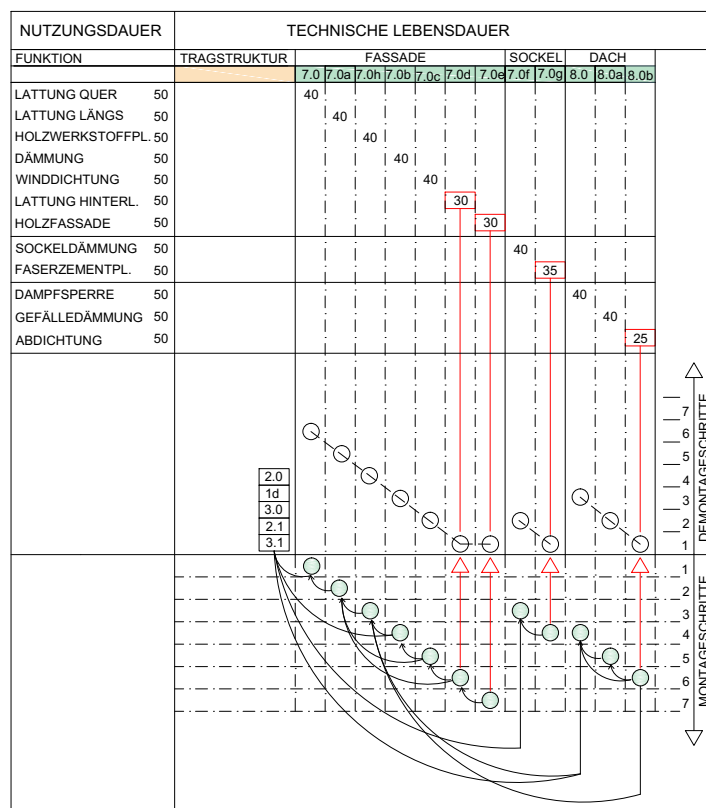


Abbildung 9.6: Lebenszyklusbetrachtung der Fassaden- und Dachbauteile in Abhängigkeit des Montage- bzw. Demontagezeitpunktes⁶²⁸

9.7. Hierarchie und Anordnung der Teile

Im nachfolgenden Diagramm erfolgt eine vereinfachte Darstellung der Fassaden- und Dachbauteile, getrennt nach Funktionen und Montagehierarchien (Abb. 9.7). Vertikale Verbindungen zeigen Abhängigkeiten innerhalb einer Nutzungseinheit (blau) und die nicht vertikalen Verbindungen indizieren Abhängigkeiten zwischen den Nutzungseinheiten (rot) und zwischen Nutzungseinheiten und tragender Rohbaukonstruktion (grün).

Das Diagramm gibt Aufschluss darüber, auf welcher Montagehierarchie sich Beziehungen zwischen den jeweiligen Nutzungseinheiten befinden und wie viele Bauteile zu entfernen sind, um die jeweilige Verbindung zu erreichen bzw. zu lösen. Grundsätzlich weisen alle Nutzungseinheiten horizontale Beziehungen zur tragenden Rohbaukonstruktion auf (vgl. Abb. 9.4, 9.5). Zur Bewertung werden ausschließlich Beziehungen zwischen den Nutzungseinheiten herangezogen. Beziehungen zwischen Nutzungseinheiten und tragender Rohbaukonstruktion bleiben für die Bewertung unberücksichtigt.

Der Dachaufbau weist horizontale Beziehungen zur Fassade hinterlüftet (8.0/8.0b zu 7.0h) und zur tragenden Rohbaukonstruktion auf (8.0 zu 3.1) auf. Da sich die Verbindungen zwischen Dach und Fassade hinterlüftet in der oberen Ebene der Montagehierarchie des Dachaufbaues befinden, müssen die Bauteile (8.0b und 8.0a) entfernt werden, um die diese zu

⁶²⁸ In Anlehnung an Durmisevic 2010, 181.

erreichen. Auf Seite der Fassade müssen die Bauteile (7.0e, 7.0d, 7.0c, 7.0b) entfernt werden, um die Verbindungen zu (8.0 und 8.0b) zu erreichen.
 Um die Verbindungen (7.0b zu 2.0/3.0/2.1/3.1) zwischen hinterlüfteter Fassade und tragender Rohbaukonstruktion zu erreichen, müssen die Bauteile (7.0e, 7.0d, 7.0c) entfernt werden. Für die Verbindungen (7.0/7.0b zu 2.0/3.0/2.1/3.1) sind die Bauteile (7.0e, 7.0d, 7.0c, 7.0b, 7.0h, 7.0a) zu entfernen. Beziehungen zwischen Fassade hinterlüftet und tragenden Rohbaukonstruktion befinden sich demnach in der Mitte und in der oberen Ebene der Montagehierarchie.
 Zum Lösen der Verbindung (7.0f zu 1d) Sockeldämmung zu tragender Rohbaukonstruktion, ist nur das Bauteil (7.0g) zu entfernen. Ansonsten weist die Sockeldämmung keine horizontalen Beziehungen zu den anderen Nutzungseinheiten auf.

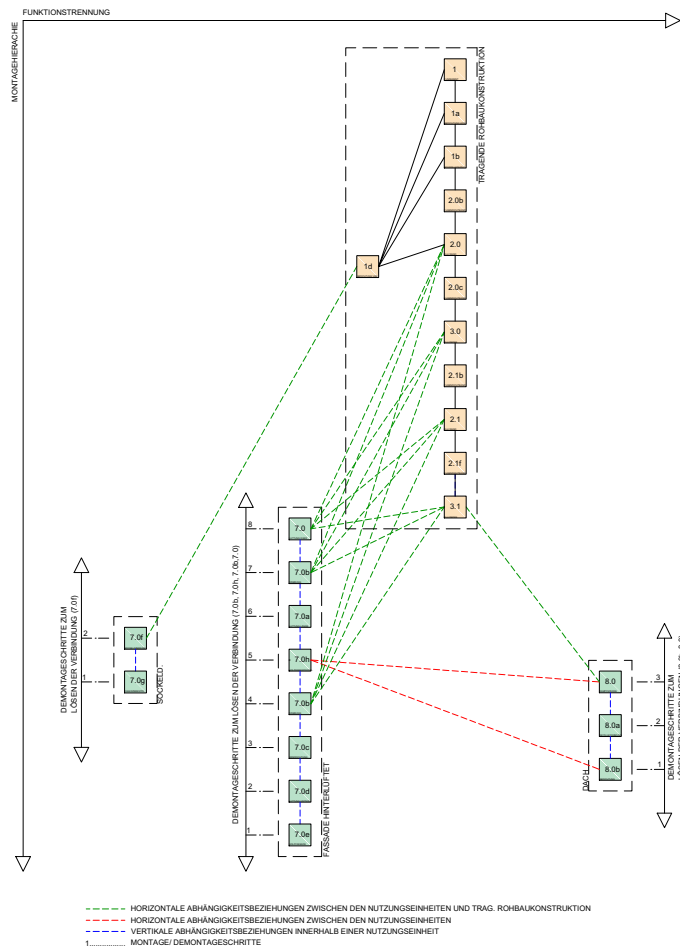


Abbildung 9.7: Hierarchie und Anordnung der Beziehungen zwischen den Nutzungseinheiten Sockeldämmung, Fassade hinterlüftet und Dach⁶²⁹

9.8. Montageablauf

Auf Ebene der Austauschcluster (siehe Abb. 3.3) erlaubt das BSP-Bausystem, unbeachtet der Abhängigkeit zwischen Fassade hinterlüftet und Dachaufbau, in Folge des Montageablaufes (vgl. Abb. 9.1, 9.2), eine grundsätzlich parallele Montage der Nutzungseinheiten. Auf Ebene der Nutzungseinheiten erfolgt die Anordnung aller Bauteile in Form sequentieller Montageabfolgen, da jedes Bauteil auf das vorangegangene aufbaut (Abb. 9.5). Eine Bewertung des Montageverhaltens erfolgt ausschließlich auf Ebene der Austauschcluster.

⁶²⁹ In Anlehnung an Durmisevic 2010, 171.

9.9. Geometrie der Fügstellen

Eine Untersuchung der Fügstellen erfolgt ausschließlich auf Ebene der Austauschcluster (Sockeldämmung, Holzassade hinterlüftet und Dachaufbau) siehe dazu Abb. 9.3. Da es, je nach baukonstruktiven Anforderungen an die jeweiligen Nutzungseinheiten, eine Vielzahl an unterschiedlicher Schichtaufbauten gibt, ist eine Betrachtung der Fügstellen zwischen den einzelnen Bauteilen innerhalb der Nutzungseinheiten für die gegenständliche Untersuchung nicht zielführend. Daher liegt der Fokus der Untersuchung in der Austauschbarkeit der Nutzungseinheiten innerhalb des gesamten Austauschclusters (Abb. 9.5). Um eine getrennte Austauschbarkeit der Nutzungseinheiten zu gewährleisten, sind die Schnittstellen zwischen den Nutzungseinheiten und die Schnittstellen zwischen Nutzungseinheiten und dem Basisbauteil der Gesamtstruktur (tragende Brettsperrholzkonstruktion) so zu gestalten, dass diese eine unabhängige Montage- bzw. Demontage erlauben, ohne sich gegenseitig zu beeinträchtigen. Eine Beurteilung der Fügstellen erfolgt auf Basis der schematischen Darstellung (Abb. 7.17) nach den Konstruktionsvorschlägen des Herstellers (Abb. 7.8, 7.9 und 7.10)⁶³⁰. Schichtaufbauten und Detailanschlüsse nach bauphysikalischen Erfordernissen sowie Bemessungen nach statischen Erfordernissen bleiben in der gegenständlichen Untersuchung unberücksichtigt.

Fügstellen zwischen Sockeldämmung und vorgehängter hinterlüfteter Fassade

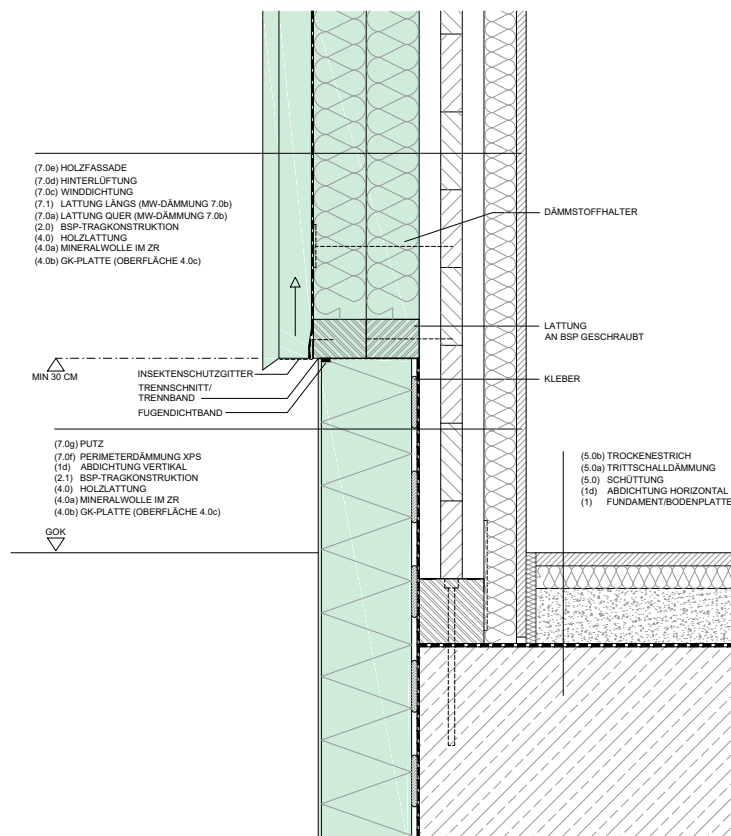


Abbildung 9.8: Detailausbildung Übergang Sockeldämmung zu vorgehängter hinterlüfteter Fassade auf Basis Konstruktionsmerkmale Abb. 7.8

⁶³⁰ Stora Enso (Hg.) 2012, Kap. Konstruktion.

Die Verarbeitung der Perimeterdämmung erfolgt in Abhängigkeit vom Lastfall gemäß Pkt. 5.2 nach ÖNORM B 3692 wie folgt⁶³¹. Grundsätzlich sind Perimeterdämmplatten auf einem festen Vorsprung aufzusetzen und im Verband dicht gestoßen zu verarbeiten. Je nach Lastfall erfolgt die Montage der Perimeterdämmung entweder über eine punktuelle oder vollflächige Verklebung am Untergrund. Der Lastfall drückendes Wasser erfordert bei Wärmedämmmaßnahmen außerhalb der Abdichtungsebene, bis zu einer Einbautiefe von 6 Metern, ausschließlich Dämmstoffe der Produkttypen XPS-G⁶³². Perimeterdämmungen sind mit einem umlaufenden Stufenfalz zu verwenden. Der Anschluss der Perimeterdämmung an das Dämmsystem der Fassade sollte möglichst wärmebrückenfrei erfolgen⁶³³. Die Anschlussfuge zwischen Perimeterdämmung und Profilhölzern der hinterlüfteten Fassade ist mit einem Fugendichtband abzudichten⁶³⁴ (vgl. Abb. 7.8). Sobald das Fugendichtband abgerollt ist und der Komprimierungsdruck wegfällt, beginnt das Band zu expandieren⁶³⁵. Daher sollte die Fügestelle zwischen Sockeldämmung und Fassaden-Lattung Zug um Zug hergestellt werden. Die Unterkonstruktion (Lattung quer) der hinterlüfteten Fassade wird an die tragende BSP-Konstruktion montiert. Die MW-Dämmung wird zwischen die Holzkonstruktion geklemmt und mit Dämmstoffhalter (Dübel) an die tragende BSP-Konstruktion befestigt⁶³⁶. Auf die bereits montierte Lattung quer wird eine zweite Lattenebene montiert (Konterlattung – Lattung längs). Zwischen die Konterlatten wird eine zweite, versetzte Lage Dämmplatten geklemmt, die ebenfalls mit Dämmstoffhaltern an die BSP-Konstruktion zu fixieren ist⁶³⁷.

Aus der Detailausbildung Abb. 9.8 ist zu entnehmen, dass die Nutzungseinheiten Sockeldämmung und vorgehängte hinterlüftete Fassade an ihrer Schnittstelle eine offene Fügellengeometrie aufweisen (vgl. Abb. 7.8). Da sowohl die Profilhölzer des unteren Fassadenabschlusses als auch die Kante der Perimeterdämmung eine ebene lineare Geometrie aufweisen, scheint eine grundsätzlich parallele Montage bzw. Demontage der beiden Nutzungseinheiten möglich. Je nach Reihenfolge- bzw. Ablauf der Montage ist darauf zu achten, dass die Dichtigkeit an der Schnittstelle gewährleistet ist. Die Fügstellen der beiden Nutzungseinheiten zur tragenden BSP-Konstruktion weisen ebenfalls planare Flächen auf, sodass daraus keine Abhängigkeiten entstehen und in Folge den Montage- bzw. Demontageauflauf beeinflussen.

⁶³¹ Vgl. ÖNORM B 3692 2014, Pkt. 5.2.

⁶³² Ebda., Pkt. 5.6.2.

⁶³³ Ebda., Pkt. 5.6.2.

⁶³⁴ Vgl. Sto SE & Co. KGaA (Hg.) 2015.

⁶³⁵ Vgl. Sto SE & Co. KGaA (Hg.) 2015.

⁶³⁶ Vgl. Saint-Gobain ISOVER G+H (Hg.) 2012, 12-21.

⁶³⁷ Vgl. Saint-Gobain ISOVER G+H (Hg.) 2012, 12-21.

Fügestellen zwischen vorgehängter hinterlüfteter Fassade und Dachaufbau

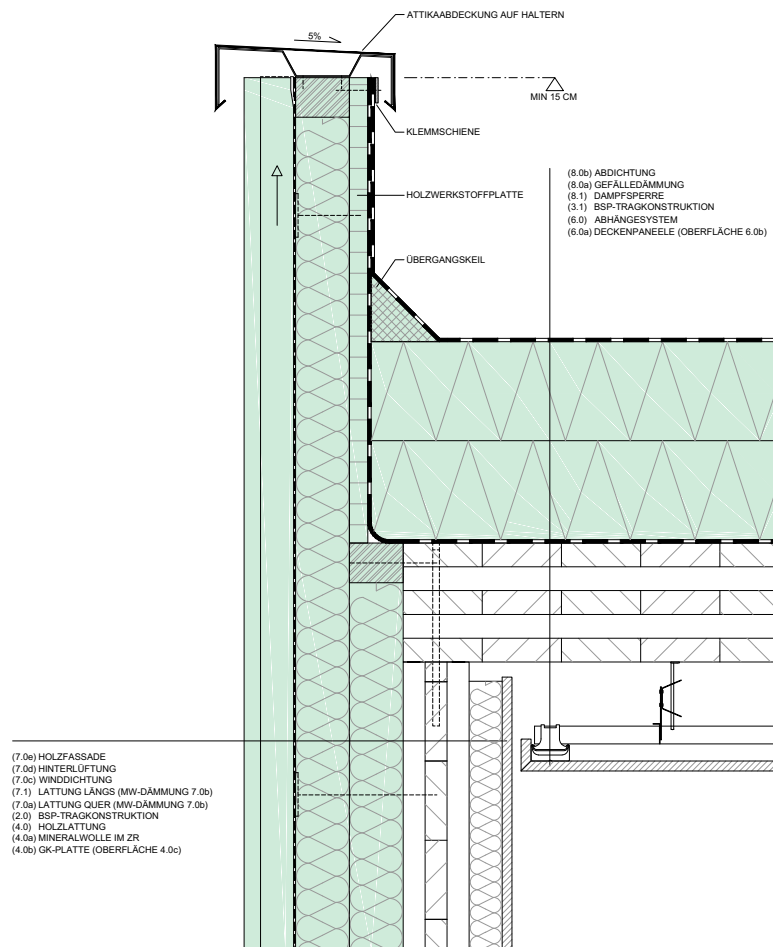


Abbildung 9.9: Detailausbildung Übergang vorgehängte hinterlüftete Fassade zu Dachaufbau auf Basis Konstruktionsmerkmale Abb. 7.10

Auf Grund der komplexen Planung und Ausführung von Dachabdichtungssystemen wird, zur Verdeutlichung der Schnittstellensystematik zwischen vorgehängter hinterlüfteter Fassade und Dachaufbau, für die gegenständliche Untersuchung ein ungenutztes Dach der Nutzungskategorie K1 gemäß Pkt. 6.5 nach ÖNORM B 3691 herangezogen⁶³⁸. Eine Beschreibung erfolgt nach dem Systemaufbau der Firma Villas für ein Warmdach mit Gefälledämmung⁶³⁹. Zur Beschreibung der Dampfsperrebahn wird eine kaltselbstklebende Elastomerbitumenbahn herangezogen. Die Verarbeitung erfolgt selbstklebend auf Beton- und Holzuntergründen. Bei Verwendung auf Beton ist ein zusätzlicher Haftvermittler zu verwenden. Dieser wird durch Sprühen, Bürsten oder Rollen aufgetragen. Die Dampfsperrebahn ist bis über die Oberkante der Wärmedämmung zu führen und mit der Holzwerkstoffplatte zu verkleben⁶⁴⁰. Die Verwendung eines Dreikantkeiles ist für die gegenständliche Dampfsperrebahn nicht erforderlich (vgl. Abb. 7.10). Bei überdämmten Attikaausbildungen ist die Dampfsperre über die Attika bis zu deren Außenkante zu führen, da es ansonsten zur Durchfeuchtung der Wärmedämmung an der Attikakrone kommen kann⁶⁴¹. Die Verlegung der Wärmedämmung hat gemäß Pkt. 6.4.1/ 1.1/ 2

⁶³⁸ Vgl. ÖNORM B 3691 2012, Pkt. 6.5.

⁶³⁹ Systemaufbau der Firma Villas für ein Warmdach mit Gefälledämmung, <http://www.villas.at/de/co474/dichtdach/flachdach/systemloesungen/systemloesungen-warmdach/>, 03.09.2016.

⁶⁴⁰ Vgl. ÖNORM B 3691 2012, Pkt. 6.3.1/2.

⁶⁴¹ Vgl. ÖNORM B 3691 2012, Pkt. 6.3.1/2.

nach ÖNORM B 3691 zu erfolgen. Bei mehrlagigen Aufbauten (Gefälleausbildung) sind die Dämmplatten nach geforderter Wind- bzw. Lagensicherheit zu verkleben⁶⁴². Der Verbund zur Dampfsperrebahn wird durch das Einflämmen der Dämmplatten erzielt⁶⁴³. Zur Beschreibung der Dachabdichtung wird eine systemimmanente Polymerbitumen-Selbstklebebahn (Elastomerbitumen) herangezogen. Die Verarbeitung erfolgt selbstklebend durch das Abziehen des oberseitigen Längsrandstreifens und der unterseitigen Trennfolie. Im Anschluss ist die Oberlage aufzuschweißen, um die Festigkeit der Nahtverbindungen und der Klebeverbindung zum Untergrund sicherzustellen⁶⁴⁴. Hochzüge aus Polymerbitumenbahnen sind mit einem Dreikantkeil zu hinterlegen und mit einer Klemmleiste zu sichern⁶⁴⁵. Zum Schutz der Abdichtungsbahn vor thermischer Alterung sieht der Systemaufbau eine zusätzliche Oberlagsbahn aus Polymerbitumen mit Schieferabstreuerung vor. Die vollflächige Verklebung der Oberlagsbahn erfolgt vornehmlich im Flämmverfahren⁶⁴⁶.

Die Schnittstelle zwischen vorgesezter hinterlüfteter Fassade und Dachaufbau definiert sich über die Kaltklebeverbindung der Dampfsperrebahn und Abdichtungsbahn an der Holzwerkstoffplatte (7.0h). Dabei wird die Oberlage der Abdichtungsbahn zusätzlich aufgeschweißt, um die erforderliche Festigkeit der Naht- und Klebeverbindungen, zu erzielen. Unter bestimmten Voraussetzungen ist die Abdichtung an der Attikakrone bis an die Außenkante der Fassade zu führen⁶⁴⁷. Unbeachtet der stoffschlüssigen Verbindung zwischen Holzwerkstoffplatte (7.0h) und der Dampfsperrebahn und Abdichtungsbahn (siehe dazu Verbindungsarten), stellt die Holzwerkstoffplatte eine ebene Fläche zur Aufnahme der Bahnen bereit. Trotz grundsätzlich offener Fügstellengeometrie ist eine parallele Montage der beiden Nutzungseinheiten nicht möglich, da der Dachaufbau zur Ausbildung des Hochzuges die vorangegangene Montage der Fassadenlattung bzw. Holzwerkstoffplatte benötigt. So erlaubt der umgekehrte Prozess auch keine komplette Demontage der Fassade, ohne den Dachaufbau bzw. Hochzugsbereich zu beeinträchtigen.

9.10. Verbindungsarten und Auswertung der Verbindungen

Unter Verbindungsarten erfolgt im nachfolgenden Abschnitt ausschließlich eine Betrachtung der Verbindungen zwischen den Nutzungseinheiten und zwischen den Nutzungseinheiten und der tragenden BSP-Rohbaukonstruktion (Abb. 9.14). Verbindungen innerhalb der Nutzungseinheiten bleiben in der gegenständlichen Betrachtung unberücksichtigt. Zur Bewertung der verwendeten Verbindungsarten wird als Beurteilungsmerkmal die Lösbarkeit der Verbindungsmittel herangezogen. Darüber hinaus erfolgt eine Beurteilung des Wiederverwendungspotentials der Bauteile in Folge des Lösens der Verbindungen und nach dem Wiederverwendungspotential der Verbindungsmittel selbst (Tabelle 9.2).

Eine Betrachtung der Verbindungsmittel erfolgt nur prinzipiell. Auswahl und Bemessung nach statischem Erfordernis sowie technische Regelwerke und Verarbeitungsrichtlinien der Hersteller, finden keine Berücksichtigung. Nachfolgende Verbindungsmittel werden daher nur beispielhaft herangezogen.

⁶⁴² Vgl. ÖNORM B 3691 2012, Pkt. 6.4.1.

⁶⁴³ Systemaufbau der Firma Villas für ein Warmdach mit Gefälledämmung, <http://www.villas.at/de/co474/dichtdach/flachdach/systemloesungen/systemloesungen-warmdach/>, 03.09.2016.

⁶⁴⁴ Systemaufbau der Firma Villas für ein Warmdach mit Gefälledämmung, <http://www.villas.at/de/co474/dichtdach/flachdach/systemloesungen/systemloesungen-warmdach/>, 03.09.2016.

⁶⁴⁵ Vgl. ÖNORM B 3691 2012, Pkt. 5.7.

⁶⁴⁶ Systemaufbau der Firma Villas für ein Warmdach mit Gefälledämmung, <http://www.villas.at/de/co474/dichtdach/flachdach/systemloesungen/systemloesungen-warmdach/>, 03.09.2016.

⁶⁴⁷ Vgl. ÖNORM B 3691 2012, Pkt. 5.7/ 6.5.6.1.

Verklebung Perimeterdämmung

Die Verarbeitung der Perimeterdämmung erfolgt in Abhängigkeit vom Lastfall gemäß Pkt. 5.2 nach ÖNORM B 3692, entweder über eine punktuelle oder vollflächige Verklebung am Untergrund⁶⁴⁸ (Abb. 9.10). Zur weiteren Betrachtung wird beispielhaft eine Abdichtungs- und Klebmasse (VILLAFALT 5 ES) der Firma Villas herangezogen⁶⁴⁹. Bei der Anwendung der Klebmasse auf Oberflächen mit Folie kaschierten Bitumenbahnen (vgl. Abb. 8.30) ist diese zuvor mittels Flamme aufzuschmelzen, um die Klebehaftung zu erhöhen⁶⁵⁰.



Abbildung 9.10: Punktuelle Verklebung der Perimeterdämmung (Villas Austria GmbH)⁶⁵¹

Berührfläche

Zwischen Perimeterdämmung und den Profilhölzern der vorgehängten hinterlüfteten Fassade besteht keine direkte Verbindung (Abb. 9.8). Die Anschlussfuge ist mit einem Fugendichtband abzudichten⁶⁵² (vgl. Abb. 8.28).

Verschraubung Fassadenunterkonstruktion

Die Unterkonstruktion (Lattung quer) der vorgehängten hinterlüfteten Fassade wird mittels Holzbauschrauben an die tragende BSP-Konstruktion montiert (vgl. Abb. 8.24). Die Montage der zweiten Lattenebene (Konterlattung) erfolgt je nach statischem Erfordernis, in der Regel auf die vorangegangene erste Lattenebene.

Dämmstoffhalter

Die Montage der Wärmedämmung erfolgt im Untersuchungsgegenstand zweilagig. Die MW-Dämmung wird zwischen die Holzkonstruktion der ersten Ebene geklemmt und mit Dämmstoffhalter an die tragende BSP-Konstruktion befestigt⁶⁵³. Nach der Montage der Konterlattung wird eine zweite, versetzte Lage Dämmplatten ebenfalls zwischen die Lattung geklemmt und wiederum mit Dämmstoffhaltern an die tragende Konstruktion fixiert. Zur weiteren Betrachtung wird beispielhaft der Dämmstoffhalter (Termofix 6H-NT) der Firma Fischer

⁶⁴⁸ Vgl. ÖNORM B 3692 2014, Pkt. 5.2.

⁶⁴⁹ Villafalt 5 ES,

<http://www.villas.at/de/co582/bauwerk/systemprodukte/villafalt-5-es/>, 23.09.2016.

⁶⁵⁰ Villafalt 5 ES,

<http://www.villas.at/de/co582/bauwerk/systemprodukte/villafalt-5-es/>, 23.09.2016.

⁶⁵¹ Villafalt 5 ES – Produkt und Verarbeitungsinformation,

<http://www.villas.at/de/co582/bauwerk/systemprodukte/villafalt-5-es/>, 23.09.2016.

⁶⁵² Vgl. Sto SE & Co. KGaA (Hg.) 2015.

⁶⁵³ Vgl. Saint-Gobain ISOVER G+H (Hg.), 2012.

herangezogen⁶⁵⁴ (Abb. 9.11). Der aus einem Gewindeschacht mit aufgesetztem Teller bestehende Dämmstoffhalter wird direkt ohne Vorbohren in die BSP-Konstruktion geschraubt. Dabei kann die Montage, je nach Dämmmaterial, flächenbündig oder versetzt durchgeführt werden (Abb. 9.12).

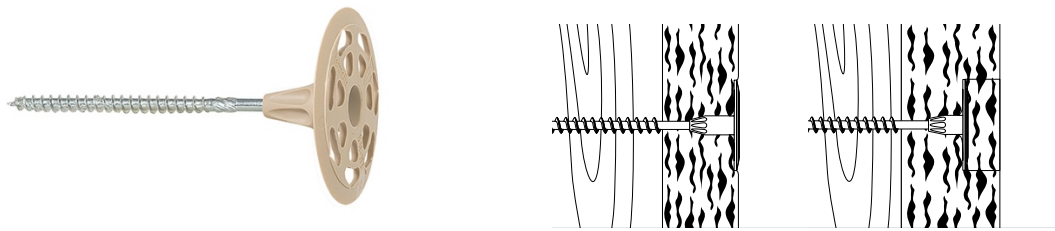


Abbildung 9.11: Dämmstoffhalter (Fischer Austria GmbH) (links)

Abbildung 9.12: Oberflächenbündige und versenkte Montage des Dämmstoffhalters (Fischer Austria GmbH) (rechts)

Verbindung Dampfsperre und Abdichtung

Eine Betrachtung der Befestigung der Dampfsperre- und Abdichtungsbahn erfolgt beispielhaft nach dem Systemaufbau der Firma Villas für ein Warmdach mit Gefälledämmung⁶⁵⁵. Zur Beschreibung der Dampfsperrbahn wird eine Elastomerbitumenbahn (VILLASELF SKB-PLUS) herangezogen, für die Abdichtung die Elastomerbitumenbahn (VILLASELF SU).

In beiden Fällen erfolgt die Verarbeitung kaltselbstklebend durch das Abziehen des oberseitigen Längsrandstreifens und der unterseitigen Trennfolie. Im Anschluss ist die Oberlage aufzuschweißen, um die Festigkeit der Nahtverbindungen und der Klebeverbindung zum Untergrund sicherzustellen⁶⁵⁶.

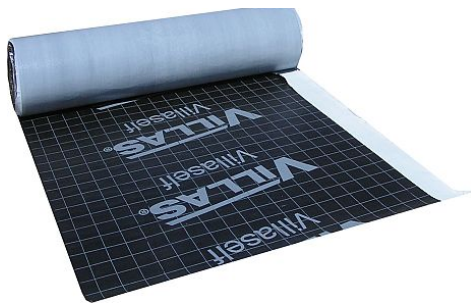


Abbildung 9.13: Kaltselfklebende Elastomerbitumenbahn mit oberseitigen Längsrandstreifen und unterseitiger Trennfolie (Villas Austria GmbH)

⁶⁵⁴ Termofix 6H-NT,

<http://www.fischer.at/Startseite/Produkte/Produktkategorie.aspx/cpage-details/pcategory-1001012356/usetemplate-productdetails/>, 29.09.2016.

⁶⁵⁵ Systemaufbau der Firma Villas für ein Warmdach mit Gefälledämmung,

<http://www.villas.at/de/co474/dichtdach/flachdach/systemloesungen/systemloesungen-warmdach/>, 03.09.2016.

⁶⁵⁶ Elastomerbitumenbahn,

<http://www.villas.at/de/co618/dichtdach/gruendach/systemprodukte/villasef-su/>, 03.09.2016.

Auswertung der Verbindungen

In Tabelle 9.2 erfolgt eine Beurteilung der Verbindungen hinsichtlich ihrer Lösbarkeit, Zugänglichkeit und dem Wiederverwendungspotential der Verbindungsmittel und der Bauteile in Folge ihrer Demontage.

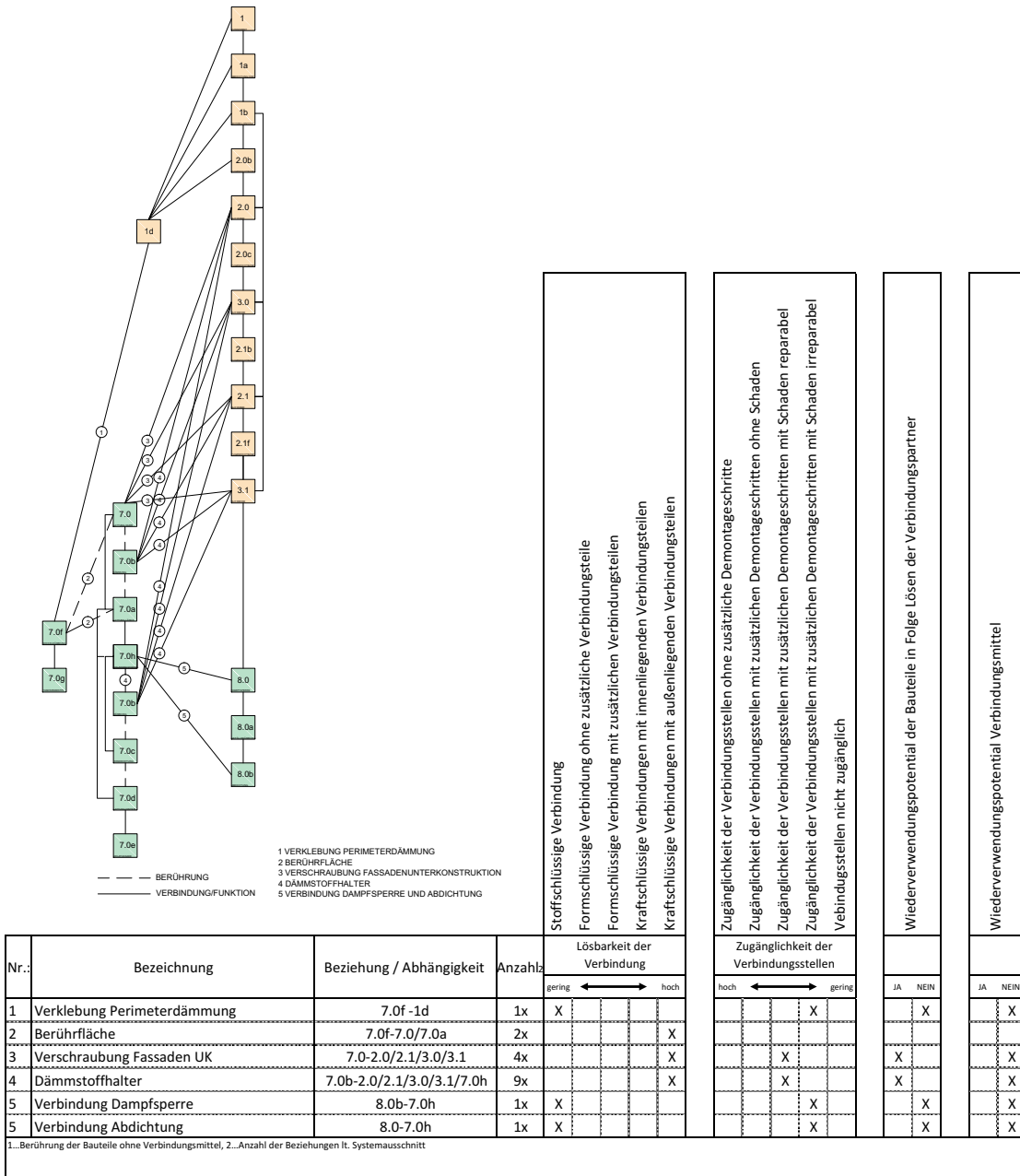


Tabelle 9.2: Auswertung der Verbindungen hinsichtlich ihrer Lösbarkeit und Zugänglichkeit zwischen den Nutzungseinheiten Sockeldämmung, vorgesetzte hinterlüftete Fassade und Dachaufbau und zwischen den Nutzungseinheiten und der tragenden BSP-Rohbaukonstruktion

Abbildung 9.14: Übersicht Verbindungen (oben links)

1. Verklebung Perimeterdämmung

Die Trockenzeit der Abdichtungs- und Klebmasse (VILLAFALT 5 ES) der Firma Villas wird lt. Produkt und Verarbeitungsinformation mit 24 Stunden je Schicht, in Abhängigkeit der Witterung angegeben⁶⁵⁷. Nach dem Durchtrocknen der Klebeverbindung ist eine Demontage der Perimeterdämmung nicht mehr möglich, ohne die Platten zu beschädigen.

2. Berührfläche

Da zwischen der Stirnfläche der Perimeterdämmung und den unteren Profilhölzern der vorgehängten hinterlüfteten Fassade keine direkte Verbindung besteht, ist die Lösbarkeit der Bauteile grundsätzlich gegeben.

3. Verschraubung Fassadenunterkonstruktion

Durch den Einsatz von Holzbauschrauben als Verbindungsmittel zwischen Fassadenunterkonstruktion und tragender BSP-Konstruktion, kann eine gute Lösbarkeit der Verbindungspartner gewährleistet werden. Bis auf die Schraub- bzw. Bohrlöcher erlauben Verbindungen mit Holzbauschrauben eine grundsätzlich zerstörungsfreie Demontage und somit ein hohes Wiederverwendungspotential der Bauteile. Holzbauschrauben verlieren nach einmaliger Verwendung ihre Festigkeit und werden nach ihrer Demontage für keine Wiederverwendung zugelassen⁶⁵⁸.

4. Dämmstoffhalter

Das Lösen der Schraubdübel Dämmstoffhalter ist grundsätzlich sehr gut möglich. Die Demontage erfolgt mit einem Akkuschauber und handelsüblichen T30 Bits. Je nach verwendetem Dämmstoff und nach Art der Montage (vgl. Abb. 9.12) ist das Wiederverwendungspotential der Bauteile grundsätzlich gegeben. Schraubdübel Dämmstoffhalter verlieren nach einmaliger Verwendung ihre Festigkeit und werden nach ihrer Demontage für keine weitere Wiederverwendung zugelassen⁶⁵⁹.

5. Verbindung Dampfsperre und Abdichtung

Das Lösen der Dampfsperre- und Abdichtungsbahn ist auf Grund ihrer stoffschlüssigen Verbindung (Kaltverklebung und Flämmen) nur unter Zerstörung der Bahnen und Beeinträchtigung der in Beziehung stehenden Bauteile möglich. Durch das Lösen der Klebeverbindungen ist damit zu rechnen, dass Rückstände auf den Bauteilen verbleiben und ein Wiederverwenden dadurch erschweren⁶⁶⁰.

9.11. Zugänglichkeit der Verbindungen

Die Zugänglichkeit der Verbindungsstellen aus dem vorangegangenen Abschnitt, zwischen den Nutzungseinheiten und zwischen den Nutzungseinheiten und der tragenden BSP-Rohbaukonstruktion, kann an Hand des Beziehungsdiagrammes erläutert werden (Abb. 9.7). Innerhalb der Nutzungseinheiten erfolgt die Anordnung der Bauteile ausschließlich in Form sequentieller Montageabfolgen und somit in gegenseitiger Abhängigkeit. Das heißt, je höher die

⁶⁵⁷ Villafalt 5 ES,

<http://www.villas.at/de/co582/bauwerk/systemprodukte/villafalt-5-es/>, 23.09.2016.

⁶⁵⁸ Vgl. Simpson Strong-Tie (Hg.), Tel. Befragung techn. Beratung (Herr Heinemann) am 9. Juni 2016, 11:45.

⁶⁵⁹ Termofix 6H-NT,

<http://www.fischer.at/Startseite/Produkte/Produktkategorie.aspx/cpage-details/pcategory-1001012356/usetemplate-productdetails/>, 29.09.2016.

⁶⁶⁰ Vgl. Villas Austria GmbH, lt. tel. Abklärung tech. Beratung Villas Austria GmbH vom 02. Juni 2016.

Verbindung in der Montaghierarchie angeordnet ist, desto mehr Demontageschritte sind erforderlich, um die jeweilige Verbindung zu erreichen (vgl. Abb. 9.7).

Um die vorgesezte hinterlüftete Fassade von der tragenden Rohbaukonstruktion zu entfernen, sind folgende Demontageschritte erforderlich. Holzfassade (7.0e) und die dazugehörige Lattung (7.0d) sind auf Grund der Schraubverbindungen in der Regel zerstörungsfrei zu demontieren. Die Winddichtung (7.0c) wird in der Regel mit dem Tacker am Untergrund befestigt⁶⁶¹. Um die Luft- und Winddichtheit der Gebäudehülle zu gewährleisten, müssen die dafür vorgesehenen Folien oder Plattenwerkstoffe an Überlappungen, Fugen, Anschlüssen und Durchdringungen dauerhaft abgedichtet werden⁶⁶².

Die in der Regel aushärtenden Dichtmassen und Montagethoden erlauben keine zerstörungsfreie Demontage der Winddichtung. Nach dem Entfernen der Winddichtung ist die Zugänglichkeit der Dämmstoffhalter für die zweite Dämmebene (7.0b) gegeben. Durch die nun mögliche Demontage der Lattung längs (7.0a) und Holzwerkstoffplatte (7.0h), kommt es zur Beeinträchtigung des Dachaufbaues durch die Verbindungen der Holzwerkstoffplatte (7.0h) mit der Dampfsperr- und Abdichtungsbahn (8.0, 8.0b) (vgl. Abb. 9.7 – horizontale Beziehung zu Nutzungseinheit Dach). Nach dem Entfernen von (7.0a) und (7.0h) ist die Zugänglichkeit der Dämmstoffhalter der ersten Dämmebene und der Lattung quer (7.0h) gegeben.

Die Verbindung zwischen Holzwerkstoffplatte (7.0h) und Dampfsperr- und Abdichtungsbahn (8.0, 8.0b) kann durch die Demontage der Fassadenbauteile bis einschließlich der Holzwerkstoffplatte (7.0h), erreicht werden oder von der Dachseite ohne Demontage der Fassadenbauteile. Von der Dachseite ist die Abdichtungsbahn grundsätzlich zugänglich. Die hierfür erforderlichen Demontageschritte z.B. Attikaabdeckung, Klemmleiste usw. (vgl. Abb. 9.9) bleiben im Beziehungsdiagramm unberücksichtigt. Grundsätzlich ist Zugänglichkeit der Verbindung zwischen Holzwerkstoffplatte (7.0h) und Dampfsperr- und Abdichtungsbahn (8.0, 8.0b) nur durch zusätzliche, irreparable Demontageschritte gegeben.

Die Zugänglichkeit zur Verklebung der Perimeterdämmung kann erst durch das komplette Entfernen der Sockeldämmung (7.0f) gewährleistet werden. Die Beziehung zu den Profilhölzern (Abb. 9.8) der Bauteile (7.0, 7.0a) wird auf Grund nicht vorhandener Verbindungsmittel nicht weiter erörtert. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse ist der Auswertung in Tabelle 9.2 zu entnehmen.

⁶⁶¹ Omega Winddichtung,
http://www.isocell.com/uploads/media/PDBL_OMEGA_Winddichtung_DE.pdf, 27.09.2016.

⁶⁶² Airstopp Dichtmasse Sprint,
http://www.isocell.com/uploads/media/PDBL_AIRSTOP_Dichtmasse_SPRINT_DE.pdf, 27.09.2016.

10. Analyse und Bewertung Boden – Decke – Vorsatzschale

10.1. Funktionstrennung – Funktionsintegration

Gemäß Tabelle 7.17 erfolgt eine Zuordnung der Einzelteile zu den Funktionen Boden, Decke und Vorsatzschalen. Die funktionale Gliederung (Bauteilliste) zeigt, dass jedem Bauteil nur eine Funktion zugeordnet werden kann (Tabelle 10.1). Da jedes Bauteil Träger einer separaten Funktion ist, liegt eine komplette Funktionstrennung vor.

FUNKTION:	BAUTEIL:
LATTUNG QUER	→ 4.0
DÄMMUNG	→ 4.0a
GIPSKARTONPL.	→ 4.0b
OBERFLÄCHE	→ 4.0c
SCHÜTTUNG	→ 5.0
TDP	→ 5.0a
TROCKENESTRICH	→ 5.0b
ABHÄNGESYSTEM	→ 6.0
DECKENPANEEL	→ 6.0a
OBERFLÄCHE	→ 6.0b

Tabelle 10.1: Funktionstrennung Boden, Decke und Vorsatzschale⁶⁶³

10.2. Funktionale Abhängigkeit

Auf Basis eines Beziehungsdiagrammes, in dem alle Bauteile des gesamten BSP-Bausystems nach Funktionen und Montagehierarchie systematisch in Zeilen und Spalten abgebildet werden, kann eine Zonierung der Ausbauelemente in folgende Nutzungseinheiten vorgenommen werden (Abb. 10.1):

- Boden
- Decke
- Vorsatzschale

Grundsätzlich sind zwischen den Nutzungsbereichen Boden, Decke und Vorsatzschale keine funktionalen Abhängigkeiten zu erkennen. Würde die Vorsatzschale ein Montageprofil zur Deckenbefestigung beinhalten, würde eine gegenseitige Abhängigkeit beider Bereiche vorliegen.

Die im Beziehungsdiagramm dargestellten horizontalen Verbindungen symbolisieren die Anschlussstellen der Decken- und Bodenbauteile (6.0, 6.0a) bzw. (5.0, 5.0a, 5.0b) zur Gipsfaserplatte (4.0b) der Vorsatzschale. Hierbei handelt es sich um keine funktionale Abhängigkeit zwischen den Nutzungsbereichen, sondern um eine Abhängigkeit in Folge der Montagereihenfolge. Aus dem Montagediagramm ist zu entnehmen, dass die Montage der Vorsatzschale vor der Decken- und Bodenmontage erfolgt. (Abb. 10.2). Abhängigkeiten zur tragenden Rohbaukonstruktion bleiben vorerst unberücksichtigt. Eine Analyse erfolgt unter Betrachtung der Basisbauteile.

⁶⁶³ In Anlehnung an Durmisevic 2010, 189.

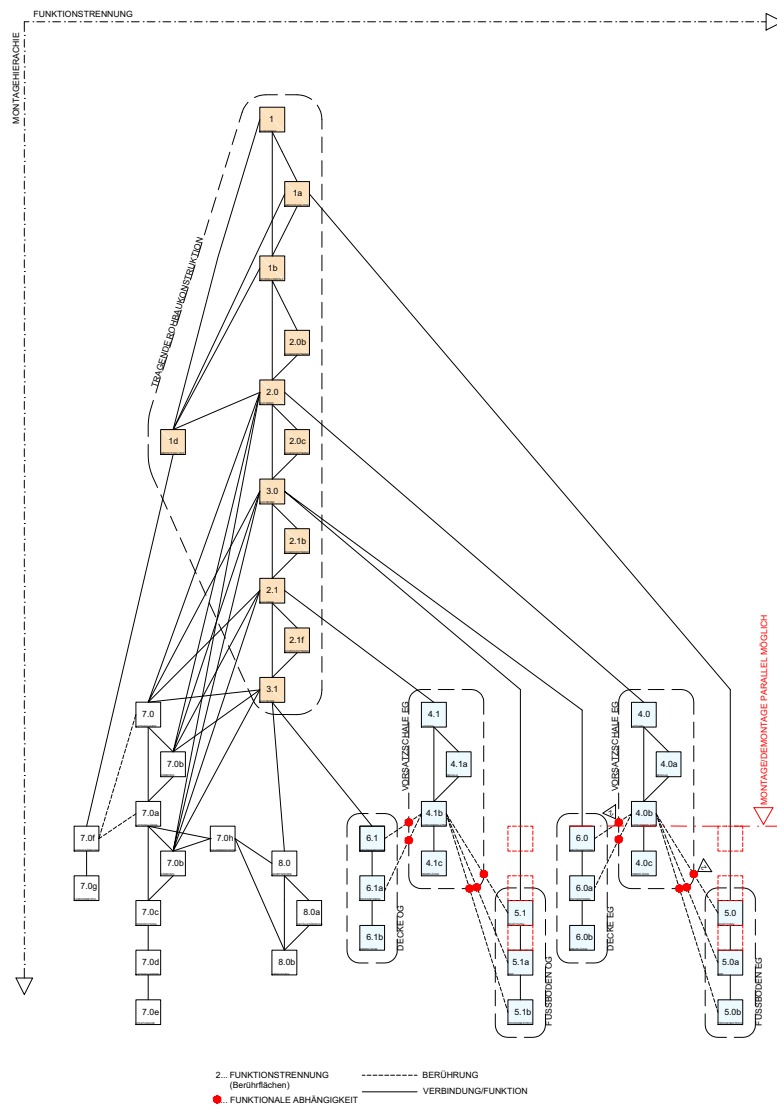


Abbildung 10.1: Beziehungsdigramm Boden, Decke und Vorsatzschale⁶⁶⁴

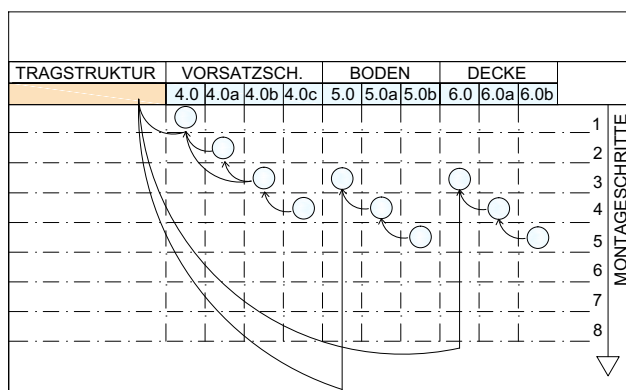


Abbildung 10.2: Montagediagramm Boden, Decke und Vorsatzschale⁶⁶⁵

⁶⁶⁴ In Anlehnung an Durmisevic 2010, 189.

⁶⁶⁵ In Anlehnung an Durmisevic 2010, 189.

10.3. Systematischer Aufbau der Strukturebenen

Nach dem Prinzip der Funktionstrennung kann eine Gliederung der Ausbauteile in drei Nutzungseinheiten (Bauteilgruppen) vorgenommen werden (Abb. 10.1). Vorsatzschale, Bodenaufbau und abgehängte Decke bilden gemeinsam ein Austauschcluster. Jede Bauteilgruppe besteht aus mehreren Bauteilen, die unterschiedliche Aufgaben (Funktionen) erfüllen. Die Vorsatzschale besteht aus den Bauteilen Lattung (4.0), Dämmung (4.0a), Gipskartonverkleidung (4.0b) und entsprechender Oberflächenbehandlung. Die Bauteilgruppe Boden besteht aus einer Schüttung (5.0), Trittschalldämmplatte (5.0a) und einem Trockenestrich (5.0b). Die Decke als Bauteilgruppe besteht aus den Bauteilen für das Abhänge-System (6.0), den Deckenpaneelen (6.0a) und der dazugehörigen Oberflächenbehandlung (6.0b) (Abb. 10.3).

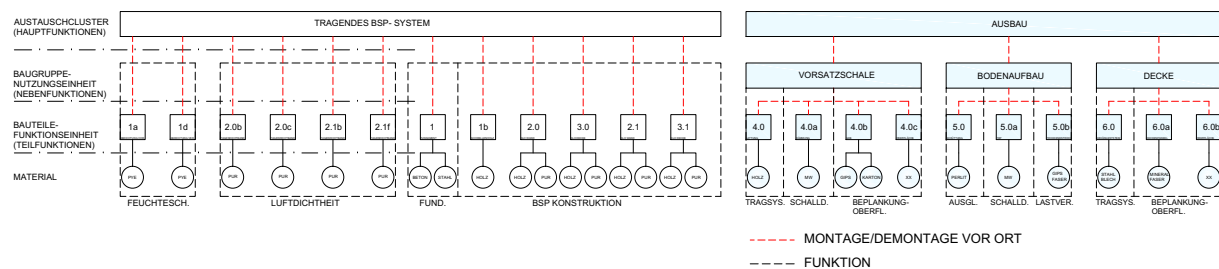


Abbildung 10.3: Struktureller Aufbau der Ausbauelemente und der tragenden Rohbaukonstruktion⁶⁶⁶

10.4. Modularität

Gemäß Abb. 10.3, sind die einzelnen Bauteile den Nutzungseinheiten Vorsatzschale, Bodenaufbau und Decke zuordenbar. Die Montage der Bauteilgruppen erfolgt nicht in vorgefertigten Modulen, sondern in Einzelteilen vor Ort. Zwar sind die Nutzungseinheiten funktional voneinander getrennt, jedoch ergeben sich aus dem Montageablauf Abhängigkeiten (Abb. 10.2). Die Montage der Vorsatzschale erfolgt vor der Montage der Boden- und Deckenkonstruktion. Boden- und Deckenmontage bzw. Demontage können grundsätzlich getrennt voneinander erfolgen, ohne sich gegenseitig und die Vorsatzschale zu beeinträchtigen. Die Vorsatzschale kann jedoch nicht ohne Beeinträchtigung der Boden- und Deckenkonstruktion demontiert werden. Unter Betrachtung der Bauteillebenszyklen der jeweiligen Nutzungseinheiten ist festzuhalten, dass sämtliche Bauteile der drei Einheiten, bis auf die Oberflächenbeschichtungen, ähnliche technische Lebensdauern aufweisen (Abb. 10.6).

10.5. Basisbauteil

Die Nutzungseinheiten Vorsatzschale, Bodenaufbau und abgehängte Decke weisen keine gegenseitigen Verbindungen auf (Abb. 10.1). Die Montage erfolgt ausschließlich an der tragenden Rohbaukonstruktion (Abb. 10.5). Da diese eine unabhängige und austauschbare Anordnung der Nutzungseinheiten erlaubt, kann die tragende Rohbaukonstruktion als Basisbauteil bzw. Vermittler zwischen den Nutzungseinheiten verstanden werden. Innerhalb der Nutzungseinheiten erfolgt die Anordnung der Bauteile ausschließlich in Form von sequentiellen Montageabfolgen und somit in gegenseitiger Abhängigkeit (Abb. 10.4).

⁶⁶⁶ In Anlehnung an Durmisevic 2010, 163-165.

annähernd 50-jährigen technischen Lebensdauer die geforderten Eigenschaften ohne Einschränkungen bis zum Ablauf der Nutzungsdauer erfüllen, bleibt die Lebensdauerdifferenz für die Bewertung unberücksichtigt. Darüber hinaus ist zu erwähnen, dass die Abhängigkeiten der drei Nutzungseinheiten, in Folge des Montageablaufes, unter Betrachtung ihrer Bauteillebenszyklen ebenfalls unberücksichtigt bleiben, da alle drei Einheiten ähnliche Lebenszyklen aufweisen.

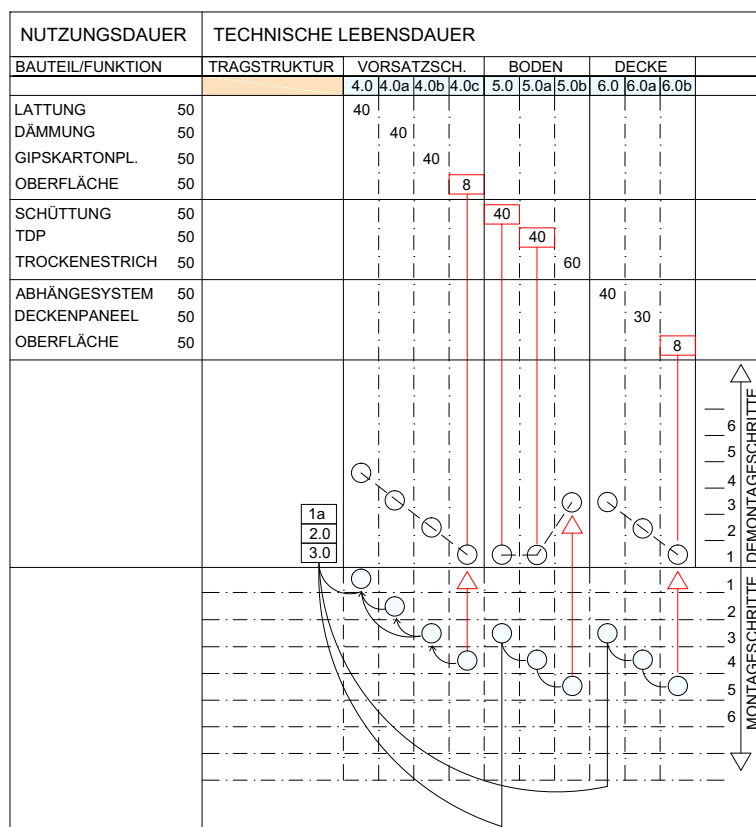


Abbildung 10.6: Lebenszyklusbetrachtung Fassade und Dach in Abhängigkeit des Montage- bzw. Demontagezeitpunktes⁶⁶⁸

10.7. Hierarchie und Anordnung der Teile

Im nachfolgenden Diagramm erfolgt eine vereinfachte Darstellung der Ausbauteile getrennt nach Funktionen und Montagehierarchie (Abb. 10.7). Die Analyse erfolgt beispielhaft anhand der Nutzungseinheiten Boden, Decke und Vorsatzschale des Erdgeschosses (Abb. 7.17). Vertikale Verbindungen zeigen Abhängigkeiten innerhalb einer Nutzungseinheit (blau) und die nicht vertikalen Verbindungen indizieren Abhängigkeiten zwischen den Nutzungseinheiten (rot) und zwischen Nutzungseinheiten und tragender Rohbaukonstruktion (grün). Das Diagramm gibt Aufschluss darüber, auf welcher Montagehierarchie sich Beziehungen zwischen den jeweiligen Nutzungseinheiten befinden und wie viele Bauteile zu entfernen sind, um die jeweilige Verbindung zu erreichen bzw. zu lösen.

Grundsätzlich weisen alle Nutzungseinheiten horizontale Beziehungen zur tragenden Rohbaukonstruktion auf. (vgl. Abb. 10.4, 10.5). Zur Bewertung werden ausschließlich Beziehungen zwischen den Nutzungseinheiten herangezogen. Beziehungen zwischen den Nutzungseinheiten und der tragenden Rohbaukonstruktion bleiben für die Bewertung unberücksichtigt.

⁶⁶⁸ In Anlehnung an Durmisevic 2010, 181.

Die in Abb. 10.7 dargestellten Verbindungen (rot) zwischen den Nutzungseinheiten Vorsatzschale und Decke bzw. Vorsatzschale und Fußbodenaufbau indizieren keine funktionale Abhängigkeit, sondern ausschließlich Abhängigkeiten in Folge der Montagereihenfolge (Abb. 10.2). Ansonsten bestehen ausschließlich vertikale Beziehungen innerhalb der Nutzungseinheiten (blau). Um die Verbindung zwischen Vorsatzschale (4.0) und der tragenden Rohbaukonstruktion zu erreichen, müssen sämtlichen Bauteile der Nutzungseinheiten Boden, Decke und die der Vorsatzschale entfernt werden.

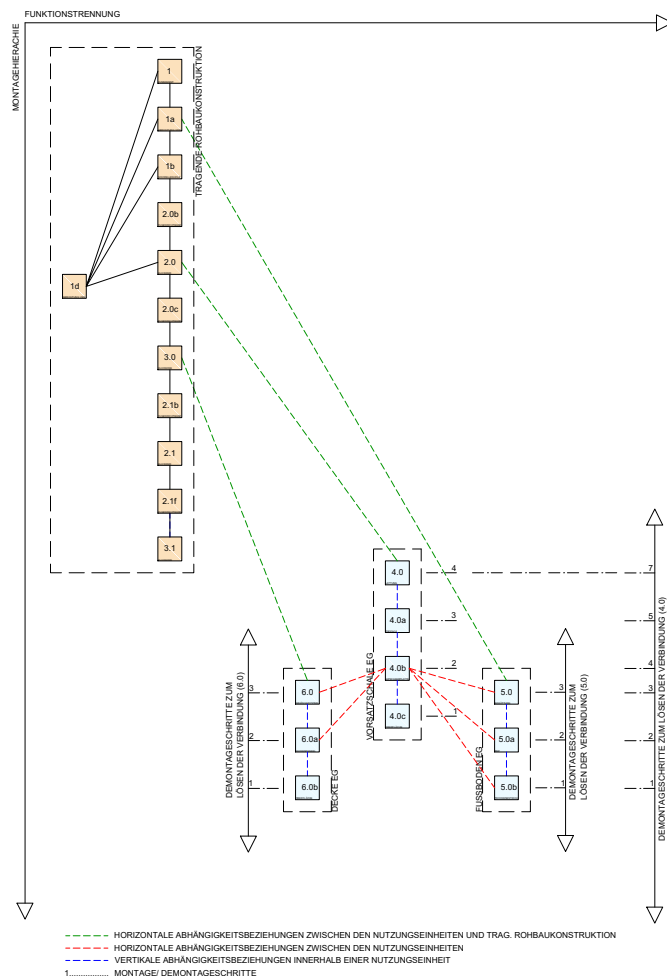


Abbildung 10.7: Hierarchie und Anordnung der Beziehungen zwischen den Nutzungseinheiten Boden, Decke und Vorsatzschale⁶⁶⁹

10.8. Montageablauf

Auf Ebene der Austauschcluster (Abb. 3.3) erlaubt das BSP-Bausystem, unbeachtet der Abhängigkeit zwischen Vorsatzschale, Boden- und Deckenaufbau, in Folge der Montagereihenfolge eine grundsätzlich parallele Montage der Nutzungseinheiten (vgl. Abb. 10.1, 10.2). Im ersten Schritt erfolgt die Montage der Vorsatzschale. Danach können Decke und Boden parallel montiert werden. Bei der Demontage können ebenfalls Decke und Boden parallel demontiert werden. Danach ist die Demontage der Vorsatzschale möglich. Auf Bauteilgruppen-Ebene erfolgt die Anordnung der Bauteile in Form sequentieller Montageabfolgen, da jedes Bauteil auf das vorangegangene aufbaut (Abb. 10.4).

⁶⁶⁹ In Anlehnung an Durmisevic 2010, 171.

10.9. Geometrie der Fugestellen

Eine Untersuchung der Fugestellen erfolgt ausschließlich auf Ebene der Austauschcluster (Vorsatzschale, Boden- und Deckenaufbau), siehe dazu Abb. 10.3. Da es je nach Anforderungen an die Nutzungseinheiten eine Vielzahl an unterschiedlichen Schichtaufbauten gibt, ist eine Betrachtung der Fugestellen zwischen den einzelnen Bauteilen innerhalb der Nutzungseinheiten für die gegenständliche Untersuchung nicht zielführend. Daher liegt der Fokus der Untersuchung in der Austauschbarkeit der Nutzungseinheiten innerhalb des gesamten Austauschclusters (Abb. 10.5). Um eine getrennte Austauschbarkeit der Nutzungseinheiten zu gewährleisten, sind die Schnittstellen zwischen den Nutzungseinheiten und die Schnittstellen zwischen Nutzungseinheiten und dem Basisbauteil der Gesamtstruktur (tragende BSP-Konstruktion) so zu gestalten, dass eine unabhängige Montage- bzw. Demontage möglich ist, ohne sich gegenseitig zu beeinträchtigen.

Eine Beurteilung der Fugestellen erfolgt auf Basis der schematischen Darstellungen, gemäß den Konstruktionsvorschlägen des Herstellers (Abb. 7.11, 7.12 und 7.13)⁶⁷⁰. Schichtaufbauten und Detailanschlüsse nach bauphysikalischen Erfordernissen, Brandschutz sowie Bemessungen nach statischen Erfordernissen bleiben in der gegenständlichen Untersuchung unberücksichtigt.

Fugestellen zwischen Vorsatzschale und Bodenaufbau

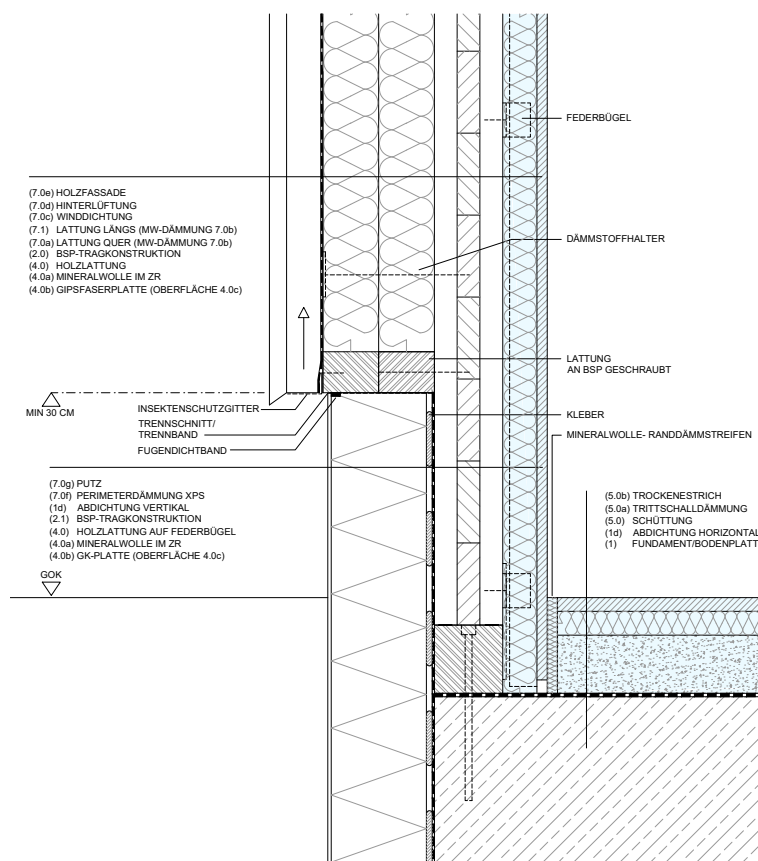


Abbildung 10.8: Detailausbildung Übergang Vorsatzschale zu Bodenaufbau auf Basis Konstruktionsmerkmale Abb. 7.11, 7.13

⁶⁷⁰ Vgl. Stora Enso (Hg.) 2012, Kap. Konstruktion.

Auf Grund des geringen Flächengewichtes der BSP-Elemente sind, je nach Anforderungen an den Schallschutz, in der Regel zusätzliche Schallschutzmaßnahmen erforderlich. Durch einen mehrschaligen Aufbau lässt sich auch bei geringer Masse eine höhere Schalldämmung erzielen⁶⁷¹. Durch den Einsatz sog. „Masse-Feder-Systeme“⁶⁷² bei Wandkonstruktionen (Vorsatzschalen) sind den Anforderungen entsprechend gute Schalldämmwerte zu erzielen. Dabei lässt sich die Resonanzfrequenz durch den Schalenabstand, der schwingenden Masse und einer möglichst biegeweichen Anbindung der Vorsatzschale an der tragenden BSP- Wand regulieren⁶⁷³. Um Resonanzen im Hohlraum zwischen BSP-Element und Vorsatzschale zu vermeiden, sind diese mit entsprechenden schallabsorbierenden Dämmstoffen zu füllen⁶⁷⁴.

Die Montage der Holzlatten für die Vorsatzschale erfolgt im Untersuchungsgegenstand über eine direkte Befestigung mittels Schwingbügel an der tragenden BSP-Wand (2.0/2.1) (vgl. dataholz.com Bauteilanschlüsse)⁶⁷⁵. Der Lattenzwischenraum wird mit einer mineralischen Dämmstoffplatte (z. B. Glaswolle) ausgestopft. Die Beplankung erfolgt mit Gipsplatten.

Der Schallschutz der Deckenkonstruktion kann entweder durch die Erhöhung der Masse oder durch eine entsprechende Entkopplung der Aufbauteile verbessert werden⁶⁷⁶. Zur Beschreibung des Bodenaufbaues wird ein homogen aufgebauter Gipsfaser-Trockenestrich der Firma Knauf mit eingefrästem Stufenfalz (VIDIFLOOR) herangezogen⁶⁷⁷. Im Untersuchungsgegenstand erfolgt die lose Auflage des Trockenestrichs auf einer Trittschalldämmplatte mit darunterliegender Schüttung (KNAUF TROCKENSCHÜTTUNG)⁶⁷⁸ (Abb. 10.8). Die Betrachtung des Aufbaus erfolgt ohne Fußbodenbelag. Die Schallentkopplung zwischen Fußbodenaufbau und Vorsatzschale wird über einen Randdämmstreifen aus Mineralwolle sichergestellt⁶⁷⁹ (Abb. 10.8).

Die Schnittstelle zwischen Vorsatzschale und Fußbodenaufbau definiert sich daher über den eingelegten Randdämmstreifen, der bis an die Oberkante des fertigen Fußbodens zu führen ist⁶⁸⁰. Das Verlegen des Randstreifens erfolgt an der Vorsatzschale, die hierzu eine ebene Fläche bietet (Abb. 10.8). Trotz grundsätzlich offener Fügstellengeometrie ist eine parallele Montage der beiden Nutzungseinheiten nicht möglich. Ein schallentkoppeltes Verlegen des Fußbodenaufbaues erfordert die vorherige Montage der Vorsatzschale. Umgekehrt ist die komplette Demontage der Vorsatzschale nicht möglich, ohne zuvor den Fußboden zu entfernen.

⁶⁷¹ Vgl. Stora Enso Division Wood Products (Hg.): Schallschutz für CLT von Stora Enso, Version 03/2016.

⁶⁷² Stora Enso Division Wood Products (Hg.): Schallschutz für CLT von Stora Enso, Abschnitt 3.2, Version 03/2016.

⁶⁷³ Stora Enso Division Wood Products (Hg.): Schallschutz für CLT von Stora Enso, Abschnitt 3.2, Version 03/2016.

⁶⁷⁴ Stora Enso Division Wood Products (Hg.): Schallschutz für CLT von Stora Enso, Abschnitt 3.2, Version 03/2016.

⁶⁷⁵ Holzforschung Austria – awmohi01a-00,
<http://www.dataholz.com/Public/pdfcache/en/awmohi01a-0.pdf>, 16.06.2016.

⁶⁷⁶ Stora Enso Division Wood Products (Hg.): Schallschutz für CLT von Stora Enso, Abschnitt 4.1, Version 03/2016.

⁶⁷⁷ Knauf Vidifloor Fertigteilestrich,
http://www.knauf.at/epim/TD-F13_1_1_1.PDF, 04.10.2016.

⁶⁷⁸ Knauf Trockenschüttung PA,
http://www.knauf.at/epim/K437_AT_KNAUF_TROCKENSCHUETTUNG_PA_2016-06.PDF, 04.10.2016.

⁶⁷⁹ Knauf Vidifloor Fertigteilestrich,
http://www.knauf.at/epim/TD-F13_1_1_1.PDF, 04.10.2016.

⁶⁸⁰ Stora Enso Division Wood Products (Hg.): Schallschutz für CLT von Stora Enso, Abschnitt 4.1, Version 03/2016.

Fügestellen zwischen Vorsatzschale und abgehängter Decke

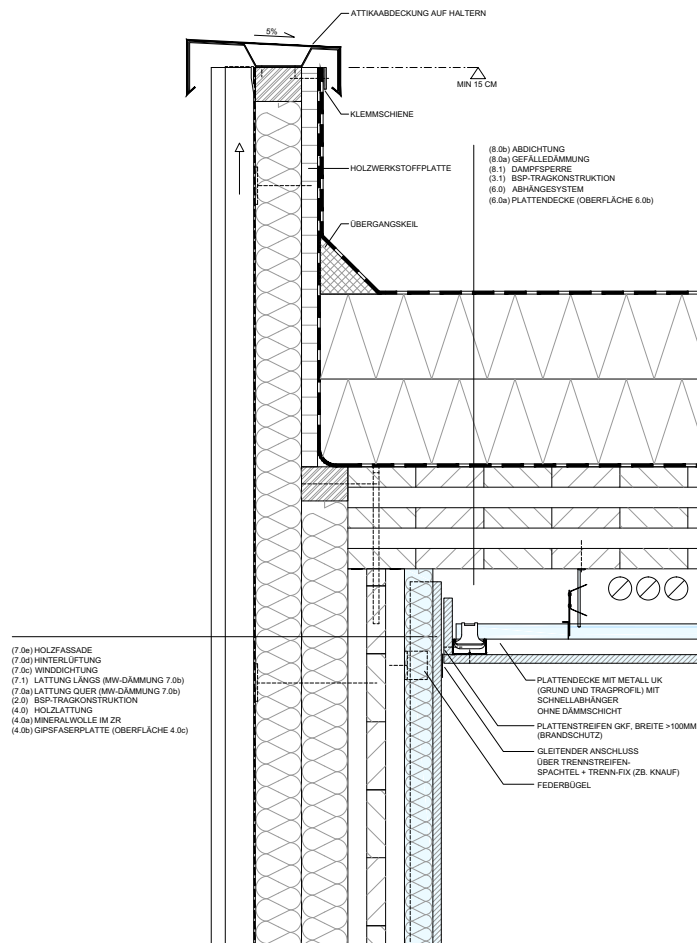


Abbildung 10.9: Detailausbildung Übergang Vorsatzschale zu abgehängter Decke auf Basis Konstruktionsmerkmale Abb. 7.12, 7.13

Zur Erläuterung der Schnittstelle zwischen Vorsatzschale und abgehängter Decke wird in der gegenständlichen Untersuchung eine Plattendecke der Firma Knauf mit gleitendem Anschluss herangezogen⁶⁸¹. Die Montage erfolgt über eine abgehängte Metall-Unterkonstruktion an der tragenden BSP-Decke (3.0, 3.1) mittels Grund- und Tragprofil über sog. Ankerfix-Schnellabhänger⁶⁸² (Abb. 10.9). Der gleitende Anschluss zur Vorsatzschale ist, je nach Brandschutzanforderung, mit einem Plattenstreifen GKF-Feuerschutzplatte zu hinterlegen.

Auf Grund der Auswahl eines gleitenden Deckenanschlusses zur Vorsatzschale besteht keine direkte Verbindung zwischen den beiden Nutzungseinheiten. Der gleitende Anschluss zwischen Vorsatzschale und abgehängter Decke wird über einen Trennstreifen an der Schnittstelle zwischen vertikaler und horizontaler Trockenbauplatte sichergestellt (Abb. 10.9). Trotz grundsätzlich offener Fügestellengeometrie ist eine parallele Montage der beiden Nutzungseinheiten nicht möglich, da der gleitende Anschluss der abgehängten Decke erst nach der Montage der Vorsatzschale erfolgt. Demnach ist auch keine Demontage der Vorsatzschale möglich, ohne vorher die Gipsplatten des Deckensystems zu entfernen.

⁶⁸¹ Knauf Plattendecken,
<http://www.knauf.at/epim/TD-D11.PDF>, 04.11.2016.

⁶⁸² Knauf Plattendecken,
<http://www.knauf.at/epim/TD-D11.PDF>, 04.11.2016.

10.10. Verbindungsarten und Auswertung der Verbindungen

Unter Verbindungsarten erfolgt im nachfolgenden Abschnitt ausschließlich eine Betrachtung der Verbindungen zwischen den Nutzungseinheiten und zwischen den Nutzungseinheiten und der tragenden BSP-Rohbaukonstruktion (Abb. 10.17). Verbindungen innerhalb der Nutzungseinheiten bleiben in der gegenständlichen Betrachtung unberücksichtigt. Zur Bewertung der verwendeten Verbindungsarten wird als Beurteilungsmerkmal die Lösbarkeit der Verbindungsmittel herangezogen. Darüber hinaus erfolgt eine Beurteilung des Wiederverwendungspotentials der Bauteile in Folge des LöSENS der Verbindungen und eine Betrachtung des Wiederverwendungspotentials der Verbindungsmittel selbst (Tabelle. 10.2).

Eine Betrachtung der Verbindungsmittel erfolgt nur prinzipiell. Auswahl und Bemessung nach statischem Erfordernis sowie technische Regelwerke und Verarbeitungsrichtlinien der Hersteller finden keine Berücksichtigung. Nachfolgende Verbindungsmittel werden daher nur beispielhaft herangezogen.

Montage Unterkonstruktion Vorsatzschale

Zur Verbesserung des Schallschutzes der BSP-Wandkonstruktionen kommen im Untersuchungsgegenstand Vorsatzschalen mit Federbügelmontage zum Einsatz (Abb. 10.10). Zur Schallentkopplung sind die Federbügel entweder direkt mit einem Dämmstreifen ausgestattet (Abb. 10.10) oder werden auf einem zuvor aufgeklebten Dichtungsbandstück montiert⁶⁸³. Die Verschraubung erfolgt mit geeigneten Holzschrauben direkt an der BSP-Wand. Im Anschluss werden die Holzlatten ohne direkten Kontakt zur BSP-Wand mit den Federbügeln verschraubt⁶⁸⁴ (Abb. 10.11).



Abbildung 10.10: Federbügel auf BSP- Wand montiert zur Aufnahme der Holzlatten (CLT-Stora Enso) (links)

Abbildung 10.11: Holzprofile für Vorsatzschale mit Federbügeln direkt an Wand montiert (CLT-Stora Enso) (rechts)

Verankerung Decken-Abhängesystem

Die Montage des Tragrostes (Grund- und Tragprofil) erfolgt über das Knauf Abhängesystem, bestehend aus Ankerfix-Schnellabhänger, Draht mit Öse und dem Knauf Deckennagel für die Befestigung in Betondecken⁶⁸⁵ (Abb. 10.12, 10.14). Zur Befestigung von Abhängern auf Holz und Stahlblechen kommt die Universalschraube FN-Schnellbauschraube mit Flachkopf und Nagelspitze zum Einsatz⁶⁸⁶ (Abb. 10.13).

⁶⁸³ Knauf Trockenputz und Vorsatzschalen,

http://trockenbau-saygin.com/pdf/wandsysteme/W61_Knauf_Trockenputz_und_Vorsatzschalen.pdf,

⁶⁸⁴ Stora Enso (Hg.) 2012, Kap. Konstruktion.

⁶⁸⁵ Knauf Holzbalkendecken-Systeme für Neubau und Altbau,

<http://www.knauf-ks.com/system/knauf-holzbalkendecken-systeme-d15-de/>, 16.11.2016.

⁶⁸⁶ Knauf Universalschraube FN,

<https://www.knauf.de/profi/sortiment/produkte/universalschraube-fn.html>, 16.11.2016.

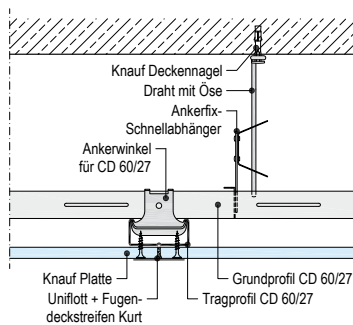


Abbildung 10.12: Montage Deckenabhängung: System KNAUF D112.de-C4 Stirnkante – Grund- / Tragprofil / Ankerfix (links)

Abbildung 10.13: Knauf Universalschraube FN (Mitte)

Abbildung 10.14: Draht mit Öse- System Knauf (rechts)

Einbau Trockenschüttung

Die Trockenschüttung wird in einer Mindestschütthöhe von 20mm eingebracht und auf dem Rohboden verteilt⁶⁸⁷. Durch eine spezielle mineralische Ummantelung des körnigen Naturmaterials, das bei Temperaturen von über 1000 °C expandiertem vulkanischen Gestein hergestellt wird, verzahnt sich die Trockenschüttung zu einer stabilen und tragfähigen Ausgleichsschicht⁶⁸⁸. Eine Verbindung zum Rohboden wird dabei nicht hergestellt.

Gleitender Anschluss und Schallentkopplung

Die Nutzungseinheiten Vorsatzschale, Bodenaufbau und abgehängte Decke weisen untereinander keine Verbindungen nach dem Prinzip der Kraftübertragung auf⁶⁸⁹ (vgl. Abb. 10.8 und 10.9). Der Wandanschluss des Bodenaufbaues wird mit einem 12mm dicken Mineralwolle-Randdämmstreifen hergestellt (siehe dazu auch Fugestellen zwischen Vorsatzschale und Bodenaufbau). Dazu wird der Randdämmstreifen an Wänden und Stützen ohne zusätzliche Verbindungsmittel zur Schallentkopplung aufgestellt⁶⁹⁰ (Abb. 10.15). Der Deckenanschluss zur Vorsatzschale erfolgt gleitend, ohne eine Verbindung mit der aufgehenden Wand bzw. Vorsatzschale herzustellen (Abb. 10.16).

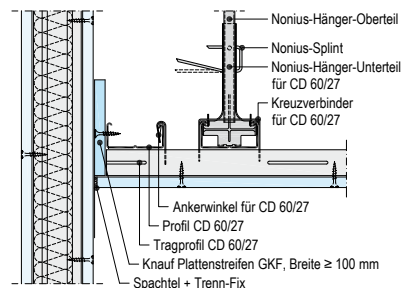


Abbildung 10.15: Anbringen des Mineralwolle-Randdämmstreifen (links)

Abbildung 10.16: Gleitender Deckenanschluss: System KNAUF D112.de-A5 Vertikal gleitender Anschluss an Wand⁶⁹¹ (rechts)

⁶⁸⁷ Knauf Trockenschüttung PA, http://www.knauf.at/epim/K437_AT_KNAUF_TROCKENSCHUETTUNG_PA_2016-06.PDF, 04.10.2016.

⁶⁸⁸ Knauf Trockenschüttung PA, http://www.knauf.at/epim/K437_AT_KNAUF_TROCKENSCHUETTUNG_PA_2016-06.PDF, 04.10.2016.

⁶⁸⁹ Vgl. Moro, Rottner u.a. (Hg.) 2009, 50-55.

⁶⁹⁰ Knauf Randdämmstreifen zur Schallentkopplung von Estrichelementen, https://www.knauf.de/diy/produkte/randdaemmstreifen-fe.html#showtab-tab_9028_4, 06.10.2016.

⁶⁹¹ Knauf Plattendecken D112.de-A5, <http://www.knauf.at/epim/TD-D11.PDF>, 04.11.2016.

Auswertung der Verbindungen

In Tabelle 10.2 erfolgt eine Beurteilung der Verbindungen hinsichtlich ihrer Lösbarkeit, Zugänglichkeit und dem Wiederverwendungspotential der Verbindungsmittel und der Bauteile in Folge ihrer Demontage.

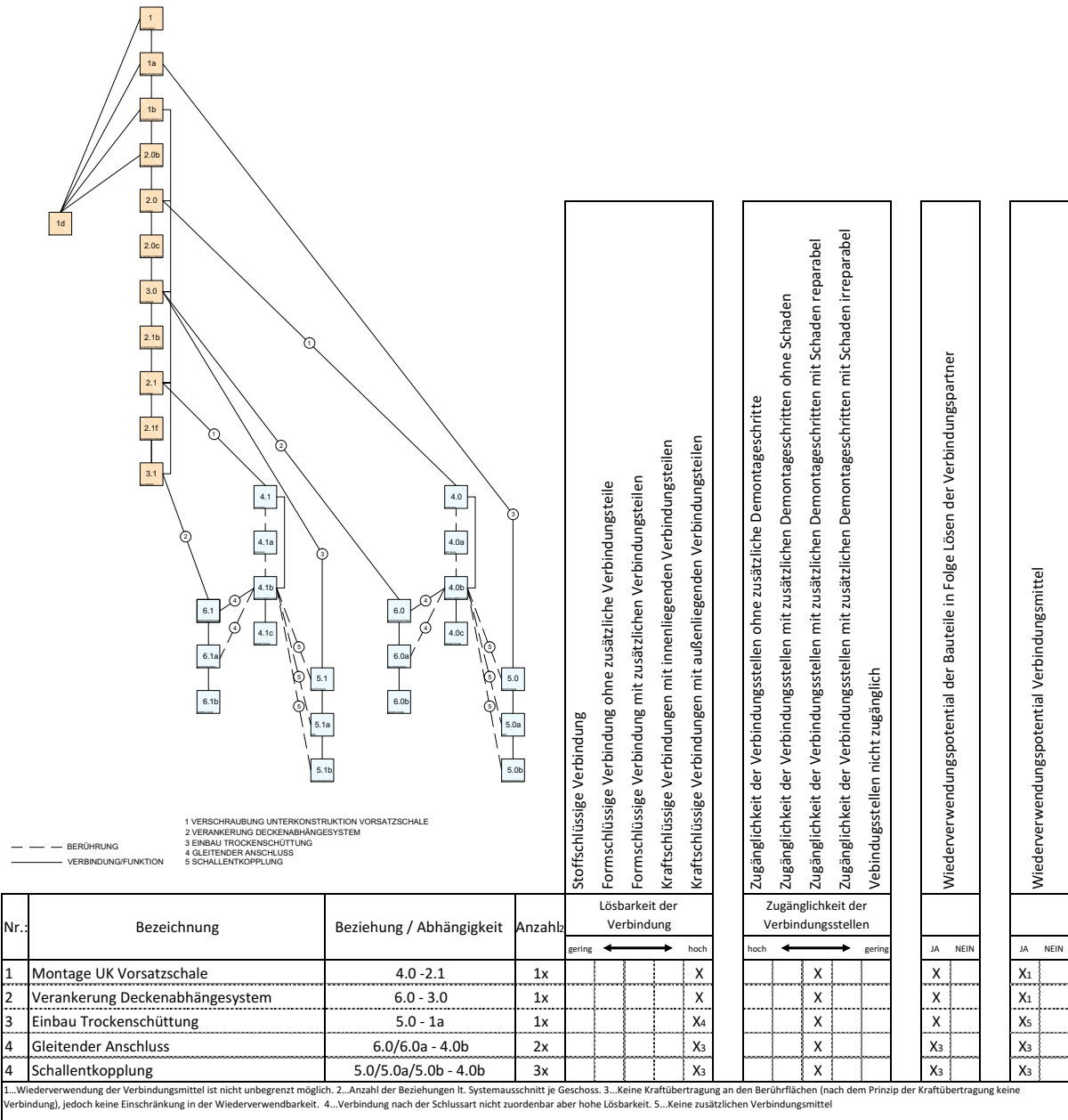


Tabelle 10.2: Auswertung der Verbindungen hinsichtlich ihrer Lösbarkeit und Zugänglichkeit zwischen den Nutzungseinheiten Vorsatzschale, abgehängter Decke und Bodenaufbau und zwischen den Nutzungseinheiten und der tragenden BSP-Rohbaukonstruktion

Abbildung 10.17: Übersicht Verbindungen (oben links)

1. Montage Unterkonstruktion Vorsatzschale

Durch die Schraubverbindung der Federbügel mit den BSP-Elementen kann eine gute Lösbarkeit der Verbindungspartner gewährleistet werden. Bis auf die Schraublöcher erlauben Verbindungen mit Holzbauschrauben eine grundsätzlich zerstörungsfreie Demontage und somit ein hohes Wiederverwendungspotential der Bauteile. Ein Wiederverwenden der Federbügel samt Schrauben ist bei sorgsamer Demontage grundsätzlich möglich⁶⁹².

2. Verankerung Decken-Abhängesystem

Durch den Einsatz der Universalschraube FN als Verbindungsmittel zwischen Trägerrost samt Abhängesystem (Abb. 10.12) und tragender BSP-Decke kann eine gute Lösbarkeit der Verbindungspartner gewährleistet werden. Das Lösen der Schraubverbindung erlaubt eine grundsätzlich zerstörungsfreie Demontage und somit ein hohes Wiederverwendungspotential der BSP-Bauteile. Ein Wiederverwenden der Verbindungsmittel ist bei sorgsamer Demontage grundsätzlich möglich⁶⁹³.

3. Einbau Trockenschüttung

Der Einbau der Trockenschüttung erfolgt über eine lose Auflage des Kantkorns und ist deshalb mit einem geringen Aufwand vom Untergrund zu lösen. Folglich kann von einer guten Lösbarkeit der Verbindung ausgegangen werden. Ein hohes Wiederverwendungspotential ist durch die trockene Verlegung sowohl für die Schüttung als auch für den Untergrund gegeben.

4. Gleitender Anschluss und Schallentkopplung

Der Deckenanschluss zur Vorsatzschale erfolgt gleitend, ohne eine Verbindung nach dem Prinzip der Kraftübertragung mit der aufgehenden Wand bzw. Vorsatzschale herzustellen⁶⁹⁴ (Abb. 10.16). Die Lösbarkeit zwischen den Nutzungseinheiten ist daher gegeben. Folglich führt das Lösen des gleitenden Anschlusses zu keiner Einschränkung in der Wiederverwendung beider Verbindungspartner. Das Einlegen des Winkelrandstreifens an der Schnittstelle zwischen Vorsatzschale und Bodenaufbau führt ebenfalls zu keiner Kraftübertragung an den Berührflächen beider Verbindungspartner⁶⁹⁵. Eine Einschränkung in der Wiederverwendung der Verbindungspartner ist in Folge des Lösens der Verbindung nicht gegeben.

10.11. Zugänglichkeit der Verbindungen

Die Zugänglichkeit der Verbindungsstellen zwischen den Nutzungseinheiten und zwischen den Nutzungseinheiten und der tragenden BSP-Rohbaukonstruktion kann an Hand des Beziehungsdiagrammes erläutert werden (Abb. 10.7). Innerhalb der Nutzungseinheiten erfolgt die Anordnung der Bauteile ausschließlich in Form sequentieller Montageabfolgen und somit in gegenseitiger Abhängigkeit. Das heißt, je höher die Verbindung in der Montaghierarchie angeordnet ist, desto mehr Demontageschritte sind erforderlich bzw. Bauteile müssen entfernt werden, um die jeweilige Verbindung zu erreichen (vgl. Abb. 10.7).

Aus dem Montagediagramm ist zu entnehmen, dass die Montage der abgehängten Decke und des Bodenaufbaues erst nach der Montage der Vorsatzschale erfolgt. (Abb. 10.2). Um die

⁶⁹² Vgl. Knauf, Tel. Befragung techn. Beratung (Herr Singer) am 20. Juli 2016, 13:30.

⁶⁹³ Vgl. Knauf, Tel. Befragung techn. Beratung (Herr Singer) am 20. Juli 2016, 13:30.

⁶⁹⁴ Vgl. Moro, Rottner u.a. (Hg.) 2009, 50-55.

⁶⁹⁵ Ebda., 50-55.

Zugänglichkeit der Verbindungsstelle (4.0) der Vorsatzschale im Demontageprozess zu gewährleisten, müssen zuvor die abgehängte Decke und der Bodenaufbau entfernt werden, um dann die Demontage der Bauteile (4.0c, 4.0b, 4.0a) der Vorsatzschale vornehmen zu können. Folglich kann von einer grundsätzlichen Zugänglichkeit ausgegangen werden, die jedoch einige Demontageschritte erfordert. Zudem kommt noch hinzu, dass die Demontage einiger Bauteile nicht schadensfrei durchführbar ist. Schaden nehmen vor allem die Plattenwerkstoffe wie Gipsfaserplatten, Gipskartonplatten und der Fertigteilestrich, die zur Aufnahme der Oberflächen bzw. Nuttschichten an ihren Fügstellen nach den Verarbeitungsrichtlinien der Hersteller entsprechend verschraubt, grundiert und gespachtelt werden müssen. In diesem Fall kann von einem reparablen Schaden ausgegangen werden.

Die Montage der Nutzungseinheiten abgehängte Decke und Bodenaufbau ist nach der Montage der Vorsatzschale grundsätzlich parallel möglich. Daher können diese auch wieder unabhängig voneinander demontiert werden. Um die Zugänglichkeit der Verbindungsstelle (6.0) des Deckensystems zu gewährleisten, sind die Bauteile (6.0a, 6.0b) zu entfernen (Abb. 10.7). Dabei können die Gipsplattendecken mit der fertigen Oberfläche nicht unbeschadet demontiert werden.

Im Falle des Bodenaufbaus ist, nach dem Prinzip der Kraftübertragung, an der Berührfläche beider Verbindungspartner von einer losen Auflage auszugehen (vgl. Abb. 4.36). Die auf der tragenden Rohbaukonstruktion aufliegende Trockenschüttung (5.0) ist durch die Demontage der Bauteile (5.0a, 5.0b) zu erreichen (Abb. 10.7). Das Entfernen des Trockenstrichs ist auf Grund der erforderlichen Elementverbindungen durch Verkleben, Verschrauben oder Klammern am Falzstoß nicht schadlos möglich⁶⁹⁶.

⁶⁹⁶ Knauf Vidifloor Fertigteilestrich,
http://www.knauf.at/epim/TD-F13_1_1_1.PDF, 04.10.2016.

11. Analyse und Bewertung Gebäudetechnik

Auf Grund der Komplexität der unterschiedlichen Themenbereiche der Gebäudetechnik beschränkt sich die aktuelle Betrachtung ausschließlich auf die Integration der Leitungsführung im BSP-Bausystem. Dazu werden gemäß den Konstruktionsmerkmalen folgende drei Varianten der Installationsführung herangezogen:⁶⁹⁷

- Installation bei Sichtqualität der Oberflächen (Abb. 7.14) Variante-A
- Installation bei nachträglicher Beplankung (Abb. 7.15) Variante-B
- Installationsführung in einer Vorsatzschale (Abb. 7.16) Variante-C

Die Analyse erfolgt auf Basis der Systemausschnitte der Hersteller, gemäß den Abb. 7.14, 7.15, 7.16. Nach Hausladen/Huber/Hilger sind unter dem Begriff Installation Rohre, Leitungen und Kabel zu verstehen⁶⁹⁸. Daher ist in der gegenständlichen Untersuchung unter Installation (I) die Integration der Leitungsführung zu verstehen. Die Betrachtung der drei Varianten der Installationsführung erfolgt jeweils parallel nach den jeweiligen Untersuchungskriterien. Eine genaue Erläuterung der Untersuchungsmodalitäten ist dem Abschnitt 3.7.4 zu entnehmen.

11.1. Funktionstrennung – Funktionsintegration

Gemäß der Ausführungsvariante in Sichtqualität erfolgt die Integration der Leitungsführung über Bohrlöcher in den BSP-Elementen (Abb. 7.14). Das Wandelement (W) übernimmt somit die Aufgabe des Tragens und der Leitungsführung (Tabelle 11.1 – Variante-A). Die Unabhängigkeit der beiden Funktionen (W und I) ist somit nicht gegeben. Ausführungsvariante-B stellt den Platz zur Leitungsführung über Ausfräsungen im BSP-Element bereit (Abb. 7.15). Zwar erfolgt hier die Leitungsführung in der Ebene der BSP-Wand (W), eine Trennung der Funktionen liegt jedoch vor. Die Abdeckung der Installation (I) erfolgt über eine zusätzliche Beplankung (BP) der BSP-Wand (W). Wie in Variante-B werden auch für Variante-C separate Bauteile für jede Funktion gewählt (Abb. 7.16). Die Installation (I) wird in einer dafür vorgesehenen Installationsebene geführt.

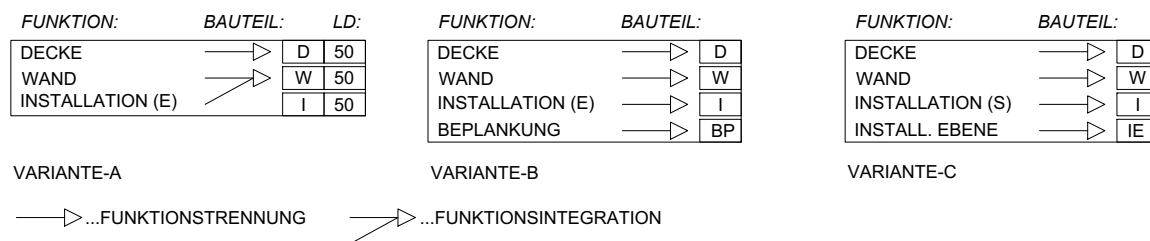


Tabelle 11.1: Funktionsintegration und Funktionstrennung am Beispiel von drei Ausführungsvarianten der Leitungsführung⁶⁹⁹

Unter Betrachtung der gegenständlichen Ausführungsvarianten liegt im Falle der Variante-A eine Funktionsintegration vor (Tabelle 11.1). Übernimmt ein Bauteil mehr als eine Funktion, ist zu beurteilen, ob die Funktionen dieselben oder unterschiedliche Austauschzyklen aufweisen.

Ausführungsvariante-A kommt nach den Konstruktionsvorschlägen des Herstellers bei der Verlegung von Elektro-Installationen zur Anwendung⁷⁰⁰. Zur Bewertung der Funktionen gemäß

⁶⁹⁷ Vgl. Stora Enso (Hg.) 2012, Kap. Konstruktion Abschnitt 7, 8.

⁶⁹⁸ Vgl. Hausladen/Huber/Hilger (Hg.) 2008, 24.

⁶⁹⁹ In Anlehnung an Durmisevic 2010, 189.

⁷⁰⁰ Vgl. Stora Enso (Hg.) 2012, Kap. Konstruktion Abschnitt 7, 8.

ihren Austauschzyklen liegen ausschließlich Werte zur technischen Lebensdauer von Bauteilen vor. Zur Ermittlung der Austauschzyklen werden die technischen Lebensdauern von Elektroleitungen für Stark- und Schwachstromanlagen nach [701] herangezogen (Tabelle 11.1). Erfolgt eine Betrachtung der Austauschzyklen unter Berücksichtigung der Einflüsse auf die wirtschaftliche Nutzungsdauer nach Kalusche, werden sich die Zyklen der haustechnischen Komponenten abweichend zur technischen Lebensdauer darstellen⁷⁰². Da hier keine verwertbaren Einflussgrößen zur Verfügung stehen, werden zur Beurteilung der Austauschzyklen die technischen Lebensdauern herangezogen. So kann für die gegenständliche Untersuchung gemäß Tabelle 11.1 folgende Funktionsintegration festgehalten werden: Für Variante-A erfolgt die Integration der Installation (I) in der Wand (W). Beide Funktionen weisen dieselben Austauschzyklen auf. Im Falle der Ausführungsvarianten-B und C liegt eine komplette Funktionstrennung vor.

11.2. Funktionale Abhängigkeit

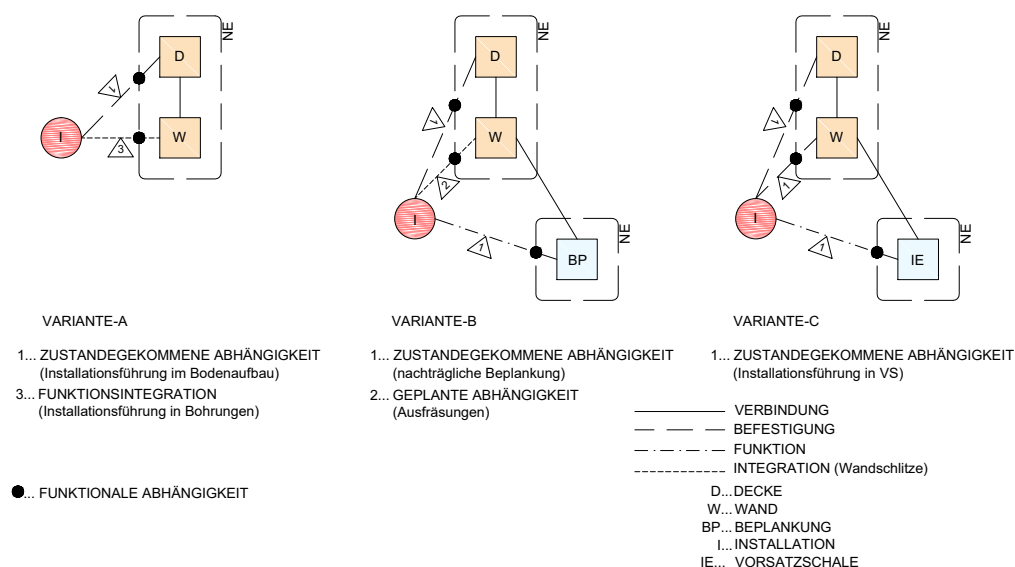


Abbildung 11.1: Beziehungsdigramm am Beispiel von drei Ausführungsvarianten der Leitungsführung⁷⁰³

Auf Basis von Beziehungsdigrammen, in denen die Bauteile der Ausführungsvarianten -A, -B und -C (Abb. 7.14, 7.15, 7.16) nach Funktionen und Montagehierarchien systematisch in Zeilen und Spalten abgebildet sind, lassen sich folgende Abhängigkeiten beschreiben:

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die Installationsführung bei allen drei Ausführungsvarianten unterschiedliche Abhängigkeiten zur tragenden Rohbaukonstruktion und zum Ausbau (BP, IE) erzeugen (Abb. 11.1). Gemäß Ausführungsvariante-A, erfolgt die Leitungsführung über bereitgestellte Bohrungen in den BSP-Elementen. Durch die Integration der Leitungen (I) in der BSP-Wand (W) entsteht eine komplette Abhängigkeit beider Funktionen (vgl. Tabelle 11.1 – Variante-A). Die Leistungsverteilung an der Decke (D) erfolgt notwendigerweise im Bodenaufbau bzw. im Zwischenraum der abgehängten Decke.

⁷⁰¹ Vgl. Bund Technischer Experten e.V. (Hg.) 2008.

⁷⁰² Vgl. Kalusche 2004.

⁷⁰³ In Anlehnung an Durmisevic 2010, 189.

Ausführungsvariante-B stellt eine geplante Ausfräsung in der BSP-Wand (W) zur Verfügung, um mit den Leitungen zu den jeweiligen Installationen (Stecker, Lichtschalter u. dgl.) zu gelangen. Demnach handelt es sich um eine geplante Abhängigkeit zwischen der Installation (I) und der BSP-Wand (W). Die durch die Ausfräsung notwendig gewordene Beplankung der BSP-Wand (W) erzeugt eine Abhängigkeit zwischen der Installation (I) und der Beplankung (BP). Die Abhängigkeit zwischen der Installation (I) und der Decke (D) ergibt sich aus der Leitungsverteilung im Bodenaufbau bzw. im Zwischenraum der abgehängten Decke.

In Ausführungsvariante-C erfolgt die Installationsführung in einer dafür vorgesehenen Installationsebene. Bohrungen und Ausfräsungen in den BSP-Elementen sind somit nicht erforderlich. Somit kommt es auch zu keiner geplanten (Ausfräsungen) oder kompletten Abhängigkeit (Bohrungen) zwischen der Installation (I) und den BSP-Elementen (W), (D). Jedoch entsteht daraus die Notwendigkeit, die Leitungen in der Installationsebene zu verteilen. Demnach entsteht eine Abhängigkeit zwischen Installation (I) und der Installationsebene (IE).

11.3. Systematischer Aufbau der Strukturebenen

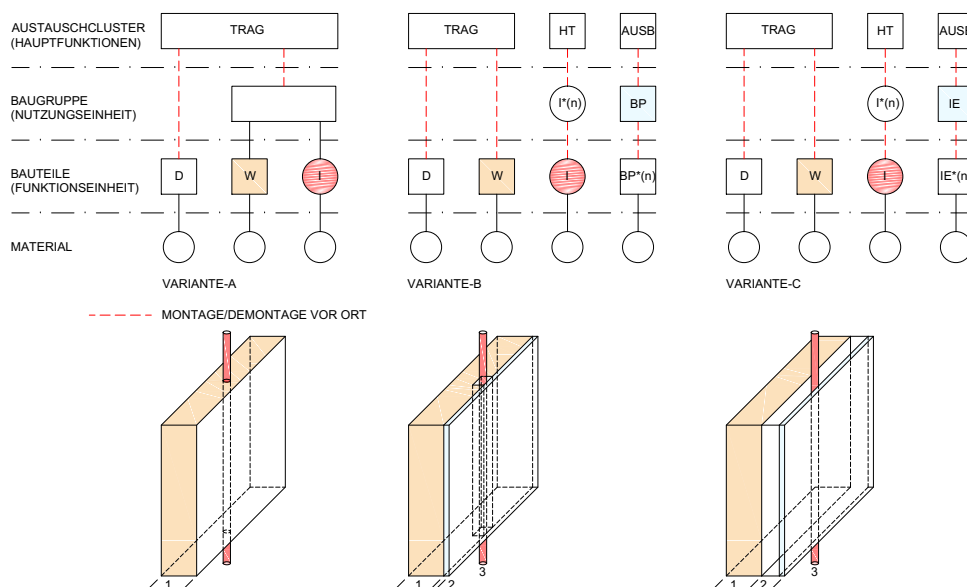


Abbildung 11.2: Struktureller Aufbau am Beispiel von drei Ausführungsvarianten der Leitungsführung⁷⁰⁴

Gemäß Ausführungsvariante-A erfolgt die Integration der Leitungsführung (I) in der BSP-Wand (W). Der strukturelle Aufbau erfolgt ausschließlich in Bauteilen mit unterschiedlichen Funktionen, die in einem System integriert werden (Abb. 11.2) (vgl. Abb. 8.6).

Der strukturelle Aufbau der Ausführungsvarianten-B und -C spiegelt die funktionale Gliederung der Bauteile wider (Abb. 11.2). Demnach erfolgt die Trennung der Funktionen Wand (W), Installationsführung (I) und der Beplankung (BP) bzw. Installationsebene (IE). Im strukturellen Aufbau erfolgt die Integration der Installation als separate Einheit, die sich neben der Leitungsführung in der Regel aus unterschiedlichen Bauteilen wie z. B. Elektroleitungen für Starkstrom, Leitungen für Schwachstromanlagen, Befestigungsschellen, Elektrotrassen usw. zusammensetzt. Gemäß der Systemausschnitte, der Ausführungsvarianten-B und C nach Abb. 7.15 und 7.16, erfolgt der Aufbau der Strukturebenen in Bauteilen und Bauteilgruppen (vgl. Abb. 8.6, Abb. 10.3).

⁷⁰⁴ In Anlehnung an Durmisevic 2010, 163-165.

11.4. Modularität

Gemäß Abb. 11.2, Ausführungsvariante-A, wird ersichtlich, dass die Installation (I) eine eigene Funktion darstellt, aber auf Grund der Integration in der BSP-Wand (W), nicht als unabhängiges und austauschbares Teilsystem definiert ist (Abb. 11.1). Die Abhängigkeit der Installation (I) von der Wand (W) hat zur Folge, dass ein Tausch oder eine Demontage der Installation kaum möglich ist, ohne die gesamte Einheit zu beeinträchtigen. Der Vorteil der integrierten Leitungsführung liegt im geringeren Installationsaufwand vor Ort.

Gemäß der Systemausschnitte der Ausführungsvarianten-B und -C nach Abb. 7.15 und 7.16 erfolgt der strukturelle Aufbau getrennt nach Tragwerk (W), Ausbau (BP, IE) und Gebäudetechnik (I) (Abb. 11.2). Die Montage der Nutzungseinheiten erfolgt in der Regel in Einzelteilen vor Ort.

11.5. Basisbauteil

Aus der strukturellen Analyse der Ausführungsvariante-A wird ersichtlich, dass die Installation (I) eine eigene Funktion darstellt (Abb. 11.2), diese aber auf Grund der Integration in der BSP-Wand (W) (Abb. 11.1), nicht als unabhängiges und austauschbares Teilsystem definiert ist. Da Basisbauteile einer unabhängigen und somit austauschbaren Anordnung von Bauteilen bzw. Bauteilgruppen dienen, liegt im Falle der Ausführungsvariante-A kein Basisbauteil vor.

Gemäß dem strukturellen Aufbau der Ausführungsvarianten-B und -C erfolgt die Definition der Installation (I) sowie der Beplankung (BP) und der Installationsebene (IE) als separates Teilsystem der Gesamtstruktur (Abb. 11.2). Der Anbau bzw. die Montage der Installation (I), der Beplankung (BP) und der Installationsebene (IE), erfolgt in unabhängigen und austauschbaren Einheiten an der tragenden BSP-Rohbaukonstruktion (W). Demnach dient die tragende Rohbaukonstruktion (W) als Vermittler (Basisbauteil) zwischen den verschiedenen Nutzungseinheiten.

11.6. Lebenszyklusbetrachtung

Die Lebenszyklusbetrachtung der Installation (I), erfolgt ausschließlich an Hand der Systemausschnitte in Abhängigkeit der tragenden Rohbaukonstruktion (W) und der Ausbauelemente Beplankung (BP) und Installationsebene (IE) (Abb. 7.14, 7.15, 7.16). Ausführungsvariante-A und -B kommen nach den Konstruktionsvorschlägen des Herstellers bei der Verlegung von Elektro-Installationen und Ausführungsvariante-C bei der Verlegung von Sanitär-Installationen zur Anwendung⁷⁰⁵. Es werden die technischen Lebensdauern der betrachteten Bauteile herangezogen⁷⁰⁶:

Für die Installationen der Variante-A und -B werden Elektroleitungen für Stark- und Schwachstromanlagen herangezogen⁷⁰⁷. Für die Variante -C kommen Warm- und Kaltwasserleitungen aus Kunststoff in Betrachtung⁷⁰⁸.

⁷⁰⁵ Vgl. Stora Enso (Hg.) 2012, Kap. Konstruktion Abschnitt 7, 8.

⁷⁰⁶ Vgl. Bund Technischer Experten e.V. (Hg.) 2008.

⁷⁰⁷ Ebda., 8.

⁷⁰⁸ Ebda., 6-7.

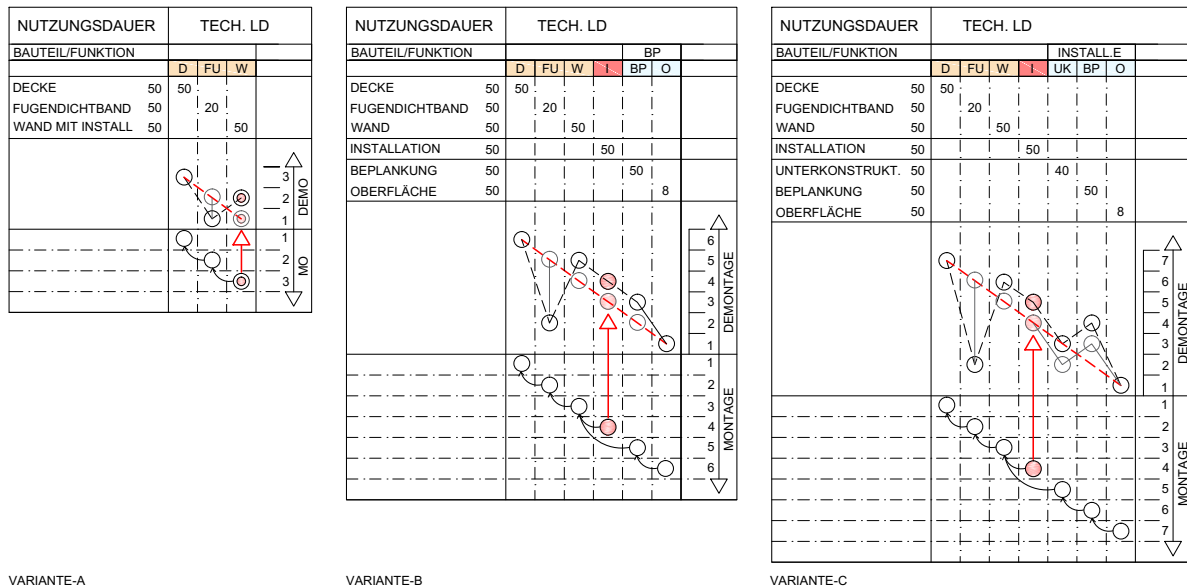


Abbildung 11.3: Lebenszyklusbetrachtung in Abhängigkeit der Montage- bzw. Demontagehierarchie am Beispiel von drei Ausführungsvarianten der Leitungsführung⁷⁰⁹

Gemäß der Ausführungsvariante-A erfolgt die Integration der Installation (I) in der BSP-Wand (W). Beide Bauteile weisen eine technische Lebensdauer von 50 Jahren auf⁷¹⁰. Aus der Gegenüberstellung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer mit der technischen Lebensdauer der Installation (I) wird ersichtlich, dass die Installation innerhalb der 50-jährigen Nutzungsdauer keinen Austauschzyklen unterliegt. Ebenso bei Ausführungsvariante-B und -C. Die Analyse des Montageablaufes zeigt, dass die Montage der kurzlebigen Bauteile (BP und IE) erst nach der Montage der Installation (I) mit der längeren technischen Lebensdauer erfolgt. Folglich ist die Demontage der kurzlebigen Bauteile (Oberfläche=8 Jahre, Unterkonstruktion=40 Jahre) möglich, ohne die Installation zu beeinträchtigen. (vgl. Abb. 4.37 – paralleles Montagediagramm).

Gemäß den Ausführungsvarianten-B und -C erfolgt die Montage der Installation (I) auf der tragenden Rohbaukonstruktion (Abb. 11.3). Da die Demontage der Installation (I) nur die Demontage der Beplankung und Installationsebene erfordert, bleibt die tragende Rohbaubaukonstruktion, hinsichtlich der Abhängigkeiten ihrer Bauteile und Lebenszyklen, für die gegenständliche Untersuchung unberücksichtigt.

⁷⁰⁹ In Anlehnung an Durmisevic 2010, 181.

⁷¹⁰ Vgl. Bund Technischer Experten e.V. (Hg.) 2008.

11.7. Hierarchie und Anordnung der Teile

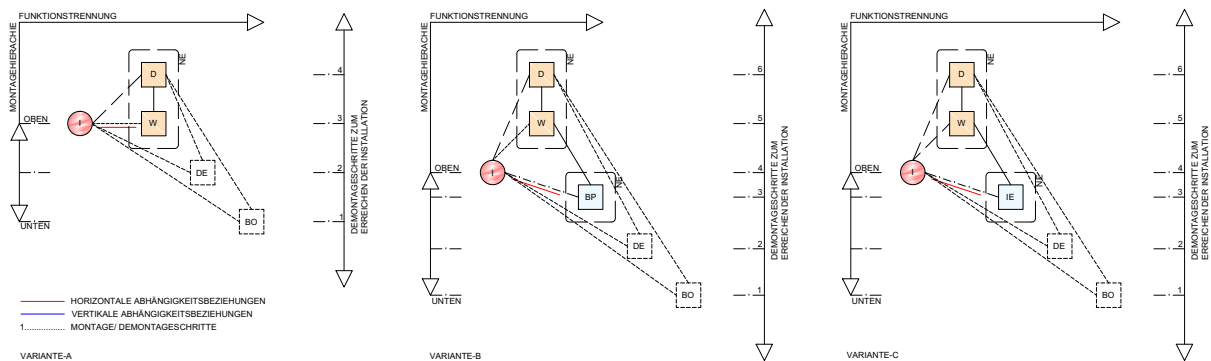


Abbildung 11.4: Montagehierarchie der Leitungsführung am Beispiel von drei Ausführungsvarianten⁷¹¹

Gemäß der Variante-A, erfolgt die Anspeisung der in der Wand (W) integrierten Installation (I) über eine sichtbare Ausfräsung im Bodenaufbau bzw. im Zwischenraum der abgehängten Decke (Abb. 7.14). Dabei entstehen Abhängigkeiten zwischen der Installation (I), der Decke und dem Bodenaufbau (Abb. 11.4). Um die Anschlussstelle der Installation im Bereich des Fußbodens zu erreichen, sind sämtliche Bodenbauteile (5.0, 5.0a, 5.0c) zu entfernen. Die Zugänglichkeit der Installation an der Anschlussstelle im Zwischenraum der abgehängten Decke kann durch das Entfernen des Bauteils (6.0a) gewährleistet werden.

Unter Betrachtung der Systemausschnitte gemäß Abb. 7.15 und 7.16 erzeugt die Installationsführung der Variante-B und -C in erster Linie Abhängigkeiten zur Beplankung (BP) und Installationsebene (IE) (Abb. 11.4). Erfolgt die weitere Verteilung der Installation (I) im Boden- und Deckenbereich, entstehen weitere Abhängigkeiten zwischen den Nutzungseinheiten Installation (I), Bodenaufbau und der abgehängten Decke. Die zum Erreichen der Installation in der Installationsebene bzw. zur Beplankung erforderlichen Demontageschritte sind der Abb. 10.7 zu entnehmen.

11.8. Montageablauf

Das Montageverhalten der Installation (I) gemäß den Varianten -B und -C wird im Wesentlichen von der Montageabfolge der Beplankung (BP) bzw. der Installationsebene (IE) bestimmt (vgl. Abb. 11.3). Obwohl die Montage der Installation (I) grundsätzlich parallel erfolgt, wird sie auf Grund des weiteren sequentiellen Montageablaufs der Beplankung bzw. der Installationsebene gesperrt (vgl. Abb. 4.30 – 3). Die Abhängigkeit entspricht einer sequentiellen Montageabfolge. Die Montage der Installation (I) gemäß der Variante-A richtet sich nach dem Montageverhalten des Bodens und der Decke (vgl. Abb. 11.4 – Erläuterung Variante-A). Die Zugänglichkeit der Ausfräsungen im Boden- und Deckenbereich wird durch den weiteren Montageablauf der Aufbauten gesperrt. Die Abhängigkeit entspricht ebenfalls einer sequentiellen Montageabfolge.

⁷¹¹ In Anlehnung an Durmisevic 2010, 171.

11.9. Geometrie der Fügstellen

Eine Beurteilung der Leitungsführung (I) gemäß der Varianten -A, -B und -C, ist hinsichtlich ihrer Fügstellengeometrie für die gegenständliche Untersuchung nicht zielführend.

11.10. Verbindungsarten und Auswertung der Verbindungen

Unter Verbindungsarten erfolgt auf Basis der Systemausschnitte gemäß Abb. 7.14, 7.15 und 7.16 eine Betrachtung der Verbindungen zwischen Elektro- und Sanitärinstallation und den Wand- und Deckenelementen der BSP-Rohbaukonstruktion. Zur Bewertung der verwendeten Verbindungsarten wird als Beurteilungsmerkmal die Lösbarkeit der Verbindungsmittel herangezogen. Auf Grund der Vielzahl an unterschiedlichen Verbindungsmitteln kann eine Betrachtung nur prinzipiell erfolgen, ohne auf die Art der Leitungen näher einzugehen. Daher bleibt auch eine Beurteilung des Wiederverwendungspotentials der Verbindungspartner in Folge des Lösen der Verbindungen sowie das Wiederverwendungspotential der Verbindungsmittel selbst unberücksichtigt. Auswahl und Bemessung nach statischen und bauphysikalischen Erfordernissen sowie technische Regelwerke und Verarbeitungsrichtlinien der Hersteller finden keine Berücksichtigung. Nachfolgende Verbindungsmittel werden daher nur beispielhaft herangezogen.

Deckenmontage von Elektro- und Sanitärinstallation



Abbildung 11.5: Elektroleitungen im Fußboden Aufbau⁷¹² (links)

Abbildung 11.6: Anschluss Doppelwaschbecken⁷¹³ (rechts)

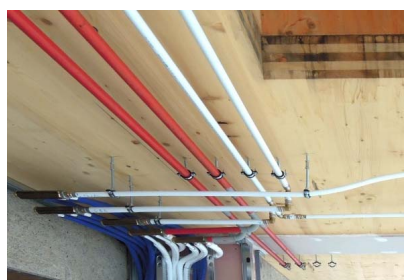


Abbildung 11.7: Trink- und Heizwasserleitungen in abgehängter Decke⁷¹⁴ (links)

Abbildung 11.8: Rohrschelle⁷¹⁵ (rechts)

⁷¹² KLH Massivholz GmbH (Hg.): Montage und Installation 2012, 22.

⁷¹³ KLH Massivholz GmbH (Hg.): Montage und Installation 2012, 22.

⁷¹⁴ Schickhofer/Schmid 2014, A-10.

⁷¹⁵ Rohrschelle,

<http://www.muepro.at/produkte/angebot/roherschellen/MUEPRO-Rohrschellensortiment.html>, 25.08.2016.

Das Verlegen der Elektrokabel erfolgt in der Regel in Schutzrohren, die über Klemm-, Nagel-, oder Bügelschellen an der tragenden BSP-Deckenkonstruktion befestigt werden (Abb. 11.5, 11.8, 11.9, 11.10, 11.12).

Im Bodenbereich werden häufig Lochbänder zur Befestigung verwendet (11.5). Je nach Untergrund werden die Befestigungsschellen bzw. Bänder über Schraub- oder Nagelverbindungen mit dem Untergrund verbunden. Zur Befestigung von Rohrleitungen stehen, je nach Anwendungsfall und Art der Rohre, eine Vielzahl von Schellentypen und dem entsprechenden Montagezubehör zur Verfügung⁷¹⁶ (Abb. 11.8): In der Regel erfolgt die Montage der Rohrschellen oder Rohrklemmen einzeln oder über eine Installationsschiene am Untergrund gebündelt.

Die Verbindungen werden über Schraub- oder Gewindebolzen gehalten. Durch den Einsatz von Schraub- und Nagelverbindungen bei der Montage von Kabel- und Rohrschellen kann eine gute Lösbarkeit der Verbindungspartner gewährleistet werden (vgl. Abb. 4.36).

Wandmontage von Elektro- und Sanitärinstallation

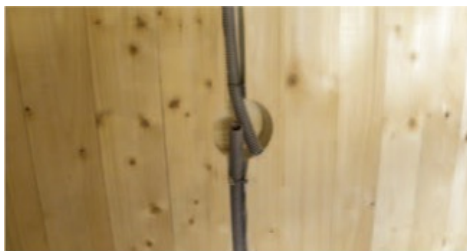


Abbildung 11.9: Leerverrohrung in Ausfräsung⁷¹⁷ (links)

Abbildung 11.10: Wandinstallation von Elektroleitungen in Leerverrohrung⁷¹⁸ (rechts)



Abbildung 11.11: Wasserführende Leitungen in Installationswand⁷¹⁹ (links)

Abbildung 11.12: Klemmschelle mit Leerrohr⁷²⁰ (rechts)

⁷¹⁶ Befestigungstechnik,

<http://www.muepro.at/produkte/Kompetenzfelder/Befestigungstechnik.html>, 13.09.2016.

⁷¹⁷ KLH Massivholz GmbH (Hg.): Montage und Installation 2012, 18.

⁷¹⁸ Zumbrunnen 2014, B-13.

⁷¹⁹ Schickhofer/Schmid 2014, A-7.

⁷²⁰ Klemmschelle,

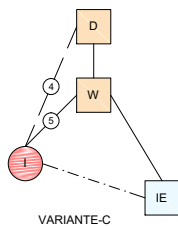
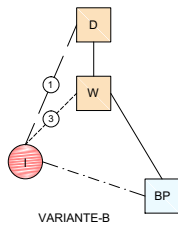
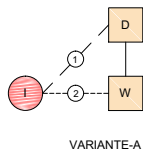
<https://eshop.wuerth.de/ELMO-Klemmschelle-SHEL-KLEMM-M-KST-EN32/0971555032.sku/de/DE/EUR/>, 21.09.2016.

Die Wandmontage der Installationen erfolgt ebenfalls über Kabel- und Rohrschellen (vgl. Abb. 11.8, 11.12). Die Verbindung der Kabel und Rohre mit den Wand- und Deckenelementen erfolgt in der Regel in zwei Schritten⁷²¹. Der erste Schritt beinhaltet die Montage der Kabel- und Rohrschellen. Klemmschellen für die Aufnahme der Elektro-Verrohrungen werden im Holzmassivbau anhand von Schraub- und Nagelverbindungen gehalten. Die Montage der Rohrschellen zur Aufnahme der Sanitär-Installationen erfolgt in der Regel über das Einschrauben einer Ansatzschraube oder Stockschraube in den Untergrund. Danach wird die Schelle, im Falle einer Anschlussmutter, auf den Schraubbolzen aufgesetzt. Erst der zweite Schritt beinhaltet Installation kann in den meisten Fällen die Schraub- und Nagelverbindung zwischen Schelle und Untergrund, nicht gelöst werden. Erst nach erfolgter Demontage der Installation kann die Verbindung zwischen Schelle die Aufnahme der Installation in der Schelle. Nach erfolgter Montage der und Untergrund wieder gelöst werden. Folglich handelt es sich gemäß Abb. 4.35 um kraftschlüssige Verbindungen, dessen Verbindungsteile innenliegend angeordnet sind.

⁷²¹ Schnellmontagesystem Varifix. Rohr-/Kälteschellen, SML-Verbinder, Schlauchschellen, https://www.wuerth.de/web/media/downloads/pdf/meine_branche/sanitaer_heizung_klima/schnellmontagesystem_varifix_teil2.pdf, 18.10.2016.

Auswertung der Verbindungen

In Tabelle 11.2 erfolgt eine Beurteilung der Verbindungen hinsichtlich ihrer Lösbarkeit und der Zugänglichkeit der Verbindungsstellen.



- 1 E-INSTALLATION IM BODENAUFBAU
- 2 E-INSTALLATION IN BOHRUNG
- 3 E-INSTALLATION IN AUSFRÄSUNG
- 4 SAN-INSTALLATION IM BODENAUFBAU
- 5 SAN-INSTALLATION IN INSTALLATIONSWAND

Stoffschlüssige Verbindung
 Formschlüssige Verbindung ohne zusätzliche Verbindungsteile
 Formschlüssige Verbindung mit zusätzlichen Verbindungsteilen
 Kraftschlüssige Verbindungen mit innenliegenden Verbindungsteilen
 Kraftschlüssige Verbindungen mit außenliegenden Verbindungsteilen

Zugänglichkeit der Verbindungsstellen ohne zusätzliche Demontageschritte
 Zugänglichkeit der Verbindungsstellen mit zusätzlichen Demontageschritten ohne Schaden
 Zugänglichkeit der Verbindungsstellen mit zusätzlichen Demontageschritten mit Schaden reparabel
 Zugänglichkeit der Verbindungsstellen mit zusätzlichen Demontageschritten mit Schaden irreparabel
 Verbindungsstellen nicht zugänglich

Nr.:	Bezeichnung	Beziehung / Abhängigkeit	Anzahl	Lösbarkeit der Verbindung			Zugänglichkeit der Verbindungsstellen		
				gering	↔	hoch	hoch	↔	gering
1	E-Installation im Bodenaufbau	I - D	2x			X		X	
2	E-Installation in Bohrung	I - W	1x			X		X	
3	E-Installation in Ausfräsung	I - W	1x			X		X	
4	SAN-Installation im Bodenaufbau	I - D	1x			X		X	
5	SAN-Installation in Installationswand	I - W	1x			X		X	

1...Anzahl der Beziehungen lt. Systemausschnitt je Geschoss

Tabelle 11.2: Auswertung der Verbindungen hinsichtlich ihrer Lösbarkeit und Zugänglichkeit zwischen Elektro- und Sanitärinstallation und den Wand- und Deckenelementen der BSP-Rohbaukonstruktion

Abbildung 11.13: Übersicht Verbindungen (oben links)

11.11. Zugänglichkeit der Verbindungen

Die Zugänglichkeit der Verbindungsstellen zwischen Elektro- und Sanitärinstallation und den Wand- und Deckenelementen der BSP-Rohbaukonstruktion wird auf Basis des Beziehungsdiagrammes erläutert (Abb. 11.4). Innerhalb der Nutzungseinheiten Bodenaufbau, Decke und Beplankung bzw. Installationsebene erfolgt die Anordnung der Bauteile ausschließlich in Form sequentiellen Montageabfolgen und somit in gegenseitiger Abhängigkeit. Das heißt, je höher die Verbindung in der Montaghierarchie angeordnet ist, desto mehr Demontageschritte sind erforderlich bzw. Bauteile müssen entfernt werden, um die jeweilige Verbindung zu erreichen (vgl. Abb. 10.2, 11.4).

Durch die Integration der Installation (I) in der Wand (W) ist die Zugänglichkeit über die Wand in Ausführungsvariante-A nicht gegeben. Die Zugänglichkeit bzw. die Möglichkeit der Anspeisung der Installation erfolgt entweder über eine Ausfräsung im Boden- bzw. Deckenbereich der Wand oder im Bereich der Bohrung für Schalter und Steckdosen (Abb. 7.14). Nach der Montage des Bodenaufbaus und der abgehängten Decke ist die Zugänglichkeit der Installation (I) nicht mehr gegeben. Die Zugänglichkeit der Ausfräsung in der BSP-Wand und der Installation im Boden- und Deckenbereich wird durch die Demontage sämtlicher Bauteile des Fußbodens (5.0, 5.0a, 5.0c) und der abgehängten Decke (6.0a, 6.0b) gewährleistet.

Demnach wird von einer grundsätzlichen Erreichbarkeit der Installationen ausgegangen, die jedoch einige Demontageschritte erfordert. Darüber hinaus kann die Demontage einiger Bauteile nicht schadenfrei durchgeführt werden. Schaden nehmen vor allem die Plattenwerkstoffe wie Gipsfaserplatten, Gipskartonplatten und der Fertigteilstrich, die zur Aufnahme der Oberflächen bzw. Nutzschichten an ihren Fügestellen nach den Verarbeitungsrichtlinien der Hersteller entsprechend verschraubt, grundiert und gespachtelt werden müssen. Der Schaden wird als reparabel gewertet.

Aus dem Montagediagramm ist zu entnehmen, dass gemäß der Ausführungsvarianten-B und -C, die Montage der Beplankung (BP), der Installationsebene (IE) sowie Decken- und Bodenaufbauten nach der Montage der Installation (I) erfolgt (vgl. Abb. 10.2, 11.3). Um die Zugänglichkeit der Verbindungsstellen im Demontageprozess zu gewährleisten, müssen zuvor sämtliche Nutzungseinheiten entfernt werden. Zugänglichkeit und Schadensbild der Verbindungen analog zu Ausführungsvariante-A.

12. Ergebnisse der Bewertung

12.1. Tragende Rohbaukonstruktion

			Gewichtung	Tragende Rohbaukonstruktion	Wert	
Beurteilungsmerkmale auf struktureller Ebene	A	Funktionstrennung - Funktionsintegration	Komplette Funktionstrennung	1.0	x	1.0
			Funktionsintegration in einem Bauteil mit denselben Austauschzyklen	0.6		
			Funktionsintegration in einem Bauteil mit unterschiedlichen Austauschzyklen	0.1		
	B	Funktionale Abhängigkeit	Unabhängige Nutzungseinheiten/ Funktionstrennung	1.0	1a*3, 1d*4 Luftdicht. x*8	0.44
			Notwendig zustande gekommene Abhängigkeit (Lösungsorientiert)	0.6		
			Geplante Abhängigkeit	0.3		
			Komplette Abhängigkeit/ Funktionsintegration	0.1		
	C	Systematischer Aufbau der Strukturebene	Ausschließlich Baugruppen	1.0	x	0.6
			Aufbau in Bauteilen und Baugruppen	0.8		
			Nur Bauteile	0.6		
			Aufbau in Materialien, Bauteilen und Baugruppen	0.4		
			Aufbau in Materialien und Bauteilen	0.2		
			Nur Materialien	0.1		
	D	Modularität	Clustern nach Funktionstrennung und Vorfertigung	1.0	x	0.1
			Clustern nach Funktionstrennung, Zusammenbau vor Ort	0.8		
			Zusammenfassen von Bauteilen mit ähnlichen Lebenszyklen und Vorfertigung	0.6		
			Zusammenfassen von Bauteilen mit ähnlichen Lebenszyklen, Zusammenbau vor Ort	0.4		
			Clustern zum Zwecke einer schnelleren Montage	0.2		
			Kein modularer Aufbau	0.1		
	E	Basisbauteil	Basisbauteil als Vermittler zwischen Nutzungseinheiten und Gesamtstruktur/Austauschcluster	1.0	1d 1a, Luftd. x*4	0.25
			Basisbauteil einer Nutzungseinheit als Vermittler für weitere Nutzungseinheiten	0.6		
			Bauteil einer Nutzungseinheit ist Basisbauteil für ein andere Nutzungseinheit	0.3		
			Keine Basisbauteil	0.1		
	F	Lebenszykluskoordination	LC lang: Montage zuerst- Demontage zuletzt / LC kurz: Montage zuletzt- Demontage zuerst	1.0	x	0.1
			Interpolieren in Abhängigkeit der Montageschritte/Hierarchie	0.6		
				0.3		
			LC kurz: Montage zuerst- Demontage zuletzt / LC Lang: Montage zuletzt- Demontage zuerst	0.1		
	G	Hierarchie und Anordnung der Teile	Ausschließlich vertikale Beziehungen innerhalb der Nutzungseinheiten	1.0	1d, 2, 1f 2, 0c, 2, 1b 1a, 2, 0b	0.33
Beziehungen (horizontal) in den unteren Ebenen der Montagehierarchie			0.6			
Beziehungen (horizontal) zw. unteren und oberen Ebenen der Montagehierarchie			0.3			
Beziehungen (horizontal) in den oberen Ebenen der Montagehierarchie			0.1			
H	Montageablauf	Parallele offene Montage	1.0	1d x*11	0.18	
		Verschachtelte Montage	0.6			
		Basiselement in verschachtelter Montage	0.4			
		Sequentielle geschlossene Montage	0.1			
I	Geometrie der Fügstellen	Offene Bauteilkanten	1.0	x	1.0	
		Symmetrisch überlappende Bauteilkanten	0.8			
		Einseitig überlappende Bauteilkanten	0.6			
		Assymetrisch überlappende Bauteilkanten	0.4			
		Geschlossen einseitig eingebaut	0.2			
		Geschlossen beidseitig eingebaut	0.1			
J	Verbindungsarten	Kraftschlüssige Verbindungen mit außenliegenden Verbindungsteilen	1.0	2, 4, 8 1, 3 5, 6	0.7	
		Kraftschlüssige Verbindungen mit innenliegenden Verbindungsteilen	0.8			
		Formschlüssige Verbindungen mit zusätzliche Verbindungsteilen	0.6			
		Formschlüssige Verbindungen ohne zusätzliche Verbindungsteile	0.4			
		Stoffschlüssige Verbindungen	0.1			
K	Zugänglichkeit der Verbindungen	Zugänglichkeit der Verbindungsstellen ohne zusätzliche Demontageschritte	1.0	2, 4, 8 3, 5 1, 6	0.83	
		Zugänglichkeit der Verbindungsstellen mit zusätzlichen Demontageschritten ohne Schaden	0.8			
		Zugänglichkeit der Verbindungsstellen mit zusätzlichen Demontageschritten mit Schaden reparabel	0.6			
		Zugänglichkeit der Verbindungsstellen mit zusätzlichen Demontageschritten mit Schaden irreparabel	0.4			
		Nicht Zugänglich	0.1			

Tabelle 12.1: Bewertungsergebnisse der tragenden Rohbaukonstruktion auf struktureller Ebene

Ergebnisse der Bewertung

						Brettspertholz	Verb. Stahl verz.	Fugendichtbänder	Schwellenholz	Bauwerksdichtung	
Beurteilungsmerkmale auf materieller Ebene	L	Kreislauffähigkeit der Materialien	Nachweis zur Kreislaufführung (Recycling)	1.0		0.9	x	x	x	x	
			Angaben zu Umweltwirkungen des Produktes	0.5							
			Kein Nachweis	0.1							
	M	Stoffliche Vielfalt und deren Verträglichkeit	BT/BG aus einem Material (Monostoffsysteme)	1.0		0.54					
			BT/BG aus Materialkombinationen einer Stoffklasse (Monostoffverbundsysteme)	0.8			x				
			BT/BG aus verwertungskompatiblen Materialkombinationen	0.6				x	x	x	
			BT/BG aus nicht verwertungskompatiblen Materialkombinationen aber separierbar	0.4							
			BT/BG als Verbundkonstruktionen nicht verwertungskompatibel und nicht separierbar	0.1							x
	N	Substitution durch Recyclingbaustoffe	Produktrecycling	1.0		0.56	x			x	
			Materialrecycling	0.6				x			
			Primärrohstoffe	0.1					x		x
	O	Schadstoffe und recyclingkritische Störstoffe	Keine Schadstoffe oder recyclingkritischen Störstoffe	1.0		0.82	x	x	x	x	
			Störstoffe entfernbar ohne Schaden zu verursachen	0.5							
			Störstoffe entfernbar mit Schadensverursachung	0.1							x
	P	Materialkennzeichnung und Dokumentation	Kennzeichnung beinhaltet stoffliche Zusammensetzung, zugänglich	1.0		0.1					
			Kennzeichnung beinhaltet stoffliche Zusammensetzung, nur unter Demontageaufwand zugänglich	0.6							
			Sonstige Kennzeichnungen, die eine Identifizierung ermöglichen	0.4							
			Keine Kennzeichnung	0.1			x	x	x	x	x

Tabelle 12.2: Bewertungsergebnisse der tragenden Rohbaukonstruktion auf stofflicher Ebene

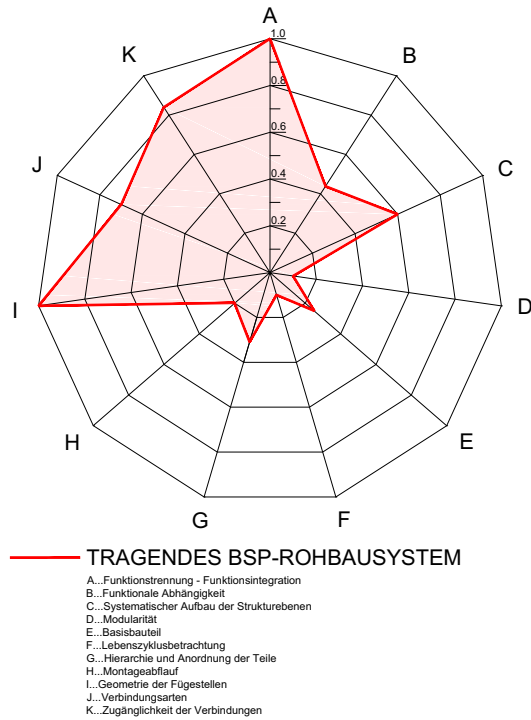


Abbildung 12.1: Bewertungsergebnisse der tragenden Rohbaukonstruktion auf struktureller Ebene

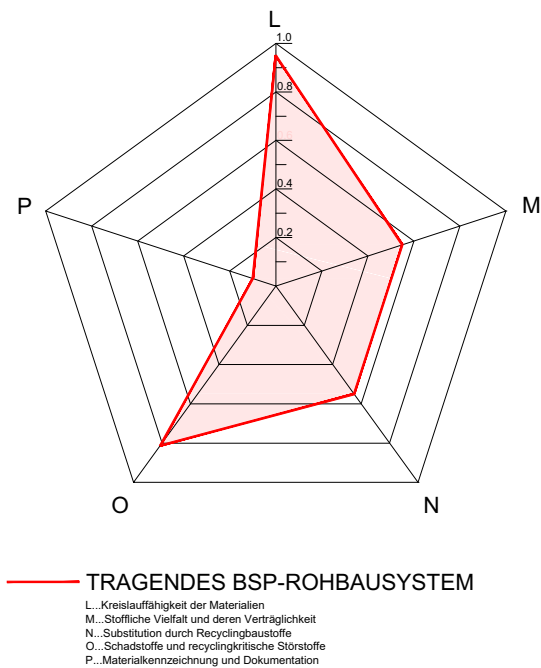


Abbildung 12.2: Bewertungsergebnisse der tragenden Rohbaukonstruktion auf stofflicher Eben

12.2. Fassade – Dach

		Gewichtung	Fassade hinterlüftet			Dach	Durchschnittswert	
			Fassade hinterlüftet	Sockelabdämmung	Dach			
Beurteilungsmerkmale auf struktureller Ebene	A	Funktionstrennung - Funktionsintegration	Komplette Funktionstrennung	1.0	x	x	x	1.0
		Funktionsintegration in einem Bauteil mit denselben Austauschzyklen	0.6					
		Funktionsintegration in einem Bauteil mit unterschiedlichen Austauschzyklen	0.1					
	B	Funktionale Abhängigkeit	Unabhängige Nutzungseinheiten/ Funktionstrennung	1.0		x		0.53
			Notwendig zustande gekommene Abhängigkeit (Lösungsorientiert)	0.6				
			Geplante Abhängigkeit	0.3	x		x	
			Komplette Abhängigkeit/ Funktionsintegration	0.1				
	C	Systematischer Aufbau der Strukturebene	Ausschließlich Baugruppen	1.0	x	x	x	1.0
			Aufbau in Bauteilen und Baugruppen	0.8				
			Nur Bauteile	0.6				
			Aufbau in Materialien, Bauteilen und Baugruppen	0.4				
			Aufbau in Materialien und Bauteilen	0.2				
			Nur Materialien	0.1				
	D	Modularität	Clustern nach Funktionstrennung und Vorfertigung	1.0				0.33
			Clustern nach Funktionstrennung, Zusammenbau vor Ort	0.8				
			Zusammenfassen von Bauteilen mit ähnlichen Lebenszyklen und Vorfertigung	0.6				
			Zusammenfassen von Bauteilen mit ähnlichen Lebenszyklen, Zusammenbau vor Ort	0.4	x	x		
			Clustern zum Zwecke einer schnelleren Montage	0.2			x	
Kein modularer Aufbau			0.1					
E	Basisbauteil	Basisbauteil als Vermittler zwischen Nutzungseinheiten und Gesamtstruktur/Austauschcluster	1.0	x	x	x	1.0	
		Basisbauteil einer Nutzungseinheit als Vermittler für weitere Nutzungseinheiten	0.6					
		Bauteil einer Nutzungseinheit ist Basisbauteil für ein andere Nutzungseinheit	0.3					
		Keine Basisbauteil	0.1					
F	Lebenszyklusbetrachtung	LC lang: Montage zuerst- Demontage zuletzt / LC kurz: Montage zuletzt- Demontage zuerst	1.0	x	x	x	1.0	
		Interpolieren in Abhängigkeit der Montageschritte/Hierarchie	0.6					
		LC kurz: Montage zuerst- Demontage zuletzt / LC Lang: Montage zuletzt- Demontage zuerst	0.1					
G	Hierarchie und Anordnung der Teile	Ausschließlich vertikale Beziehungen innerhalb der Nutzungseinheiten	1.0		x		0.47	
		Horizontale Beziehungen in den unteren Ebenen der Montagehierarchie	0.6					
		Horizontale Beziehungen zw. unteren und oberen Ebenen der Montagehierarchie	0.3	x				
		Horizontale Beziehungen in den oberen Ebenen der Montagehierarchie	0.1			x		
H	Montageablauf	Parallele offene Montage	1.0		x	x	0.73	
		Verschachtelte Montage	0.6	x		x		
		Basiselement in verschachtelter Montage	0.4					
		Sequentielle geschlossene Montage	0.1					
I	Geometrie der Fügstellen	Offene Bauteilkanten	1.0	x	x	x	1.0	
		Symmetrisch überlappende Bauteilkanten	0.8					
		Einseitig überlappende Bauteilkanten	0.6					
		Assymetrisch überlappende Bauteilkanten	0.4					
		Geschlossen einseitig eingebaut	0.2					
		Geschlossen beidseitig eingebaut	0.1					
J	Verbindungsarten	Kraftschlüssige Verbindungen mit außenliegenden Verbindungsteilen	1.0	3, 4			0.46	
		Kraftschlüssige Verbindungen mit innenliegenden Verbindungsteilen	0.8					
		Formschlüssige Verbindungen mit zusätzliche Verbindungsteilen	0.6					
		Formschlüssige Verbindungen ohne zusätzliche Verbindungsteile	0.4					
		Stoffschlüssige Verbindungen	0.1		1	5, 5		
K	Zugänglichkeit der Verbindungen	Zugänglichkeit der Verbindungsstellen ohne zusätzliche Demontageschritte	1.0				0.48	
		Zugänglichkeit der Verbindungsstellen mit zusätzlichen Demontageschritten ohne Schaden	0.8					
		Zugänglichkeit der Verbindungsstellen mit zusätzlichen Demontageschritten mit Schaden reparabel	0.6	3, 4				
		Zugänglichkeit der Verbindungsstellen mit zusätzlichen Demontageschritten mit Schaden irreparabel	0.4		1	5, 5		
		Nicht Zugänglich	0.1					

Tabelle 12.3: Bewertungsergebnisse Fassade-Dach auf struktureller Ebene

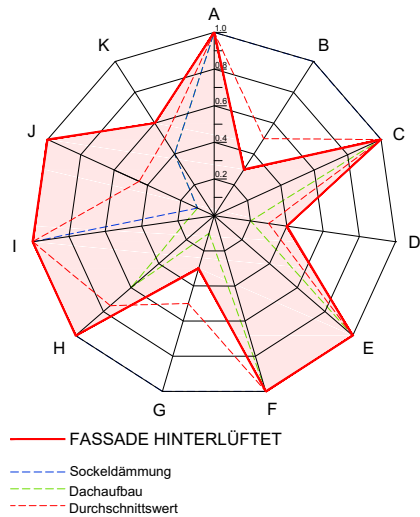


Abbildung 12.3: Bewertungsergebnisse Fassade hinterlüftet

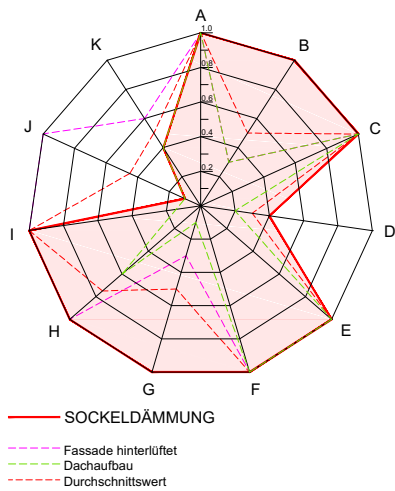
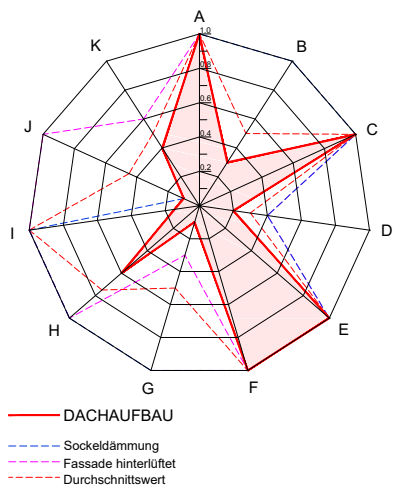


Abbildung 12.4: Bewertungsergebnisse Sockeldämmung



- A...Funktionstrennung - Funktionsintegration
- B...Funktionale Abhängigkeit
- C...Systematischer Aufbau der Strukturebenen
- D...Modularität
- E...Basisbauteil
- F...Lebenszyklusbetrachtung
- G...Hierarchie und Anordnung der Teile
- H...Montageablauf
- I...Geometrie der Fugestellen
- J...Verbindungsarten
- K...Zugänglichkeit der Verbindungen

Abbildung 12.5: Bewertungsergebnisse Dachaufbau

12.3. Boden – Decke – Vorsatzschale

		Gewichtung	Boden Decke Vorsatzschale			Wert			
			Boden	Decke	Vorsatzschale				
A	Funktionstrennung - Funktionsintegration	Komplette Funktionstrennung	1.0	x	x	x	1.0		
		Funktionsintegration in einem Bauteil mit denselben Austauschzyklen	0.6						
		Funktionsintegration in einem Bauteil mit unterschiedlichen Austauschzyklen	0.1						
B	Funktionale Abhängigkeit	Unabhängige Nutzungseinheiten/ Funktionstrennung	1.0	x	x	x	1.0		
		Notwendig zustande gekommene Abhängigkeit (Lösungsorientiert)	0.6						
		Geplante Abhängigkeit	0.3						
		Komplette Abhängigkeit/ Funktionsintegration	0.1						
C	Systematischer Aufbau der Strukturebene	Ausschließlich Baugruppen	1.0	x	x	x	1.0		
		Aufbau in Bauteilen und Baugruppen	0.8						
		Nur Bauteile	0.6						
		Aufbau in Materialien, Bauteilen und Baugruppen	0.4						
		Aufbau in Materialien und Bauteilen	0.2						
		Nur Materialien	0.1						
D	Modularität	Clustern nach Funktionstrennung und Vorfertigung	1.0				0.4		
		Clustern nach Funktionstrennung, Zusammenbau vor Ort	0.6						
		Zusammenfassen von Bauteilen mit ähnlichen Lebenszyklen und Vorfertigung	0.6						
		Zusammenfassen von Bauteilen mit ähnlichen Lebenszyklen, Zusammenbau vor Ort	0.4	x	x	x			
		Clustern zum Zwecke einer schnelleren Montage	0.2						
		Kein modularer Aufbau	0.1						
E	Basisbauteil	Basisbauteil als Vermittler zwischen Nutzungseinheiten und Gesamtstruktur/Austauschcluster	1.0	x	x	x	1.0		
		Basisbauteil einer Nutzungseinheit als Vermittler für weitere Nutzungseinheiten	0.6						
		Bauteil einer Nutzungseinheit ist Basisbauteil für ein andere Nutzungseinheit	0.3						
		Keine Basisbauteil	0.1						
F	Lebenszyklusbetrachtung	LC lang: Montage zuerst- Demontage zuletzt / LC kurz: Montage zuletzt- Demontage zuerst	1.0	x	x	x	1.0		
		Interpolieren in Abhängigkeit der Montageschritte/Hierarchie	0.6						
		LC kurz: Montage zuerst- Demontage zuletzt / LC Lang: Montage zuletzt- Demontage zuerst	0.3						
			0.1						
G	Hierarchie und Anordnung der Teile	Ausschließlich vertikale Beziehungen innerhalb der Nutzungseinheiten	1.0	x	x	x	0.5		
		Horizontale Beziehungen in den unteren Ebenen der Montagehierarchie	0.6						
		Horizontale Beziehungen zw. unteren und oberen Ebenen der Montagehierarchie	0.3						
		Horizontale Beziehungen in den oberen Ebenen der Montagehierarchie	0.1						
H	Montageablauf	Parallele offene Montage	1.0	x	x		0.73		
		Verschachtelte Montage	0.6			x			
		Basiselement in verschachtelter Montage	0.4						
		Sequentielle geschlossene Montage	0.1						
I	Geometrie der Fügstellen	Offene Bauteilkanten	1.0	x	x	x	1.0		
		Symmetrisch überlappende Bauteilkanten	0.8						
		Einseitig überlappende Bauteilkanten	0.6						
		Assymetrisch überlappende Bauteilkanten	0.4						
		Geschlossen einseitig eingebaut	0.2						
		Geschlossen beidseitig eingebaut	0.1						
J	Verbindungsarten	Kraftschlüssige Verbindungen mit außenliegenden Verbindungsteilen	1.0	3	5	2	4	1	1.0
		Kraftschlüssige Verbindungen mit innenliegenden Verbindungsteilen	0.8						
		Formschlüssige Verbindungen mit zusätzliche Verbindungsteilen	0.6						
		Formschlüssige Verbindungen ohne zusätzliche Verbindungsteile	0.4						
		Stoffschlüssige Verbindungen	0.1						
K	Zugänglichkeit der Verbindungen	Zugänglichkeit der Verbindungsstellen ohne zusätzliche Demontageschritte	1.0						0.6
		Zugänglichkeit der Verbindungsstellen mit zusätzlichen Demontageschritten ohne Schaden	0.8						
		Zugänglichkeit der Verbindungsstellen mit zusätzlichen Demontageschritten mit Schaden reparabel	0.6	3	5	2	4	1	
		Zugänglichkeit der Verbindungsstellen mit zusätzlichen Demontageschritten mit Schaden irreparabel	0.4						
		Nicht Zugänglich	0.1						

Tabelle 12.4: Bewertungsergebnisse Boden-Decke-Vorsatzschale auf struktureller Ebene

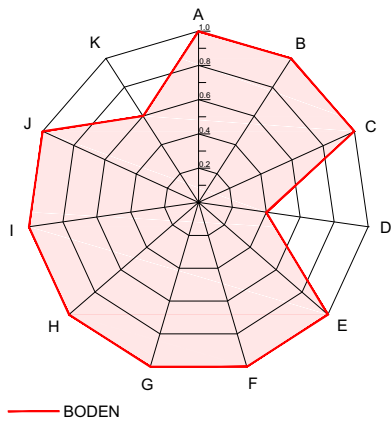


Abbildung 12.6: Bewertungsergebnisse Boden

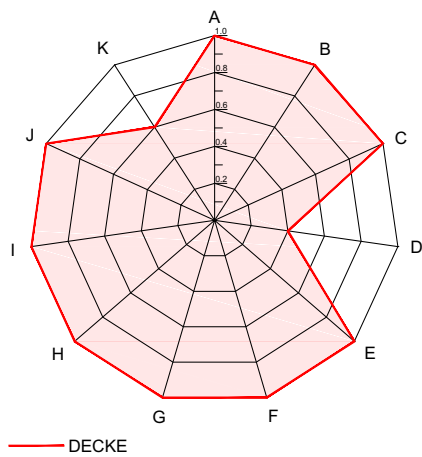
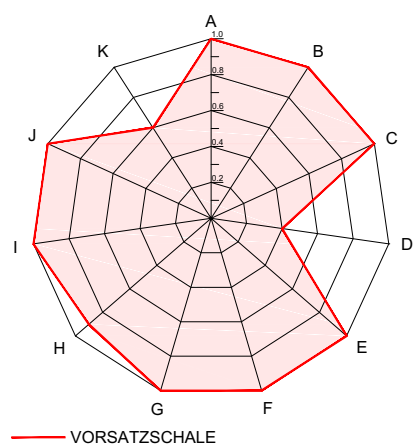


Abbildung 12.7: Bewertungsergebnisse Decke



- A...Funktionstrennung - Funktionsintegration
- B...Funktionale Abhängigkeit
- C...Systematischer Aufbau der Strukturebenen
- D...Modularität
- E...Basisbauteil
- F...Lebenszyklusbetrachtung
- G...Hierarchie und Anordnung der Teile
- H...Montageablauf
- I...Geometrie der Fügstellen
- J...Verbindungsarten
- K...Zugänglichkeit der Verbindungen

Abbildung 12.8: Bewertungsergebnisse Vorsatzschale

12.4. Gebäudetechnik

		Gewichtung	Variante-A	Variante-B	Variante-C	Wert-A	Wert-B	Wert-C		
Beurteilungsmerkmale auf struktureller Ebene	A	Funktionstrennung - Funktionsintegration	Komplette Funktionstrennung	1.0						
		Funktionsintegration in einem Bauteil mit denselben Austauschzyklen	0.6	x	x	x	0.6	1.0	1.0	
		Funktionsintegration in einem Bauteil mit unterschiedlichen Austauschzyklen	0.1							
	B	Funktionale Abhängigkeit	Unabhängige Nutzungseinheiten/ Funktionstrennung	1.0						
			Notwendig zustande gekommene Abhängigkeit (Lösungsorientiert)	0.6	x	x*2	x*3	0.35	0.5	0.6
			Geplante Abhängigkeit	0.3		2				
			Komplette Abhängigkeit/ Funktionsintegration	0.1	x					
	C	Systematischer Aufbau der Strukturebene	Ausschließlich Baugruppen	1.0						
			Aufbau in Bauteilen und Baugruppen	0.8		x	x			
			Nur Bauteile	0.6	x			0.6	0.8	0.8
			Aufbau in Materialien, Bauteilen und Baugruppen	0.4						
			Aufbau in Materialien und Bauteilen	0.2						
			Nur Materialien	0.1						
	D	Modularität	Clustern nach Funktionstrennung und Vorfertigung	1.0						
			Clustern nach Funktionstrennung, Zusammenbau vor Ort	0.8		x	x			
			Clustern von Bauteilen mit ähnlichen Lebenszyklen und Vorfertigung	0.6						
			Clustern von Bauteilen mit ähnlichen Lebenszyklen, Zusammenbau vor Ort	0.4						
			Clustern zum Zwecke einer schnelleren Montage	0.2	x			0.2	0.8	0.8
			Kein modularer Aufbau	0.1						
	E	Basisbauteil	Basisbauteil als Vermittler zwischen Nutzungseinheiten und Gesamtstruktur/Austauschcluster	1.0		x	x			
			Basisbauteil einer Nutzungseinheit als Vermittler für weitere Nutzungseinheiten	0.6				0.1	1.0	1.0
			Bauteil einer Nutzungseinheit ist Basisbauteil für ein andere Nutzungseinheit	0.3						
			Keine Basisbauteil	0.1	x					
	F	Lebenszyklusbetrachtung	LC lang: Montage zuerst- Demontage zuletzt / LC kurz: Montage zuletzt- Demontage zuerst	1.0	x	x	x	1.0	1.0	1.0
			Interpolieren in Abhängigkeit der Montageschritte/Hierarchie	0.6						
			LC kurz: Montage zuerst- Demontage zuletzt / LC Lang: Montage zuletzt- Demontage zuerst	0.3						
				0.1						
G	Hierarchie und Anordnung der Teile	Ausschließlich vertikale Beziehungen innerhalb der Nutzungseinheiten	1.0							
		Horizontale Beziehungen in den unteren Ebenen der Montagehierarchie	0.6		DE		0.35	0.1	0.1	
		Horizontale Beziehungen zw. unteren und oberen Ebenen der Montagehierarchie	0.3							
		Horizontale Beziehungen in den oberen Ebenen der Montagehierarchie	0.1	BO	x	x				
H	Montageablauf	Parallele offene Montage	1.0							
		Verschachtelte Montage	0.6				0.1	0.1	0.1	
		Basiselement in verschachtelter Montage	0.4							
		Sequentielle geschlossene Montage	0.1	x	x	x				
I	Geometrie der Fügstellen	Offene Bauteilkanten	1.0							
		Symmetrisch überlappende Bauteilkanten	0.8							
		Einseitig überlappende Bauteilkanten	0.6							
		Assymetrisch überlappende Bauteilkanten	0.4							
		Geschlossen einseitig eingebaut	0.2							
		Geschlossen beidseitig eingebaut	0.1							
J	Verbindungsarten	Kraftschlüssige Verbindungen mit außenliegenden Verbindungsteilen	1.0							
		Kraftschlüssige Verbindungen mit innenliegenden Verbindungsteilen	0.8	1, 2	1, 3	4, 5	0.8	0.8	0.8	
		Formschlüssige Verbindungen mit zusätzliche Verbindungsteilen	0.6							
		Formschlüssige Verbindungen ohne zusätzliche Verbindungsteile	0.4							
		Stoffschlüssige Verbindungen	0.1							
K	Zugänglichkeit der Verbindungen	Zugänglichkeit der Verbindungsstellen ohne zusätzliche Demontageschritte	1.0							
		Zugänglichkeit der Verbindungsstellen mit zusätzlichen Demontageschritten ohne Schaden	0.8							
		Zugänglichkeit der Verbindungsstellen mit zusätzlichen Demontageschritten mit Schaden reparabel	0.6	1, 2	1, 3	4, 5	0.6	0.6	0.6	
		Zugänglichkeit der Verbindungsstellen mit zusätzlichen Demontageschritten mit Schaden irreparabel	0.4							
Nicht Zugänglich	0.1									

Tabelle 12.5: Bewertungsergebnisse Gebäudetechnik auf struktureller Ebene

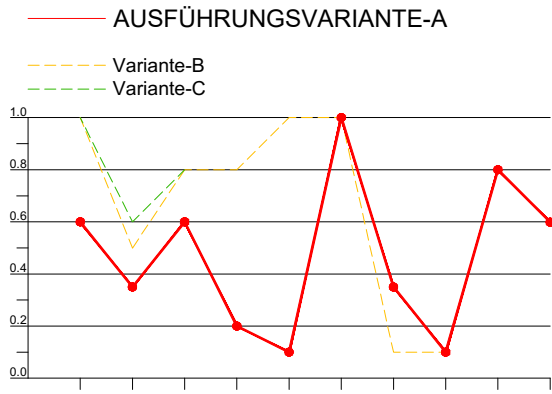


Abbildung 12.9: Bewertungsergebnisse Variante-A

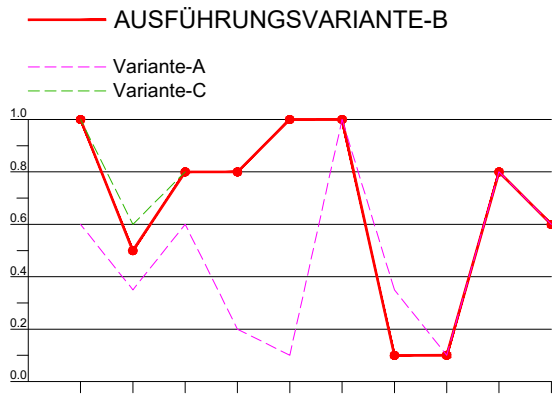


Abbildung 12.10: Bewertungsergebnisse Variante-B

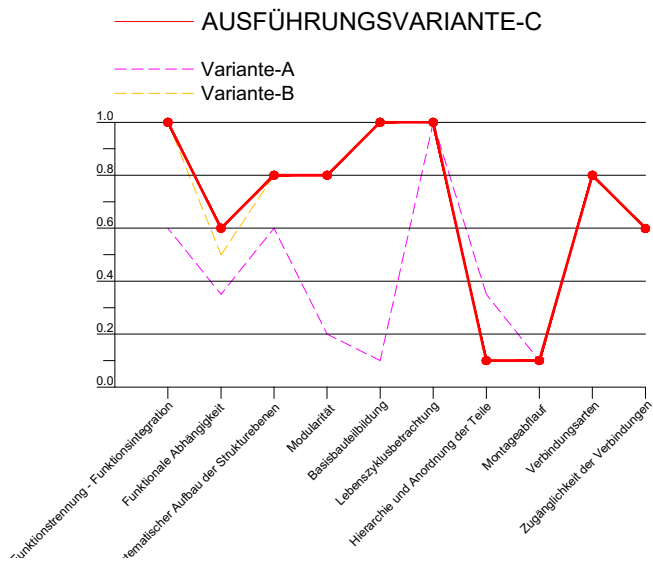


Abbildung 12.11: Bewertungsergebnisse Variante-C

13. Optimierung und kritische Analyse der Ergebnisse

Entsprechend den Bewertungen gemäß Kapitel 12 erfolgt eine Optimierung und kritische Analyse der Ergebnisse, vorerst getrennt für die jeweiligen Bereiche:

- Tragende Rohbaukonstruktion
- Fassade-Dach
- Boden-Decke-Vorsatzschale
- Gebäudetechnik

Die Argumentation zur Nachvollziehbarkeit der Bewertungsergebnisse kann grundsätzlich den Abschnitten zur Analyse und Bewertung der jeweiligen Bereiche entnommen werden. Eine Optimierung und kritische Analyse betrifft vorwiegend jene Bereiche und Aspekte, deren Bewertungsergebnisse auf eine geringe Demontage- bzw. Recyclingfähigkeit hinweisen.

13.1. Tragende BSP-Rohbaukonstruktion

Die zur Bewertung der funktionalen Gliederung (A, B, C, D) und hierarchischen Anordnung der Bauteile (E, F, G, H) herangezogenen Aspekte weisen zum Teil Ergebnisse auf, die auf eine geringe Demontagefähigkeit der tragenden BSP-Rohbaukonstruktion hinweisen (Tabelle 12.1). Demnach werden die Demontageaspekte von A-H gemäß Tabelle 6.17 in den nachfolgenden Abschnitten einer genaueren Analyse und Optimierung unterzogen.

Zum Aufbau der Strukturebenen des tragenden BSP-Rohbausystems

Die Anordnung der Bauteile zur Gewährleistung der Funktionen (Anforderungen) Feuchteschutzes (1a, 1d) und Luftdichtheit (2.0b, 2.0c, 2.1b, 2.1f) erzeugen Abhängigkeiten im strukturellen Aufbau (Abb. 8.1). Gemäß Abb. 8.3 erzeugen die Bauteile Abdichtung horizontal (1a) und Abdichtung vertikal (1d) Abhängigkeiten, die als notwendig zustande gekommene zu qualifizieren sind. Wobei sich die Abhängigkeit der Abdichtung vertikal (1d) als unproblematisch erweist, da ihre Zugänglichkeit bzw. Demontierbarkeit durch eine parallele Montage grundsätzlich gewährleistet ist (Abb. 8.2). Hingegen erzeugt die Abdichtung horizontal (1a) durch die sequentielle Montage ein Abhängigkeitsverhältnis zur restlichen BSP-Rohbaukonstruktion.

Zur Gewährleistung der Luftdichtheit der BSP-Konstruktion sind sämtliche Bauteilkanten und Fugen zwischen den Bauteilen und zu den angrenzenden Bauteilen abzudichten⁷²². Zur Untersuchung wurden Fugendichtbänder gemäß Abb. 8.4 und 8.5 herangezogen. Da seitens BSP-Hersteller alternative Abdichtungssysteme zur Verfügung stehen, wurden der Einsatz der Fugendichtbänder und die daraus resultierenden Abhängigkeiten als geplante Abhängigkeiten gewertet (Abb. 8.3). Die Anordnung der Fugendichtbänder, zwischen den Auflager- und Stoßfugen der BSP-Elemente, erlauben eine ausschließlich sequentielle Montageabfolge (Abb. 8.2). Hingegen ermöglichen Stoßfugenverklebungen an der Innen- bzw. Außenseite der BSP-Elemente eine parallele Montage der Klebebänder (Abb. 13.1).

⁷²² Vgl. Stora Enso (Hg.) 2012, Kap. Bauphysik.

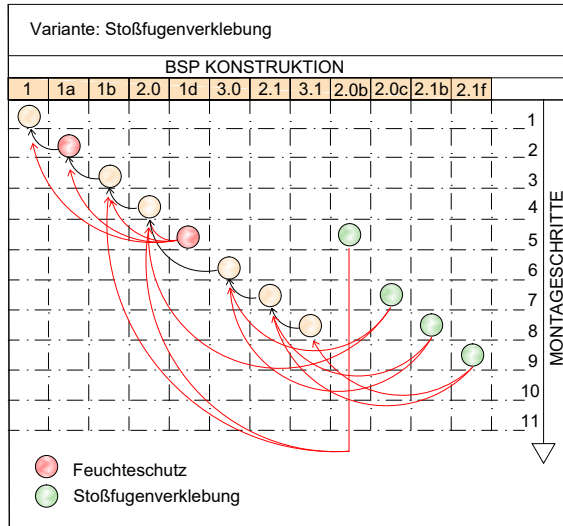


Abbildung 13.1: Montagediagramm tragende Rohbaukonstruktion OPTIMIERUNG

Eine Neubewertung der funktionalen Abhängigkeit, unter Betrachtung von innen bzw. außen-seitig verklebten Stoßfugen, zeigt eine Verbesserung im Vergleich zu den ursprünglich herangezogenen Fugendichtbändern. Die darin bewertete Abhängigkeit der Stoßfugenverklebungen wird als lösungsorientierte bzw. notwendig zustande gekommene Abhängigkeit gewertet (Tabelle 13.1).

Funktionale Abhängigkeit	Unabhängige Nutzungseinheiten	1		0.44		OPT. 0.6
	(notwendig) zustande gekommene Abhängigkeit (Lösungsorientiert)	0.6	1a*3, 1d*4		1a*3, 1d*4 Luftdicht. X*8	
	Geplante Abhängigkeit	0.4	Luftdicht. X*8			
	Komplette Abhängigkeit/Funktionsintegration	0.1				

Tabelle 13.1: Bewertung: Funktionale Abhängigkeit OPTIMIERUNG

Die Abhängigkeit zwischen den tragenden Elementen (Fundament, Schwellenholz und BSP-Elemente), dem Feuchteschutz (1a, 1d) und der Luftdichtheit (2.0b, 2.0c, 2.1b, 2.1f) (vgl. Abb. 8.3), spiegelt sich auch im strukturellen Aufbau wider. Das bedeutet, dass die eigentliche BSP-Konstruktion auf den Feuchteschutz und die Luftdichtheit angewiesen ist, um die geforderte Funktionalität des Gesamtsystems (BSP-Rohbausystem) zu erfüllen (Abb. 8.6). Die fehlende Modularität bzw. die hohe Bauteil-Integration haben zur Folge, dass der Tausch der Bauteile Feuchteschutz (1a) und Luftdichtheit (2.0b, 2.0c, 2.1b, 2.1f), mit Ausnahme des Bauteils (1d) bzw. der alternativen Stoßfugenverklebung gemäß Abb. 13.1, zur Beeinträchtigung der gesamten BSP-Rohbaukonstruktion führt (vgl. Abb. 8.2). Eine Neubewertung, unter Berücksichtigung der funktionalen Abhängigkeiten gemäß Abb. 13.1 bzw. Tabelle 13.1, führt zu keiner Verbesserung des strukturellen Aufbaues und der Modularität gemäß Tabelle 12.1.

Zur hierarchischen Anordnung der Bauteile des tragenden BSP-Rohbausystems

Unter Betrachtung der Bauteillebensdauern nach [723] (Abb. 8.7), ist davon auszugehen, dass die Bauteile Feuchteschutz (1a, 1d) und Luftdichtheit (2.0b, 2.0c, 2.1b, 2.1f) einmal getauscht werden müssen, um ihre geforderten Eigenschaften ohne Einschränkung bis zum Erreichen der angenommenen 50-jährigen Nutzungsdauer der gesamten tragenden BSP-Rohbaukonstruktion zu erfüllen. Nach Kalusche⁷²⁴ erfolgt die Bemessung der technischen Lebensdauer von Bauteilen unter Berücksichtigung zahlreicher Einflüsse gemäß Abb. 4.39.

Je nach Einsatzgebiet der Bauteile kann die Wirkung der Einflüsse (Beanspruchung) variieren und dadurch die Lebensdauer der Bauteile unter günstigen Bedingungen verlängern. Demnach kann es durchaus möglich sein, dass die Fugendichtbänder, auf Grund ihrer „geschützten“ Anordnung im Stoßfugenbereich der BSP-Elemente, beispielsweise geringeren Umwelteinflüssen ausgesetzt sind und sich dadurch ihre Lebensdauer verlängern kann. Dem gegenüber steht beispielsweise die Instandhaltung der Fugendichtbänder, die nach erfolgtem Einbau nicht mehr möglich ist, da die Fugendichtbänder nicht mehr zugänglich sind. Im Falle einer außenliegenden Stoßfugenverklebung kann sich die Zugänglichkeit der Klebebänder positiv auf die Lebensdauer auswirken, jedoch durch Einflüsse von außen wieder verkürzen (vgl. Bauteile Feuchteschutz – 1a, 1d). Auf alle Fälle positiv wirkt sich die Alternativausführung via Stoßfugenverklebung auf die Lebenszykluskoordination der Bauteile, in Abhängigkeit ihrer Montagehierarchie, aus (Abb. 13.2, Tabelle 13.2).

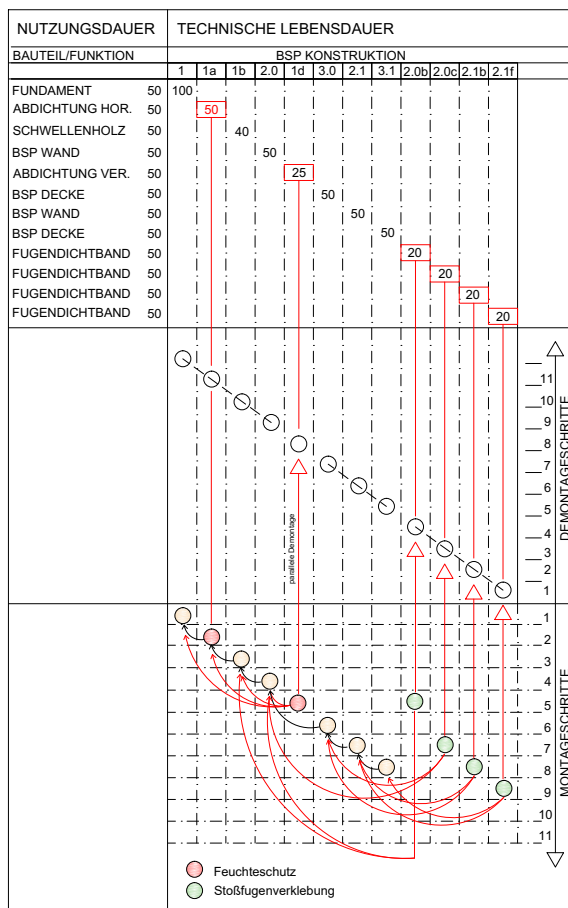


Abbildung 13.2: Lebenszyklusbetrachtung der Bauteile des tragenden BSP-Systems in Abhängigkeit der Montage- bzw. Demontagehierarchie OPTIMIERUNG

⁷²³ Bund Technischer Experten e.V. (Hg.) 2008.

⁷²⁴ Vgl. Kalusche 2004, 3.

Lebenszykluskoordination	LC lang: Montage zuerst- Demontage zuletzt / LC kurz: Montage zuletzt – Demontage zuerst	1		0.1	2.0b, 2.0c, 2.1b, 2.1f, 1d	OPT. 0.85
	Interpolieren in Abhängigkeit der Montageschritte	0.6				
		0.3				
LC kurz: Montage zuerst- Demontage zuletzt / LC Lang: Montage zuletzt – Demontage zuerst	0.1	x		1a		

Tabelle 13.2: Bewertung: Lebenszykluskoordination OPTIMIERUNG

Die Montage der kurzlebigen Klebebänder erfolgt erst nach der Montage der BSP-Elemente, die eine längere Lebensdauer aufweisen. Demnach erlaubt der Demontageprozess das Entfernen der kurzlebigen Bauteile zuerst und die Demontage der langlebigen Bauteile zuletzt. Die parallele Montage des Feuchteschutzes vertikal (1d) zeigt ebenfalls positive Eigenschaften in Bezug auf die Lebenszykluskoordination (Abb. 13.2). Weiterhin problematisch zeigt sich die Anordnung des Feuchteschutzes horizontal (1a) gegen aufsteigende Feuchtigkeit (Abb. 8.7).

Wie bereits in Zusammenhang der Luftdichtheit erwähnt, kann die tatsächliche Lebensdauer der Abdichtung horizontal (1a) von den Bauteileigenschaften, der Ausführungsqualität, der Beanspruchung und der Wartungs- und Instandhaltungsintervalle, beeinflusst werden⁷²⁵. Die Lebenserwartung der Bauteile wird deshalb mit „von-bis-Werten“⁷²⁶ angegeben. Eine Neubewertung der Lebenszyklusbetrachtung, unter Annahme einer längeren Lebensdauer des Bauteils Abdichtung horizontal (1a), zeigt Abb. 13.2. Hierbei wird ersichtlich, dass sich die Abhängigkeit des Bauteils (1a) als unproblematisch erweist, da sich dessen Lebensdauer mit der geplanten 50-jährigen Nutzungsdauer deckt und somit keinem vorzeitigen Austauschzyklus unterliegt.

Positive Auswirkungen zeigt die Alternativausführung mit außenliegend verklebten Stoßfugen auf die Demontagehierarchie und das Demontageverhalten (Abb. 13.3). Die parallele Montage der einzelnen Klebebänder erlaubt eine ebenso parallele Demontage, ohne die gesamte Struktur zu beeinträchtigen (vgl. Tabellen 13.3, 13.4).

⁷²⁵ Kompetenzzentrum „Kostengünstig qualitätsbewusst Bauen“ im Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V. an der TU Berlin (Hg.): Lebensdauer von Bauteilen und Bauteilschichten 2006, 2.

⁷²⁶ Ebda., 2006, 2.

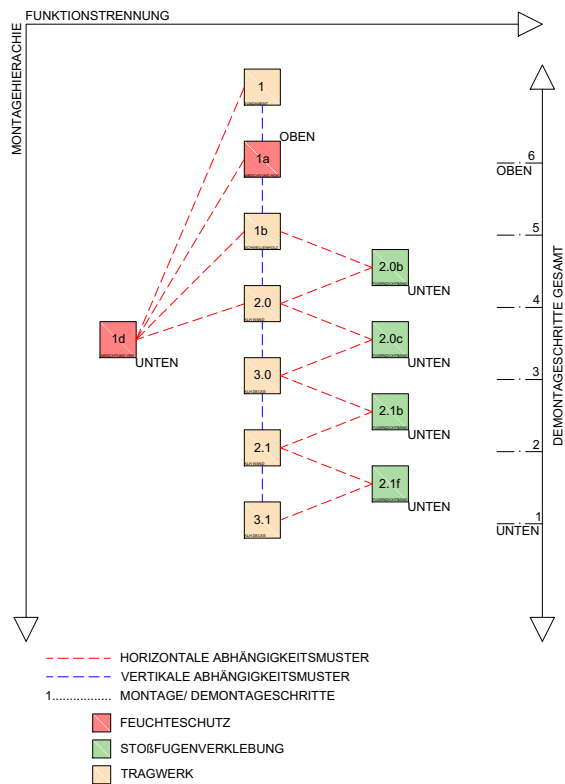


Abbildung 13.3: Hierarchie und Anordnung der Beziehungen zwischen den Funktionen OPTIMIERUNG

Hierarchie und Anordnung	ausschließlich vertikale Beziehungen innerhalb der Nutzungseinheiten	1		0.33		OPT. 0.52
	Beziehungen (horizontal) in den unteren Ebenen der Montagehierarchie	0.6	1d, 2.1f		1d, 2.0b, 2.0c, 2.1b, 2.1f	
	Beziehungen (horizontal) zw. unteren und oberen Ebenen der Montagehierarchie	0.3	2.0c, 2.1b			
	Beziehungen (horizontal) in den oberen Ebenen der Montagehierarchie	0.1	1a, 2.0b		1a	

Tabelle 13.3: Bewertung: Beziehungsmuster OPTIMIERUNG

Montageablauf	Parallele, offene Montage	1	1d	0.18	1d, 2.0b, 2.0c, 2.1b, 2.1f	OPT. 0.48
	Verschachtelte Montage	0.6				
	Basiselement in verschachtelter Montage	0.4				
	Sequentielle geschlossene Montage	0.1	x*11		x*7	

Tabelle 13.4: Bewertung: Montageablauf OPTIMIERUNG

Auf Grund der Abhängigkeitsverhältnisse der außenliegenden Stoßfugenverklebungen (Abb. 13.3) kann das Tragwerk (1, 1b, 2.0, 3.0, 2.1, 3.0) als Basisbauteil für die Klebebänder gewertet werden (Tabelle 13.5).

Basisbauteil	Basisbauteil als Vermittler zwischen Nutzungseinheiten und Gesamtstruktur/Austauschcluster	1	1d	0,25	1d, 2.0b, 2.0c, 2.1b, 2.1f	OPT. 0.85
	Basisbauteil einer Nutzungseinheit als Vermittler für weitere Nutzungseinheiten	0.6				
	Bauteil einer Nutzungseinheit ist Basisbauteil für eine andere Nutzungseinheit	0.4				
	Kein Basisbauteil	0.1	1a, Luftd. x*4		1a	

Tabelle 13.5: Bewertung: Basisbauteilbildung OPTIMIERUNG

Zu den Verbindungen der Bauteile des tragenden BSP- Rohbausystems

Die zur Bewertung der Verbindungen herangezogenen Aspekte zeigen jeweils Ergebnisse zwischen 0.6 und 1.0 (Tabelle. 12.1). Gemäß den definierten Gewichtungen von 0.0 bis 1.0 ermöglichen demnach die Verbindungen ein grundsätzliches Trennen und Separieren der Bauteile. In der Regel kann damit ein hochwertiges Recycling sichergestellt werden. Eine weitere Optimierung gemäß den Demontageaspekten (I, J, K) (Tabelle. 12.1) scheint daher in Anbetracht der Bewertungsergebnisse nicht zielführend. Die Bewertungsergebnisse werden nachfolgend kurz erläutert.

Eine offene Kanten geometrie der Bauteile kann eine parallele Entnahme aus einer Gebäudestruktur grundsätzlich erleichtern. Vorausgesetzt, das Bauteil ist als unabhängiger Gebäudeteil definiert. Obwohl die Tragwerksteile der BSP-Rohbaukonstruktion offene Kanten-Geometrien aufweisen, können einzelne Teile auf Grund der gegenseitigen Abhängigkeit in Folge des Kraftflusses nicht entnommen bzw. getauscht werden. Die Demontage der Tragwerksteile ist nur in entgegengesetzter Montagerichtung bzw. in sequentieller Demontageabfolge möglich (Abb. 8.2). Demnach scheint eine Beurteilung der Tragwerksteile hinsichtlich der Kantenausführung nicht zielführend. Da aber BSP-Elemente bzw. ihre Kanten präzise vorgefertigt werden und dadurch nicht nur eine rasche und saubere Montage, sondern auch Demontage ermöglichen, wurde die Ausführung der Bauteilkanten in die Bewertung mitaufgenommen (Tabelle. 12.1).

Mit Ausnahme der Fugendichtbänder und Feuchteabdichtung werden sämtliche Verbindungen des tragenden BSP-Rohbausystems als gut lösbar gewertet (Tabelle 12.1). Durch die nahezu schadlose Demontage des Tragwerkes ist ein hohes Wiederverwendungspotential der BSP-Bauteile gegeben (Tabelle 8.2). Unter Betrachtung der Lösbarkeit erweisen sich die stoffschlüssigen Verbindungen der Fugendichtbänder und Feuchteabdichtung als problematisch. Die Flämm- und Klebeverbindungen der bituminösen Abdichtungsbahnen erlauben es kaum, sortenrein von ihren Verbindungspartnern getrennt und repariert zu werden. Ihr Lösen führt in der Regel zur Zerstörung der Feuchteabdichtung und zur Verunreinigung beider Verbindungspartner. Ein hochwertiges Recycling gemäß Abb. 2.6 wird dadurch verhindert (vgl. Abschnitt 8.13). Das Lösen der stoffschlüssigen Verbindung zwischen Fugendichtbänder und BSP-Bauteilen stellt einen erheblichen zeitlichen Aufwand dar. Entsprechende Vorbereitungen sind notwendig, um die mit Dichtbändern verunreinigten BSP-Bauteile einer Wiederverwendung zuzuführen (vgl. Abschnitt 8.13).

Die Zugänglichkeit der Verbindungen ist grundsätzlich gegeben (Tabelle 12.1). Eine genaue Erläuterung ist dem Abschnitt 8.10, Auswertungen der Verbindungen, zu entnehmen.

Die Ergebnisse der Optimierungsmaßnahmen für das tragende BSP-Rohbausystem sind der nachstehenden Abbildung zu entnehmen (Abb. 13.4).

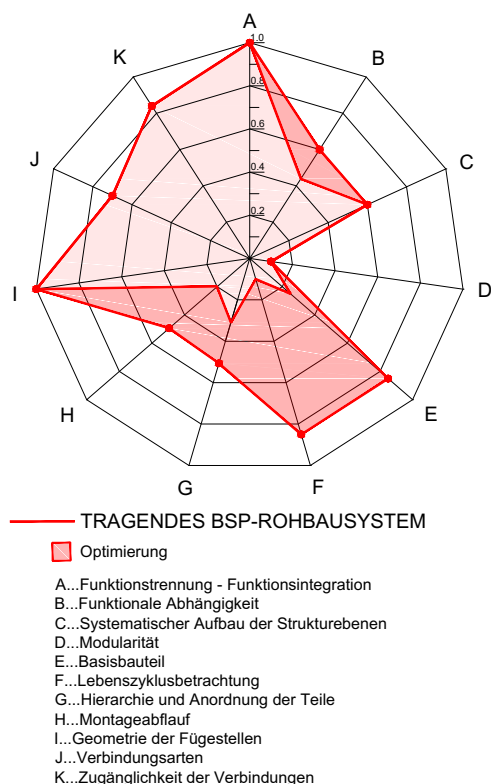


Abbildung 13.4: Bewertungsergebnisse der tragenden Rohbaukonstruktion auf struktureller Ebene nach der Optimierung

Zur Verwertbarkeit der Komponenten des BSP-Rohbausystems

Die zur Bewertung der Recyclingfähigkeit herangezogenen Aspekte weisen zum Teil auf eine hohe Verwertbarkeit der systemimmanenten Komponenten des tragenden BSP-Rohbausystems hin (Abb. 12.2, Tabelle 12.2).

Mit Ausnahme der bituminösen Bauwerksabdichtung der Firma VILLAS kann die Kreislauffähigkeit sämtlicher zum System gehörender Komponenten durch Umwelt-Produktdeklarationen (EPD's) nachweislich erbracht werden. Die Firma Simpson Strong-Tie stellt für ihre Verbindungsteile aus verzinktem Stahl keine eigenen Umwelt-Produktdeklarationen zur Verfügung. Als Nachweis der Kreislaufführung wird der Prozess-Datensatz „End of Life“ von verzinktem Stahl herangezogen, dessen Datenmodellierung auf Basis der EN 15804 erfolgt⁷²⁷. Eine Produktliste der bituminösen Bauwerksabdichtungen der Firma VILLAS erfolgt in der österreichischen Materialdatenbank „www.baubook.at“. Die darin enthaltenen bauökologischen Kennwerte betreffen ausschließlich die Herstellungsphase A1- A3 gemäß EN 15804⁷²⁸. Angaben zur Nachnutzungsphase bzw. für den Recyclingprozess relevante Daten sind darin nicht enthalten (vgl. Abschnitt 8.12).

Unter Betrachtung der Verwertungsverträglichkeit sämtlicher Bauteilkomponenten des BSP-Rohbausystems erweist sich die bituminöse Bauwerksabdichtung als störend. (Tabelle 12.2). Bituminöse Abdichtungsbahnen werden über Flämm-, Klebe- und Gießverfahren verarbeitet

⁷²⁷ Prozess-Datensatz: Feuerverzinktes Stahlblech,
<http://www.oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/resource/datastocks/2996a689-b1ec-4b3b-a672-0c3a02afaa3d/processes/50c9e674-afd9-456c-9440-6506bec6d55b?format=html&lang=de>, 04.09.2016.

⁷²⁸ Baubook Deklarationszentrale – Produkte Villas,
<http://www.baubook.info/zentrale/>, 26.08.2016.

und gehen daher mit ihren Verbindungspartnern einen stoffschlüssigen Verbund ein. Unter den derzeitigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und Rückbautechniken ist ein sortenreines Trennen bzw. Separieren bituminöser Abdichtungen kaum möglich und führt zur Verunreinigung beider Verbindungspartner. Im Falle einer Verunreinigung mit anderen Fraktionen gelten Bitumen als nicht rezyklierbare Abfälle und müssen auf Grund der Inhomogenität deponiert werden⁷²⁹. Beim Ablösen der Feuchteabdichtung ist damit zu rechnen, dass Bitumen-, Kleber- und Haftvermittlerrückstände an den Verbindungspartnern haften bleiben. Diese Verunreinigungen verhindern in den meisten Fällen ein hochwertiges Recycling der Bauteile (vgl. Abschnitte 8.13, 8.15).

Unter Betrachtung der Umwelt- und Klimaentlastungspotentiale durch Substitution nicht erneuerbarer Primärrohstoffe nimmt Holz gegenüber anderen Baustoffen eine Sonderstellung ein. Im Falle der BSP-Elemente bzw. Holzbauteile handelt es sich in der Regel um keine erneute Nutzung von gebrauchten Produkten (Produktrecycling), sondern um den Einsatz eines nachwachsenden Rohstoffes, mit dessen Hilfe nicht erneuerbare Baustoffe bzw. Primärrohstoffe substituiert werden können (Tabelle 12.2), (vgl. Abschnitt 8.14).

Die Komponenten des BSP-Rohbausystems weisen gemäß dem Aspekt Materialkennzeichnung und Dokumentation (P) keine Kennzeichnungen auf, die Aufschluss über die stoffliche Zusammensetzung geben (Tabelle 12.2). Hierbei ist zu erwähnen, dass eine stoffliche Kennzeichnung die Identifikation der zu trennenden Fraktionen im Zuge eines Rückbaues erleichtert, jedoch keinen direkten Einfluss auf die Kreislauffähigkeit der Bauteile nimmt (vgl. Abschnitt 5.8). Solange der Gesetzgeber keine verbindlichen Anforderungen an die Kennzeichnung von Bauteilen und Werkstoffen für Bauwerke formuliert, wird sich in Anbetracht der Vielzahl an Herstellern und Produkten wenig ändern (vgl. Materialkennzeichnung in der Automobilindustrie gemäß Altfahrzeugrichtlinie 2000/53/EG 2000). Mit Building Information Modeling (BIM) steht nun der Baubranche unter anderem auch ein „Gebäudeinformationssystem“ zur Verfügung, das problemlos zur Dokumentation recyclingrelevanter Informationen, wie der stofflichen Zusammensetzung von Bauteilen, Wartungs- und Instandhaltungsintervallen, Demontageanleitungen und Verwertungsoptionen, herangezogen werden kann.

13.2. Fassade – Dach

Anhand der strukturellen Analyse des BSP-Bausystems (Abb. 9.1) ist eine hierarchische Gliederung gemäß dem Konzept der „Shearing Layers of Change“ nach Brand bzw. nach Brenner festzustellen (vgl. Abb. 3.3, 3.4 mit Abb. 9.3). Demnach erlaubt das BSP-System eine Gliederung der obersten Hierarchieebene nach den gewählten Untersuchungsbereichen, die die Austauschcluster bilden (vgl. Abb. 8.3, 9.3, 10.3, 11.2):

- Tragende BSP-Rohbausystem
- Hüllflächen (Fassade-Dach)
- Ausbau (Boden-Decke-Vorsatzschale)
- Gebäudetechnik

Die Hüllflächen des BSP-Bausystems, die ein Austauschcluster bilden, erlauben es wiederum gemäß Abb. 9.1 in mehrere Bauteilgruppen gegliedert zu werden. Jede Bauteilgruppe besteht aus mehreren Bauteilen usw.

Unter Betrachtung der funktionalen Abhängigkeiten weisen die Bauteilgruppen Fassade hinterlüftet und Dachaufbau im Bereich des Attika-Hochzuges eine gegenseitige Abhängigkeit auf

⁷²⁹ Vgl. BAWP 2011, 64.

(vgl. Abb. 9.1, 9.7, 9.9). Die Fassade bildet mit der Lattung längs (7.0a) und der Holzwerkstoffplatte (7.0h) den Attikahochzug, der zur Montage der Dampfsperre (8.0) und Dachabdichtung (8.0b) benötigt wird. Die Abhängigkeit erweist sich insofern als problematisch, weil zwischen Attikahochzug (7.0h) und dem bituminösen Abdichtungssystem des Daches eine stoffschlüssige Verbindung herrscht. Das Lösen der Verbindung führt zur Beeinträchtigung beider Verbindungspartner (Tabelle 9.2).

Werden nun die Lebenszyklen der Bauteile unter Berücksichtigung ihrer Montagehierarchie in die Betrachtung mit einbezogen, dann wird sich die Problematik der Abhängigkeit zwischen Fassade hinterlüftet und Dachaufbau wieder relativieren. Da sich die Bauteile mit kurzer Lebensdauer in der unteren Montagehierarchie befinden, können diese getauscht werden, ohne die gesamte Bauteilgruppe zu beeinflussen (vgl. Abb. 9.6). In der mittleren und oberen Montagehierarchie, wo sich auch die Abhängigkeit befindet, weisen die Bauteile der jeweiligen Bauteilgruppen ähnliche Lebenszyklen auf (vgl. Abb. 9.7). Demnach wird das Lösen der Verbindung (Abhängigkeit) hinfällig, da der Tausch bzw. die Demontage der Bauteilgruppen, die in Abhängigkeit stehen, ohnehin gleichzeitig erfolgt.

Um die geplante Abhängigkeit zwischen Fassade und Dach zu lösen, ist die Attikaausbildung, die den Hochzug der Dampfsperre und Dachabdichtung bildet, von der Fassade zu trennen (Abb. 13.5). Durch diese Maßnahme kann eine Neubewertung der funktionalen Abhängigkeit vorgenommen werden (Tabelle 13.6). Außerdem hat die Abhängigkeit zwischen Fassade und Dach zur Folge, dass die Montage des Daches nicht ohne die vorherige Montage der Fassaden-Unterkonstruktion erfolgen kann (vgl. Abb. 9.1, 9.2). Die Trennung zwischen Fassade und Dach gemäß Abb. 13.5 führt zu einer Änderung der Montagereihenfolge der Nutzungseinheiten Fassade, Dach und Sockeldämmung (Abb. 13.6). Die Montage der Dachkonstruktion erfolgt unabhängig von der Fassade. Jedoch erfordert die Montage der Fassade die vorherige Montage des Daches bzw. der Attika (7.0h) (vgl. Abb. 9.2 mit Abb. 13.6). Dieser Umstand eröffnet die Möglichkeit, vorgefertigte Fassadenelemente zu verwenden. Eine Neubewertung der Modularität, unter Betrachtung vorgefertigter Fassadenelemente, ist der Tabelle 13.7 zu entnehmen.

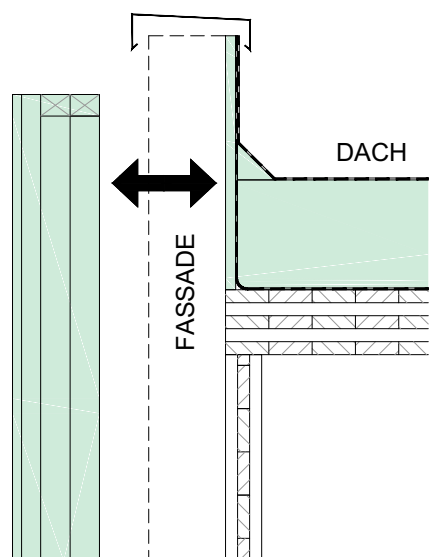


Abbildung 13.5: Prinzip-Darstellung: Funktionstrennung Fassade hinterlüftet und Dachaufbau auf Basis Abb. 9.9 nach Abb. 7.10

Funktionale Abhängigkeit	Unabhängige Nutzungseinheiten	1		x		0.53		x		OPT. 0.73	
	(notwendig) zustande gekommene Abhängigkeit (Lösungsorientiert)	0.6						x			x
	Geplante Abhängigkeit	0.3	x		x						
	Komplette Abhängigkeit/Funktionsintegration	0.1									
				Fassade hinterlüftet				Fassade hinterlüftet			
				Sockeldämmung				Sockeldämmung			
				Dach				Dach			

Tabelle 13.6: Bewertung: Funktionale Abhängigkeit OPTIMIERUNG

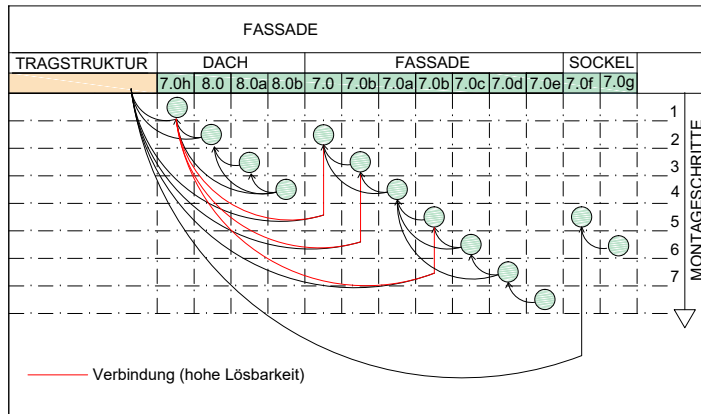


Abbildung 13.6: Montagediagramm Fassade-Dach OPTIMIERUNG

Modularität	Clustern nach Funktionstrennung und Vorfertigung	1				0.33				OPT. 0.4	
	Clustern nach Funktionstrennung, Zusammenbau vor Ort	0.8									
	Clustern von Bauteilen mit ähnlichen Lebenszyklen und Vorfertigung	0.6						x			
	Clustern von Bauteilen mit ähnlichen Lebenszyklen, Zusammenbau vor Ort	0.4	x	x					x		
	Clustern zum Zwecke einer schnelleren Montage	0.2			x						x
	kein modularer Aufbau	0.1									
				Fassade hinterlüftet				Fassade hinterlüftet			
				Sockeldämmung				Sockeldämmung			
				Dach				Dach			

Tabelle 13.7: Bewertung: Modularität OPTIMIERUNG

Unter Betrachtung der Verbindungsarten erweisen sich die stoffschlüssigen Verbindungen, zwischen Sockeldämmung und tragendem BSP-System sowie zwischen bituminösen Dachsystem und tragendem BSP-System als schwer lösbar (Tabelle 12.3). Alternativ zu den bituminösen Abdichtungssystemen der Firma Villas können Kunststoffabdichtungsbahnen genannt werden. Dampfsperr- und Abdichtungssysteme der Firma Sika⁷³⁰ (Sarnafil) erlauben neben einer vollflächigen Verklebung am Untergrund auch eine lose Verlegung der Bahnen. Je nach Anforderungen an das Dach werden lose verlegte Abdichtungs-, und Dampfsperrbahnen entweder mechanisch befestigt oder durch eine Beschwerung gesichert⁷³¹ (Abb. 13.7). Demnach sind lose verlegte Dachbahnen gut lösbar und können bei Umbau oder Nutzungsende selektiv zurückgebaut und recycelt werden. Eine Neubewertung der Verbindungsarten, unter Berücksichtigung lösbarer Kunststoffbahnen, ist der Tabelle 13.8 zu entnehmen.

Die Befestigungsprofile zur mechanischen Verankerung der Kunststoffbahnen werden durch systemkompatible Formteile überschweißt (Abb. 13.7). Die Verbindungsstellen werden durch das Entfernen der Überschweißung zugänglich gemacht. Eine Neubewertung der Zugänglichkeit, unter Betrachtung der Verbindungsmittel gemäß Abb. 13.7, erfolgt in Tabelle 13.9.

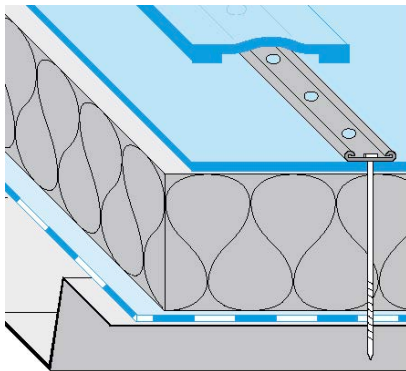


Abbildung 13.7: Befestigungsprofil System Sarnafil

			Fassade hinterlüftet	Sockeldämmung	Dach		Fassade hinterlüftet	Sockeldämmung	Dach	
Verbindungsarten	Kraftschlüssige Verbindungen mit außenliegenden Verbindungsteilen	1	3,4			0.46	3,4			OPT. 0.74
	Kraftschlüssige Verbindungen mit innenliegenden Verbindungsteilen	0.8							5,6	
	Formschlüssige Verbindungen mit zusätzliche Verbindungsteilen	0.6								
	Formschlüssige Verbindungen ohne zusätzliche Verbindungsteile	0.4								
	Stoffschlüssige Verbindungen	0.1		1	5,6			1		

Tabelle 13.8: Bewertung: Verbindungsarten OPTIMIERUNG

⁷³⁰ Sarnafil Kunststoffdichtungsbahnen, http://che.sarnafil.sika.com/de/solutions_products/001/001a001/001a001sa02.html, 17.12.2016.
⁷³¹ Sika Österreich GmbH 2008, 22.

			Fassade hinterlüftet	Sockeldämmung	Dach		Fassade hinterlüftet	Sockeldämmung	Dach	
Zugänglichkeit der Verbindungen	Zugänglichkeit der Verbindungsstellen ohne zusätzliche Demontageschritte	1				0,48				OPT. 0,56
	Zugänglichkeit der Verbindungsstellen mit zusätzlichen Demontageschritten ohne Schaden	0,8								
	Zugänglichkeit der Verbindungsstellen mit zusätzlichen Demontageschritten mit Schaden reparabel	0,6	3,4				3,4		5,6	
	Zugänglichkeit der Verbindungsstellen mit zusätzlichen Demontageschritten mit Schaden irreparabel	0,4		1	5,6			1		
	Nicht zugänglich	0,1								

Tabelle 13.9: Bewertung: Zugänglichkeit der Verbindungen OPTIMIERUNG

Die Verarbeitung der Perimeterdämmung wird als nicht demontagegerecht gewertet (vgl. Tabelle 12.3, Abschnitt 9.9, 9.10). Unter bestimmten Voraussetzungen ist ein loses Vorstellen der Dämmplatten möglich⁷³². Eine lose vorgestellte Dämmplatte kann grundsätzlich als gut lösbar und schadlos zugänglich gewertet werden. Auf eine Neubewertung, unter Berücksichtigung loser vorgestellter Perimeter-Dämmplatten, wird verzichtet.

13.3. Boden – Decke – Vorsatzschale

Der Aufbau des BSP-Bausystems (Abb. 10.1) erlaubt eine hierarchische Gliederung der Struktur gemäß dem Konzept der „Shearing Layers of Change“ nach Brand bzw. nach Brenner (vgl. Abb. 3.3, 3.4 mit Abb. 10.3). Die Nutzungseinheiten (Bauteilgruppen), bestehend aus Boden, Decke und Vorsatzschale, bilden gemeinsam ein Austauschcluster. Die Bauteilgruppen setzen sich wiederum aus mehreren Bauteilen zusammen (Abb. 10.3).

Die zur Bewertung der funktionalen Gliederung (A, B, C, D), der hierarchischen Anordnung der Bauteile (E, F, G, H) und der Verbindungen (I, J, K) herangezogenen Aspekte weisen, bis auf wenige Ausnahmen, Ergebnisse auf, die auf eine hohe Demontagefähigkeit der Einheiten Boden, Decke und Vorsatzschale hinweisen (Tabelle 12.4).

Das Kriterium Modularität bewertet in der gegenständlichen Untersuchung das Clustern von Bauteilen zu Bauteilgruppen, damit diese unabhängig von der restlichen Konstruktion getauscht, gewartet oder demontiert werden können. Dabei wird die Funktionstrennung beim Clustern von Bauteilen am stärksten gewichtet (vgl. Tabelle 6.4). Auf Ebene der Austauschcluster gemäß Abb. 3.3 stellen Boden, Decke und Vorsatzschale getrennte Funktionen (Nutzungseinheiten/Bauteilgruppen) dar (vgl. Abb. 10.3). Auf Bauteilgruppen-Ebene gemäß Abb. 3.3 besteht jede der drei Nutzungseinheiten aus mehreren Bauteilen, die unterschiedliche Aufgaben (Funktionen) erfüllen. Demnach werden bei der Beurteilung der Modularität die drei Nutzungseinheiten als eine Gruppierung von Bauteilen gewertet, die im Falle der Untersuchungsgegenstände ähnliche Lebenszyklen aufweisen und in Einzelteilen vor Ort zusammengebaut werden (Tabelle 12.4).

⁷³² Vgl. ÖNORM B 3692 2014, Pkt. 4.8.1, 6.5.

Grundsätzlich liegt zwischen den Nutzungseinheiten Boden, Decke und Vorsatzschale keine funktionale Abhängigkeit vor (vgl. Abb. 10.1). Die in Abb. 10.7 dargestellten „horizontalen“ Verbindungen zwischen den Einheiten indizieren Abhängigkeiten, die ausschließlich auf die Montageabfolge zurückzuführen sind (vgl. Abb. 10.2).

Unter Betrachtung der Verbindungen zwischen den Nutzungseinheiten und zwischen den Nutzungseinheiten und der tragenden BSP-Rohbaukonstruktion ist festzuhalten, dass zwischen den Nutzungseinheiten keine direkten Verbindungen herrschen (vgl. Abb. 10.17). Die Montage der Einheiten erfolgt ausschließlich an der tragenden BSP-Rohbaukonstruktion. Problematisch zeigen sich die Verkleidungswerkstoffe aus Gipsfaser- bzw. Gipskartonplatten, die auf Grund ihrer Verarbeitungstechniken nur unter entsprechendem Aufwand zu demontieren sind und dabei Schaden nehmen. (vgl. Tabelle 10.2). Eine mögliche Alternative stellen Verkleidungswerkstoffe dar, die über Klemm-, Schnapp- und Klettverschlüsse schadensfrei demontierbar sind und dadurch auch die Zugänglichkeit der Verbindungen zwischen den Nutzungseinheiten und der Tragstruktur erleichtern. Auf eine Neubewertung der Zugänglichkeit, unter Berücksichtigung alternativer Verkleidungswerkstoffe, wird verzichtet.

13.4. Gebäudetechnik

Wie bereits in Abschnitt 3.7.4 und Kap. 11 erläutert, beschränkt sich die Betrachtung ausschließlich auf die Integration der Leitungsführung im BSP-Bausystem gemäß den Konstruktionsvorschlägen nach Abb. 7.14, 7.15 und 7.16. Unter Betrachtung der herangezogenen Bewertungsaspekte weisen die Varianten -B und -C bis auf wenige Ausnahmen ähnliche Ergebnisse auf (vgl. Tabelle 12.5). Hingegen lassen die Bewertungsergebnisse der Variante-A im Bereich der funktionalen Gliederung auf ein schlechteres Demontageverhalten schließen (Tabelle 12.5). Die Vor- und Nachteile der drei Ausführungsvarianten der Leitungsführung werden nachfolgend erläutert.

Variante-B und -C erlauben, entsprechend der Einbindung der Installationen im strukturellen Aufbau des BSP-Systems, eine hierarchische Gliederung gemäß Abb. 3.3 bzw. 3.4. Eine klare Trennung der Funktionen zwischen tragender Rohbaukonstruktion, Installation und Ausbauelementen (Beplankung bzw. Installationsebene) liegt grundsätzlich vor (vgl. Abb. 11.2, Tabelle 11.1). In Anbetracht der kurzen Nutzungszyklen der gebäudetechnischen Komponenten erlaubt die Installationsintegration, in Form unabhängiger „Teilsysteme“, eine grundsätzlich flexible Handhabung in Bezug auf Austauschzyklen, Wartung und Instandsetzung. Wobei Variante-C eine höhere Flexibilität der Leitungsführung bietet, da diese frei im Zwischenraum der Vorsatzschale bzw. in der Installationsebene verteilt werden kann. Die Leitungsverteilung der Variante-B kann ausschließlich im Wandschlitz (Ausfräsung) des BSP-Wandelementes erfolgen.

Die bereits erwähnten Nutzungszyklen der gebäudetechnischen Komponenten sind nicht mit der technischen Lebensdauer der Rohrleitungen zu verwechseln, die für die Lebenszyklusbeurteilung mit 50 Jahren nach [733] bestimmt sind (vgl. Abschnitte 11.1, 11.6).

Variante-A sieht zur Installationsverteilung eine Bohrung im BSP-Wandelement vor. Dabei kommt es zur Funktionsintegration, bei der das BSP-Wandelement neben der Aufgabe des Tragens auch die Aufnahme der Installation übernimmt (vgl. Abb. 11.2, Tabelle 11.1). Dadurch ist die Zugänglichkeit der Installation, mit Ausnahme der punktuellen Ausfräsungen im Boden- und Deckenbereich sowie der Bohrungen für Schalter und Steckdosen in der BSP-Wand, nur eingeschränkt möglich (vgl. Abschnitt 11.11). Nachträgliche Änderungen bzw. Erweiterungen/Ergänzungen sind, mit Ausnahme der bereits vorhandenen Bohrungen, nur unter Beeinträchtigung der BSP-Wand bzw. deren Sichtqualität der Oberfläche möglich.

⁷³³ Bund Technischer Experten e.V. (Hg.) 2008.

Die Abhängigkeitsverhältnisse zwischen den Installationen und den Ausbauelementen (Boden, Decke und Beplankung bzw. Installationsebene) haben zur Folge, dass sich die Installationen im oberen Bereich der Montagehierarchie befinden (vgl. Abb. 11.4).

Das Montage- bzw. Demontageverhalten der Installationen wird demnach von der Montageabfolge der Ausbauelemente bestimmt (vgl. Abb. 11.3 – sequenzielle Montageabfolge). Das heißt, nach Fertigstellung der Verkleidungen kann die Zugänglichkeit der Installationen nur durch erheblichen Demontageaufwand gewährleistet werden. Unter Betrachtung der Montagehierarchie der Varianten-A, -B und -C weist Variante-A den geringsten Demontageaufwand auf. Durch das Entfernen der Decke oder des Bodens sind die Anschlussstellen (Ausfräsungen) zugänglich (Abb. 7.14).

Die zusätzliche Wandverkleidung und die daraus resultierende Abhängigkeit rückt die Installation der Variante-B und -C, im Vergleich zur Variante-A, in der Montagehierarchie weiter nach oben (Abb. 11.4). Um die Installationen ohne komplette Zerstörung der Gipsfaser bzw. Gipskartonplatten zugänglich zu machen, ist eine entsprechende Demontager Reihenfolge einzuhalten. Demnach erfordert die Demontage der Beplankung bzw. der Installationsebene die vorausgehende Demontage der Decke bzw. des Bodenaufbaus.

Da sich jede Ausführungsvariante nach entsprechenden Anforderungen richtet, ist eine vergleichende Bewertung nicht möglich. Grundsätzlich bietet eine eigene Installations-Ebene, unter Betrachtung der drei Varianten, für Installationen den größten Spielraum, nach entsprechenden Anforderungen adaptiert, ergänzt und verändert zu werden. Der Nachteil der „versteckten“ Leitungsführung ist der, dass sich das Demontageverhalten der Installation in der Regel nach dem Demontageverhalten der Installationsverkleidungen richten muss. Die zur Bewertung herangezogenen Verkleidungen aus Gipsfaser- bzw. Gipskartonwerkstoffen können nicht schadensfrei geöffnet und wieder geschlossen werden.

Nachfolgend werden einige Grundprinzipien einer für Holzkonstruktionen adäquaten Leitungsführung nach [734] in Anlehnung an [735] mit Schwerpunkt Geschossbauten in Holz-Massivbauweise dargelegt.

„Alle Medien für die Ver- und Entsorgung sind in einem zentralen vertikalen Schacht zusammengefasst. Dieser übernimmt die Verteilung vom Haustechnikraum aus in die jeweiligen Wohneinheiten. In den Wohneinheiten werden die Rohre und Leitungen in einer zentralen horizontalen Trasse geführt. Dies verringert den baulichen Aufwand, reduziert die brand- und schallschutztechnisch zu behandelnden Durchbrüche und erleichtert den Einbau, die Wartung und Reparatur sowie mögliche Erweiterungen bis hin zu Ausbau und Erneuerung.“⁷³⁶

„Für die Vorfertigung, die Montage, zukünftige Erweiterungen und den Rückbau ist die Trennung der Installationen von der Tragkonstruktion und den Ausbauelementen notwendig. Um dies zu erreichen, ist eine weitgehende Unabhängigkeit der Ebenen und eine klar abgegrenzte Versorgungsstrasse sowie die Vermeidung von Leitungsführungen in konstruktiven Elementen und in leicht veränderbaren Ausbauelementen notwendig. Leitungen und Rohre sollten reversibel verbunden werden.“⁷³⁷

„Alle Leitungstrassen und haustechnischen Komponenten müssen gut zugänglich sein. Dies wird erreicht durch eine entsprechende Position in der Wohneinheit und die Möglichkeit, die Verkleidungen über die gesamte Trassenlänge und alle Technikkomponenten einfach und störungsfrei zu öffnen und wieder zu verschließen.“⁷³⁸

⁷³⁴ Hausladen/Huber/Hilger 2008.

⁷³⁵ Schickhofer/Schmid 2014, A18-20.

⁷³⁶ Schickhofer/Schmid 2014, A18-20, zitiert nach Hausladen/Huber/Hilger 2008.

⁷³⁷ Schickhofer/Schmid 2014, A18-20, zitiert nach Hausladen/Huber/Hilger 2008.

⁷³⁸ Schickhofer/Schmid 2014, A18-20, zitiert nach Hausladen/Huber/Hilger 2008.

Demnach werden nachfolgend mögliche Optimierungen in Hinblick auf die Zugänglichkeit und Hierarchisierung der Leitungsführungen gemäß Varianten-A, -B und -C (vgl. Tabelle 12.5) genannt.

- Reversible Verkleidungswerkstoffe bei Boden, Decke und Vorsatzschalen
- Leitungsverteilung in zugänglichen Kanälen z.B. Sockelleisten, Boden,- Wand- und Deckenkanälen
- Sichtbare Leitungsverteilung

14. Zusammenfassung und Ausblick

14.1. Zusammenfassung

Den Hintergrund der vorliegenden Arbeit bilden die im 1. Kapitel dargelegten Fakten zum Ressourcenverbrauch im Gebäudesektor und die damit zusammenhängenden Umweltwirkungen. In der Europäischen Gemeinschaft herrscht Einigkeit darüber, mit rückgewonnenen Baustoffen und Bauteilen die Ressourceneffizienz zu steigern und somit auch die mit der Neuproduktion von Materialien einhergehenden negativen Umweltauswirkungen zu vermeiden. Das Ziel ist es, möglichst hochwertige Sekundärressourcen zu gewinnen, um damit den Einsatz von Primärrohstoffen zu substituieren. Interessanterweise zeigen uns historische Aufzeichnungen, dass in Zeiten knapper oder kaum vorhandener Baustoffe die in Gebäuden eingesetzten Materialien und Bauteile immer wieder für neue Bauaufgaben verwendet wurden (Kapitel 2). Um diese Baustoffe und Bauteile für denselben oder einen anderen Zweck wiederzuverwenden, durften die Gebäude nicht zerstört werden, sondern wurden sorgfältig auseinandergebaut. Natürlich ist hinzuzufügen, dass die „damaligen“ Anforderungen an eine Gebäudekonstruktion, nicht mit den heutigen zu vergleichen sind und sich demnach auch die Anzahl an unterschiedlichen Materialfraktionen auf wenige beschränkte⁷³⁹.

Dennoch wird daraus ersichtlich, dass die Demontagefähigkeit eines Gebäudes erst die Voraussetzung dafür schafft, dass Materialien und Bauteile rückgewonnen werden können.

Wird ein Trennen und Separieren der Bauteile nicht geboten, bleiben in der Regel nur der Abbruch und die Deponierung als Abfall. Hochwertige Rohstoffe und Energie gehen so verloren.

Auf den ersten Blick erscheint die Frage nach der Demontage- und Recyclingfähigkeit des BSP-Bausystems nicht zielführend. Vor allem vor dem Hintergrund der Ressourcenschonung und negativen Umweltwirkungen – nimmt doch Holz als Baustoff eine Sonderstellung ein, der sich im Vergleich zu anderen Baustoffen insbesondere als nachwachsender Rohstoff durch seine hohen Umwelt- und Klimaentlastungspotentiale auszeichnet⁷⁴⁰.

Gemäß EPD⁷⁴¹ (Umwelt-Produktdeklaration von BSP) bilanziert Modul-D die thermische Verwertung sowie die daraus resultierenden Gutschriften in Form einer Systemerweiterung (entspricht einem energetischen Verwertungsszenario für Altholz). Als weitere Recyclingmöglichkeit wird im Falle eines Rückbaues ein Wieder- oder Weiterverwenden der BSP-Bauteile in Aussicht gestellt.

Aber unabhängig davon, welches Verwertungsverfahren für BSP gewählt wird – ein vorausgehendes Trennen und Separieren der Teile ist erforderlich. Um das Ausbauen und Übergeben von Bauteilen zur Wiederverwendung, Vorbereitung zur Wiederverwendung und einem Recycling sicherzustellen, hat der Abbruch eines Bauwerkes als Rückbau zu erfolgen, der in der Regel in mehreren Demontageschritten erfolgt⁷⁴². In Anbetracht der unzähligen Bauteile des BSP-Bausystems, die nicht nur aus Holz bestehen, sondern aus unterschiedlichen Stoffkategorien, scheint die Frage nach der Demontage- und Recyclingfähigkeit auf den zweiten Blick wieder gerechtfertigt zu sein. Allein die tragende BSP-Rohbaukonstruktion, die auf den ersten Blick „nur“ aus Holz besteht, setzt sich gemäß den Anforderungen an die Tragsicherheit, Feuchteschutz und Luftdichtheit aus verschiedenen Bauteilen unterschiedlicher Stofflichkeit zusammen.

⁷³⁹ Vgl. Crowther 1999, 1-9.

⁷⁴⁰ Bauen mit Holz ist aktiver Klimaschutz,

<http://www.proholz.at/co2-klima-wald/co2-bilanz/bauen-mit-holz-ist-aktiver-klimaschutz/>, 04.12.2016.

⁷⁴¹ Vgl. Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hg.): EPD – Brettspertholz 2015.

⁷⁴² Vgl. Recycling Baustoffe BGBl. II Nr. 181/2015, §5.

Die Bewertung der Demontagefähigkeit konnte durch eine ausführliche strukturelle Analyse des BSP-Bausystems vorgenommen werden. Zu diesem Zwecke wurde das gesamte Bausystem in Bereiche gegliedert, die einen repräsentativen Querschnitt darstellen. Dabei hat sich gezeigt, dass sich das System in Bereiche und Teilbereiche gliedern lässt, dessen Hierarchie, Anordnung und Verbindungen den Grad der Demontagefähigkeit bestimmen (tragende BSP-Rohbaukonstruktion, Hüllflächen, Ausbauelemente und Gebäudetechnik).

Das BSP-Bausystem schafft somit die Voraussetzungen, die eingesetzten Bauteile und Materialien nahezu sortenrein zu trennen und für ein hochwertiges Recycling wieder zu gewinnen. Die Bewertung der stofflichen Verwertbarkeit der verwendeten Materialien beschränkt sich auf die tragende BSP-Rohbaukonstruktion. Der Grund liegt einerseits in den kürzeren Austauschzyklen der übrigen Bereiche und Teilbereiche und andererseits in der Vielfalt der möglichen Schichtaufbauten und deren stofflicher Zusammensetzung. Hier zeigt sich deutlich, dass trotz nachweislicher Kreislauffähigkeit der Bauteile bzw. Materialien die Recyclingfähigkeit durch mangelnde Demontagefähigkeit beeinträchtigt wird. Der nicht lösbare Verbund zwischen bituminösen Feuchteabdichtung und der Fugendichtbänder erschwert ein sortenreines Trennen der Bauteile und wirkt sich daher störend auf den Recyclingprozess aus. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit werden nachfolgend getrennt nach den untersuchten Bereichen dargestellt.

Tragende BSP-Rohbaukonstruktion

Die Ergebnisse der Bewertung der tragenden BSP-Rohbaukonstruktion zeigen, dass sich die mangelnde Austauschfähigkeit einiger zum System gehörenden Bauteile negativ auf das Demontageverhalten auswirkt. Problematisch erweisen sich vor allem die Bauteile zur Gewährleistung des Feuchteschutzes und der Luftdichtheit des Rohbausystems. Die Hierarchisierung der Fugendichtbänder und der horizontalen bituminösen Feuchteabdichtung erfolgt ohne Berücksichtigung ihrer Austauschzyklen und verursacht zudem Abhängigkeiten zur restlichen Konstruktion. Im Zuge der Optimierung (Kapitel 13) zeigten sich außenliegende Stoßfugenverklebungen zur Gewährleistung der Luftdichtheit hinsichtlich Zugänglichkeit und Abhängigkeit vorteilhafter. Darüber hinaus zeichnen sich beide Abdichtungssysteme (Feuchteabdichtung und innenliegende Fugendichtbänder bzw. alternativ außenliegende Stoßfugenverklebungen) durch ihren nicht lösbaren stoffschlüssigen Verbund aus, der sowohl das Austauschen der Bauteile als auch, im Zuge eines kompletten Rückbaues, ein sortenreines Trennen und Separieren erschwert. Das Tragwerk selbst (ohne Berücksichtigung der Feuchteabdichtung und Fugendichtbänder bzw. Stoßfugenverklebungen) kann auf Grund der gut lösbaren Verbindungsmittel problemlos demontiert bzw. rückgebaut werden, ohne dabei Schaden zu nehmen. Eine erneute Nutzung der BSP-Bauteile für denselben oder einen anderen Zweck (Produktrecycling) ist grundsätzlich möglich. Unter Betrachtung der Verwertbarkeit der übrigen Bauteile bzw. Materialien des tragenden BSP-Rohbausystems ist die Kreislauffähigkeit nachweislich gegeben. Die Verarbeitung der bituminösen Feuchteabdichtung und der Fugendichtbänder und der stoffschlüssige Verbund zu ihren Verbindungspartnern erschwert ein sortenreines Trennen und Separieren der Fraktionen und wirkt sich daher störend auf den jeweiligen Recyclingprozess aus. Eine Kennzeichnung der Bauteile, wie es in der Automobilindustrie verpflichtend ist, die Aufschluss über die stoffliche Zusammensetzung gibt, ist unter Betrachtung sämtlicher zum tragenden BSP-Rohbausystem gehörender Bauteile nicht gegeben.

Hüllflächen und Ausbauelemente

Für die jeweiligen Bereiche steht, je nach Anforderungen und Rahmenbedingungen, eine Vielzahl an Schichtaufbauten zur Verfügung. Die zur Bewertung herangezogenen Schichtaufbauten gliedern die Haupt-Bereiche in weitere Teilbereiche (z.B. Hüllflächen: Sockeldämmung, Fassade hinterlüftet und Dachaufbau/Ausbau: Boden, Decke und Vorsatzschale). Die Bauteile der jeweiligen Teilbereiche sind entsprechend ihrer Dauerhaftigkeit geschichtet. Die grundsätzlich lösbaren Verbindungen zwischen den Teilbereichen und zur tragenden BSP-Rohbaukonstruktion gewährleisten ein Austauschen, Warten und Anpassen der Teilbereiche, ohne dabei die gesamte Struktur zu beeinträchtigen. Einige Schwächen, die das Demontageverhalten der

Bereiche beeinflussen, sind dennoch zu erkennen. So zeigt sich eine Abhängigkeit im Bereich der Attikaausbildung zwischen Fassade und Dach, die nach entsprechender Optimierung (Kapitel 13) durch eine Detailänderung zu beheben ist. Die Abhängigkeiten zwischen den Ausbauelementen Boden, Decke und Vorsatzschale sind auf deren Montageabfolge zurückzuführen. Die Zugänglichkeit bzw. Austauschbarkeit der kurzlebigen Nutzsichten (Oberflächenbeschichtung, Fußbodenbelag und dgl.) ist dennoch gegeben. Die stoffschlüssigen Verbindungen des bituminösen Dach-Abdichtungssystems und der Perimeterdämmung wirken sich ebenfalls erschwerend auf den Demontageprozess aus. Für das Dach stehen alternativ Kunststoffabdichtungssysteme zur Verfügung, deren lösbare Verbindungstechniken das Rückbauen erleichtern (Kapitel 13). Die Verklebung der Perimeterdämmung unterliegt einer Normierung, die sich nach gegebenen Lastfällen (auftretende Feuchtigkeit) richtet.

Gebäudetechnik

Zur Untersuchung wurden drei Varianten einer nicht sichtbaren Installationsführung herangezogen. Grundsätzlich bestehen, je nach Variante, unterschiedliche Abhängigkeiten zur Tragkonstruktion und den Ausbauelementen, die sich unterschiedlich auf das Demontageverhalten auswirken. Die größte Abhängigkeit zur Tragkonstruktion entsteht bei sichtbaren BSP-Wandoberflächen (ohne Vorsatzschale und Beplankung), da hier die Leitungen in Bohrungen im BSP-Wandelement integriert werden. Die Zugänglichkeit der Installationen ist somit nur mehr eingeschränkt möglich. Im Falle der Installationsführung hinter einer Beplankung bzw. in der Vorsatzschale dient die Tragkonstruktion als Basisbauteil, auf dem die Installationen aufgebaut werden. So herrscht ein grundsätzliches Abhängigkeitsverhältnis, das durch eine Zentralisierung der Leitungsführungen (Schächte, Trassen) minimiert werden kann. Die eigentliche Abhängigkeit entsteht durch die Ausbauelemente, die die Zugänglichkeit zu den Installationen erschweren. Die zur Bewertung herangezogenen Verkleidungen aus Gipsfaser- bzw. Gipskartonwerkstoffen können nicht schadensfrei geöffnet und wieder geschlossen werden. Abhilfe schaffen reversible Verkleidungen, die einfach und zerstörungsfrei zu öffnen und wieder zu verschließen sind.

14.2. Kurzdarstellung der neuen Erkenntnisse

Die Relevanz der Demontage- und Recyclingfreundlichkeit eines Bausystems liegt in der Förderung bzw. Sicherstellung der Kreislaufführung der im Bausystem verwendeten Materialien und Bauteile

- a.) zur Schonung der natürlicheren Ressourcen,
- b.) zur Vermeidung negativer Umweltwirkungen in Folge von Neuproduktion und
- c.) zur Reduktion des Abfallaufkommens

Mit der vorliegenden Arbeit wurde erstmals eine umfassende Bewertung der Demontage- und Recyclingfähigkeit des BSP-Bausystems durchgeführt.

Dazu wurden ausführlich die Kriterien dargestellt, die einerseits das Demontageverhalten der Struktur bestimmen und andererseits die stoffliche Verwertbarkeit (Recyclingfähigkeit) der eingesetzten Materialien und Bauteile.

Der strukturelle Aufbau erlaubt es dem BSP-Bausystem grundsätzlich, demontage- und recyclingfreundlich zu sein. Das tatsächliche Demontage- und Recyclingpotential richtet sich dennoch nach der jeweiligen Differenzierung der Bereiche und Teilbereiche (Hüllflächen, Ausbauelementen und Gebäudetechnik) und deren Schichtung, Materialität und Verbindungen. So zeigen auch die Ergebnisse der kritischen Analyse, dass durch einige Optimierungsmaßnahmen das Demontage- und Recyclingverhalten positiv beeinflusst werden kann.

Die zur Untersuchung des BSP-Bausystems herangezogenen Kriterien weisen auf struktureller Ebene auf ein demontagefreundliches System hin. Im Falle eines kompletten Rückbaus können die Komponenten des tragenden BSP-Rohbausystems mit Ausnahme der Feuchteabdichtung und Fugendichtbänder zerstörungsfrei getrennt und separiert werden. Ein hochwertiges Recycling der Bauteile ist möglich (Produktrecycling, Materialrecycling). Der strukturelle Aufbau erlaubt eine grundsätzliche Gliederung des BSP-Bausystems in Bereiche und Teilbereiche, deren Hierarchisierung und Anordnung entsprechend nach Austauschzyklen erfolgen kann.

Für den Bauherrn und Nutzer eines BSP-Bausystems sind somit nicht nur für die Rückbauphase, sondern auch für die Betriebsphase positive Effekte zu erwarten. So erlaubt das Demontageverhalten (unter Betrachtung der zur Untersuchung herangezogenen Schichtaufbauten), ein nahezu zerstörungsfreies Adaptieren, Tauschen und Warten der Bereiche und Teilbereichen, ohne das gesamte System zu beeinträchtigen. Die Nutzungsdauer des BSP-Bausystems wird dadurch verlängert.

Die zur Untersuchung der Recyclingfähigkeit des tragenden BSP-Rohbausystems herangezogenen Kriterien weisen bis auf wenige Ausnahmen auf eine gute Verwertbarkeit (Rückgewinnung) der eingesetzten Materialien und Bauteile hin. Als Voraussetzung dafür ist einerseits die nachweisliche Kreislauffähigkeit der Materialien und Bauteile zu nennen und andererseits schafft die Demontagefreundlichkeit des Systems die Voraussetzungen dafür, die Komponenten, mit wenigen Ausnahmen, zerstörungsfrei und sortenrein zu trennen. Als recyclingkritisch gelten die Komponenten zur Gewährleistung des Feuchtschutzes und der Luftdichtheit, die mit ihren Verbindungspartnern einen stoffschlüssigen Verbund eingehen.

In Hinblick auf die eingangs erwähnte Relevanz der Demontage- und Recyclingfreundlichkeit eines Bausystems zur Förderung der Kreislaufführung der verwendeten Materialien und Bauteile, hat das BSP-Bausystem das Potential, seine Komponenten am Ende der Nutzungsdauer hochwertig wiederzugewinnen und als Sekundärressource zur Verfügung zu stellen.

14.3. Weiterer Forschungsbedarf

Anhand der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit ergibt sich folgender weiterer Forschungsbedarf:

Umsetzung in der Planung

Derzeit wurden noch keine Grundlagen (Kriterien) für das demontage- und recyclinggerechte Konstruieren, weder im Holzbau, noch im gesamten Bauwesen erarbeitet. Gebraucht werden konkrete Handlungsanleitungen (Stichwort: Standards), die den Planer dabei unterstützen, ein Gebäude bereits am Beginn der Planungsphase danach auszurichten, dass es am Ende des Lebenszyklus wieder in seine Ausgangsstoffe zerlegt werden kann.

Gesetzliche Rahmenbedingungen

Mit der am 1. Jänner 2016 in Kraft getretenen Recycling-Baustoffverordnung (BGBl. II Nr. 181/2015) schreibt der Gesetzgeber eine strenge Separation der bei Bau- und Abbrucharbeiten anfallenden Materialien vor. Dazu schafft die ÖNORM B 3151 (Rückbau von Bauwerken als Standardabbruchmethode) ein Regelwerk, das das Ausbauen und Übergeben von Bauteilen zur Wiederverwendung, Vorbereitung zur Wiederverwendung und einem Recycling sicherstellt. Aus Sicht des Autors ist damit eine Grundlage geschaffen, die die derzeitigen „Symptome“ vergangener „Bausünden“ bekämpft. Um diese „Symptome“ zukünftig zu vermeiden, muss heute an der „Ursache“ gearbeitet werden. Zurzeit obliegt die Verantwortung, Gebäude demontage- und recyclingfähig zu bauen, bei den Planern und Produktherstellern, die jedoch der Marktsituation und einem „kurzfristigen Renditedenken“ unterliegen. Ein „verpflichtendes Kreislaufdenken“ im Gebäudesektor oder dementsprechende Anreizsysteme fehlen.

Materialkennzeichnung und Dokumentation

Um Gebäudekomponenten langfristig als Sekundärressource zur Verfügung zu stellen, müssen diese am Ende ihres Lebenszyklus eindeutig identifiziert werden können. Dazu werden die genauen Kenntnisse über die eingesetzten Bauteile und deren stoffliche Zusammensetzung erforderlich. Es fehlen im Bauwesen verbindlichen Kennzeichnungs- und Klassifizierungssysteme (vgl. Altfahrzeugrichtlinie 2000/53/EG – beinhaltet konkrete Anforderungen an die Kennzeichnung von Bauteilen und Werkstoffen für Fahrzeughersteller und Werkstoffzulieferer).

Stoffschlüssige Verbindungen

Bei Anforderungen an den Feuchteschutz und die Luftdichtheit im Bauwesen kommen in der Regel Produkte zur Anwendung, die über Klebeverbindungen einen unlösbaren Verbund mit ihren Verbindungspartnern eingehen. Solche Verbindungen erschweren in der Regel ein sortenreines Trennen und Separieren der Bauteile. Vor allem die Dauerhaftigkeit von Verklebungen kann, in Hinblick auf die lange Nutzungsdauer von Gebäuden, nicht immer gewährleistet werden. Zugänglichkeit, Wartung und Austauschbarkeit vor Ort stellen weiterer Herausforderungen dar.

Bereiche und Teilbereiche für das tragende BSP-Rohbausystem

Der strukturelle Aufbau des BSP-Bausystems gliedert sich in die tragende Rohbaukonstruktion, Hüllflächen, Ausbauelemente und Gebäudetechnik. Das tatsächliche Demontage- und Recyclingverhalten wird nicht nur von der tragenden BSP-Rohbaukonstruktion bestimmt, sondern auch von der jeweiligen Differenzierung der Bereiche und Teilbereiche (Hüllflächen, Ausbauelementen und Gebäudetechnik) und deren Schichtung und Materialität. In der gegenständlichen Arbeit wurde ausschließlich die tragende BSP-Rohbaukonstruktion auf die stoffliche Verwertbarkeit hin untersucht. Die zur Untersuchung herangezogenen Hüllflächen und Ausbauelemente wurden nur auf ihr Demontageverhalten zueinander und zur tragenden BSP-Rohbaukonstruktion untersucht. Weitere Forschungsbedarf besteht darin, für das BSP-Rohbausystem Hüllflächen und Ausbauelemente anzubieten, die hinsichtlich Recyclingfähigkeit und Demontageverhalten (Hierarchisierung, Schichtung, Montageverhalten usw.) optimiert und geprüft sind.

Integration Gebäudetechnik

Eingeschränkter Zugang und Abhängigkeiten zum Tragwerk und den Ausbauelementen wirken sich negativ auf das Demontageverhalten der Installationsführung im BSP-Bausystem aus. Es besteht Handlungsbedarf, die Installationsführung in einem demontagefähigen Bausystem neu zu betrachten.

14.4. Ausblick

Der hohe Ressourcenverbrauch durch den Neubau und der Nutzung von Gebäuden und die damit einhergehenden Umweltwirkungen erfordern eine grundlegende Neuausrichtung im Gebäudesektor, respektive in den Bauweisen. Eine Veränderung ist nicht in Sicht. Daher wird auch der Gebäudesektor zu den geplanten Klimaschutz- und Energiesparzielen, im Zuge der Leitinitiative „Ressourcenschonendes Europa“, aus Sicht des Autors nicht den gewünschten Beitrag leisten. Die Umsetzung der geforderten Maßnahmen zur effizienteren Nutzung der Ressourcen und die Reduktion der damit verbundenen Umweltauswirkungen scheinen gerade im Gebäudesektor der planerischen Verantwortung der Architekten, Ingenieure und Produzenten zu obliegen⁷⁴³. Welche Anreizsysteme die Politik den vermeintlich verantwortlichen Akteuren zuspricht, um dahingehend zu handeln, bleibt nach Abschluss dieser Arbeit außerdem fraglich. Weder die Marktsituation am Planungs-Dienstleistungssektor, noch Profitgier der Bauprodukte-Hersteller werden zu einem Handeln in Eigeninitiative (ver)führen. Solange der von Gebäuden verursachte Ressourcenverbrauch und die damit verbundenen Umwelt- und Klimabelastungen keinen strengeren politischen Restriktionen unterliegt, solange wird die Branche uneingeschränkt weiterbauen und damit „Abfall“ produzieren.

Mit der vorliegenden Arbeit kann die Palette an bereits nachweislich positiven Eigenschaften des BSP-Bausystems um den Aspekt der Demontage- und Recyclingfreundlichkeit erweitert werden. Die Ergebnisse der Bewertung lassen darauf schließen, dass mit diesem Aspekt die Voraussetzung für die Kreislauffähigkeit eines Bausystems bestmöglich geschaffen wird. Mit einer demontagefähigen Baustruktur sind in allen Lebenszyklus-Phasen Vorteile zu erwarten. Sowohl kurzfristige Strategien im Zusammenhang bei sich verändernden Nutzeranforderung (Umbau) oder Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen als auch langfristige Szenarien, die das Recycling bzw. die Wiederverwendung von Materialien und Produkten beinhalten, können leichter umgesetzt werden. Demnach birgt das Demontageverhalten einer Baustruktur eine hohe Lebenszyklusflexibilität, dessen vielfältige Möglichkeiten in allen Gebäude-Lebensphasen diskussionswürdige Argumente für das BSP-Bausystem darstellen, um damit weitere Marktanteile⁷⁴⁴ zu gewinnen.

⁷⁴³ Vgl. KOM (2014) 445 final, 2014, 2-3.

⁷⁴⁴ Vgl. ProHolz Austria (Hg.): Holzbauanteil in Österreich. Statistische Erhebung von Hochbauvorhaben 2011.

Ergänzende Unterlagen zum Bewertungsmodell

				grading
FD FUNCTIONAL DECOMPOSITION	functional separation	fs 01	separation of functions	1
		fs 02	integration of functions with same lc* into one element	0,6
		fs 03	integration of functions with different lc* into one element	0,1
	$fs = [fs1 + fs2 + \dots fs(n)] / n$			
	functional dependence	fdp 01	modular zoning	1
		fdp 02	Planned interpenetrating for different solutions (overcapacity)	0,8
		fdp 03	Planned interpenetrating for one solution	0,4
		fdp 04	Unplanned interpenetrating	0,2
		fdp 05	total dependence	0,1
	$fdp = [fdp1 + fdp2 + \dots fdp(n)] / n$			
FD = fuzzy calculation based on "fs" and "fdp" and their weighting factors				
SY SYSTEMATISATION	structure and material levels	st 01	components	1
		st 02	elements / components	0,8
		st 03	elements	0,6
		st 04	material / element / component	0,4
		st 05	material / element	0,2
		st 06	material	0,1
	$st = [st1 + st2 + \dots st(n)] / n$			
	clustering	c 01	clustering according to the functionality	1
		c 02	clustering according to the material life cycle	0,6
		c 03	clustering for fast assembly	0,3
		c 04	no clustering	0,1
	$c = [st1 + st2 + \dots st(n)] / n$			
	SY: = fuzzy calculation based on "st" and "c" and their weighting factors			
	BE BASE ELEMENT	base element specification	b 01	base element- intermediary between systems /components
b 02			base element- on two levels	0,6
b 03			element with two functions (be. and one building function)	0,4
b 04			no base element	0,1
$b = [b1 + b2 + \dots b(n)] / n$				
BE = fuzzy calculation based on "b" and its weighting factor				
LCC LIFE CYCLE CO-ORDINATION	use life cycle/ coordination (1)- assembled first (2)- second	ulc 01	long LC (1) / long LC (2) or short LC(1) / short LC(2)	1
		ulc 02	long LC(1) / short LC(2)	0,8
		ulc 03	medium LC (1) / long LC (2)	0,6
		ulc 04	short LC (1) / medium (2)	0,3
		ulc 05	short (1) / long LC (2)	0,1
	$ulc = [ulc1 + ulc2 + \dots ulc(n)] / n$			
	technical life cycle/ coordination	tlc 01	long LC (1) / long LC (2) or short (1) / short (2) or long (1) short (2)	1
		tlc 02	medium LC (1) / long LC (2)	0,5
		tlc 03	short LC (1) / medium LC (2)	0,3
		tlc 04	short LC (1) / long LC (2)	0,1
$tlc = [tlc1 + tlc2 + \dots tlc(n)] / n$				

Abbildung 0.1: Demontageaspekte: Functional Decomposition, Systematisation, Base Element, Life Cycle Coordination⁷⁴⁵

⁷⁴⁵ Durmisevic 2010, 204.

				grading	
LCC LIFECYCLE CO-ORDINATION	lifecycle of components and elements in relation to the size (1)- assembled first	s 01	small element (1) / short LC or medium component (1) / short LC	1	
		s 02	big component (1) / long L.C.	1	
		s 03	big (small) element (1) / long LC	0,8	
		s 04	big component (1) / short LC	0,4	
		s 05	material (1) / short L.C.	0,2	
		s 06	big element / short L.C. or material / short life cycle	0,1	
$s = [s1+ s2 + \dots s(n)] / n$ LCC = fuzzy calculation based on "ulc", "tlc" and "s" and their weighting factors					
RP RELATIONAL PATTERN	position of relations in relational diagram	r 01	vertical	1	
		r 02	horizontal in lower zone of the diagram	0,6	
		r 03	horizontal between upper and lower zone of the diagram	0,4	
		r 04	horizontal in upper zone	0,1	
$r = [r1+ r2 + \dots r(n)] / n$ RP = fuzzy calculation based on "r" and its weighting factor					
A ASSEMBLY	assembly direction based on assembly type	ad 01	parallel - open assembly	1	
		ad 02	stuck assembly	0,6	
		ad 03	base el.in stuck assembly	0,4	
		ad 04	sequential seq.base el	0,1	
	$ad = [ad1+ ad2 + \dots ad(n)] / n$				
	assembly sequences regarding material levels (1)- assembled first (2)- second	as 01	component (1) / component (2)	1	
		as 02	component (1) / element (2)	0,8	
		as 03	element (1) / component (2)	0,6	
		as 04	element (1) / element (2)	0,5	
		as 05	material (1) / component (2)	0,3	
		as 06	component (1)/material (2)	0,2	
		as 07	material (1) / material (2)	0,1	
	$as = [as1+ as2 + \dots as(n)] / n$ A = fuzzy calculation based on "ad" and "as" and their weighting factors				
	G GEOMETRY	geometry of product edge	gp 01	open linear	1
gp 02			symmetrical overlapping	0,8	
gp 03			overlapping on one side	0,7	
gp 04			unsymmetrical overlapping	0,4	
gp 05			insert on one sides	0,2	
gp 06			insert on two sides	0,1	
$gp = [gp1+ gp2 + \dots gp(n)] / n$					
standardisation of product edge		spe 01	pre-made geometry	1	
		spe 02	half standardised geometry	0,5	
		spe 03	geometry made on the construction site	0,1	
$spe = [spe1+ spe2 + \dots spe(n)] / n$ G = fuzzy calculation based on "gp" and "spe" and their weighting factors					

Abbildung 0.2: Demontageaspekte: Lifecycle Coordination, Relational Pattern, Assembly, Geometry⁷⁴⁶

⁷⁴⁶ Durmisevic 2010, 205.

		grading		
C	type of connection	tc 01	accessory external connection or connection system	1
		tc 02	direct connection with additional fixing devices	0,8
		tc 03	direct integral connection with inserts (pin)	0,6
		tc 04	direct integral connection	0,5
		tc 05	accessory internal connection	0,4
		tc 06	filled soft chemical connection	0,2
		tc 07	filled hard chemical connection	0,1
		tc 08	direct chemical connection	0,1
	$tc = [tc1 + tc2 + \dots tc(n)] / n$			
	accessibility to fixings and intermediary	af 01	accessible	1
		af 02	accessible with additional operation which causes no damage	0,8
		af 03	accessible with additional operation / causes reparable damage	0,6
		af 04	accessible with additional operation/causes partly reparable damage	0,4
		af 05	not accessible - total damage of bought elements	0,1
	$af = [af1 + af2 + \dots af(n)] / n$			
	tolerance	t 01	high tolerance	1
		t 02	minimum tolerance	0,5
		t 03	no tolerance	0,1
	$t = [t1 + t2 + \dots t(n)] / n$			
	morphology of joint	mc 01	knot (3D connections)	1
mc 02		point	0,8	
mc 03		linear (1D connections)	0,6	
mc 04		service (2D connection)	0,1	
$mc = [mc1 + mc2 + \dots mc(n)] / n$				
C = fuzzy calculation based on "tc", "af", "t" and "mc" and their weighting factors				

Abbildung 0.3: Demontageaspekte: Connections⁷⁴⁷

⁷⁴⁷ Durmisevic 2010, 206.

Literaturverzeichnis

Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften: Richtlinie 2000/53/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. September 2000 über Altfahrzeuge, L 269/34, Brüssel 2000, Online unter:

http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:02fa83cf-bf28-4afc-8f9f-eb201bd61813.0003.02/DOC_1&format=PDF (Stand: 15.04.2016)

Amtsblatt der Europäischen Union: Verordnung EU Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates, L 88/5, Brüssel 2011,

Online unter:

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011R0305&from=de> (Stand: 13.03.2016)

Austrian Standards ON: ÖNORM B 1801. Projekt und Objektmanagement. Teil 1 Objekterrichtung, Wien 2015

Austrian Standards ON: ÖNORM B 3151. Rückbau von Bauwerken als Standardabbruchmethode, Wien 2014

Austrian Standards ON: ÖNORM B 3691. Planung und Ausführung von Dachabdichtungen, Wien 2012

Austrian Standards ON: ÖNORM B 3692. Planung und Ausführung von Bauwerksabdichtungen, Wien 2014

Austrian Standards ON: ÖNORM EN ISO 14025. Umweltkennzeichnungen und –deklarationen – Typ III Umweltdeklarationen – Grundsätze und Verfahren, Wien 2010

BGBl. II Nr. 39/2008: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien (DVO 2008), Wien 2008,

Online unter:

<https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung/Bundesnormen/20005653/DVO%202008%2c%20Fassung%20vom%2022.01.2017.pdf> (Stand: 05.05.2016)

BGBl. II Nr. 570/2003 in der Fassung BGBl. II Nr. 498/2008: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über ein Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnisverordnung), Wien 2008

Bogensperger, Thomas/Schickhofer, Gerhard: Brettsper Holz. Forschung & Entwicklung, Nachweisverfahren, Einsatzmöglichkeiten und Transfer, Volyne 2010,

Online unter:

https://pure.tugraz.at/portal/files/3335279/2010_03_31_Volnye_bogensperger_20100331.pdf (Stand: 13.10. 2016)

Brand, Steward: How Buildings Learn. What Happens After They're Built, New York 1994

Braungart, Michael/McDonough, William: Cradel to cradle. Remaking the Way We make Things, London 2009

Brenner, Valentin: Recyclinggerechtes Konstruieren. Konzepte für eine abfallfreie Konstruktionsweise im Bauwesen, Ellwangen 2010

Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft: Abfallwirtschaftsgesetz 2002. AWG 2002, StF. BGB1. I Nr. 102, 2002. Fassung vom 12.05.2015,
Online unter: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20002086> (Stand 04.05.2016)

Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich: Recycling Baustoffe, in: BGBl. II Nr. 181/2015 (Teil 2),
Online unter:
https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2015_II_181/BGBLA_2015_II_181.pdf (Stand: 24.02.2016)

Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich: Elektroaltgeräteverordnung EAG-VO, in: BGBl. II Nr. 121/2005 (Teil 2), 2005,
Online unter:
https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2005_II_121/BGBLA_2005_II_121.pdf (Stand: 19.04.2016)

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Bundes- Abfallwirtschaftsplan 2011. Nachhaltig für Natur und Mensch. Sustainable for Nature and Mankind, Bd. 1, Wien 2011,
Online unter:
<https://www.bmlfuw.gv.at/greentec/bundes-abfallwirtschaftsplan/bawp2011.html> (Stand: 23.06.2016)

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Bundes- Abfallwirtschaftsplan 2011. Nachhaltig für Natur und Mensch. Sustainable for Nature and Mankind, Bd. 1, Wien 2011, S.19,
Online unter:
<https://www.bmlfuw.gv.at/greentec/bundes-abfallwirtschaftsplan/bawp2011.html> (Stand: 23.06.2016)

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Bundes- Abfallwirtschaftsplan 2011. Nachhaltig für Natur und Mensch. Sustainable for Nature and Mankind, Bd. 2, Wien 2011,
Online unter:
<https://www.bmlfuw.gv.at/greentec/bundes-abfallwirtschaftsplan/bawp2011.html> (Stand: 23.06.2016)

Bundesanstalt für Materialforschung und Prüfung/ Technische Universität Berlin/ Umweltbundesamt Dessau: Bauprodukte. Schadstoffe und Gerüche bestimmen und vermeiden. Ergebnisse aus einem Forschungsprojekt, Berlin ²2007,
Online unter:
http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/PDF_weitere_leitfaeden/bauprodukte-schadstoffe-gerueche.pdf (Stand: 23.07.2016)

Bürger, Sven: Schadstoffe in Gebäuden. Überblick über die wichtigsten Problemfelder, Hamburg 2006,
Online unter:
http://www.bzr-institut.de/files/pdf/vortraege/ueberblick_schadstoffe_gebeaude.pdf (Stand: 04.07.2016)

Bund Technischer Experten e.V.: Arbeitsblatt der BTE-Arbeitsgruppe. Lebensdauer von Bauteilen. Zeitwerte, Essen, Stand 14.3.2008,
Online unter:
<http://www.svrenz.de/downloadfile.php%3Ffile%3Dlebensdauer-von-bauteilen,-zeitwerte.pdf>
(Stand: 27.06.2016)

Bundesministerium der Justiz: Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Änderung der Verwaltungsvorschrift wassergefährdende Stoffe, Jahrgang 57, Nummer 142a, Berlin 2005,
Online unter:
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/dokumente/vwwws_2005.pdf
(Stand: 07.05. 2016)

Crowther, Philip: Historic Trends in Building Disassembly, in: ACSA/CIB 1999 International Science and Technology Conference – Technology in Transition: Mastering the Impact, Montreal 1999,
Online unter:
<http://eprints.qut.edu.au/2837/1/Crowther-ACSA1999.PDF> (Stand: 13.05.2016)

DGNB: Kriteriensteckbrief Nr. 42. Rückbaubarkeit, Recyclingfreundlichkeit, Stuttgart 2012,
Online unter:
http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/zertifizierung/42_rueckbaubarkeit.pdf (Stand: 23.10.2015)

DGNB: Kriterium Tec 1.6. Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit, Version 2015 (15.05.15)

DIN EN ISO 14025: Umweltkennzeichnungen und -deklarationen - Typ III Umweltdeklarationen - Grundsätze und Verfahren, Wien 2010

DIN 276-1: Kosten im Bauwesen - Teil 1: Hochbau, 2008.

Drees & Sommer AG: Bis zu zehn Prozent Wertsteigerung durch Cradle to Cradle (C2C), in: Presseinformation, 6.10.2014,
Online unter:
https://www.dreso.com/uploads/media/141006_Presseinformation_Bis_zu_zehn_Prozent_Wertsteigerung_durch_Cradle_to_Cradle__C2C__01.pdf (Stand: 02.03.2016)

Dudenredaktion: Duden,
Online unter:
www.duden.de/rechtschreibung/Modul_Element_Lehreinheit (Stand: 15.02.2016)

Durmisevic, Elma: Green design and assembly of building and systems. Design for Disassembly a key to Life Cycle Design of buildings and building products, Saarbrücken 2010

Durmisevic, Elma/ Brouwer, Jan: Design Aspect of Decomposable Building Structures, in: Research Gate (2015), Niederlande,
Online unter:
<http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB944.pdf> (Stand 26.08.2015)

Ecobis 2000: Bitumen-Dichtungsbahn, Berlin 2000,
Online unter:
<http://ecobine.de/glossar/de/baustoffe/Bitumen-Dichtungsbahn> (Stand: 23.07.2016)

Ecorys Copenhagen Resource Institut: Resource efficiency in the building sector. Final report, Rotterdam 2014,
Online unter:
<http://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/Resource%20efficiency%20in%20the%20building%20sector.pdf> (Stand: 17.09.2016)

Ehrlenspiel, Klaus: Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe Methodeneinsatz Zusammenarbeit, München-Wien 2003 (2. Auflage)

El khouli, Sebastian/John, Viola/Zeumer, Martin (Hg.): Nachhaltig konstruieren. Vom Tragswerksentwurf bis zur Materialwahl – Gebäude ökologisch bilanzieren und optimieren, Freiburg 2014

ETA-Danmark A/S: European Technical Assessment ETA-04/0013 of 12/05/2015. Nails and screws for use in nailing plates in timber structures, Göteborg 2015,
Online unter:
<http://x.etadanmark.dk/danish/eta/pdf/Assessment/ETA040013%20SST%20CNA%20PCR%20CSA%20r1%202015.pdf> (Stand: 21.08.2016)

Europäische Kommission: Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und an den Ausschuss der Region. Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa. KOM (2011) 571 endgültig, Brüssel 2011,
Online unter:
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0571:FIN:DE:PDF> (Stand: 22.10.2016)

Europäische Kommission: Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und an den Ausschuss der Region. Zum effizienten Ressourceneinsatz im Gebäudesektor. COM (2014) 445 final, Brüssel 2014,
Online unter:
<http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2014/DE/1-2014-445-DE-F1-1.Pdf> (Stand: 14.10.2016)

Europäische Kommission: Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament und den Rat. Strategie für die nachhaltige Wettbewerbsfähigkeit des Baugewerbes und seiner Unternehmen. COM (2012) 433 final, Brüssel 2012,
Online unter:
<https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2012/DE/1-2012-433-DE-F1-1.Pdf> (Stand: 11.10.2016)

Europäische Kommission: Mitteilung der Kommission. Eine Strategie für intelligentes, nachhaltiges und integratives Wachstum. KOM (2010) 2020 endgültig, Brüssel 2010,
Online unter:
<http://ec.europa.eu/eu2020/pdf/COMPLET%20%20DE%20SG-2010-80021-06-00-DE-TRA-00.pdf> (Stand: 23.10.2016)

Europäische Kommission: Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und an den Ausschuss der Region. Ressourcenschonendes Europa- eine Leitinitiative innerhalb der Strategie 2020. KOM (2011) 21, Brüssel 2011,
Online unter:
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0021:FIN:de:PDF> (Stand: 22.10.2016)

Europäische Kommission: Das Paket zur Kreislaufwirtschaft: Fragen und Antworten, Brüssel 2015,

Online unter:

http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-15-6204_de.htm (Stand: 16.10. 2016)

EUROFER A.S.B.L und IZA- Europe: Zink Recycling. Zink verzinkter Stahl, Brüssel-Belgien 1999,

Online unter:

http://www.verzinkereien.info/sff/downloads/zinc_recycling_verzinkter_stahl.pdf (Stand: 03.04.2016)

Floegel, Helmut: Lebenszykluskosten Hintergründe. Grundlagen Konzepte, Krems 2009, Online unter:

http://www.donau-uni.ac.at/imperia/md/content/departement/bauenumwelt/forumbs/2.4_lebenszykluskosten_bei_hochbauten.pdf (Stand: 14.03.2016)

Forschungsprogramm Zukunft Bau: Anpassung der Ökobau.dat an die europäische Norm EN 15804, in: Endbericht 21. März 2013, Leinfelden- Echterdingen 2013,

Online unter:

http://www.oekobaudat.de/fileadmin/downloads/endbericht_ZB1141.pdf (Stand: 13.03.2016)

Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG), Fassung vom 24.02.2012,

Online unter:

<https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/krwg/gesamt.pdf> (Stand: 01.09.2016)

Guttmann, Eva: Editorial, in: *Zuschnitt* (2008) H.31, 2.

Guttmann, Eva: Brettsper Holz Ein Produktporträt, in: *Zuschnitt* (2008) H.31, 12.

Grobbauer, Michael: Anforderungsgerechtes und methodisches Konstruieren. Allgemeine Anforderungen. Arbeitsblätter zur Vorlesung Konstruieren 2, Graz 2003

Haller, Fritz: System und Vorfertigung, in *Detail. Zeitschrift für Architektur und Baudetail* (2015) H. 04, 292-298.

Hausladen, Gerhard/Huber, Christian/Hilger, Michael (Hg.): Holzbau der Zukunft. Modulare, vorgefertigte Installationen in mehrgeschossigen Holzbauwerken. Teilprojekt 12 (=Reihe Holzbau Forschung), Bd. 7/12, Fraunhofer IRB Verlag-München, 2008

Hegger, Fuchs u.a. (Hg.): Energie Atlas. Nachhaltige Architektur, Basel-Boston-Berlin 2008

Holzforschung Austria: dataholz.com, awmohi01a-00, Wien 2016,

Online unter:

<http://www.dataholz.com/Public/pdfcache/en/awmohi01a-0.pdf>, 16.06.2016.

ift Rosenheim GmbH: EPD Dichtbänder. Environmental Product Declaration nach DIN ISO 14025 und prEN 15804. Dichtbänder aus Polyurethan und Polyethylen (Firmen EPD) ISO CHEMIE GmbH, Rosenheim 2011,

Online unter:

https://www.ift-rosenheim.de/documents/10180/1126454/EPD_Dichtungsbaender_ISO_Chemie.pdf/fe9d3d93-7bcc-4d6d-b6f1-3241d1576cac (Stand: 23.09.2016)

Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU),

Online unter:

<http://bau-umwelt.de/hp1/Institut-Bauen-und-Umwelt-e-V.htm> (Stand 20.03.2016)

IBU Institut Bauen und Umwelt e.V.: UMWELT-PRODUKTDEKLARATION nach ISO 14025 und EN 15804. Sarnafil TG 66 Sika Deutschland GmbH, Berlin 2014,

Online unter:

https://deu.sika.com/dms/getdocument.get/dacd3664-4ff7-3e51-9a58-c258d642074b/EPD_Sarnafil%20TG%2066_SIK_20130203_IBA1_DE.pdf. (Stand: 12.06.2016)

Institut Bauen und Umwelt (IBU): UMWELT-PRODUKTDEKLARATION nach ISO 14025 und EN 15804. Brettsperrholz Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., Berlin 2015,

Online unter:

http://www.brettsperrholz.org/publish/binarydata/pdfs/2016.12_neuaufgaben/epds/stghb_umweltdeklaration_bsp_2016_ihb_d_print_161031.pdf (Stand: 15.01.2017)

Institut Bauen und Umwelt (IBU): UMWELT-PRODUKTDEKLARATION nach ISO 14025. KLH Massivholzplatten (Kreuzlagenholz). KLH Massivholz GmbH, Königswinter 2012,

Online unter:

http://www.klh.at/download/public/Kreuzlagenholz/KLH_Umweltproduktdeklaration_dt.pdf (Stand: 17.01.2016)

Institut Bauen und Umwelt (IBU): UMWELT-PRODUKTDEKLARATION nach ISO 14025 und EN 15804. Feuerverzinkte Baustähle. Offene Walzprofile und Grobbleche bauforumstahl e.V. & Industrieverband Feuerverzinken e.V., Berlin 2013,

Online unter:

http://www.feuerverzinken.com/fileadmin/Uploads_Glinde/Broschueren/EPD_BFS_20130173_IBG1_DE.pdf (Stand: 05.09.2016)

Institut Bauen und Umwelt (IBU): UMWELT-PRODUKTDEKLARATION nach ISO 14025. Konstruktionsvollholz KVH. Überwachungsgemeinschaft Konstruktionsvollholz e.V., Berlin 2015,

Online unter:

<http://ibu-epd.com/epd-programm/veroeffentlichte-epds/> (Stand: 23.08.2016)

Initiative Zink: Zinkrecycling aus Baumaterialien. Ressourcen- und Klimaschutz in der EU, Düsseldorf 2014,

Online unter:

http://www.initiative-zink.de/uploads/media/2014-10-08_PM_Zinkrecycling_aus_Baumaterialien_oB.pdf (Stand: 23.04.2016)

Initiative Zink: Recycling von Zink aus verzinktem Stahl, in: Stahlmarkt (2015) H.10, 24-25,

Online unter:

http://www.initiative-zink.de/fileadmin/iz_web_dateien/D_O_K_U_M_E_N_T_E/Medienspiegel/2015/SDR_SM_10_2015_S24_25.pdf (Stand: 23.04.2016)

Jäger, Masou u.a. (Hg.): Entwicklung der Grundprinzipien für voll rezyklierbare, modulare, massive Bauweisen in Breitenanwendung auf 0- Energiebasis, Stuttgart 2013,

Online unter:

<https://www.irbnet.de/daten/rswb/13089005695.pdf> (Stand 04.03.2016)

Kalusche, Wolfdietrich: Technische Lebensdauer von Bauteilen und wirtschaftlichen Nutzungsdauer eines Gebäudes (= Festschrift zum 60. Geburtstag von Professor Dr. Hansruedi Schalcher Eidgenössische Technische Hochschule Zürich), Cottbus 2004,

Online unter:

https://www-docs.tu-cottbus.de/bauoekonomie/public/Forschung/Publicationen/Kalusche-Wolfdietrich/2004/43_technische_lebensdauer.pdf (Stand: 28.01.2016)

Kaufmann, Hermann: Der andere Bauprozess, in: *Zuschnitt* (2013) H. 50, 4-5

Kaufmann, Hermann: Wohnhaus in Au, in: *Detail. Zeitschrift für Architektur und Baudetail* (2002) H. 05, S. 615

Kaufmann, Hermann: Gemeindezentrum Ludesch, in: *proHolz Austria* (Hg.): Bauen mit Holz im Ökovergleich. Klimaschutz durch Gebäude aus Holz, Edition 12, Wien 2013, S. 19

Kaufmann, Hermann/Nerdinger, Winfried (Hg.): Bauen mit Holz. Wege in die Zukunft, München 2011

Kleiber, Wolfgang/ Simon, Jürgen/ Weyers, Gustav: Verkehrswertermittlung von Grundstücken. 3. Aufl. Köln, in: *Bundesanzeiger*, 1998, S. 2123

KLH Massivholz GmbH: Bauphysik. Version 01/2012, Katsch a.d. Mur 2012,

Online unter:

http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Technische%20Anwendungen/Statik/120314_Bauphysik_dt.pdf?PHPSESSID=efa4b73609856947bca555a6453f9344 (Stand: 07.09.2015)

KLH Massivholz GmbH: Montage und Installation, Katsch a. d. Mur 2012,

Online unter:

http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Kreuzlagenholz/Montage/Montage_Installation_dt.pdf?PHPSESSID=692ae0999bb98426a03d33190b59c383 (Stand: 07.09.2015)

KLH Massivholz GmbH: Bauteilkatalog Konstruktion, Katsch a. d. Mur 2012,

Online unter:

http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Technische%20Anwendungen/Konstruktion/120314_Konstruktion_dt.pdf (Stand: 07.09.2015)

Kompetenzzentrum „Kostengünstig qualitätsbewusst Bauen“ im Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e. V. an der TU Berlin (Hg.): Lebensdauer von Bauteilen und Bauteilschichten. Tragkonstruktion. Nichttragende Konstruktion. Installation und betriebstechnische Anlagen. Außenanlagen, in: *Info-Blatt Nr. 4.2*, Berlin 2006,

Online unter:

http://www.ksb-hi.de/4_3_3_Lebensdauer_Bauteile.pdf (Stand: 13.12.2016)

König, Holger: Fünf Gebäude als Untersuchungsobjekte, in: *Bauen mit Holz – Wege in die Zukunft. Abschlussbericht*, München 2011,

Online unter:

<https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-29239.pdf> (Stand: 04.06.2016)

König, Holger: Die Baustoffe, in: *Bauen mit Holz – Wege in die Zukunft. Abschlussbericht*, München 2011,

Online unter:

<https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-29239.pdf> (Stand: 04.06.2016)

König, Holger: Die Verknappung der Ressourcen und das Nachwuchspotenzial des Waldes, in: Bauen mit Holz – Wege in die Zukunft. Abschlussbericht, München 2011,
Online unter:
<https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-29239.pdf> (Stand: 04.06.2016)

Kreiner, Helmut: Zur systemischen Optimierung der Nachhaltigkeit von Gebäuden, Diss., Graz 2013

Kühn, Martin: Demontage- und recyclingorientierte Bewertung, Essen 2001

Meesvisser Architekten: Wohnhaus in Amsterdam, in: Detail. Zeitschrift für Architektur und Baudetail (2016) H. 01/02, S. 45

Moro, Rottner u.a. (Hg.): Baukonstruktion. vom Prinzip zum Detail, Bd. 3 Umsetzung, Berlin-Heidelberg 2009

Nutsch, Wolfgang u.a (Hg.): Holztechnik Fachkunde, Stuttgart ¹⁶1997

Öko-Institut e.V.: Stoffstromanalyse relevanter Produktgruppen. Energie- und Stoffströme der privaten Haushalte in Deutschland im Jahr 2005, Freiburg 2007,
Online unter:
http://www.ecotopten.de/sites/default/files/ecotopten_endbericht_stoffstrom_2007.pdf (Stand: 11.05.2016)

Öko-Institut e.V.: Stoffstromanalyse relevanter Produktgruppen. Energie- und Stoffströme der privaten Haushalte in Deutschland im Jahr 2005, Freiburg 2007, S. 33,
Online unter:
http://www.ecotopten.de/sites/default/files/ecotopten_endbericht_stoffstrom_2007.pdf (Stand: 11.05.2016)

Passer, Alexander. Zur Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden, Diss., Graz 2010

Passer, A/Mach, T/Kreiner, H/Maydl, P: Predictable Sustainability? The role of building certification in the design of innovative facades, conference advanced building skins 2011

PE International AG, BBSR: Erläuterungsdokument ÖKOBAU.DAT 2013, 2013, S. 4,
Online unter:
http://www.oekobaudat.de/fileadmin/downloads/oekobaudat2013/OEKOBAU.DAT_2013_Erlaeuterungsdokument_2013-08-15.pdf (Stand: 17.07.2016)

Pistohl, Wolfram/ Rechenauer, Christian/ Scheurer, Birgit (Hg.): Handbuch der Gebäudetechnik, Bd. 1, 8. Auflage, Düsseldorf 2013

Ponn, Josef/Lindemann, Udo: Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte. Optimierte Produkte –systematisch von Anforderungen zu Konzepten, Berlin 2008

proHolz Austria u.a. (Hg.): Holz und Klimaschutz, in: Edition 09 (2010),
Online unter:
http://www.proholz-stmk.at/fileadmin/user_upload/presse/Broschueren/Holz_und_Klimaschutz.pdf (Stand: 23.08.2016)

ProHolz Austria (Hg.): Holzbauanteil in Österreich. Statistische Erhebung von Hochbauvorhaben, in: att.zuschnitt (2011)

Purbond AG: Beurteilung bezüglich Ökologie und Gesundheit. Einkomponenten-Klebstoffe auf Basis von Polyurethan (PURBOND®), Sempach Station Switzerland 2009,
Online unter:

http://www.henkel-adhesives.com/com/content_data/337909_432010_134617_PURBOND_Beurteilung_bezueglich_Oekologie_und_Gesundheit_September_2009_new.pdf (Stand: 16.06.2016)

Pusch, Lisa: Modulares Bauen. Stück für Stück in Richtung Zukunft, in: AFA Architekturmagazin für Architekten (2012) H. 04, 18-22,

Online unter:

<http://www.afa-architekturmagazin.de/modulares-bauen-stueck-fur-stueck-in-richtung-zukunft-afa-ausgabe-412/> (Stand: 04.08.2015)

Quack, Dietlinde/ Rüdener, Ina: Stoffstromanalyse relevanter Produktgruppen. Energie- und Stoffströme der privaten Haushalte in Deutschland im Jahr 2005, Freiburg 2007,

Online unter:

http://www.ecotopten.de/sites/default/files/ecotopten_endbericht_stoffstrom_2007.pdf (Stand: 11.05.2016)

Richtlinie 2012/19/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2012 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte, in: Amtsblatt der Europäischen Union L 197/38, Brüssel 2012

Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien, in: Amtsblatt der Europäischen Union L 312/3, Brüssel 2008,

Online unter:

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=DE> (Stand 02.03. 2016)

Rüter, Sebastian: Umwelt- Produktdeklarationen für Bauprodukte nach EN 15804, in: Holztechnologie 53 (2012), H.4, 56-57,

Online unter:

http://www.holzundklima.de/docs/2012_Rueter-holztechnologie-54-4_-56-57.pdf (Stand: 23.04.2016)

Rüter, Sebastian/Diederichs, Stefan: Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz, in: Arbeitsbericht aus dem Institut für Holztechnologie und Holzbiologie (2012), H.1, 9-11,

Online unter:

http://literatur.vti.bund.de/digbib_extern/dn050490.pdf (Stand: 16.07.2016)

Saint-Gobain ISOVER G+H: Fassadendämmung die keine Wünsche offenlässt. Die vorgehängte hinterlüftete Fassade mit ISOVER, Ludwigshafen 2012,

Online unter:

http://www.isover.de/sites/isover.de/files/assets/documents/ISOVER_Broschuere_vorgehaengte_hinterlueftete_Fassade_2012.pdf (Stand: 25.08.2016)

Scharnhorst, Astrid: Recyclingfähig Konstruieren, in: IBO Magazin (2010), H.4, 4,

Online unter:

http://www.ibo.at/documents/bauen_recycling.pdf (Stand: 26.02.2016)

Scheibengraf, Martin/Reisinger Hubert: Abfallvermeidung- und Verwertung: Baurestmassen. Detailsstudie zur Entwicklung einer Abfallvermeidungs- und Verwertungsstrategie für den Bundes- Abfallwirtschaftsplan 2006, Wien 2005,

Online unter:

<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0009.pdf> (Stand: 07.03.2016)

Schickhofer, Gerhard/Schmid, Gernot (Hg.): Gebäudetechnik für Geschossbauten in Holz-Massivbauweise, in: Tagungsband. 1. Klagenfurter Holzbau-Fachtagung. Versorgen und Umhüllen im Holzbau. Schnittstellen des Holzbaus zur Gebäude- und Fassadentechnik, Klagenfurt 2014

Schmincke, Eva: Europäische Normung der EPD. Inhalt, Anwendung und Implementierung, in: Bauforumstahl, BAU Messe 2013,

Online unter:

https://www.bauforumstahl.de/upload/documents/veranstaltungen/Praesentationen/1500_Schmincke_Vortrag_Bauforum_Stahl.pdf (Stand: 10.03.2016)

Schneider, Ursula/Böck, Margit/Mötzl, Hildegund: Recyclingfähig Konstruieren. Subprojekt 3 zum Leitprojekt „gugler! Build & print triple zero“, Wien 2010,

Online unter:

<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/hdz/projekte/gugler-build-print-triple-zero-subprojekt-3-recyclingfaehig-konstruieren.php> (Stand: 02.07.2015)

Schneider, Mötzl u.a. (Hg.): bauen mit recycros. Bauen mit Recyclingmaterialien - Subprojekt 2 zum Leitprojekt „gugler! build & print triple zero“. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 30/2011, Wien 2010,

Online unter:

<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/hdz/projekte/gugler-build-print-triple-zero-subprojekt-3-recyclingfaehig-konstruieren.php> (Stand: 02.07.2015)

Schulitz, Helmut: Offenen und geschlossene Systeme. Ein Gespräch mit Helmut Schulitz, in: Detail. Zeitschrift für Architektur und Baudetail (2001) H. 04, 611-613.

Sika Österreich GmbH: Produktinformation Sarnafil TG/TS, Bludenz-Bings 2008,

Online unter:

http://aut.sika.com/dms/getdocument.get/48ea4d95-b1f4-330b-a5d6-4eed5569bf00/at_roof_pi_tgts_2008.pdf.

Simpson Strong-Tie: Technical data sheet. ABR – Winkelverbinder mit Rippe (70 90 98 105), Bad Nauheim 2016,

Online unter:

<http://pim.simpson.fr/public/download/de/de/product/259> (Stand: 12.07.2016)

Simpson Strong-Tie: Technical data sheet. BOAX Bolzenanker für Verankerungen im Beton, Bad Nauheim 2016,

Online unter:

<http://pim.simpson.fr/public/download/de/de/product/4> (Stand: 12.07.2016)

Simpson Strong-Tie: Technical data sheet. CNA - Kamrnägel, Bad Nauheim 2016,

Online unter:

<http://pim.simpson.fr/public/download/de/de/product/28> (Stand: 12.07.2016)

Simpson Strong-Tie: Technical data sheet. CSA - Schrauben, Bad Nauheim 2016,
Online unter:
<http://pim.simpson.fr/public/download/de/de/product/31> (Stand: 12.07.2016)

Simpson Strong-Tie: Technical data sheet. NP - Lochbleche, Bad Nauheim 2016,
Online unter:
<http://pim.simpson.fr/public/download/de/de/product/127> (Stand: 12.07.2016)

Sobek, Werner/Trumpf, Heiko/Heinlein, Frank: Recyclinggerechtes Konstruieren im Stahlbau,
in: Stahlbau 79 (2010), H.6, 424-433

STAHLINSTITUT VDEh/WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL: Stahl und Nachhaltigkeit.
Eine Bestandsaufnahme in Deutschland, Düsseldorf 2015, 13. Auflage,
Online unter:
http://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/2013/12/Stahl_Nachhaltigkeit_2015_web.pdf
(Stand: 23.06.2016)

Staub, Gerald/ Dörrhöfer, Andreas/ Rosenthal, Markus: Elemente und Systeme. Modulares
Bauen. Entwurf Konstruktion neue Technologien, München 2008

Stanley, Mathews: The Fun Palace. Cedric Price's experiment in architecture and technology,
in: Technoetic Arts (2005), H.3.2, 73-91,
Online unter:
<http://www.bcchang.com/transfer/articles/2/18346584.pdf> (Stand 06.09.2016)

Stora Enso: Stora Enso Building and Living. Building Solutions. Version 04/2012,
Online unter:
http://forumholzbau.com/pfd_down_docs/Stora_Enso_Building_solutions_CLT_04_2012_low.pdf (Stand: 03.07.2015)

Stora Enso Division Wood Products: Schallschutz für CLT von Stora Enso, Version 03/2016,
Online unter:
<http://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/Schallschutz-mit-CLT-von-Stora-Enso-DE.pdf>
(Stand: 03.11.2015)

Sto SE & Co. KGaA: Technisches Merkblatt Sto-Fugendichtband Lento. Komprimiertes Dicht-
band aus imprägniertem Weichschaum, Stühlingen 2015,
Online unter:
http://www.sto.de/webdocs/0000/SDB/T_01944-007_0101_DE_05_00.PDF (Stand:
11.06.2016)

Syspro-Gruppe Betonbauteile e.V. u.a (Hg.): Syspro Part-Thermo. Die kerngedämmten Fer-
tigteilelemente, S. 4,
Online unter:
<http://www.syspro.de> (Stand: 12.02.2016)

Syspro-Gruppe Betonbauteile e.V. u.a (Hg.): Betonfassaden im Thermowand-System, Erlan-
see 2010 (2. Auflage), S. 86,
Online unter:
<http://www.syspro.de> (Stand: 20.07.2016)

The World Business Council for Sustainable Development (WBCSD): Vision 2050. The new
agenda for business, Washington-Belgium 2010,
Online unter:
<http://www.wbcsd.org/contentwbc/download/1746/21728> (Stand: 12.10.2016)

Thormark, Catarina: A low energy building in a life cycle - its embodied energy, energy need for operation and recycling potential, in: *Building and Environment* 37 (2002), H.4, 429-435, Online unter:

<https://lup.lub.lu.se/search/publication/4f6755a5-eaef-427c-add9-90441500a0ee> (Stand: 23.05.2016)

VDI Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb: Konstruieren recyclinggerechter technischer Produkte, VDI Verlag 1991 (VDI Berichte 2243)

VDI Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb: Recyclinggerechte Produktentwicklung. Aspekte, Strategien, Konstruktionspraxis, VDI Verlag 1993 (VDI Berichte 1089)

VDI Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb: Methodische Auswahl fester Verbindungen. Systematik, Konstruktionskataloge, Arbeitshilfen, VDI Verlag 2004 (VDI Berichte 2232)

VDI Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb: Recyclingorientierte Produktentwicklung. VDI 2243, VDI Verlag 2002, Düsseldorf 2002

VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt (GEU): Kumulierter Energieaufwand Beispiele. VDI 4600, Düsseldorf 2015

VDI Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb: Recyclinggerechte Produktentwicklung. Aspekte, Strategien, Konstruktionspraxis, VDI 1089, Fellbach 1993

Verband der Automobilindustrie: VDA 260 Bauteile von Kraftfahrzeugen. Kennzeichnung der Werkstoffe, Berlin 2007

Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates, in: Amtsblatt der Europäischen Union L 88/5, Brüssel 2011

Villas Austria GmbH: Bauwerksabdichtung. Dauerhafter Schutz mit Villas Abdichtungsprodukten, Fürnitz 2015

Villas Austria GmbH: Dichtdachsystemlösung, Fürnitz 2015

Wallbaum, Holger/Hardziewski, Regina: Minenergie und die Anderen. Vergleich von vier Labels, in: *TEC* 21 (2011), H.47, 32-39.

Online unter:

<http://www.e-periodica.ch/cntmng?pid=sbz-004:2011:137::3862> (Stand: 17.09.2016)

Winkler, Niko: Gene-tinkering & Netzwerke. unerwartete Einsichten, in: *Studium Integrale Journal* 12. Jahrgang (Mai 2005) H.1, 29-31,

Online unter:

<http://www.si-journal.de/> (03.01.2016)

Winter, Stefan/Latke, Frank: Historische Entwicklung der Holzwand, in: *Zuschnitt* (2011) H.43, 13.

Zumbrunnen, Philipp: Fokus Gebäudetechnik in BSP-Geschossbauten Londons, in: Tagungsband. 1. Klagenfurter Holzbau-Fachtagung. Versorgen und Umhüllen im Holzbau. Schnittstellen des Holzbaus zur Gebäude- und Fassadentechnik, Klagenfurt 2014.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Entwicklung des Materialverbrauchs, 2002-2013 (Tonnen pro Kopf)	2
Abbildung 1.2: Gesamtumweltbelastung nach Produktfeldern.....	4
Abbildung 1.3: Verwendung unterschiedlicher Baumaterialien für Neubau, Nutzung und Sanierung von Gebäuden (in Mio. Tonnen)	4
Abbildung 1.4: Jährlicher Verbrauch von Baumaterialien für Gebäude in der Europäischen Union, Zeitraum 2006 bis 2010, in (Mio. Tonnen).....	5
Abbildung 1.5: Abfallaufkommen nach Wirtschaftszweigen und Haushalten, EU-28, 2012 (in %)	6
Abbildung 1.6: Entwicklung der Abfallbehandlung in den EU-28 nach den wichtigsten Behandlungskategorien in den Jahren 2004 bis 2012 (in Mio. Tonnen)....	6
Abbildung 1.7: Menge an grauer Energie in unterschiedlichen Baumaterialien (MJ/KG) ..	7
Abbildung 1.8: Verteilung der gesamten grauen Energie nach Baustoffen (TJ)	8
Abbildung 2.1: Portable Colonial Cottage for Emigrants von H. John Manning 1833-1840	14
Abbildung 2.2: Truppenunterkunft im ersten Weltkrieg von Peter Norman Nissen: „The Nissen Hut“	15
Abbildung 2.3: Fun Palace von Cedric Price 1961	16
Abbildung 2.4: Walking City, Archigram 1964	17
Abbildung 2.5: Cellophane House von von KieranTimberlake Architekten 2008	18
Abbildung 2.6: Sechsstufiges Recyclingmodell, hierarchisch abgestuft.....	25
Abbildung 2.7: Typisches Abbruchszenario am Beispiel des Montforthaus, Feldkriech AT der Firma GPS-Gesellschaft für Projektmanagement und Sanierung mbH.....	27
Abbildung 2.8: Typisches Abbruchszenario am Beispiel des Montforthaus, Feldkriech AT der Firma GPS-Gesellschaft für Projektmanagement und Sanierung mbH (rechts)	27
Abbildung 2.9: Die sechs Themenfelder des Nachhaltigkeitskonzeptes der DGNB (links).....	28
Abbildung 2.10: DGNB Bewertungsgrafik (rechts)	28
Abbildung 3.1: Zusammenhang zwischen funktioneller Gliederung, konstruktiven Aufbau und den Verbindungen der Bestandteile	32
Abbildung 3.2: Einfluss der Ebenen Funktion, Konstruktion und Schnittstellen auf die jeweiligen Strukturebenen	34
Abbildung 3.3: Hierarchische Gliederung der Baustruktur	36
Abbildung 3.4: Shearing Layers of Change.....	37
Abbildung 3.5: Unterscheidung der Bauweisen innerhalb der konstruktiven Ebenen.....	38
Abbildung 3.6: Gestaltungskriterien für den strukturellen Aufbau nach (M.Tichem 1997) 39	
Abbildung 3.7: Einfluss der Gestaltungsbereiche auf die Unabhängigkeit und Austauschbarkeit der Teile	40
Abbildung 3.8: Demontageaspekte und dazugehörige Teilaspekte	41
Abbildung 3.9: Hierarchischen Struktur des Bewertungsmodells.....	41
Abbildung 3.10: Gewichteter Demontageaspekt am Beispiel des Kriteriums Funktionstrennung.....	43
Abbildung 3.11: Darstellung der Evaluierungsergebnisse mittels Radial-Diagramm	43
Abbildung 3.12: Grafische Darstellung der Abhängigkeiten zwischen den zu bewertenden Aspekten	44
Abbildung 3.13: Gewichtungen zwischen den Aspekten.....	45
Abbildung 3.14: Berechnungsmatrix unter Berücksichtigung der Gewichtungen zwischen den Aspekten	45
Abbildung 3.15: Output-Werte gemäß Berechnungsmatrix für 14 Aspekte nach Abb. 3.12	45
Abbildung 3.16: Vorgehensweise bei der Materialwahl.....	48
Abbildung 3.17: Schematische Darstellung der Systemausschnitte	49

Abbildung 4.1: Unterscheidung der Funktionszuordnung in Form einer Funktionsintegration und Funktionstrennung	53
Abbildung 4.2: Funktionsintegration und Funktionstrennung am Beispiel von drei Außenwandsystemen.....	53
Abbildung 4.3: Funktionale Abhängigkeit durch funktionale Eingliederung.....	55
Abbildung 4.4: Funktionelle Abhängigkeit durch die Eingliederung haustechnischer Komponenten am Beispiel eines Fußbodensystems:	55
Abbildung 4.5: Clusterbildung	57
Abbildung 4.6: Darstellung einer Baugruppe am Beispiel eines Handrads.....	58
Abbildung 4.7: Gegenüberstellung nicht modulares- und modulares Netzwerk.....	58
Abbildung 4.8: Zusammenhang zwischen modularen Aufbau und Vorfertigung in Abhängigkeit der Montage/Demontageschritte	59
Abbildung 4.9: Thermowand der Firma SYSPRO am Beispiel eines Züricher Stadthauses (links).....	61
Abbildung 4.10: Thermowand der Firma SYSPRO Systemschnitt (rechts)	61
Abbildung 4.11: Wohnhaus in Beverly Hills, Helmut Schulitz, Kalifornien, 1976 (links) ...	62
Abbildung 4.12: Explosionszeichnung, Helmut Schulitz, 1977 (rechts)	62
Abbildung 4.13: System: Pfosten-Riegel-Fassade	63
Abbildung 4.14: Darstellung der Nutzungsphasen nach der Gebäudeerrichtung (links)..	63
Abbildung 4.15: Folgekosten von Bauteilen nach der Gebäudeerrichtung (rechts).....	63
Abbildung 4.16: Geschlossenes Beziehungsmuster (links)	64
Abbildung 4.17: Offenes Beziehungsmuster (rechts).....	64
Abbildung 4.18: Basisbauteil für offene Beziehungsmuster	65
Abbildung 4.19: Beziehungsmuster auf Basis unterschiedlicher Montagetypen.....	65
Abbildung 4.20: Position der Beziehungen zwischen modularen Einheiten und innerhalb modularer Einheiten	66
Abbildung 4.21: Horizontale Abhängigkeit der Nutzungseinheiten mit dem Basisbauteil der Gesamtstruktur.....	67
Abbildung 4.22: Anwendung eines Basisbauteils innerhalb einer Nutzungseinheit (links).....	68
Abbildung 4.23: Anwendung eines Basisbauteils zwischen zwei Nutzungseinheiten (rechts)	68
Abbildung 4.24: Anwendung eines Basisbauteils am Beispiel einer Wandkonstruktion ..	68
Abbildung 4.25: Einfluss der Fügstellengeometrie auf die Montageabfolge - sequentiellen Montageabfolge (links).....	71
Abbildung 4.26: Einfluss der Fügstellengeometrie auf die Montageabfolge - parallele Montageabfolge (rechts)	71
Abbildung 4.27: Geometrie der Fügstellen	72
Abbildung 4.28: Überlappende Geometrie am Beispiel eines Fenstereinbaudetails (links).....	72
Abbildung 4.29: Einbau eines Fensters über eine geschlossene Verbindungsgeometrie (rechts)	72
Abbildung 4.30: Abhängigkeitsmuster in Folge unterschiedlicher Montagesequenzen ...	74
Abbildung 4.31: Anforderungen an Verbindungen in Abhängigkeit des hierarchischen Gefüges.....	76
Abbildung 4.32: Überblick der Verwertungskompatibilität unterschiedlicher Materialkombinationen	77
Abbildung 4.33: Einfluss der Verbindungen auf die Wirtschaftlichkeit des Demontageprozesses	78
Abbildung 4.34: Klassifizierung von Verbindungen	80
Abbildung 4.35: Demontagefähigkeit unterschiedlicher Schlussarten	81
Abbildung 4.36: Wirkungsprinzipien und Lösbarkeit von Bauteilverbindungen.....	82
Abbildung 4.37: Lebenszyklusbetrachtung in Abhängigkeit des Montage- bzw. Demontagezeitpunktes anhand eines symmetrischen- und parallelen Diagramms	83

Abbildung 4.38: Auszug Lebensdauer von Bauteilen.....	85
Abbildung 4.39: Einflüsse auf die technische Lebensdauer von Bauteilen	85
Abbildung 4.40: Auszug wirtschaftlicher Nutzungsdauer von Gebäuden.....	86
Abbildung 4.41: Einflüsse auf die Wirtschaftliche Nutzungsdauer eines Gebäudes und seinen Lebenszyklus	86
Abbildung 4.42: Verhältnis technischer Lebensdauer von Bauteilen zur Nutzungsdauer und das daraus resultierende Wiederverwendungspotential	87
Abbildung 4.43: Konstruktionsbeispiel	87
Abbildung 4.44: Auszug einer Lebenszyklusmatrix am Beispiel Abb. 4.43	88
Abbildung 4.45: Abhängigkeitsmuster Bauteil (222) (links).....	88
Abbildung 4.46: Montage- bzw. Demontagediagramm Bauteil (222) (rechts).....	88
Abbildung 5.1: Einteilung der Lebenszyklusinformationen in Modulen nach EN 15804 ..	91
Abbildung 5.2: Umweltindikatoren gemäß EN 15804.....	92
Abbildung 5.3: Werkstoffsysteme	93
Abbildung 5.4: Anteile der ausgewählten Abfallgruppen im Jahr 2009	94
Abbildung 5.5: Vergleich von Materialbedarf für Herstellung und Instandsetzung am Projekt Gemeindezentrum Ludesch/A	96
Abbildung 5.6: Formen der Verwertungskompatibilität.....	99
Abbildung 5.7: Monostoff-Verwertungseinheit am Beispiel des „System Holz 100“ der Firma Thoma	99
Abbildung 5.8: Werkstoffkennzeichnung nach VDA 260 am Beispiel eines Adapters für Flachstecker-Gehäuse	101
Abbildung 6.1: Grafische Erläuterung zu Bewertungskriterium: Systematischer Aufbau der Strukturebenen.....	104
Abbildung 6.2: Grafische Erläuterung zu Bewertungskriterium: Modularität	105
Abbildung 6.3: Grafische Erläuterung zu Bewertungskriterium: Basisbauteil	107
Abbildung 7.1: Entwicklung der Holzbauweisen.....	114
Abbildung 7.2: Sockelausbildung mit Schwellenholz (CLT-Stora Enso) (links).....	115
Abbildung 7.3: Versetzen der BSP Platten im Mörtelbett (CLT- Stora Enso) (rechts) ...	115
Abbildung 7.4: Verbindungsknoten Wand- Decke- Wand (CLT- Stora Enso).....	115
Abbildung 7.5: Strömungsdichter Anschluss durch Einhüllen und Verkleben mittels Konvektionssperre (KLH Massivholz GmbH) (links)	116
Abbildung 7.6: Strömungsdichter Anschluss von KLH Massivholzplatten mit Hilfe von Dichtbändern (KLH Massivholz GmbH) (rechts)	116
Abbildung 7.7: BSP Dachkonstruktion stumpf auf Wandscheibe (CLT- Stora Enso)....	116
Abbildung 7.8: Sockelausbildung bei hinterlüfteter Fassade (CLT- Stora Enso)	117
Abbildung 7.9: Holzfassade hinterlüftet mit Mineralwolle-Dämmung (CLT- Stora Enso)	117
Abbildung 7.10: Attikaausbildung mit Wandstaffeln bei hinterlüfteter Fassade (CLT- Stora Enso)	117
Abbildung 7.11: Fußbodenaufbau mit Trockenestrich (CLT- Stora Enso)	118
Abbildung 7.12: Abgehängte Decke (CLT- Stora Enso).....	118
Abbildung 7.13: Vorsatzschale mit Holzlattung (CLT- Stora Enso).....	118
Abbildung 7.14: Elektroinstallation bei Sichtqualität der Oberfläche (CLT- Stora Enso)	119
Abbildung 7.15: Elektroinstallation bei nachträglicher Beplankung (CLT- Stora Enso)..	119
Abbildung 7.16: Vorbereitung für Waschtischanschluss (Vorsatzschale) (CLT- Stora Enso)	119
Abbildung 7.17: Schematische Darstellung der Konstruktionsmerkmale des BSP- Bausystems auf Basis System CLT Stora Enso	120
Abbildung 8.1: Beziehungsdiagramm tragende Rohbaukonstruktion	122
Abbildung 8.2: Montagediagramm tragende Rohbaukonstruktion	123
Abbildung 8.3: Funktionale Abhängigkeit der tragenden BSP- Konstruktion (links).....	123
Abbildung 8.4: Sockelausbildung mit Schwellenholz (CLT- Stora Enso) (rechts oben).	123
Abbildung 8.5: Verbindungsknoten Wand- Decke- Wand (CLT- Stora Enso) (rechts unten)	123
Abbildung 8.6: Struktureller Aufbau des tragenden BSP-Systems	124

Abbildung 8.7: Lebenszyklusbetrachtung der Bauteile des tragenden BSP- Systems in Abhängigkeit der Montage-bzw. Demontagehierarchie	126
Abbildung 8.8: Hierarchie und Anordnung der Beziehungen zwischen den Funktionen	127
Abbildung 8.9: Übersicht Fügestellen.....	128
Abbildung 8.10: Konstruktionsregeln bei Wandstößen (CLT- Stora Enso)	128
Abbildung 8.11: Wandstöße horizontal mit Stoßbrett (CLT- Stora Enso) (links)	129
Abbildung 8.12: Wandstöße horizontal mit Stufenfalz (CLT- Stora Enso) (rechts)	129
Abbildung 8.13: Wandstöße horizontal stumpf (CLT- Stora Enso) (links).....	129
Abbildung 8.14: Wandstöße horizontal mit außenliegenden Laschen (CLT- Stora Enso) (rechts)	129
Abbildung 8.15: Wandstöße vertikal mit Stufenfalz (CLT- Stora Enso).....	129
Abbildung 8.16: Wandstöße vertikal mit Stoßbrett (CLT-Stora Enso).....	129
Abbildung 8.17: Analyse der Fügestellengeometrie bei Wand- und Deckenstößen	130
Abbildung 8.18: BOAX – Bolzenanker für Verankerungen im Beton (Simpson Strong- Tie)	132
Abbildung 8.19: Spreizdübelssystem (Simpson Strong-Tie) (Mitte).....	132
Abbildung 8.20: Montageanleitung (Simpson Strong-Tie) (rechts)	132
Abbildung 8.21: NP- Lochblech (Simpson Strong-Tie) (links)	132
Abbildung 8.22: CNA Kammnägeln (Simpson Strong-Tie) (Mitte)	132
Abbildung 8.23: Anwendung von Kammnägeln (Simpson Strong-Tie) (rechts).....	132
Abbildung 8.24: ESCRC Holzbauschraube mit Senkkopf (Simpson Strong-Tie) (links)	133
Abbildung 8.25: ABR Winkelverbinder mit Rippe (70 90 98 105) (Simpson Strong-Tie) (Mitte)	133
Abbildung 8.26: CSA Schrauben (Simpson Strong-Tie) (rechts)	133
Abbildung 8.27: Stoßverschraubung am Beispiel eines Deckenelementes mit Stufenfalz und Stoßbrett (KLH Massivholz GmbH).....	133
Abbildung 8.28: Kompriband als Fugendichtband (CLT- Stora Enso) (links).....	134
Abbildung 8.29: Stoßfugenverklebung mittels Kompriband (CLT- Stora Enso) (rechts)	134
Abbildung 8.30: Abdichtungsbahn VILLAS HYDROSTOP S4 (Villas Austria GmbH) (links).....	134
Abbildung 8.31: Vertikale Abdichtung (CLT- Stora Enso)	134
Abbildung 8.32: Übersicht Verbindungen (oben links)	135
Abbildung 8.33: Stofflichen Zusammensetzung je m3 Brettsperrholz.....	142
Abbildung 8.34: ETA (European Technical Assessment) Produkt- Label	148
Abbildung 8.35: ABR Winkelverbinder mit Rippe (70 90 98 105) und CE Kennzeichnung.....	148
Abbildung 9.1: Beziehungsdiagramm Fassade – Dach	151
Abbildung 9.2: Montagediagramm Fassade-Dach	151
Abbildung 9.3: Struktureller Aufbau Fassade, Dach und tragende Rohbaukonstruktion	152
Abbildung 9.4: Beziehungsdiagramm Fassade – Dach	153
Abbildung 9.5: Schematische Darstellung der Nutzungseinheiten Sockeldämmung, Fassade hinterlüftet und Dachaufbau in Abhängigkeit der tragenden Rohbaukonstruktion	153
Abbildung 9.6: Lebenszyklusbetrachtung der Fassaden- und Dachbauteile in Abhängigkeit des Montage- bzw. Demontagezeitpunktes	154
Abbildung 9.7: Hierarchie und Anordnung der Beziehungen zwischen den Nutzungseinheiten Sockeldämmung, Fassade hinterlüftet und Dach....	155
Abbildung 9.8: Detailausbildung Übergang Sockeldämmung zu vorgehängter hinterlüfteter Fassade auf Basis Konstruktionsmerkmale Abb. 7.8.....	156
Abbildung 9.9: Detailausbildung Übergang vorgehängte hinterlüftete Fassade zu Dachaufbau auf Basis Konstruktionsmerkmale Abb. 7.10	158
Abbildung 9.10: Punktuelle Verklebung der Perimeterdämmung (Villas Austria GmbH)	160
Abbildung 9.11: Dämmstoffhalter (Fischer Austria GmbH) (links).....	161
Abbildung 9.12: Oberflächenbündige und versenkte Montage des Dämmstoffhalters (Fischer Austria GmbH) (rechts)	161

Abbildung 9.13: Kaltselfklebende Elastomerbitumenbahn mit oberseitigen Längsrandstreifen und unterseitiger Trennfolie (Villas Austria GmbH) ..	161
Abbildung 9.14: Übersicht Verbindungen (oben links)	162
Abbildung 10.1: Beziehungsdiagramm Boden, Decke und Vorsatzschale	166
Abbildung 10.2: Montagediagramm Boden, Decke und Vorsatzschale	166
Abbildung 10.3: Struktureller Aufbau der Ausbauelemente und der tragenden Rohbaukonstruktion	167
Abbildung 10.4: Beziehungsdiagramm Boden, Decke und Vorsatzschale	168
Abbildung 10.5: Schematische Darstellung der Nutzungseinheiten Boden, Decke und Vorsatzschale in Abhängigkeit der tragenden Rohbaukonstruktion.....	168
Abbildung 10.6: Lebenszyklusbetrachtung Fassade und Dach in Abhängigkeit des Montage- bzw. Demontage-zeitpunktes.....	169
Abbildung 10.7: Hierarchie und Anordnung der Beziehungen zwischen den Nutzungseinheiten Boden, Decke und Vorsatzschale	170
Abbildung 10.8: Detailausbildung Übergang Vorsatzschale zu Bodenaufbau auf Basis Konstruktionsmerkmale Abb. 7.11, 7.13	171
Abbildung 10.9: Detailausbildung Übergang Vorsatzschale zu abgehängter Decke auf Basis Konstruktionsmerkmale Abb. 7.12, 7.13.....	173
Abbildung 10.10: Federbügel auf BSP- Wand montiert zur Aufnahme der Holzlatten (CLT- Stora Enso) (links).....	174
Abbildung 10.11: Holzprofile für Vorsatzschale mit Federbügeln direkt an Wand montiert (CLT- Stora Enso) (rechts).....	174
Abbildung 10.12: Montage Deckenabhängung: System KNAUF D112.de-C4 Stirnkante – Grund- / Tragprofil / Ankerfix (links)	175
Abbildung 10.13: Knauf Universalschraube FN (Mitte)	175
Abbildung 10.14: Draht mit Öse- System Knauf (rechts)	175
Abbildung 10.15: Anbringen des Mineralwolle-Randdämmstreifen (links)	175
Abbildung 10.16: Gleitender Deckenanschluss: System KNAUF D112.de-A5 Vertikal gleitender Anschluss an Wand (rechts).....	175
Abbildung 10.17: Übersicht Verbindungen (oben links)	176
Abbildung 11.1: Beziehungsdiagramm am Beispiel von drei Ausführungsvarianten der Leitungsführung.....	180
Abbildung 11.2: Struktureller Aufbau am Beispiel von drei Ausführungsvarianten der Leitungsführung.....	181
Abbildung 11.3: Lebenszyklusbetrachtung in Abhängigkeit der Montage- bzw. Demontagehierarchie am Beispiel von drei Ausführungsvarianten der Leitungsführung.....	183
Abbildung 11.4: Montagehierarchie der Leitungsführung am Beispiel von drei Ausführungsvarianten	184
Abbildung 11.5: Elektroleitungen im Fußboden Aufbau (links)	185
Abbildung 11.6: Anschluss Doppelwaschbecken (rechts).....	185
Abbildung 11.7: Trink- und Heizwasserleitungen in abgehängter Decke (links)	185
Abbildung 11.8: Rohrschelle (rechts)	185
Abbildung 11.9: Leerverrohrung in Ausfräsung (links)	186
Abbildung 11.10: Wandinstallation von Elektroleitungen in Leerverrohrung (rechts).....	186
Abbildung 11.11: Wasserführende Leitungen in Installationswand (links)	186
Abbildung 11.12: Klemmschelle mit Leerrohr (rechts)	186
Abbildung 11.13: Übersicht Verbindungen (oben links)	188
Abbildung 12.1: Bewertungsergebnisse der tragenden Rohbaukonstruktion auf struktureller Ebene	192
Abbildung 12.2: Bewertungsergebnisse der tragenden Rohbaukonstruktion auf stofflicher Eben	192
Abbildung 12.3: Bewertungsergebnisse Fassade hinterlüftet	194
Abbildung 12.4: Bewertungsergebnisse Sockeldämmung	194
Abbildung 12.5: Bewertungsergebnisse Dachaufbau	194

Abbildung 12.6: Bewertungsergebnisse Boden	196
Abbildung 12.7: Bewertungsergebnisse Decke	196
Abbildung 12.8: Bewertungsergebnisse Vorsatzschale	196
Abbildung 12.9: Bewertungsergebnisse Variante-A	198
Abbildung 12.10: Bewertungsergebnisse Variante-B	198
Abbildung 12.11: Bewertungsergebnisse Variante-C	198
Abbildung 13.1: Montagediagramm tragende Rohbaukonstruktion OPTIMIERUNG	200
Abbildung 13.2: Lebenszyklusbetrachtung der Bauteile des tragenden BSP-Systems in Abhängigkeit der Montage-bzw. Demontagehierarchie OPTIMIERUNG	201
Abbildung 13.3: Hierarchie und Anordnung der Beziehungen zwischen den Funktionen OPTIMIERUNG	203
Abbildung 13.4: Bewertungsergebnisse der tragenden Rohbaukonstruktion auf struktureller Ebene nach der Optimierung.....	205
Abbildung 13.5: Prinzip-Darstellung: Funktionstrennung Fassade hinterlüftet und Dachaufbau auf Basis Abb. 9.9 nach Abb. 7.10.....	207
Abbildung 13.6: Montagediagramm Fassade-Dach OPTIMIERUNG	208
Abbildung 13.7: Befestigungsprofil System Sarnafil	209
Abbildung 0.1: Demontageaspekte: Functional Decomposition, Systematisation, Base Element, Life Cycle Coordination	220
Abbildung 0.2: Demontageaspekte: Lifecycle Coordination, Relational Pattern, Assembly, Geometry.....	221
Abbildung 0.3: Demontageaspekte: Connections	222

Tabellenverzeichnis

Tabelle 6.1: Bewertungskriterium: Funktionstrennung-Funktionsintegration	103
Tabelle 6.2: Bewertungskriterium: Funktionale Abhängigkeit	103
Tabelle 6.3: Bewertungskriterium: Systematischer Aufbau der Strukturebenen	104
Tabelle 6.4: Bewertungskriterium: Modularität	105
Tabelle 6.5: Bewertungskriterium: Lebenszyklusbetrachtung	106
Tabelle 6.6: Bewertungskriterium: Beziehungsmuster	106
Tabelle 6.7: Bewertungskriterium: Basisbauteil	107
Tabelle 6.8: Bewertungskriterium: Geometrie der Fügestellen	108
Tabelle 6.9: Bewertungskriterium: Montageablauf	108
Tabelle 6.10: Bewertungskriterium: Verbindungsarten	109
Tabelle 6.11: Bewertungskriterium: Zugänglichkeit der Verbindungen	110
Tabelle 6.12: Bewertungskriterium: Kreislauffähigkeit der Materialien.....	110
Tabelle 6.13: Bewertungskriterium: Stoffliche Vielfalt und deren Verträglichkeit	111
Tabelle 6.14: Bewertungskriterium: Substitution durch Recyclingbaustoffe.....	111
Tabelle 6.15: Bewertungskriterium: Schadstoffe und recyclingkritische Störstoffe	112
Tabelle 6.16: Bewertungskriterium: Materialkennzeichnung und Dokumentation.....	112
Tabelle 6.17: Zusammenfassung der Bewertungskriterien auf struktureller und stofflicher Ebene mit dazugehöriger Gewichtung	113
Tabelle 7.1: Bauteilliste mit Angaben zu den Lebensdauern (rechts)	120
Tabelle 8.1: Funktionale Zerlegung der tragenden Rohbaukonstruktion	121
Tabelle 8.2: Auswertung der Verbindungen hinsichtlich ihrer Lösbarkeit und Zugänglichkeit	135
Tabelle 9.1: Funktionstrennung Fassade- Dach	150
Tabelle 9.2: Auswertung der Verbindungen hinsichtlich ihrer Lösbarkeit und Zugänglichkeit zwischen den Nutzungseinheiten Sockeldämmung, vorgesetzte hinterlüftete Fassade und Dachaufbau und zwischen den Nutzungseinheiten und der tragenden BSP-Rohbaukonstruktion.....	162
Tabelle 10.1: Funktionstrennung Boden, Decke und Vorsatzschale.....	165
Tabelle 10.2: Auswertung der Verbindungen hinsichtlich ihrer Lösbarkeit und Zugänglichkeit zwischen den Nutzungseinheiten Vorsatzschale, abgehängter Decke und Bodenaufbau und zwischen den Nutzungseinheiten und der tragenden BSP-Rohbaukonstruktion.....	176
Tabelle 11.1: Funktionsintegration und Funktionstrennung am Beispiel von drei Ausführungsvarianten der Leitungsführung	179
Tabelle 11.2: Auswertung der Verbindungen hinsichtlich ihrer Lösbarkeit und Zugänglichkeit zwischen Elektro- und Sanitärinstallation und den Wand- und Deckenelementen der BSP-Rohbaukonstruktion.....	188
Tabelle 12.1: Bewertungsergebnisse der tragenden Rohbaukonstruktion auf struktureller Ebene	190
Tabelle 12.2: Bewertungsergebnisse der tragenden Rohbaukonstruktion auf stofflicher Ebene	191
Tabelle 12.3: Bewertungsergebnisse Fassade-Dach auf struktureller Ebene	193
Tabelle 12.4: Bewertungsergebnisse Boden-Decke-Vorsatzschale auf struktureller Ebene	195
Tabelle 12.5: Bewertungsergebnisse Gebäudetechnik auf struktureller Ebene.....	197
Tabelle 13.1: Bewertung: Funktionale Abhängigkeit OPTIMIERUNG.....	200
Tabelle 13.2: Bewertung: Lebenszykluskoordination OPTIMIERUNG.....	202
Tabelle 13.3: Bewertung: Beziehungsmuster OPTIMIERUNG	203
Tabelle 13.4: Bewertung: Montageablauf OPTIMIERUNG	203
Tabelle 13.5: Bewertung: Basisbauteilbildung OPTIMIERUNG	204
Tabelle 13.6: Bewertung: Funktionale Abhängigkeit OPTIMIERUNG.....	208
Tabelle 13.7: Bewertung: Modularität OPTIMIERUNG	208
Tabelle 13.8: Bewertung: Verbindungsarten OPTIMIERUNG.....	209

Tabelle 13.9: Bewertung: Zugänglichkeit der Verbindungen OPTIMIERUNG 210