

IMBT



B
E
Z

Entwicklung eines Klassifizierungssystems für Rückbau- bzw. Fügetechniken von Baukonstruktionen in Österreich

Alexander Lanner

Betreuer:
DDipl.-Ing. Thomas Halder

Begutachter:
Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Alexander Passer

Mitwirkender:
Dipl.-Ing. Dr.techn. Helmuth Kreiner

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.

Graz, am 21. Januar 2017

Alexander Lanner

Statutory Declaration

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, 21. Januar 2017

Alexander Lanner

Vorwort und Danksagung

Mein besonderer Dank für die umfassende Betreuung der Diplomarbeit gilt dem Assistenten des Instituts für Materialprüfung und Baustofftechnologie mit angeschlossener TVFA für Festigkeits- und Materialprüfung, Herrn Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. Thomas Halder.

Zudem danke ich Herrn Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. MSc Alexander Passer vom Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie mit angeschlossener TVFA für Festigkeits- und Materialprüfung für die Betreuung und zügige Begutachtung der Diplomarbeit.

Ebenfalls danke ich Herrn Dipl.-Ing. Dr.techn. Helmuth Kreiner vom Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie mit angeschlossener TVFA für Festigkeits- und Materialprüfung für die Mitwirkung an der Diplomarbeit.

Ich danke auch den Büros Pos Architekten ZT GmbH und Tilz & Partner Bauconsult GmbH für die Unterstützung und Bereitstellung wertvoller praxisbezogener Unterlagen.

Kurzfassung

Nachhaltiges Bauen zielt neben ökonomischen und sozio-kulturellen Faktoren speziell auf die Umsetzung vielfältiger ökologischer Aspekte ab, dabei insbesondere auf eine Schonung der Ressourcen. Die Betrachtung der Lebenszyklen von Materialien und Gebäuden stellt einen wichtigen Ansatzpunkt baubiologischer und –ökologischer Optimierungsstrategien dar. Ziel der Arbeit ist es, die Möglichkeiten einer Rückführung von Sekundärprodukten in den Stoffkreislauf sowie das damit verbundene Einsparpotential an Primärrohstoffen durch Verbesserung der Rückbau- bzw. Füge-techniken abzuschätzen.

Die anfallenden Baurestmassen bilden derzeit mehr als 50% des gesamten Abfallaufkommens in Österreich. Das Reduzierungspotential wird dabei nicht nur durch nachhaltige Baustoffe selbst, sondern auch auf Bauteilebene - durch Materialkonzepte, die Schnittstellen zwischen den einzelnen Bauteilschichten und die Rückbautechnik - bestimmt. Die Abfallwirtschaft versucht durch Erlassung verschiedener Gesetze zum Umdenken zu bewegen. Der Eingriff erfolgt erst am Ende des Lebenszyklus, eine prospektive Betrachtung bereits zu Beginn wäre jedoch essenziell. In der vorliegenden Arbeit wurde mittels der gewonnenen Informationen eine Methodik entwickelt, die eine Analyse der verwendeten Materialien, Rückbau- und Füge-techniken ermöglicht. Sie beruht im Kern auf einer Nutzwertanalyse spezieller für den Zweck der Arbeit ausgewählter Kriterien und ist dank diverser Anpassungsmöglichkeiten flexibel auf viele Aufgabenstellungen anwendbar. Die dabei entstandenen Bewertungsmatrizen sollen einen Beitrag bei der Beurteilung von Baukonstruktionen in Bezug auf die Recyclingfähigkeit liefern.

Die Eignung des Systems wurde durch eine Gegenüberstellung mit dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen BNB kritisch betrachtet. Anhand einer Bewertung unterschiedlicher Konstruktionen konnten die differierenden Lösungsansätze aufgezeigt werden. Für die Arbeit dienten die Ergebnisse daraus als Grundlage bauteilspezifischer Vergleiche hinsichtlich wesentlicher Einflussfaktoren auf Bauteil- und Baustoffebene, insbesondere in Bezug auf die Recyclingfreundlichkeit. Die Analyse basiert dabei auf Baustoffdaten und Ökobilanzvergleichen der DGNB/BNB. Die Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbetrachtung der ausgewählten Baukonstruktionen zeigen auf, dass die lebenszyklusorientierte Auswahl ökoeffizienter Materialien und Verbindungstechniken immer mehr an Bedeutung gewinnt. Das entwickelte System zeichnet sich dabei als transparentes und überschaubares Bewertungsmodell aus, wobei eine Einflussnahme des Nutzers durch subjektive Empfindungen als negativer Aspekt zu nennen ist. Das BNB stellt auf der Gegenseite eine ganzheitliche Nachhaltigkeitsbetrachtung mit den Möglichkeiten der Darstellung vorhandener Optimierungspotentiale in Bezug auf sämtliche Umweltwirkungen eines Gebäudes dar.

Abstract

Sustainable building activity has among its main objectives ecological, economic and socio-cultural criteria but above all the conservation and protection of resources. The examination of the life cycle of materials and buildings represents a decisive approach to building biology and ecological optimisation strategies. The aim of this paper is to evaluate the possibilities of the refeeding of secondary products into the cycle of materials as well as the saving potential of primary raw materials due to advancements of deconstruction and joining technologies.

Today construction waste amounts to more than 50% of all waste generated in Austria. The reduction potential is determined by sustainable building materials as well as on component level by material concepts, the connection of individual building component layers and deconstruction technology. The waste industry is enacting a variety of laws to induce rethinking in this field. Intervention at the moment takes place at the end of the life cycle, but a prospective examination at its beginning would be essential.

In this paper, based on the information gained, a system was developed which allows an analysis of applied materials, deconstruction and joining technologies. This system focuses on a benefit analysis of criteria specifically developed for the purpose of this work and applicable for many tasks due to diverse adaptabilities. As a result evaluation matrices were designed which should contribute to the assessment of building constructions regarding their recycling capability.

The suitability of this system was critically investigated by contrasting it with the assessment system BNB. By evaluating diverse constructions different approaches to solution could be shown. The results served as basis for the component comparison with regard to significant factors on the level of building components and material, concerning recycling compatibility in particular. The analysis is based on the data of building materials and comparison of DGNB/BNB life cycle assessment.

The results of the sustainability assessment of different constructions demonstrate that the life cycle orientated choice of eco-efficient materials and joining technologies is increasingly gaining importance. The development scheme proves to be a transparent and clear assessment model, although the influence of the user's subjective perception has to be mentioned as a negative point. On the opposite, the BNB as a holistic form of sustainability assessment is able to outline the possible potential for optimisation regarding all environmental impacts of a building.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort und Danksagung	3
Kurzfassung	4
Abstract	5
Abbildungsverzeichnis	9
Tabellenverzeichnis	11
1 Einführung	11
1.1 Zielsetzung	13
2 Grundlagenermittlung	15
2.1 Einleitung	15
2.1.1 Verwendete Materialien im Bauwesen in Österreich	16
2.1.2 Stofffluss- bzw. Materialflussanalyse	18
2.2 Recycling	19
2.2.1 Recycling im Bauwesen	21
2.2.2 Überblick der Abfallmengen im Bauwesen	22
2.2.3 Deponiesituation	23
2.3 Rechtliche Vorgaben	25
2.3.1 Das Abfallwirtschaftsgesetz des Bundes - AWG	25
2.3.2 Bundes-Abfallwirtschaftsplan	27
2.3.3 Recycling-Baustoffverordnung – BGBl. II Nr. 181/2015	28
2.3.4 Deponieverordnung – BGBl. II Nr. 39/2008	29
2.3.5 Altlastensanierungsgesetz – BGBl. Nr. 299/1989	29
3 Abbruch bzw. Rückbau eines Gebäudes	30
3.1 Rückbaumethoden	30
3.1.1 Abbruch	30
3.1.2 Rückbau	31
3.1.3 Selektiver Rückbau	31
3.2 Rückbauverfahren	33
3.2.1 Mechanische Verfahren	34
3.2.2 Sprengen	40

3.2.3	Hydrodynamische Verfahren	42
3.2.4	Thermische Verfahren	43
3.2.5	Sonstige Verfahren	46
3.3	Selektiver Rückbau	46
3.3.1	Eignung der Verfahren für den selektiven Rückbau	47
3.4	Einsatzbedingungen und Leistungsfähigkeit der Rückbauverfahren	50
3.5	Baurestmassentrennung bei selektivem Rückbau	52
3.5.1	Bauschuttzubereitung	52
3.5.2	Zubereitungsanlage	53
4	Fügetechnik	57
4.1	Grundlagen	57
4.1.1	Fügetechnik als Fertigungsverfahren nach DIN 8580	58
4.1.2	Fügetechnik – DIN 8593	59
4.2	Verbindungstechnik	60
4.2.1	Schlussarten	61
4.2.2	Verbindungsarten	62
4.2.3	Schad- bzw. Störstoffe	62
4.3	Verbindungen	63
4.3.1	Unlösbare Verbindungen	64
4.3.2	Bedingt lösbare bzw. lösbare Verbindungen	69
5	Entwicklung eines Klassifizierungssystems	77
5.1	Entwicklung des Bewertungssystems	78
5.1.1	Bewertungsmethode	79
5.1.2	Gewichtung der Kriterien	81
5.1.3	Bewertung der Kriterien	81
5.2	Bewertung der Fügetechnik	81
5.2.1	Kriterien für die Bewertung von Fügetechniken	82
5.2.2	Gewichtung und Bewertung der Kriterien	84
5.3	Bewertung der Rückbaumethoden	84
5.3.1	Kriterien für die Bewertung von Rückbaumethoden	84
5.3.2	Gewichtung und Bewertung der Kriterien	87
5.4	Klassifizierungssystem für Rückbau- bzw. Fügetechniken	87
5.4.1	Klassifizierung Fügetechnik	87
5.4.2	Klassifizierung Rückbautechnik	89
5.4.3	Darstellung der Klassifizierungsmatrizen	89

6	Evaluierung des entwickelten Klassifizierungssystems	93
6.1	Klassifizierung ausgewählter Baukonstruktionen	93
6.1.1	Außenwandkonstruktion	94
6.1.2	Deckenkonstruktion	98
6.2	Gegenüberstellung des Klassifizierungssystems mit dem BNB-XLS-Tool-4.1.4	102
6.2.1	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude (BNB)	103
6.2.2	Auswahl der Bauteilaufbauten	104
6.2.3	Bewertung der Bauteilaufbauten	105
6.2.4	Analyse der Bauteilaufbauten	114
6.2.5	Vor- und Nachteile der Bewertungssysteme	120
6.3	Zusammenfassung	122
7	Zusammenfassung	124
7.1	Materialströme und Recycling im Bauwesen	124
7.2	Rückbau von Gebäuden	125
7.3	Zusammenfassung – Klassifizierungssystem	126
7.4	Gegenüberstellung – Eigenes System / BNB	126
8	Ausblick	128
8.1	Bewertungsmodell	128
8.2	Weiterer Entwicklungs- und Handlungsbedarf	128
8.2.1	Lebenszyklusorientierte Bauproduktauswahl	128
8.2.2	Konstruktionsoptimierung	129
	Literaturverzeichnis	130
A	Anhang - 1	136
B	Anhang - 2	143

Abbildungsverzeichnis

2.1	Darstellung der Schutzziele nachhaltigen Bauens	15
2.2	5-stufige Abfallhierarchie gemäß Abfallwirtschaftsgesetz	19
2.3	Anteile ausgewählter Abfallgruppen für Österreich	21
2.4	Wesentliche deponierte Abfallarten in Österreich	24
2.5	Deponietypen mit freiem Deponievolumen	24
2.6	Übersichtskarte der Massenabfall- und Reststoffdeponien	24
3.1	Gebäudeabbruchprozess	33
4.1	Baustruktur eines Gebäudes	57
4.2	Fertigungsverfahren der Hauptgruppe Fügen	59
4.3	Einteilung der gängigen Bauteilverbindungen	63
4.4	Adhäsionsmechanismen beim Kleben	64
4.5	Montagemöglichkeiten einer Pressverbindung	72
4.6	Arten von Schnappverbindungen	73
4.7	Der Klettverschluss	75
4.8	Beispiele der losen Auflage aus der Baupraxis	76
5.1	Schritte zur Klassifizierung von Bauteilkonstruktionen	77
5.2	Einflussfaktoren auf das Klassifizierungssystem	78
6.1	Schematischer Aufbau eines typischen Wärmedämm-Verbundsystems	94
6.2	Abschälen der Decklage ohne Berücksichtigung des Abschälwinkels	95
6.3	Schematischer Aufbau einer Decke mit schwimmendem Estrich	98
6.4	BNB - Teilaspekte der Nachhaltigkeit	103
6.5	BNB - Zuordnung der Erfüllungsgrade zu Gebäudenote und Zertifikat	104

Tabellenverzeichnis

2.1	Materialverbrauch in Österreich	17
2.2	Verwertung/Deponierung der Abfälle aus dem Bauwesen	23
3.1	Einteilung der mechanischen Rückbauverfahren	35
3.2	Einteilung der hydrodynamischen Rückbauverfahren	42
3.3	Einteilung der thermischen Rückbauverfahren	44
3.4	Vor- bzw. Nachteile der Rückbauverfahren	50
3.5	Übersicht der Eignung von Rückbauverfahren	51
3.6	Leistungsfähigkeit von Rückbauverfahren	51
5.1	Definition der Verbindungsklassen	88
5.2	Klassifizierungsmatrix für Fügetechniken	90
5.3	Klassifizierungsmatrix für Rückbautechniken Teil 1	91
5.4	Klassifizierungsmatrix für Rückbautechniken Teil 2	92
6.1	Analyse des Rückbaus der Putzschichten	95
6.2	Analyse des Rückbaus der Dämmung	96
6.3	Analyse Abbruch des Rohbaus	96
6.4	Analyse der Verbindungen	96
6.5	Analyse des WDVS	97
6.6	Analyse Rückbau des PVC-Bodenbelages	99
6.7	Analyse der Verbindung Bodenbelag - Estrich	99
6.8	Analyse Rückbau des Zementestrichs	99
6.9	Analyse der Verbindung Estrich - Folie	100
6.10	Analyse des Rückbaus der PE-Folie	100
6.11	Analyse der Verbindung Folie - Dämmung	100
6.12	Analyse des Rückbaus der Dämmschichten	101
6.13	Analyse der Verbindungen der Dämmschichten	101
6.14	Analyse Abbruch des Rohbaus	101
6.15	Analyse der Deckenkonstruktion	102
6.16	BNB-Steckbrief 4.1.4 – Bewertung im Bauteilkatalog	106
6.17	BNB-Steckbrief 4.1.4 – Projekteingabe / Gesamtbewertung	110
6.18	Klassifizierungssystem – Bewertung der Bauteilaufbauten	111
6.19	Klassifizierungssystem – Bewertung des Gesamtgebäudes	113
6.20	Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile beider Systeme	122

1 Einführung

Dem Thema Abfall wird nicht erst in den letzten Jahren große Aufmerksamkeit gewidmet. Erstmals wurden bereits Maßnahmen Ende des 18. Jahrhunderts zur Bekämpfung der ständig wiederkehrenden Seuchen gestartet. Diese beinhalteten die Abfuhr aller häuslichen Abfälle und Fäkalien in regelmäßigen Abständen, die Reinigung und Bespritzung der Straßen sowie Räumung der Kanäle.

Anschließend versuchte man bis Mitte des 19. Jahrhunderts lediglich die Logistik bei der Ver- und Entsorgung zu verbessern bzw. zu erweitern. Den Abschluss der sogenannten hygienisch-medizinischen Phase bildete dabei die Anlieferung reinen Trinkwassers durch spezielle Hochquellenwasserleitungen, danach begann man das Augenmerk vermehrt auf die technologische Seite zu richten.

Es gab zu dieser Zeit bereits einzelne Firmen, welche sich ausschließlich mit der Problematik der Abfallbeseitigung und Reinhaltung der Straßen beschäftigten, jedoch war der Begriff der Abfallwirtschaft, wie wir ihn heute kennen, noch nicht existent. Die technische Umsetzung bei der Abfallbeseitigung und –verwertung war dabei der erste Schritt, in welchen bis knapp 1950 der Hauptteil der Anstrengungen investiert wurde. Trotz neuartiger Überlegungen, zum Beispiel versuchte man den häuslichen Abfall zur Verwertung den Bauern zu überlassen, reichte das Deponievolumen für die landwirtschaftlich nicht verwendbaren Reste nicht lange aus.

So versuchte Österreich schon in den 80er Jahren des 19. Jahrhunderts durch den Austausch von Informationen über neue Verfahren bei der Verbrennung bzw. Verwertung von Abfällen mit anderen europäischen Ländern Fortschritte zu erzielen. Hauptproblematik bei allen Überlegungen waren der hohe Feuchtegehalt des Mülls, welcher auf den großen Anteil an biogenen Abfällen zurückzuführen war. Die Errichtung spezieller Müllverbrennungsanlagen stagnierte wiederum durch den Ausbruch des Ersten bzw. Zweiten Weltkriegs.

Kurz danach wurden erstmals eigene Gesetzestexte für die Aufgabenbereiche der Müllabfuhr verfasst. Auch hier standen die Probleme der Logistik an erster Stelle. Der Umweltaspekt und zusätzliche ästhetische Belange wurden erst gegen Ende der 60er Jahre berücksichtigt. Diese Bestrebungen wurden aber wieder außer Acht gelassen, da bis 1970 große Mengen an Deponievolumen erschlossen wurden, bis man diesen durch zahllose Umweltkatastrophen nach 1970 erneut Bedeutung schenken musste. Die große Anzahl solcher Katastrophen führte schlussendlich zur Einrichtung eines Umweltministeriums mit anschließendem Beginn der Bundesgesetzgebung für den Bereich der Abfallwirtschaft.

Seitdem wird der Schutz der Lebewesen sowie die Schonung der Ressourcen als wichtigste Maßnahme im Zusammenhang mit der Abfallwirtschaft gesehen, die technische Seite rückt

dabei immer mehr in den Hintergrund. Erstmalig wurden sämtliche Maßnahmen im Abfallwirtschaftsgesetz 90 niedergeschrieben. vgl.[67]

Heute beschäftigt man sich mit der Weiterentwicklung von Verwertungsmöglichkeiten bzw. Recycling. Ziel ist es, so viel Rohstoffe wie möglich in den Stoffkreislauf zurückzuführen.

Bei der Herstellung von Produkten aus rezyklierten Rohstoffen ist die Umweltverträglichkeit einer der wichtigsten Gesichtspunkte, wenn es um die Wahl der geeigneten Verfahren zur Gewinnung und Aufbereitung der Rohstoffe beim Rückbau geht. Hauptkriterium dabei ist, dass sowohl die Erzeugung, wie auch die Verwendung eines solchen Sekundärproduktes nicht mit ökologischen Nachteilen, wie beispielsweise einem höheren Energieverbrauch, verbunden sein darf. Um die Nachhaltigkeit der angestrebten Substitution festzustellen, werden meist vergleichende Bewertungen auf Basis einer Ökobilanz mit gleichwertiger Nutzung des Primärproduktes und Sekundärproduktes durchgeführt. vgl.[3]

In diesem Zusammenhang fällt das häufig benutzte Schlagwort „Nachhaltigkeit“. Es gilt, Rahmenbedingungen für Bauwerke zu schaffen, welche in Zukunft effektiver und vor allem noch besser planbar für Quellen im Bereich von nutzbaren Sekundärressourcen verwendet werden können. Dies kann nur im Einklang mit der Entwicklung von Strategien für effizientes Recycling stehen, welches durch ein detailliertes Wissen über die Zusammenhänge zwischen Planung in der Errichtung, den verwendeten Materialien, den angewandten Verbindungstechniken, den Rückbaumethoden und den ökologisch und ökonomisch anwendbaren Recyclingverfahren von Bauwerken möglich wird. Dazu ist es erforderlich, die gesamten Informationen ab der Planung eines Gebäudes klar zu dokumentieren, um zukünftige Prozesse am Ende des Lebenszyklusses, dem Rückbau eines Gebäudes, zu erleichtern. Eine genaue Analyse der einzelnen Arbeitsprozesse bei Errichtung eines Bauwerks (Rohbau, Ausbau etc.) ist die Grundlage, um die lückenlose Dokumentation der einzelnen materiellen Informationen zu sichern.

1.1 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, den aktuellen Stand der Füge- und Rückbautechniken von Baukonstruktionen bezogen auf Rückbauarbeiten nach der ÖN B 2251 (Abbrucharbeiten) und ÖN B 3151 (Rückbau als Standardabbruchmethode) zu untersuchen und zu bewerten. Das daraus entstehende Klassifizierungssystem sollte einen Beitrag zur Optimierung der Sekundärrohstoffgewinnung leisten und helfen, Gebäude bezüglich ihres Recyclingpotentials bewerten zu können.

Die weiteren Teilbereiche der Arbeit sind:

– **Grundlagen und Definitionen für die Entwicklung eines Klassifizierungssystems**

Hier werden die theoretischen Grundlagen, welche für die Entwicklung eines Klassifizierungskonzeptes notwendig sind, erarbeitet. Einerseits sind das die rechtlichen Rahmenbedingungen in Bezug auf den Rückbau eines Gebäudes, mit verschiedenen grundlegenden Begriffsbestimmungen der Abfallwirtschaft, des Baustoffrecyclings, bis hin zur Deponieverordnung, andererseits die beiden sehr eng mit dem Rückbau eines Gebäudes nach den Normen ÖN B 2251 und ÖN B 3151 verbundenen Begriffe der Rückbau- bzw. Füge- und Rückbautechnik.

– **Erhebung und Bewertung aktueller Füge- und Rückbautechniken häufig verwendeter Baukonstruktionen – Klassifizierungssystem**

Aufbauend auf den theoretischen Grundlagen soll eine Analyse aktueller Füge- und Rückbaumethoden für verschiedenste Baukonstruktionen, vor allem in bautechnischer Hinsicht, erfolgen. Mit Hilfe dieser Analyse soll nun ein Klassifizierungssystem entwickelt werden, welches die Füge- und Rückbautechniken in Qualitätsklassen einteilt. Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt dabei in der Vorbereitung zum verbesserten Recycling durch das Aufzeigen geeigneter Füge- und Rückbautechniken und Verbindungsmittel. Das Hauptaugenmerk soll dabei auf die Trennbarkeit der Materialien gelegt werden, über welche sich die Qualität der gewonnenen Sekundärrohstoffe ableiten lässt.

– **Evaluierung des entwickelten Klassifizierungssystems**

Das eben entwickelte Klassifizierungssystem soll nun anhand einiger Fallbeispiele sowie einer Gegenüberstellung mit dem derzeitigen Stand der Technik getestet und verifiziert werden.

– **Ergebnisse und daraus resultierende Maßnahmen zur Verbesserung der Rückbaumethoden bzw. Fügeverfahren von Baukonstruktionen**

Angestrebtes Ziel ist es, dieses System als Planungsinstrument schon während der Planungsphase als Klassifizierung des Rückbaus und der Trennbarkeit der Materialien eines beliebigen Bauwerkes beizulegen. Dies soll in Zukunft zu einer Änderung in der Werterhaltung bezüglich Design for Recycling-Ansätzen führen. So werden Planer in die Pflicht genommen, auch schon während der Errichtung eines Bauwerkes an das Lebenszyklusende zu denken und dafür zu sorgen, dass das Recycling möglichst einfach und effektiv ohne Kontamination der Abfallmassenströme erfolgen kann. vgl.[2]

2 Grundlagenermittlung

2.1 Einleitung

In den letzten Jahren ist der Begriff der Nachhaltigkeit in sämtlichen wirtschaftlichen sowie politischen Debatten allgegenwärtig geworden. Megatrends, Ressourcenknappheit und Klimawandel sind nur einige wenige der verwendeten Schlagwörter. Dabei soll vor allem ein langfristiger Werterhalt mehr und mehr in unser Bewusstsein gerückt werden. vgl.[13]

„Nachhaltigkeit ist keine messbare Größe, sondern viel mehr ein Leitbild und ein ständiger Entwicklungsprozess.“[14] So wird bei einem Gebäude nicht nur die Herstellung, Errichtung und Nutzung betrachtet, sondern, um den gesamten Lebenszyklus zu erfassen, auch der Abbruch bzw. die Entsorgung der Abfälle mitberücksichtigt. Durch sogenannte Nachhaltigkeitsindikatoren wird versucht, das jeweilige Projekt in Sachen nachhaltigen Bauens zu bewerten, da es nicht möglich ist, eine mathematische Summe zur Bestimmung der Qualität der Nachhaltigkeit zu bilden. vgl.[14]

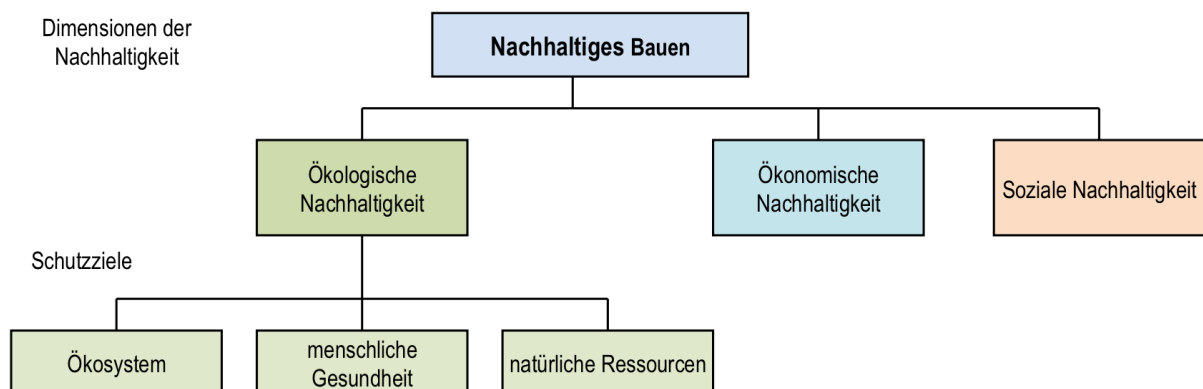


Abbildung 2.1: Darstellung der Schutzziele nachhaltigen Bauens[12]

Die Herstellung, Montage und Entsorgung von Baustoffen erzeugt Emissionen und trägt zum Ressourcenverbrauch bei. Des Weiteren spielt auch der Faktor Lebensdauer eine wichtige Rolle. Durch all diese Punkte wird die Nachhaltigkeit von Gebäuden sehr stark von den eingesetzten Baustoffen bestimmt. Es sollte eine langfristige Rohstoffsicherung angestrebt werden, denn für zukünftige Generationen sind verbleibende Ressourcen von größter Bedeutung. Nur so kann eine nachhaltige Entwicklung gesichert werden. vgl.[14]

Für die Ausführungsplanung und Bauausführung bringt dieser ganzheitliche Betrachtungsansatz neue Herausforderungen mit sich: Hier werden innovative Technologien mit klassischen Bauelementen verbunden. vgl.[13] Auch das Thema Kreislauffähigkeit stellt ein treffendes Beispiel für die ganzheitliche Betrachtung dar. Der Blick richtet sich auf die Sparten Demontierbarkeit, Trennbarkeit und Recyclbarkeit. Ein möglichst großer Anteil der Bauprodukte soll im Stoffkreislauf verbleiben. Auf diese Weise lassen sich einerseits natürliche stoffliche Ressourcen schonen und andererseits wird das nicht verwertbare Abfallvolumen möglichst gering gehalten. Das hat auch Auswirkungen auf den immer knapper werdenden Deponieraum, der so weniger stark beansprucht wird. vgl.[12]

2.1.1 Verwendete Materialien im Bauwesen in Österreich

Rund 104 Mio. Tonnen Baustoffe aus Primärrohstoffen landen in Österreich jährlich im „Bauwerk Österreich“. Dabei machen die Baustoffe „Sand, Kies und gebrochenes natürliches Gestein“ lose, hydraulisch oder bituminös gebunden rund 90 % des Baustoffverbrauchs aus. Damit der große mineralische Rohstoffbedarf gedeckt werden kann, gibt es in 1.000 Gemeinden ca. 900 Kiesgruben und 180 Steinbrüche, die der Rohstoffgewinnung dienen. Neben den eingesetzten 104 Mio. t/a Primärrohstoffen kommen noch rund 4 Mio. t/a Recycling-Baustoffe aus Sekundärrohstoffen hinzu. Nur auf diese Weise lässt sich der Jahresverbrauch decken. Wird der Jahresgesamtverbrauch in Österreich auf die Einwohnerzahl umgeschlagen, ergibt sich folgendes Ergebnis: Über 12 t/E*a an Baustoffen werden in Österreich verbraucht. vgl.[5]

Anhand von Fachliteratur, Statistiken und Branchenberichten wurde eine qualitative Zusammenfassung der heutzutage im Bauwesen eingesetzten Materialien erstellt. Weiters wurde der Materialverbrauch in den Jahren 2005 bis 2007 für die Hauptgruppen der Materialien ermittelt. Dies alles ist der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 2.1: Materialverbrauch in Österreich in den Jahren 2005-2007 nach [2]

Natursteine		2005	2006	2007
Bausande	Mio.t	3,65	2,14	1,80
Kies	Mio.t	25,01	24,71	26,97
Kalkstein für die Zementherstellung	Mio.t	1,23	1,97	1,96
Brechstein für den Hoch- und Tiefbau	Mio.t	13,09	13,92	14,36
Split	Mio.t	11,75	12,62	10,66
Summe	Mio.t	54,73	55,36	55,75
Mineralische Werkstoffe				
Ziegel, Mauerwerk	Mio.t	2,71	2,60	2,16
Frischbeton (Transportbeton)	Mio.t	23,25	24,08	24,04
Betonsteine	Mio.t	4,87	3,87	5,95
Sanitärkeramik	Mio.t	k.A.	k.A.	k.A.
Zement	Mio.t	3,96	4,26	4,84
Summe	Mio.t	34,79	34,81	36,99
Bauglas				
Flachglas	t	1732	1170	1424
Sicherheitsglas und Verbundglas (Gewicht angenommen mit 40 kg/m ²)	t	60,92	17,40	64,71
Weitere Glasprodukte (Glasfasern, Schaumglas)	t	k.A.	k.A.	k.A.
Summe	t	1793	1187	1489
Bindemittel				
Gips	Mio.t	0,20	0,19	0,19
Kalke	Mio.t	0,49	0,46	0,47
Summe	Mio.t	0,69	0,65	0,66
Putz und Estrich				
Summe	Mio.t	0,33	0,35	0,37
Metallische Werkstoffe				
Stahl (Anm.: ohne Bewehrungsstahl)	Mio.t	0,77	0,89	1,03
Aluminium	Mio.t	0,13	0,14	0,16
Weitere Metalle (Zink, Zinn, Magnesium)	Mio.t	k.A.	k.A.	k.A.
Summe	Mio.t	0,9	1,03	1,19
Kunststoffe				
Polymere des Ethylens	Mio.t	0,148	0,170	0,173
Polymere des Propylens	Mio.t	0,015	0,016	0,019
Polymere des Vinylchlorids	Mio.t	0,116	0,118	0,117
Polymere des Styrols (EPS, XPS)	Mio.t	0,054	0,069	0,072
Polyurethane	Mio.t	0,027	0,032	0,029
Andere	Mio.t	0,017	0,020	0,024
Summe	Mio.t	0,377	0,425	0,434
Holz und Holzwerkstoffe				
Laubholz*	Mio.t	2,19	2,36	2,48
Nadelholz*	Mio.t	6,43	6,91	7,20
Summe	Mio.t	8,62	9,27	9,68

*Die Umrechnung der verbrauchten Holzmenge von Mio.fm auf Mio.t ist mit der Annahme von einem durchschnittlichen Laubholzgewicht von 0,517 t/fm und einem durchschnittlichen Nadelholzgewicht von 0,379 t/fm erfolgt.

Die derzeit wichtigsten Materialien bezüglich ihrer Masse sind: Natursteine, Beton, Stahl und Holz. Die klassischen Baumaterialien wie oben angeführt, weisen nicht immer alle Eigenschaften auf, um komplexe technische Anforderungen zu erfüllen. Dies stellt einen Grund für die laufende Weiterentwicklung neuer Materialien dar, die oftmals bessere funktionelle oder ästhetische Eigenschaften aufweisen. Dazu gehören eine transparente Wärmedämmung, flüssiges Holz, Faserbeton (Glas- und Kunststofffaser), transparenter Beton, „intelligente“ kunststoffbasierte Materialien, die auf Temperatur, Licht und Feuchtigkeit reagieren, sowie Nanotechnologiematerialien. Dabei geht der Entwicklungstrend zunehmend in Richtung von Materialien mit einem geschlossenen Kreislauf (No Waste Materials). Dennoch stellen die meisten neu angewendeten Materialien Verbundmaterialien dar. Dies setzt wiederum Anforderungen an die Verbindungstechnik voraus, um beim Rückbauprozess der Verbundmaterialien eine möglichst gute Trennbarkeit erzielen zu können. vgl.[11]

2.1.2 Stofffluss- bzw. Materialflussanalyse

Mittels verschiedener Methoden ist eine ökonomische und ökologische Evaluierung möglich. An dieser Stelle soll die Stoffflussanalyse genannt werden. Sie kann als ein geeignetes Instrument zur Darstellung der Stoffe/Güter, der Prozesse und der Lager in einem System betrachtet werden. Mit Hilfe dieser Analyse ist es möglich, ein komplexes System auf anschauliche Weise darzustellen, indem die relevanten Güter- und Stoffflüsse identifiziert werden. Durch spezifische Maßnahmen lassen sie sich in eine gewünschte Richtung lenken.

Damit Stoffe in optimaler Form wieder verwendet, verwertet und gezielt in die Umwelt zurückgeführt oder inert abgelagert werden können, müssen Kenntnisse über die Stoffströme vorliegen. Danach können die entsprechenden Produktions-, Verwertungs- und Entsorgungssysteme gestaltet werden. Zudem deckt die Stoffflussanalyse die Potentiale sekundärer Rohstoffe auf, sodass durch Schadstoffe verursachte Umweltbelastungen vermieden bzw. frühzeitig erkannt werden können. vgl.[15]

Beim Aufstellen eines Klassifizierungssystems für Rückbauverfahren bzw. Fügetechniken ist solch eine Stoffflussanalyse zielführend. Durch das Aufspalten des Bauwerkes in seine einzelnen Bestandteile können die verschiedenen Baukonstruktionen freigelegt und die einzelnen Materialien mit ihren Verbindungen analysiert werden.

Um eine standardisierte Durchführung von Stoffflussanalysen in der Abfallwirtschaft zu erreichen, wurde mit 1. Jänner 2005 die ÖNORM S 2096 in 2 Teilen herausgegeben: vgl.[15]

- ÖNORM S2096-1: Stoffflussanalyse Teil 1, Anwendung in der Abfallwirtschaft – Begriffe
- ÖNORM S2096-2: Stoffflussanalyse Teil 2, Anwendung in der Abfallwirtschaft – Methodik

2.2 Recycling

Der Begriff „Recycling“ stammt aus dem englischen Sprachgebrauch. Er setzt sich aus den Silben „re“ (lateinisch für „zurück, wieder“) und „cycle“ (englisch für „Zyklus, Kreislauf“) zusammen. Darunter ist das Wiederverwenden bzw. das Wiederverwerten von Abfällen, Nebenprodukten oder verbrauchten Produkten zu verstehen. Diese werden als Rohstoff für die Herstellung neuer Produkte genutzt. Durch das Recycling soll eine Zirkulation der Wertstoffe zwischen Produktion und Konsum sichergestellt werden. Dafür müssen Verwendungs- und Verwertungskreisläufe mitberücksichtigt werden. vgl.[5] Bei der Zerlegung entstandenes und dann weiterverarbeitetes Material weist jedoch oftmals nicht mehr die gleiche Qualität beziehungsweise Verarbeitbarkeit auf wie vor dem Recyclingprozess, was als problematisch zu betrachten ist. Hier ist von einer sogenannten Abwertung die Rede, die auch als Downcycling bezeichnet werden kann. Beim Upcycling wird hingegen aus Abfallstoffen ein hochwertigeres Produkt hergestellt. Damit besitzt das Produkt eine gegenüber seiner vorherigen Funktion höherwertige Nutzungsfunktion. vgl.[62]

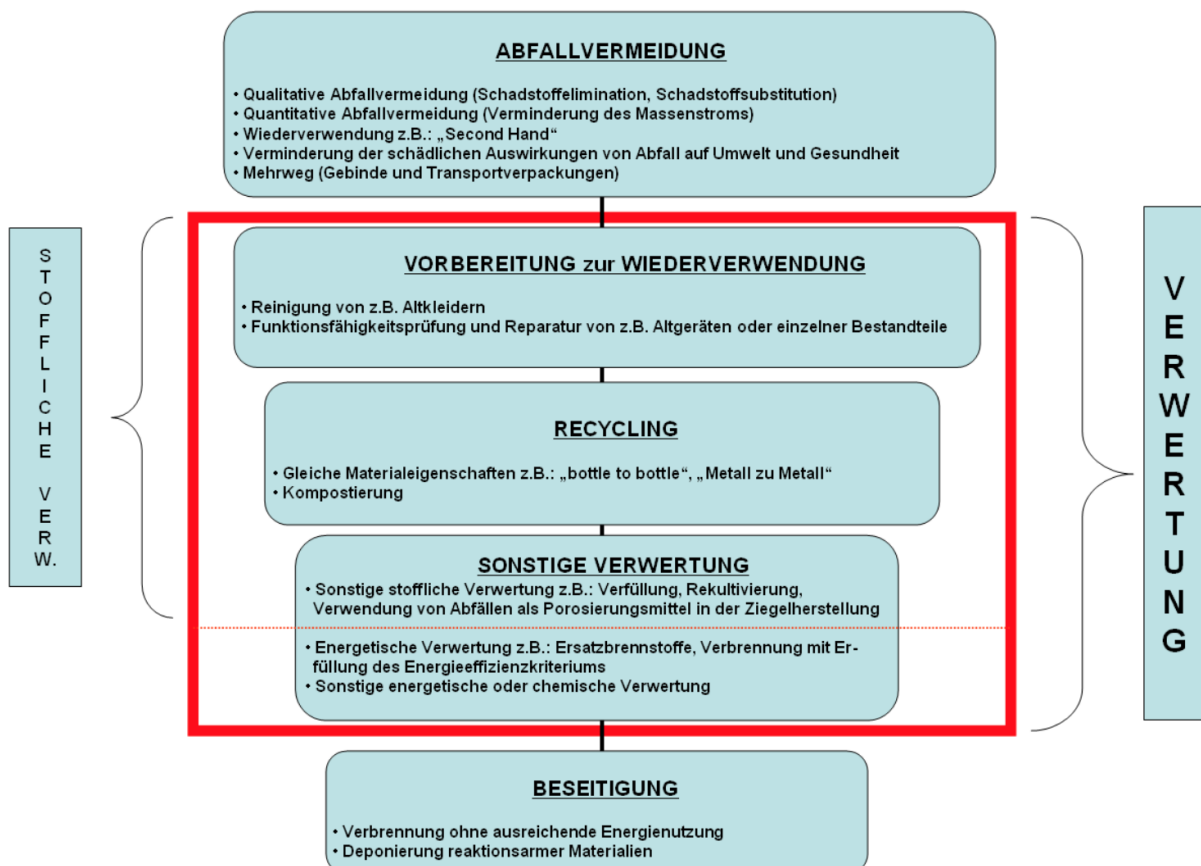


Abbildung 2.2: 5-stufige Abfallhierarchie gemäß Abfallwirtschaftsgesetz 2002[19]

Gemäß EU-Vorgaben nimmt das Recycling in der fünfstufigen Abfallhierarchie nach Abbildung 2.2 den dritten Platz ein. Laut EU-Richtlinie ist es definiert als „jedes Verwertungsverfahren, durch

das Abfallmaterialien zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden.“[63] Zusätzlich zählt noch die Aufbereitung organischer Materialien zur Wiederverwendung, jedoch nicht die energetische Verwertung als Recycling.

Als Verwertung wird im Abfallwirtschaftsgesetz – AWG, auf welches im Kapitel 2.3 noch genauer eingegangen wird, jedes Verfahren bezeichnet, durch welches die beim Rückbau entstehenden Abfälle in umweltgerechter Weise weiterverarbeitet und somit dem sinnvollen Zweck der Verwendung als Sekundärrohstoff zugeführt werden.

In der vorherigen Abbildung wird bereits eingehend die Verwertung und Verwendung beschrieben. Zu ihr zählen einerseits die Vorbereitung zur Wiederverwendung und andererseits das Recycling sowie jede sonstige Verwertung, beispielsweise eine energetische Verwertung zur nachfolgenden Verwendung als Brennstoff. vgl.[19]

Die „stoffliche Verwertung“ wird laut AWG wie folgt definiert:

„Stoffliche Verwertung ist die ökologisch zweckmäßige Behandlung von Abfällen zur Nutzung der stofflichen Eigenschaften des Ausgangsmaterials mit dem Hauptzweck, die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe unmittelbar für die Substitution von Rohstoffen oder von aus Primärrohstoffen erzeugten Produkten zu verwenden, ausgenommen die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe werden einer thermischen Verwertung zugeführt.“[19]

Die Verwertung von Abfällen ist dabei meist mit einem geringeren Aufwand verbunden als die Wiederverwendung – unter ihr versteht man, wie im AWG definiert, lediglich die unmittelbare Substitution der Primärrohstoffe.

Als Beseitigung wird laut AWG jedes Verfahren beschrieben, welches keine zulässige Verwertung ist, auch wenn dabei Stoffe oder Energie zurückgewonnen werden. vgl.[19]

Sämtliche Verwertungswege erfordern einen entsprechenden Nachweis der Materialqualität. Der Bundesabfallwirtschaftsplan, welcher später noch genauer erläutert wird, regelt die Vorgaben zur Wiederverwendung als Baustoff. Für sämtliche andere, nicht mittels BAWP geregelte Verwertungswege muss eine Umweltverträglichkeitsprüfung gegenüber den äquivalenten Primärrohstoffen gesondert erfolgen. Im Falle einer Beseitigung ist die Einhaltung der Grenzwerte gemäß Deponieverordnung 2008 nachzuweisen. vgl.[1] Die Deponieverordnung bildet einen Teil der rechtlichen Vorgaben, weshalb im Kapitel 2.3.4 vollständigshalber darauf eingegangen wird. Die Beseitigung als Verwertungsweg wird jedoch in der folgenden Arbeit nicht weiter forciert, da das Ziel in einer Wiederverwendung der rückgebauten Substanzen liegt.

Generell ist zu sagen, dass für das Ziel eines stofflichen Recyclings nach BAWP dann natürlich die höchsten Anforderungen beim Nachweis an die Materialqualität der Sekundärrohstoffe

gestellt werden. Somit muss, um diese Vorgaben zu erreichen, ein besonderes Augenmerk auf die Rückbau- bzw. Füge­technik gelegt werden, denn nur über eine gute Trennbarkeit der einzelnen Materialien ist solch eine geforderte Qualität erreichbar.

2.2.1 Recycling im Bauwesen

Die Bauwirtschaft zeichnet sich durch große Stoffströme aus. Etwa 108 Mio. t an Baustoffen werden jährlich ins „Bauwerk Österreich“ eingebracht, die im überwiegenden Teil aus mineralischen Baustoffen bestehen. Das sind nicht erneuerbare Rohstoffe, die nicht reproduzierbar oder nachwachsend sind. Dennoch können sie wieder in Umlauf gebracht werden, da sie sich aufbereiten und wieder verwenden lassen. Damit unterstützen sie die Ressourcenschonung (Primärrohstoffe und Deponieraum).

Auf der Outputseite nehmen allein die Baurestmassen (6,8 Mio. t/a in Beseitigungsanlagen registriert) und der Bodenaushub (23,5 Mio. t/a) gemeinsam rund 56% des gesamten Abfallaufkommens in Österreich ein. Die nachfolgende Graphik zeigt die Anteile der einzelnen Abfallgruppen im Jahr 2009 und verdeutlicht, welchen großen Anteil die Abfälle aus dem Bauwesen einnehmen. vgl.[4][6]

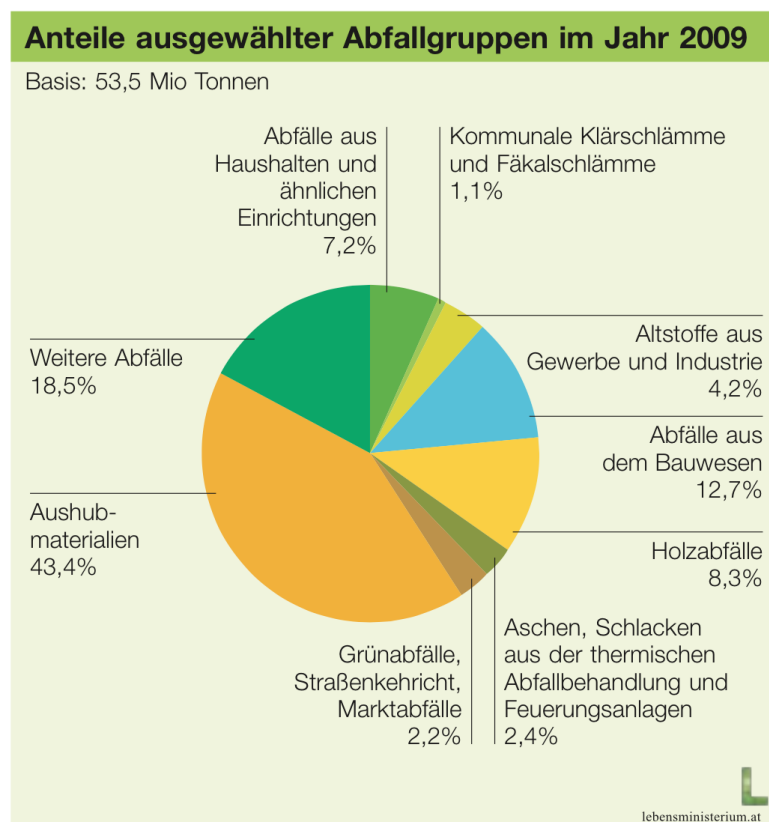


Abbildung 2.3: Anteile ausgewählter Abfallgruppen für Österreich im Jahr 2009[4]

Durch das Recycling sollen der Primärrohstoffverbrauch und die zu entsorgenden Abfallmengen reduziert werden. Dabei ist darauf zu achten, dass eine hochwertige Verwertung oder sogar im besten Fall eine Wiederverwendung angestrebt wird und ein Downcycling möglichst ausgeschlossen werden kann. Als Beispiel kann hier ein einfacher Holzbalken dienen: Als Hauptziel ist ein stoffliches Recycling anzustreben, die Energiegewinnung bei einer thermischen Verwertung sollte lediglich als letzte Option herangezogen werden. vgl.[5]

In den nachfolgenden Kapiteln wird genauer auf die anfallenden Abfallmengen und die derzeitige Deponiesituation eingegangen, um aufzuzeigen, wie wichtig die Verbindungs- bzw. Rückbau-technik im Bauwesen ist, denn nur über sie kann ein hochwertiges stoffliches Recycling und damit verbunden eine große Einsparung bei den Abfallmengen erfolgen.

2.2.2 Überblick der Abfallmengen im Bauwesen

Betrachtet man die Abfälle im Bauwesen, fällt auf, dass der überwiegende Teil aus dem Abbruch, dem Umbau und der Sanierung von Bauwerken stammt. Lediglich knappe 10 % fallen durch den Neubau an. vgl.[4] Dies zeigt das riesige Potential der Rückbau- und Füge-technik auf.

Das Aufkommen selbiger kann mit rd. 30 Mio t/a beziffert werden. Von dieser Abfallgruppe werden also somit rd. 56% des gesamten Abfallaufkommens in Österreich eingenommen.

Die zahlenmäßig größte Masse stellt dabei der Bodenaushub mit einem jährlichen Aufkommen von rd. 23,5 Mio t dar. Schätzungsweise werden davon 15 Millionen Tonnen für Untergrundverfüllungen, Dammherstellungen, Geländekorrekturen etc. verwendet, der Rest von etwa 8,5 Millionen Tonnen wird auf Deponien verfrachtet. Das heißt, dass also rund 64% verwertet und 36% auf Deponien gebracht werden.

Das Aufkommen der übrigen Abfälle neben den Aushubmaterialien betrug rund 6,9 Millionen Tonnen im Jahr 2009. Die jährlichen Zahlen sind dabei in kleinem Maße variabel und nicht exakt prognostizierbar, da die Abfälle von der Entwicklung des Hoch- und Tiefbaus in Österreich abhängig sind. vgl.[4]

Im Jahr 2009 wurde dabei der überwiegende Anteil der im Bauwesen anfallenden Abfälle, nämlich etwa 5,5 Millionen Tonnen verwertet. Um dies zu ermöglichen, wird meist eine Sammlung der Abfälle von speziellen Entsorgungs- bzw. Abbruchunternehmen direkt auf der Baustelle vorgenommen. Um eine hohe Qualität bei der Aufbereitung der Abfälle erzielen zu können, ist die exakte Trennung der einzelnen Stofffraktionen von entscheidender Bedeutung. Dies kann nur über die Anwendung spezieller Füge-techniken in Kombination mit den richtigen Rückbaumethoden erreicht werden und zeigt die enorme Wichtigkeit dieses Themas auf. vgl.[4]

2 Grundlagenermittlung

Die Tabelle unten zeigt einerseits die jeweiligen Verwertungswege, andererseits die deponierten Massen der Abfälle aus dem Bauwesen auf. Es ist ersichtlich, dass im Vergleich zu den verwerteten Abfällen rund 9% der Abfälle deponiert werden, jedoch, wenn man die einzelnen Bereiche betrachtet, große Unterschiede herrschen. So werden z.B. bei Betonabbruch im Verhältnis zu der verwerteten Menge nur 1% deponiert, bei Bauschutt jedoch knapp 22%. Dies zeigt schon die großen Möglichkeiten von Einsparungen durch eine Weiterentwicklung des Rückbaus auf, um in einigen Bereichen den Deponieraum noch massiv zu entlasten.

Tabelle 2.2: *Verwertung/Deponierung der Abfälle aus dem Bauwesen in Österreich im Jahr 2009*[4]

Abfälle aus dem Bauwesen – Verwertungswege im Jahr 2009			
Schlüsselnummer	Bezeichnungen gemäß ÖNORM S 2100 (2005)	Verwertungswege	Masse in Tonnen
31409	Bauschutt	Zuschlagstoffe für die Produktion von Mauerwerksteinen, Beton und Leichtbeton, Verfüllungen, Schüttungen, Zementproduktion, Substrate	2.100.000
31410/ 54912	Straßenabruch Bitumen und Asphalt	Zuschlagstoffe für Asphaltproduktion, Straßen- und Parkplatzbau, landwirtschaftlicher Wegebau	780.000
31427	Betonabbruch	Zuschlagstoffe für Betonherstellung, Straßen- und Wegebau, Leitungsbau, Künettenverfüllung	2.200.000
31467	Gleisschotter	Wiedereinbau nach Reinigung	340.000
91206	Baustellenabfälle (kein Bauschutt)	Sortierung und anschließend stoffliche bzw. thermische Verwertung	96.000
Gesamt			5.516.000
Abfälle aus dem Bauwesen – Deponierte Massen im Jahr 2008			
Schlüsselnummer	Bezeichnungen gemäß ÖNORM S 2100 (2005)		Deponierung in Tonnen
31409	Bauschutt		442.000
31409 18	Bauschutt (nur Mischungen aus ausgewählten Abfällen aus Bau- und Abrissmaßnahmen)		8.000
31410	Straßenabruch		2.000
31427	Betonabbruch		21.000
31427 17	Betonabbruch (nur Mischungen aus ausgewählten Abfällen aus Bau- und Abrissmaßnahmen)		2.000
31467	Gleisschotter		27.000
54912	Bitumen, Asphalt		5.000
91206	Baustellenabfälle (kein Bauschutt)		3.000
Gesamt			510.000

2.2.3 Deponiesituation

Aufzeichnungen über die abgelagerten Abfälle müssen von den Betreibern sämtlicher Deponien seit 1998 verpflichtend durchgeführt und anschließend an das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft weitergegeben werden. Dabei wurden im Jahr 2008 auf 666 Deponien rund 10,7 Millionen Tonnen Abfälle laut Meldungen der Anlagenbetreiber deponiert. vgl.[4]

Die folgenden Tabellen geben einen Überblick über die wesentlichen deponierten Abfallarten und ihre Anteile an der gesamten abgelagerten Masse sowie eine Aufgliederung der Deponien in Deponietypen mit Anzahl und freiem Deponievolumen der einzelnen Typen im Jahr 2008.

Bei den Deponien ist ersichtlich, dass die Reststoff- und Massenabfalldeponien noch ein relativ großes freies Deponievolumen, bezogen auf die Menge des Abfalls bzw. Anzahl der Deponien, besitzen, jedoch im Vergleich dazu bei den Baurestmassen- und vor allem Bodenaushubdeponien dieses Volumen viel geringer ist.

Abbildung 2.4: Wesentliche deponierte Abfallarten in Österreich im Jahr 2008[4]

Wesentliche deponierte Abfallarten im Jahr 2008		
Abfallarten	abgelagerte Massen 2008 in Tonnen	Anteil an gesamt abgelagerten Masse in %
Bodenaushub	7.892.500	73,7
Sonstige verunreinigte Böden	451.700	4,2
Mineralischer Bauschutt (keine Baustellenabfälle)	450.000	4,2
Schlacken und Aschen aus Abfallverbrennungsanlagen	356.400	3,3
Hütten- und Gießereischutt	150.850	1,4
Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, mechanisch-biologisch vorbehandelt	148.400	1,4
Gesamt	9.449.850	88,2

Datengrundlage: eBilanzen

Aufgliederung der Deponien nach Deponieklassen und -unterklassen sowie freies Deponievolumen (2008)			
Deponietypen	Anzahl der 2008 meldenden Deponien	Freies Deponievolumen 2008 in Millionen m ³	
Bodenaushubdeponie	462	39,5	
Inertabfalldeponie	13	1,8	
Deponie für nicht gefährliche Abfälle	Baurestmassendeponie	90	8,5
	Reststoffdeponie	40	12,5
	Massenabfalldeponie	46	13,0
Weitere (Zuordnung noch offen)	15	2,0	
Gesamt	666	77,3	

Datengrundlage: eBilanzen

Abbildung 2.5: Aufgliederung der Deponietypen mit freiem Deponievolumen[4]

Die Abbildung 2.6 zeigt wiederum eine Übersichtskarte der Massenabfall- und Reststoffdeponien in Österreich. Die Anzahl der Deponien stieg in den letzten Jahren rasant an, jedoch wird der Platz, neue Flächen für neue Deponien zu erschließen, bald erschöpft sein. Deshalb kommt der Füge- und Rückbautechnik besondere Bedeutung zu, wenn man die Situation der Deponien in Österreich betrachtet.

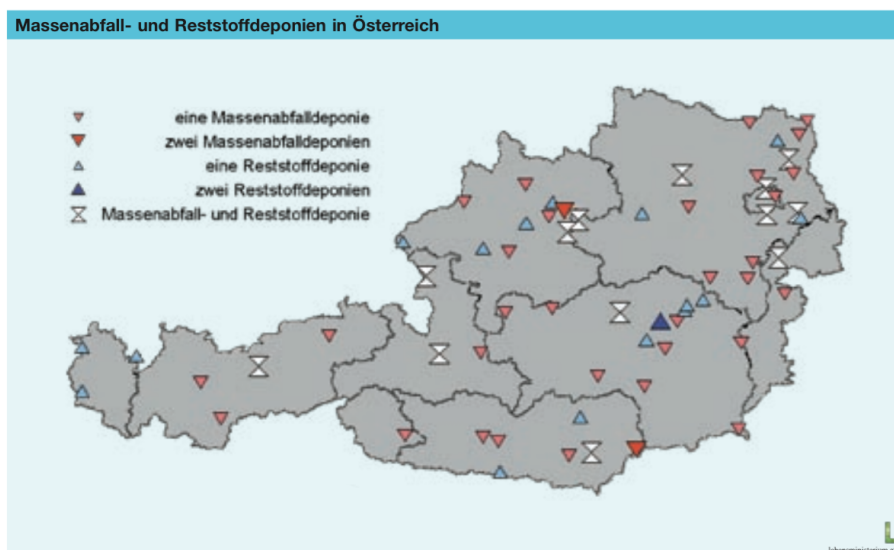


Abbildung 2.6: Übersichtskarte der Massenabfall- und Reststoffdeponien in Österreich[4]

2.3 Rechtliche Vorgaben

Die Abfallwirtschaft umfasst einen großen Bereich an Maßnahmen zur Vermeidung, Verminderung, Verwertung und Behandlung sowie Beseitigung von Abfällen jeglicher Art in einem schadlosen Rahmen. vgl.[4]

Einige rechtliche Vorgaben wurden schon im vorherigen Kapitel besprochen, in diesem soll noch genauer auf ein paar wichtige Gesetze bzw. Verordnungen eingegangen werden, welche in engem Zusammenhang mit Rückbau- bzw. Füge-Techniken stehen. Die Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften in Bezug auf die folgenden Punkte hängt stark von der Rückbauqualität eines Bauwerkes zusammen.

Dies betrifft: [4]

- Vorgaben zur Reduktion der Mengen und Schadstoffgehalte sowie der nachteiligen Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen der Abfälle,
- Vorgaben zur Förderung der Vorbereitung zur Wiederverwendung, des Recyclings und der sonstigen Verwertung von Abfällen, insbesondere im Hinblick auf eine Ressourcenschonung,
- Vorgaben zur umweltgerechten und volkswirtschaftlich zweckmäßigen Verwertung von Abfällen,
- Vorgaben zur Beseitigung der nicht vermeidbaren oder verwertbaren Abfälle und
- Vorgaben zur Verbringung der Abfälle nach oder aus Österreich zur Verwertung oder Beseitigung.

Diese fünf geforderten Punkte des Bundes-Abfallwirtschaftsplans lassen sich nur realisieren, wenn in Zukunft mehr Bedacht auf die Auswahl der Füge- und Rückbautechniken genommen wird.

2.3.1 Das Abfallwirtschaftsgesetz des Bundes - AWG

Das AWG muss bei der Entwicklung eines Klassifizierungssystems für Rückbau- bzw. Füge-Techniken besonders beachtet werden. Es enthält eine Verordnungsermächtigung zur Erlassung von Maßnahmen für die Abfallvermeidung und -verwertung. Es zielt darauf ab, die Abfallmengen und Schadstoffgehalte zu verringern und die Kreislaufwirtschaft zu fördern. Dabei muss bei der Gestaltung, bei der Herstellung, beim Vertrieb sowie beim Gebrauch von Waren bereits auf ein möglichst geringes Abfallaufkommen geachtet werden. Hierfür eignen sich spezielle Maßnahmen. Dazu gehören die Pflicht zur Kennzeichnung einer Ware mit Entsorgungshinweisen oder Schadstoffgehalten, die Verpflichtung zur Rücknahme, die Einhebung von Pfandbeiträgen und

letztendlich Verbote, bestimmte Waren (z.B. solche mit Schwermetallen) überhaupt in Umlauf zu bringen. Die Maßnahmen können bereits zu einem frühen Zeitpunkt des Lebenszyklusses von Produkten umgesetzt werden (z. B. der Produktkonzeption). Dadurch werden auch Aspekte von Stoffen mit einbezogen, die kein Abfall sind.

Das Vorsorgeprinzip und die Prinzipien der Nachhaltigkeit des AWG sind (§ 1 Abs. 1 AWG 2002): [19]

- Schutz von Mensch, Tier, Pflanze, deren Lebensgrundlagen und deren natürlicher Umwelt
- Geringhaltung der Emissionen von Luftschadstoffen und klimarelevanten Gasen
- Schonung von Ressourcen (Rohstoffe, Wasser, Energie, Landschaft, Flächen, Deponievolumen)
- Kein höheres Gefährdungspotential bei der Verwertung gegenüber den ursprünglichen Primärrohstoffen
- Ablagerung von Abfällen aus der Behandlung ohne Gefährdung nachfolgender Generationen

Ferner können bestimmte allgemeine Pflichten von Abfallbesitzern konkretisiert werden.

Der § 23 Abs. 1 AWG 2002 regelt, welche Abfälle getrennt zu sammeln und wie diese zu behandeln sind. Zudem werden im Hinblick auf Sammlung, Lagerung, Beförderung und die Behandlung von Abfällen nach dem Stand der Technik Anforderungen gestellt. vgl.[4]

Aufgrund dieser Anforderungen in Bezug auf die Vermeidung, Trennung und Verwertung von Abfällen kommt den Rückbau- bzw. Fügemethoden besondere Bedeutung zu. Die geforderte Materialqualität des jeweiligen Verwertungsweges, über die schon beim Recycling gesprochen wurde, kann nur über eine bestimmte Qualität des Rückbaus bzw. der Trennbarkeit der Verbindungen erreicht werden.

Zum besseren Verständnis sollen nachfolgend ein paar Begriffe aus der Abfallwirtschaft erläutert werden.

2.3.1.1 Abfallbegriff

Der Abfallbegriff wird laut § 2 Abs. 1 des AWG 2002 folgendermaßen definiert:

„Abfälle im Sinne dieses Bundesgesetzes sind bewegliche Sachen,

1. deren sich der Besitzer entledigen will oder entledigt hat oder

2. deren Sammlung, Lagerung, Beförderung und Behandlung als Abfall erforderlich ist, um die öffentlichen Interessen (§ 1 Abs. 3) nicht zu beeinträchtigen.“[19]

2.3.1.2 Ende der Abfalleigenschaft

Die Abfalleigenschaft geht erst durch eine zulässige Form der Verwertung eines Abfalls verloren. Diese konkrete Verwendung, auch Substitution genannt, tritt erst durch den tatsächlichen Einsatz, zum Beispiel als neuer Baustoff auf der Baustelle ein. Es genügt dabei nicht das Aufbereiten allein, auch wenn der Abfall bereits in der erwünschten Qualität für eine Verwertung verarbeitet wurde. vgl.[20]

2.3.1.3 Die Verpflichteten des AWG – Abfallbesitzer, Abfallerzeuger, Abfallsammler und -behandler

Der Abfallbesitzer ist im AWG 2002 als Überbegriff für Abfallerzeuger, Abfallsammler und Abfallbehandler zu verstehen. vgl.[1]

„Abfallerzeuger ist jede Person, durch deren Tätigkeit Abfälle anfallen (Abfallersterzeuger), oder jede Person, die Vorbehandlungen, Mischungen oder andere Arten der Behandlung vornimmt, die eine Veränderung der Natur oder der Zusammensetzung dieser Abfälle bewirken.“[19] Der Bauherr ist als Auftraggeber im Rahmen eines Bauvorhabens in der Regel der Abfallersterzeuger. vgl.[1]

„Abfallsammler ist jede Person, die von Dritten erzeugte Abfälle selbst oder durch andere abholt, entgegennimmt oder über deren Abholung oder Entgegennahme rechtlich verfügt.“[19] Das AWG 2002 unterscheidet beim Begriff des „Abfallsammlers“ zwei Fallkonstellationen:[4]

1. Abfallsammler, welche die Abfälle auch in ihrer physischen Gewahrsame haben, da sie diese selbst (bzw. durch eigenes Personal) abholen oder entgegennehmen;
2. Abfallsammler, welche über die Abfälle (deren Abholung oder Entgegennahme) lediglich rechtlich verfügen.

Abfallbehandler ist laut AWG jede Person, die Abfälle entweder verwertet oder aber auch nur beseitigt. vgl.[19]

2.3.2 Bundes-Abfallwirtschaftsplan

Zur Verwirklichung der Ziele des AWG dient der alle sechs Jahre erscheinende Bundes-Abfallwirtschaftsplan (BAWP). Der BAWP erfasst durch seine periodischen Fortschreibungen die Dynamik und Weiterentwicklung auf sämtlichen Gebieten der Abfallwirtschaft. vgl.[4]

Einige Inhalte des BAWP sind sehr eng mit der Rückbau- bzw. Füge-technik verbunden. Der wichtigste Punkt wurde im Kapitel Recycling bereits erwähnt, der Nachweis der entsprechenden Materialqualität für alle Verwertungswege ist laut Vorgaben des BAWP zu führen. Des Weiteren liefert der BAWP noch konkrete Vorgaben [4]

- zur Reduktion der Mengen und Schadstoffgehalte und nachteiligen Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen der Abfälle,
- zur Förderung der Vorbereitung zur Wiederverwendung, des Recyclings und der sonstigen Verwertung von Abfällen, insbesondere im Hinblick auf eine Ressourcenschonung,
- zur umweltgerechten und volkswirtschaftlich zweckmäßigen Verwertung von Abfällen
- und zur Beseitigung der nicht vermeidbaren oder verwertbaren Abfälle gestellt.

Der Zielerreichung des BAWP ist die bereits in Kapitel 2.2 erläuterte Abfallhierarchie zugrunde zu legen. Das heißt, dass an erster Stelle die Abfallvermeidung steht. Sie ist stets oberstes Ziel, erst danach folgen die Vorbereitung zur Wiederverwendung, das Recycling, sonstige andere Verwertungsmöglichkeiten und zum Schluss die Beseitigung. Aufgabe der Verbindungs- bzw. Rückbautechnik ist es, eine Entwicklung zu den oberen Bereichen der Hierarchie einzuleiten, denn all die zuvor erwähnten Vorgaben des BAWP können durch eine geeignete Verbindungsmittelwahl und dazugehörige Rückbaumethoden positiv beeinflusst werden.

2.3.3 Recycling-Baustoffverordnung – BGBl. II Nr. 181/2015

Die Recycling-Baustoffverordnung stellt die neueste Verordnung in Bezug auf das Recycling dar und ist mit 1.1.2016 in Kraft getreten. Sie hat die Förderung der Kreislaufwirtschaft und Materialeffizienz als oberstes Ziel. Mittels verpflichtender Maßnahmen soll ein hoher Wiederverwendungsgrad sowie bessere Qualität der Recycling-Baustoffe erzielt werden.

Zu den wichtigsten Pflichten durch die Verordnung zählen eine Schad- und Störstofferkundung bei Bau- und Abbruchabfällen von mehr als 100 t ohne Bodenaushubmaterialien, die verpflichtende Ausführung jedes Abbruchvorhabens nur noch als Rückbau gemäß der neuen ÖNORM B 3151 und die Trennpflicht der beim Rückbau festgelegten Hauptbestandteile. Es werden ganz genaue Qualitätsanforderungen an die Recycling-Baustoffe gestellt und Grenzwerte zur Einhaltung der Umweltverträglichkeit festgelegt. vgl.[68]

Die verpflichtende Ausführung als Rückbau sowie sämtliche andere Anforderungen der neuen Verordnung zeigen die Wichtigkeit einer Bewertung der Verbindungstechniken mit ihren dazugehörigen Rückbaumethoden auf. Durch das ständige Umdenken in Sachen Recycling kommt ihnen immer mehr Bedeutung zu. Nur durch geeignete Füge- bzw. Rückbaumethoden werden in Zukunft die rechtlich vorgegeben Ziele erreichbar sein.

2.3.4 Deponieverordnung – BGBl. II Nr. 39/2008

Laut Abfallhierarchie ist die langfristige Ablagerung bei der Behandlung von Abfällen der letzte Schritt. Um die Vorgaben des AWG zu erfüllen, müssen alle zuvor getätigten Maßnahmen dahingehend ausgerichtet werden, möglichst reaktionsarme und sehr gering auslaugbare Reste als Abfälle zu erzeugen. Nur so wird eine Gefährdung nachfolgender Generationen durch die Ablagerung verhindert.

Im April 1996 wurde die erste Verordnung, welche Ausstattung und Betriebsweise der Anlagen zur Abfallablagerung regelte, erlassen. Die derzeit gültige Deponieverordnung - BGBl. II Nr. 39/2008 trat mit 1. März 2008 in Kraft und enthält detaillierte Vorgaben zur Untersuchung sämtlicher Abfallströme. vgl.[4]

Durch eine geeignete Verbindungs- bzw. Rückbautechnik soll versucht werden, den Deponieraum zu entlasten, da dieser sonst in naher Zukunft an seine Grenzen stoßen wird. Weiters muss durch sie eine Einhaltung der Grenzwerte für die unvermeidbaren Abfälle gewährleistet werden.

2.3.5 Altlastensanierungsgesetz ALSaG – BGBl. Nr. 299/1989

In Österreich gibt es seit 1. Juli 1989 ein im internationalen Vergleich einzigartiges Altlastensanierungsmodell. Das damals in Kraft getretene Altlastensanierungsgesetz (BGBl. Nr. 299/1989 idgF.) setzt vor allem Maßnahmen, um Altlasten zu sichern und zu sanieren. Die Besonderheit des Modells ist die Finanzierung, welche sämtliche zweckgebundenen Abgaben aus der Abfallwirtschaft direkt der Altlastensanierung zuführt. Es werden dabei sowohl für das Ablagern von Abfällen in Deponien, das Zwischenlagern von Abfällen zur Beseitigung oder anschließenden Verwertung und auch das Ausführen von Abfällen aus Österreich Altlastensanierungsbeiträge eingehoben. Dabei gilt dies nur für Abfälle, welche auch im Sinne des AWG als solche definiert sind. Liegt keine Entledigungsabsicht vor, sondern kann eine direkte Weiterverwendung als z.B. Sekundärrohstoff erfolgen, entfällt der ALSaG-Beitrag. vgl.[5][21]

Dies könnte als wichtiger Anstoß zur Weiterentwicklung von Füge- bzw. Rückbautechniken dienen, da durch diese Maßnahmen eine Erhöhung der Verwertungsquote erzielt werden könnte, wodurch wiederum ALSaG Beiträge entfallen würden.

3 Abbruch bzw. Rückbau eines Gebäudes

Gebäude wurden in den vergangenen Jahren zunehmend aus einer Vielzahl von unterschiedlichen Baustoffen konstruiert. Dadurch gewinnt die Ausführung von Abbrüchen immer mehr an Bedeutung. Um das Recyclingpotential des Abbruchmaterials auszuschöpfen, steigen die Ansprüche im Hinblick auf die Abbrucharbeiten rasant. Es werden immer mehr selektive Vorgehensweisen eingesetzt, um sowohl die Qualität als auch die Sortenreinheit der gewonnenen Stoffströme beim Abbruch zu erhöhen. Die anfallenden Abfallströme werden somit auch minimiert, was zu einer Entlastung der Deponien und zu weniger Arbeit bei der Entsorgung führt. Unter einer selektiven Vorgehensweise wird verstanden, dass auf die baustoffliche Zusammensetzung der konstruktiven Elemente eingegangen wird und eine Zerstörung der Funktionalität verhindert werden soll. Durch eine selektive Gewinnung der Abbruchmaterialien kann der Aufwand bei der Aufbereitung des Bauschutts für ein späteres Recycling dementsprechend ebenfalls reduziert werden. vgl.[3]

3.1 Rückbaumethoden

3.1.1 Abbruch

„Die Beseitigung der konstruktiven Elemente der technischen und/oder baulichen Anlagen oder deren Teilen mit Zerstörung der Funktionalität, teilweise oder vollständig, konventionell oder selektiv“ [72] ist als Abbruch zu verstehen.

Dieser umfasst einzelne Arbeitsschritte. Für den Abbruch eines Gebäudes eignen sich zahlreiche Abbruchtechniken. Dazu gehören mechanische, hydrodynamische, thermische, hydraulische und expansive Verfahren. Üblicherweise kommen mechanische Techniken wie beispielsweise Abtragen, Abgreifen oder Eindrücken zum Einsatz. Durch den Eintrag kinetischer Energie kann der Verbund von Baustoffen wie Beton zerstört werden. Diese Vorzerkleinerung erleichtert den Abtransport der Bauwerke bzw. Bauwerksteile. vgl.[23]

Auf die Abbruch- bzw. Rückbauverfahren wird im Kapitel 3.2 genau eingegangen.

3.1.2 Rückbau

Unter dem Begriff Rückbau können sowohl konventionelle Abbrüche als auch selektive Maßnahmen verstanden werden. Er wird übergeordnet verwendet und umfasst sämtliche Maßnahmen zur teilweisen oder vollständigen Beseitigung der Bausubstanz. vgl.[23]

Der Rückbau erfolgt im Allgemeinen in umgekehrter Reihenfolge zur ursprünglichen Errichtung und hat als Ziel, die anfallenden Materialien möglichst gut für eine Wiederverwendung oder ein Recycling der Bauteile vorzubereiten. Dies kann nur über eine gute Trennung der anfallenden Materialien erfolgen, wobei die Schadstoffgehalte besonders berücksichtigt werden müssen, um das Entweichen selbiger zu verhindern. vgl.[68]

3.1.3 Selektiver Rückbau

Der selektive Rückbau beinhaltet die Demontage eines beräumten Gebäudes oder Bauteils in Abhängigkeit seiner Konstruktion und baustofflichen Zusammensetzung. Dabei werden alle Bau-, Konstruktions- und Ausrüstungsteile entsprechend ihrer Funktion oder Materialzusammensetzung zurückgebaut. Dabei muss das sortenreine Erfassen und Entsorgen des Abbruchmaterials im Vordergrund stehen. vgl.[24] Der Grund dafür ist, dass die Bauteile sowie die Abfallfraktionen sortenrein verwertet und beseitigt werden. Die Verwertungsmöglichkeiten der Stoffströme werden verbessert, wenn die sorgfältige Getrennthaltung von wiederverwertbaren Reststoffen und die Abtrennung von Abfällen bereits während des Abbruchs sichergestellt wird. Wird das Baustoffgemisch nachträglich sortiert, verringern sich in der Regel die Verwertungsmöglichkeiten für die einzelnen Fraktionen. vgl.[25]

Damit ein selektiver Rückbau erfolgen kann, muss eine umfassende Bestandsaufnahme der unterschiedlichen, im rückzubauenden Gebäude befindlichen Bau- und sonstigen Inhaltsstoffe (z. B. Schadstoffe) erfolgen. Hierbei müssen die verschiedenen getrennt rückzubauenden Materialien optimal erfasst werden. Die Ergebnisse der Bestandsaufnahme dienen der sorgfältigen Vorplanung des Ablaufs. Der eigentliche Rückbau beinhaltet die Demontage von einzelnen Bauteilen, Bauelementen und gegebenenfalls Bereichen. Im gesamten Bauablauf werden bestimmte Demontagestufen durchlaufen. Dafür stehen unterschiedliche Techniken zur Verfügung. Bei diesem Vorgehen steht die Separierung und Getrennthaltung der anfallenden Reststoffe im Vordergrund. vgl.[3]

Das gesamte Gebäude muss in umgekehrter Reihenfolge im Vergleich zum Neubau zurückgebaut werden, um eine konsequente Abtrennung sämtlicher unerwünschter Bestandteile zu erzielen – aus dem Abbruch wird ein Rückbau. Willkomm definiert dabei folgende Demontagestufen: [22]

Demontagestufe 1: Ausbau der entsprechend Qualität und technischem Standard direkt wiederverwendbaren Materialien, zum Beispiel Armaturen, Objekte, Einrichtungen, Heizkörper, Rohrleitungen.

Demontagestufe 2: Ausbau von Material, das nach Vorbehandlung weiterverwendet werden kann, zum Beispiel Fenster, Türen, Leitungen, Rohrregister, Elektromaterial, Kabelkanäle.

Demontagestufe 3: Ausbau von Stoffen, die durch Rückführung zur Grundsubstanz oder nach Zerkleinern und Zerfasern weiterverwendet werden, zum Beispiel Bodenbeläge, Dämmstoffe, Verkleidungen, Glas, Holz, Beschläge, Befestigungsmaterial.

Demontagestufe 4: Abbau der Dach- und Fassadenkonstruktion, zum Beispiel Kiesschüttung und bituminöses Dichtungs- und Dämmmaterial, Dachziegel und Dachstuhl sowie die Demontage von Brüstungs- und Fassadenelementen.

Im Rahmen einer selektiven Vorgehensweise können grundsätzlich alle verfügbaren Abbruchtechniken eingesetzt werden. Wichtig ist, die unterschiedlichen Baustofffraktionen sorgfältig zu trennen und Schad- und Störstoffe frühzeitig zu separieren. Bei Techniken wie Einschlagen oder Sprengen können sehr große Volumina bewegt werden. Bevor diese zum Einsatz kommen, müssen Fremd-, Stör- und Schadstoffe mit anderen Techniken aus dem Materialhauptstrom¹ selektiv entfernt werden. vgl.[3]

Die Abbildung 3.1 soll die einzelnen Gebäuderückbauprozesse mit ihren Sub-Prozessen darstellen. In den folgenden Kapiteln wird vor allem auf die verschiedenen Rückbauverfahren beim selektiven Rückbau, welche einen der Hauptbestandteile der Arbeit bilden, die Trennung der Abbruchmaterialien sowie die Bauschutttaufbereitung eingegangen. Durch eine Weiterentwicklung der Rückbau- und Fügetechniken könnten einige Punkte der Abbildung 3.1 – die Bauschutttaufbereitung, Beseitigung und teilweise die Sortierung – wegfallen und den Gebäuderückbauprozess noch effizienter machen.

¹Materialhauptstrom = Materialien ohne störende Fremdstoffe, welche für ein Recycling in Frage kommen (z.B. Beton, Stahl, Holz etc.)

3 Abbruch bzw. Rückbau eines Gebäudes

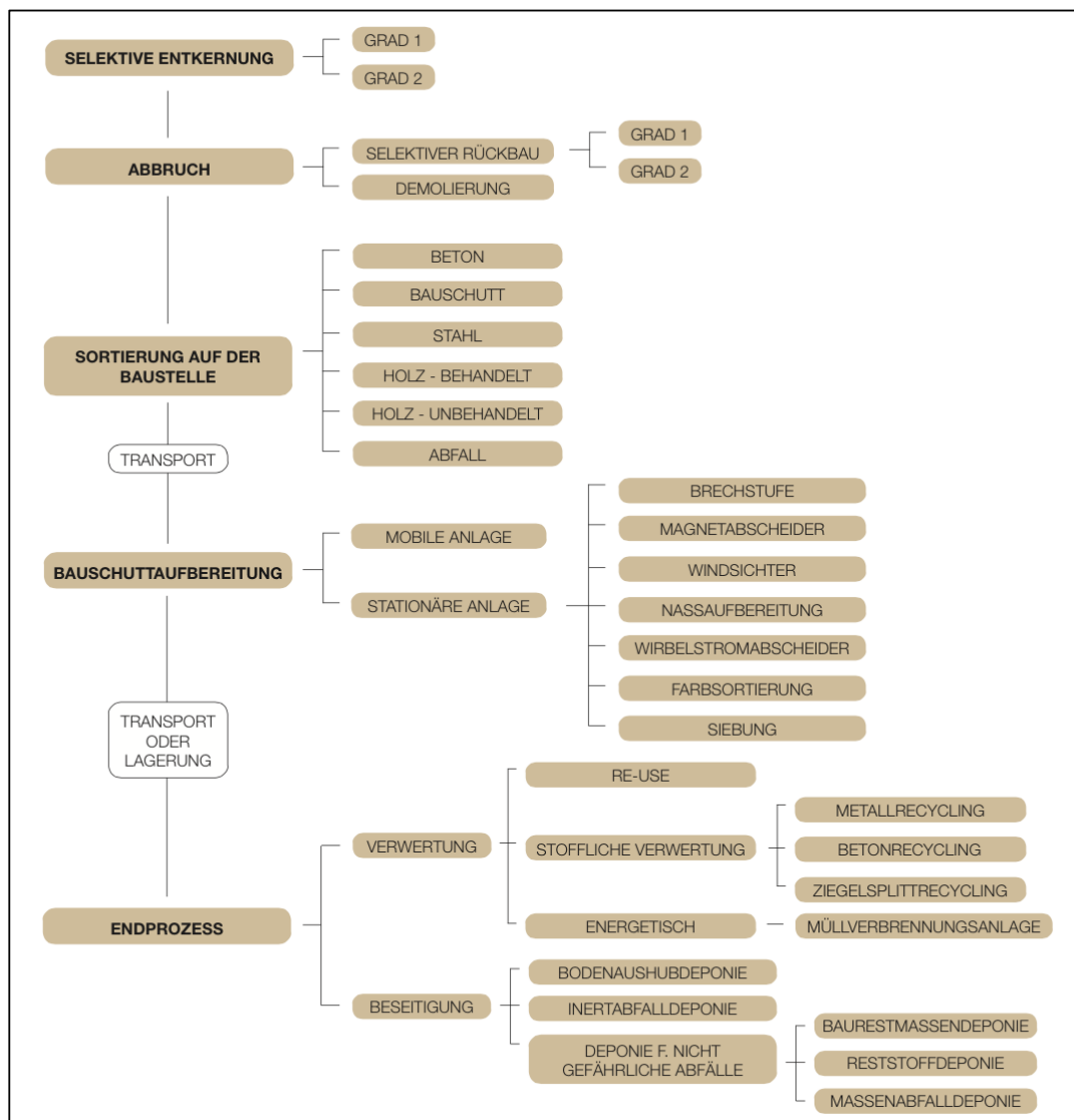


Abbildung 3.1: Gebäudeabbruchprozess mit Sub-Prozessen[36]

3.2 Rückbauverfahren

Vor dem Hintergrund der Anforderungen an einen umweltgerechten Rückbau ist die technische Vorgehensweise der Rückbauverfahren im Hinblick auf Umweltverträglichkeit und Sortenreinheit der erzeugten Stoffströme bestmöglich einzusetzen. vgl.[3]

Die Entscheidung zur Wahl eines Rückbauverfahrens richtet sich nach unterschiedlichen Kriterien: [3]

- örtliche Gegebenheiten (Lage, Umgebung, Untergrund des Abbruchobjekts etc.),
- Art des Abbruchobjektes (Bauweise, Baustoffe, Standsicherheit etc.) und
- Abbruchvolumen (Umbau-, Teil-, Totalabbruch, Gebäudetyp und Geräteauswahl).

Es muss stets auf die Einhaltung der rechtlichen Rahmenbedingungen bei der Planung einer Rückbaumaßnahme geachtet werden. Die ÖN 2251[72] regelt die Planung, Ausschreibung, Durchführung und Abrechnung von Rückbauarbeiten. Die Rückbaupraxis wird seit kurzem neben der grundlegenden Norm durch eine weitere relevante Norm erweitert: ÖN B 3151 – Rückbau von Bauwerken als Standardabbruchmethode[73].

Durch die neue ÖN B 3151 müssen in Zukunft alle Abbruchvorhaben als Rückbau ausgeführt werden. Andere wichtige rechtliche Rahmenbedingungen wie die Baurestmassentrennverordnung und die Recycling-Baustoffverordnung müssen mittels dieser Maßnahmen ebenfalls eingehalten werden.

Für den Rückbau eines Gebäudes stehen eine Vielzahl an Rückbauverfahren zur Verfügung. Prinzipiell kann eine Einteilung in

- mechanische,
- hydrodynamische,
- thermische,
- hydraulische und
- expansive Verfahren

vorgenommen werden. Eine genauere Einteilung erfolgt in dem folgenden Kapitel 3.2.1.

3.2.1 Mechanische Verfahren

Am häufigsten werden mechanische Rückbautechniken angewandt. Sie erzeugen Momente, Zug- und Scherspannungen und zerstören mittels kinetischer Energie ein Bauwerk oder Bauwerksteile. Das Abbrechen von Baustoffen kann mit handgeführten Werkzeugen oder mit Werkzeugen an Trägergeräten vorgenommen werden. Bei maschinellen Verfahren kommen Großgeräte zum Einsatz. Dagegen gestaltet sich die Nutzung von handgeführten Werkzeugen langsamer und kostenintensiver. Hierdurch kann jedoch bereichsweise genauer gearbeitet werden. Handgeführte Abbruchtechniken eignen sich somit sehr gut zum kontrollierten Rückbau einzelner Bauteile oder Bauelemente, sodass dies in komplexen Fällen sogar die einzige Möglichkeit ist. vgl.[3]

Um die mechanischen Rückbauverfahren zu gliedern, werden sie in der folgenden Tabelle einerseits den manuellen oder maschinellen Verfahren zugeordnet, andererseits erfolgt eine Zuteilung je nach Einsatzgebiet in der Praxis. Die Einsatzgebiete werden dabei in die drei Gruppen „schwer“, „mittel“ und „leicht“ eingeteilt, wobei als „schwer“ der Abbruch von z.B. Stahlbeton gilt, als „mittel“ etwas weniger steife Konstruktionen wie z.B. eine Ziegelwand, und als „leichte“ Konstruktionen z.B. Ständerwände.

Tabelle 3.1: Einteilung der mechanischen Rückbauverfahren

		Mechanische Rückbauverfahren		
Hand/manuell	Abtragen, Einziehen, Sägen, Einschlagen, Einreißen	Abtragen, Einziehen, Sägen, Eindrücken	Abtragen, Einziehen, Sägen, Demontieren	
Gerät/maschinell	Abtragen, Einziehen, Sägen, Einschlagen, Einreißen, Bohren, Scherschneiden	Abtragen, Einziehen, Sägen, Eindrücken, Bohren, Scherschneiden, Abgreifen	Abtragen, Einziehen, Sägen, Abgreifen	
	schwer	mittel	leicht	

Im Folgenden werden die am häufigsten eingesetzten Verfahren genau beschrieben.

3.2.1.1 Abtragen

Beim *Abtragen* werden Schichten sowohl von Hand als auch mit Kompressor oder Bagger flächig entfernt. Das Verfahren kann bei Mauerwerk und Beton zum Einsatz kommen. Dabei stehen unterschiedliche Werkzeuge bzw. Anbaugeräte zur Verfügung wie Abbruchhämmer in unterschiedlichen Ausführungen. Wenn andere Verfahren für die örtlichen Verhältnisse (Verkehrswege oder angrenzende Bebauung) aufgrund von möglichen Erschütterungen nicht angewendet werden können, wird das Abtragen gewählt. Es ist ebenso möglich, das Abtragen als vorbereitende Maßnahme einzusetzen, d. h., bevor andere Abbruchverfahren zur Anwendung kommen wie das Lösen einzelner Bauteile. vgl.[26]

Schlagen, Hämmern und Stemmen sind ebenfalls Methoden des Abtragens. Es sind sogenannte Einzeltechniken. Hierbei findet ein schichtweiser Abbruch von Mauerwerk, Beton, Stahlbeton, Holz und anderen Baustoffen mit hand- oder maschinengeführtem Werkzeug statt. Einzelne Bauteile lassen sich mittels Meißel zerkleinern bzw. lösen. Das Meißeln kann elektrisch, pneumatisch oder hydraulisch erfolgen. Ein handgeführter Abbruch lässt sich mithilfe von Hydraulik- oder Druckluftschlämmern mit Spitz-, Flach- oder Keilmeißeln vornehmen. Dieses Verfahren ist für den Abbruch von Baustoffen mit geringer Festigkeit sowie geringem Bewehrungsgrad geeignet. Bei einem maschinellen Abbruch sind schwere Abbruchhämmer oder Meißel an Trägergeräten im Einsatz. Das Verfahren lässt sich beim Rückbau von Beton- und Stahlbetonbauteilen einsetzen. vgl.[3]

Die Rückbautechniken Schlagen, Hämmern und Stemmen können als eigenes Abbruchverfahren betrachtet werden. Diese Techniken lassen sich aber auch als vorbereitende Verfahren nutzen, wenn z.B. eine drohende Gefährdung oder Beschädigung angrenzender Bebauungen abgewendet werden soll. Bei diesen kontrollierten Abbruchverfahren sind die Größe der Schuttteile bestimmbar. Somit ist ein geordneter Abtransport möglich. Es können mittlere Belastungen durch Staub sowie starke Belastungen durch Lärm und Erschütterungen auftreten. Die Leistungsfähigkeit dieses Abbruchverfahrens ist abhängig vom abzubrechenden Material. vgl.[27] Maschinen mit Anbaugeräten zum Schlagen, Hämmern und Stemmen kommen beim Abbruch von massiven Bauwerksteilen aus Mauerwerk, Beton- und Stahlbeton zum Einsatz. Mit dieser Methode lassen sich aber Schichten wie Putz, Estrich oder Fliesen entfernen. Zudem ist damit der Abbruch von Rand- und Übergangsbereichen bei angrenzender Bebauung möglich. vgl.[28]

Im Rückbau von Verkehrsflächen kommt das *Fräsen und Schälen* zum Einsatz. Es gehört genauso wie das *Schleifen* zu den Techniken des Abtragens. Das Bauwerk wird hier mittels rotierender Fräsmeißel abgetragen. Dabei ist die Bearbeitung von horizontalen bis senkrechten Flächen durch eine von einem Bagger geführte Anbaufräse möglich. Das Verfahren des Fräsens erstreckt sich auf den Abbruch von Konstruktionen aus Mauerwerk, Beton, Stahlbeton und bituminösen Flächen. Es treten hier nur geringe Belastungen durch Erschütterungen auf. vgl.[27] Beim Schleifen werden Flächen mit Trennscheiben schichtweise und manuell abgetragen. Die Trennscheiben sind mit einem diamanthaltigen Schleifbelag versehen. Hier kann es abhängig von der Art der Ausführung zum Anfall von Kühlwasser kommen. Dieser Umstand muss hierbei berücksichtigt werden. vgl.[30]

3.2.1.2 Abgreifen

Beim Rückbau von Mauerwerks- und Holzkonstruktionen, von Fachwerksbauten sowie von dünnen und wenig festen Betonkonstruktionen kommt die Technik des *Abgreifens* mittels Bagger mit Greifern als Anbaugeräte zum Einsatz. Als Anbaugerät für das Abgreifen von Stahlbeton werden Zangen eingesetzt. Die Trägergeräte benötigen eine hohe Standfestigkeit und eine entsprechend geeignete Standfläche. vgl.[29] Hierbei werden Bauwerksteile mittels mechanischer oder hydraulischer Greifeinrichtungen teilweise oder vollständig entfernt, indem das aus dem Verbund zu lösende Bauteil zangenförmig gefasst und abgehoben wird. In diesem Fall darf das zu lösende Bauteil nur locker mit anderen Bauteilen verbunden sein. Liegt diese Voraussetzung nicht vor, müssen andere Verfahren zur Verbundlösung zur Anwendung kommen. Durch das Abgreifen können ebenfalls Bauteile separiert werden. vgl.[28]

Bei diesem Verfahren werden Seil- oder Hydraulikbagger eingesetzt. Seilbagger verfügen über ein Raupenfahrwerk und sind mit einem Greifer (Seilgreifer) ausgestattet. Hierbei werden die Bauteile von oben nach unten abgetragen. Die Folge ist eine geringe Einsturzgefahr aufgrund weniger Zwischenzustände. Somit ist das Einrücken und Anbringen von Absturzsicherungen nicht nötig. Mit einem Gerät können Abbruch und Laden in einem Arbeitsgang vorgenommen werden. Die Bauteile lassen sich zudem vorsortieren. Um die Sicherheitsabstände einzuhalten, muss bei dieser Abbruchmethode genügend Platz zur Verfügung stehen. Das Arbeiten verursacht mittlere Beeinträchtigungen durch Staub, Lärm und Erschütterungen können ebenfalls geringfügig auftreten. vgl.[31]

3.2.1.3 Einschlagen

Beim *Einschlagen* werden einzelne Bauteile mittels kinetischer Energie zertrümmert bzw. aus ihrem Verbund gelöst. Ein Vorschlaghammer wird benutzt, wenn die Tätigkeit manuell ausgeführt wird. An Seilen geführte Stahlkörper führen die Arbeiten mechanisch aus. Dafür ist ausreichend Platz für das Trägergerät und den Sicherheitsabstand nötig. Am Ausleger des Abbruchgerätes ist eine stählerne Fallbirne angebracht. Sie wird entweder aus der Senkrechten fallen gelassen oder erfährt durch Schwenken des Auslegers eine Pendelbewegung. Als Trägergeräte kommen bevorzugt Seilbagger zum Einsatz. Sie können bis zu 50 Meter hohe Gebäude einschlagen. Als typisch für einen konventionellen Abbruch wird der Abbruch eines Gebäudes durch Einschlagen unter Nutzung eines Seilbaggers mit anhängendem, seilgeführtem Stahlkörper (Abrissbirne) gesehen. vgl.[28]

Für Teilabbrüche ist das Einschlagen ungeeignet. Hierbei kann es zu einem erheblichen Eintrag kinetischer Energie in das gesamte Bauwerk und zu entsprechenden Erschütterungen kommen. Problematisch ist auch das Trennen der Bewehrung bei Stahlbeton. Zudem bestehen während des Abbruchs nur geringe Kontrollmöglichkeiten. Die Bauteile können mit diesem Verfahren nicht vorsortiert werden. Vielmehr muss die eigentliche Schuttbeseitigung stets unterbrochen werden. Das Einschlagen geht mit für die Umwelt starken Beeinträchtigungen durch Staub, Lärm und Erschütterungen einher. Diese Methode wird beim Totalabbruch sowohl von Mauerwerkskonstruktionen als auch von Beton- und Stahlbetonkonstruktionen eingesetzt. Auch für größere Höhen ist sie geeignet, nicht jedoch, wenn Bauteile erhalten werden sollen. Die Methode weist hohe durchschnittliche Arbeitsgeschwindigkeiten auf. Der Vorteil sind die gleichzeitig niedrigen durchschnittlichen Kosten. vgl.[28]

3.2.1.4 Eindrücken

Mittels Ein- bzw. Umdrücken oder Herausziehen von Segmenten wird beim *Eindrücken und Einreißen* die abzubrechende Bausubstanz abgebrochen. Dies ist durch Umlegen von Bauwerken oder Bauwerksteilen möglich und kann manuell erfolgen. Es können aber auch maschinell, mechanisch oder hydraulisch geführte Druckwerkzeuge bzw. teleskopierbare Abbruchstielausrüstungen mit Reißzähnen oder hydraulische Abbruchzangen eingesetzt werden. Der Abriss mittels Motorkraft eines Flachbaggers (Ketten-/Radlader) erfolgt bei geringer Abbruchhöhe. Sind die Bauwerke höher, werden Hydraulikbagger mit Stoßarmen und verstärktem Löffel eingesetzt. Dabei muss das Verfahren kontrolliert werden. Dazu muss der Druck- bzw. Zugpunkt im oberen Bereich des Bauteils liegen. Die Arbeitssicherheit ist durch kurzfristig auftretende gefährliche Zwischenzustände gefährdet. Sie müssen stets eingeplant werden. Bestehen zusammenhängende, teilweise zu erhaltende Konstruktionen, sind sie vorab mittels eines anderen Verfahrens zu trennen. Dem Eindrücken sind durch aussteifende Elemente wie Wand- oder Deckenteile Grenzen gesetzt. Dann ist es nötig, andere Techniken, z. B. manuelles Abtragen oder Einreißen, zu nutzen. vgl.[26][29]

Diese Verfahrensweise zeichnet sich durch eine hohe Leistungsfähigkeit aus. Zum einen fallen niedrige durchschnittliche Kosten an, zum anderen kann eine hohe durchschnittliche Arbeitsgeschwindigkeit generiert werden. Als nachteilig erweisen sich die begrenzten Kontrollmöglichkeiten. Es muss ein ausreichender Abstand zur Nachbarbebauung eingehalten werden. Zudem geht dieses Verfahren mit einer starken Beeinträchtigung der Umwelt einher. Es entstehen Emissionen, Staub, Lärm und Erschütterungen. vgl.[27] Das Verfahren wird bevorzugt bei Mauerwerkskonstruktionen und leicht bewehrten Stahlbetonbauteilen verwendet. vgl.[28]

3.2.1.5 Einziehen

Vom *Einziehen* ist die Rede, wenn zusammenhängende Bauteile manuell mit Greifzügen oder Seilwinden umgelegt werden. Sie können auch maschinell mittels Seilzügen oder Raupen mit Seilstropp oder Kette umgezogen werden. Dabei werden die Zugkräfte auf die abzubrechenden Bauteile übertragen. Dabei ist es wichtig, dass die Einleitungspunkte im oberen Bereich liegen. Auf diese Weise lässt sich eine Bewegung in die gewünschte Zugrichtung sicherstellen. Die abzubrechenden Bauteile müssen vorher von zu erhaltenden Bauteilen abgetrennt werden. Einsatzgebiete sind Mauerwerks-, Beton- sowie Stahlbetonkonstruktionen und erstrecken sich auf den Abbruch vertikaler Bauwerksteile sowie Skelettkonstruktionen aus Stahl oder Holz. [28] Mit der Abbruchmethode gehen mittlere Lärmemissionen einher. Ferner kommt es zu starken Belastungen durch Staub und Erschütterungen. vgl.[3]

3.2.1.6 Demontieren

Ein Rückbau einer baulichen oder technischen Anlage zur späteren Wiederverwertung erfolgt beim *Demontieren* in der Regel durch Lösen der Verbindungen und Abheben der Bauteile. Der Demontagevorgang findet meist in umgekehrter Reihenfolge wie beim Zusammenbau statt. Es ist nicht zulässig, gelöste Konstruktionen frei fallen zu lassen. Der Grund dafür ist die Sicherheit. Daher werden die Teile vor dem Lösen oder Trennen durch Anschlagmittel oder Hebezüge gesichert, wozu statische Kenntnisse notwendig sind. Zum Einsatz kommt die Methode des Demontierens bei Stahlkonstruktionen, Fertigbauteilen und in sonstigen Hochbauten und technischen Anlagen. vgl.[28]

3.2.1.7 Sägen

Beim Abbruch von Bauwerken wird in der Regel das *Sägen* eingesetzt, insbesondere bei der Ausführung von Teilabbrüchen oder als vorbereitende Maßnahme, um Mauerwerk, Holz-, Beton- oder Stahlkonstruktionen zu durchtrennen. Hierbei kommen je nach Aufgabenstellung Kreis-, Stich- oder Seilsägen zum Einsatz. Das Sägen kann auch für vorbereitende Arbeiten beim kontrollierten Rückbau verwendet werden. vgl.[27]

Vorteil ist seine hohe Präzision. Es können kleine und leichte Geräte genutzt werden, was einen flexiblen Einsatz ermöglicht. Die Arbeiten können weitgehend erschütterungsfrei durchgeführt werden. Im direkten Umfeld der Sägearbeiten entstehen jedoch Belastungen durch Lärmemissionen. Im Gegensatz dazu ist es möglich, Staubemissionen vor allem bei Arbeiten mit Seilsägen durch den Einsatz von Kühl- oder Spülwasser zu unterbinden. vgl.[29]

3.2.1.8 Bohren

Eine weitere mechanische Abbruchmethode ist das *Bohren*. Es dient der Herstellung von Hohlräumen bzw. dem Heraustrennen von Bauteilen mittels Kernbohrungen, ggfs. unter Einsatz von mit Industriediamanten besetzten Bohrrobotern und unter Zugabe von Kühlwasser. Es lassen sich Kern- und Vollbohrungen unterscheiden. vgl.[30]

Bei *Kernbohrungen* kommt ein mit diamantem Schneidbelag bestückter Hohlbohrer unter Zugabe von Kühl- und Spülwasser zum Einsatz. Hierbei ist der Kühlwasseranfall stets zu berücksichtigen. vgl.[30]

Vollbohrungen finden mit Hartmetallbohrkronen statt, wobei im Vorfeld die Tragfähigkeit des Materials geklärt werden muss. Dieses Verfahren zeichnet sich durch seine hohe Präzision aus. Hiermit kann jedoch nur eine geringe Leistung erzielt werden. Dieser stehen sehr hohe durch-

schnittliche Kosten gegenüber. Die geringe Leistung beruht auf der zu bohrenden Materialhärte. Mithilfe dieser Abbruchmethode lassen sich Bauwerke aus Mauerwerk, Beton und Stahlbeton zurückbauen. vgl.[27]

Ähnlich wie das Sägen kann das Bohren als vorbereitendes Verfahren beim kontrollierten Rückbau angewendet werden. Es eignet sich vor allem für den Einsatz in erschütterungsgefährdeten Bereichen. Mit den entsprechenden Bohraufsätzen lassen sich sowohl Holz- und Stahl- als auch Mauerwerks- und Betonbauteile bearbeiten. Es wird auch bevorzugt eingesetzt, um den Bestand für beispielsweise vorbereitende Arbeiten des kontrollierten Rückbaus zu trennen. In der Regel entstehen beim Bohren keine besonderen Erschütterungen. Mittels entsprechender Absaugung kann einer evtl. Staubentwicklung entgegengewirkt werden. Ferner ist die mittlere Lärmbelastung für das direkte Umfeld der Bohrarbeiten zu nennen. vgl.[27]

3.2.1.9 Scherschneiden

Das *Press- oder Scherschneiden* kommt beim Gebäudeabbruch zur Anwendung. Hierzu werden Abbruchzangen oder Abbruchscheren eingesetzt. Sie zerkleinern mineralische Baustoffe mittels Druckbeanspruchung, indem zangenförmig angeordnete Backen hydraulisch zusammengedrückt werden. Auf diese Weise wird das zwischen ihnen befindliche Bauteil abgeschert. Dazu ist es nötig, dass das abzubrechende Bauteil der Schere einen Angriffspunkt bietet. Auf einen separaten Brecher kann durch die Zerkleinerung des Materials verzichtet werden. Das Pressschneiden kann als eher langsames Rückbauverfahren angesehen werden. Eine Gefahr für die Mitarbeiter besteht durch mögliche herunterfallende Teile.

Das Press-/Scherschneiden eignet sich zum Abbruch von Decken, Wänden, Unterzügen und Stützen aus Mauerwerk, Beton und Stahlbeton. Ferner ist es möglich, damit Stahlkonstruktionen zurückbauen. vgl.[28]

3.2.2 Sprengen

Mittels einer Explosion wird bei der Sprengtechnik die vollständige oder teilweise Zerteilung bzw. Zertrümmerung von Bauwerken und Bauteilen bis hin zum Einsturz herbeigeführt. Es kommen Explosivstoffe, also Stoffgemische, zum Einsatz. Nach einer entsprechenden Aktivierung findet eine chemische Reaktion statt, wobei eine Druckwelle erzeugt wird. vgl.[31]

Sprengungen sind aufgrund der kurzen Abbruchzeit bei insgesamt niedrigen Kosten vorteilhaft. Die Sprengtechnik kann gezielt eingesetzt werden und damit Teilabbrüche, Abbrüche bei enger Bebauung oder in der Nähe des öffentlichen Verkehrsnetzes realisieren. Zu erwähnen ist je-

doch, dass sich die Einsturzkinetik nicht bei allen Arten von Bauwerken exakt vorausberechnen lässt. Die Verantwortung liegt hier beim Sprengmeister, der vorhandene konsistente Sicherheitsnachweise, basierend auf halbempirischen Grundlagen, ausgleichen muss. Die vorhandenen Unsicherheiten können sich gravierend auf das Abbruchverhalten eines Gebäudes auswirken. Nach einer gescheiterten Sprengung ist es äußerst kompliziert, mittels erneuter Sprengung oder anderer Abbruchmaßnahmen den Abbruch zu beenden. Die schwierigen örtlichen Verhältnisse aufgrund von Schutt und Trümmerteilen sowie die fehlenden statischen Berechnungen des noch vorhandenen Gebäudeteils erschweren die Planung der weiteren Maßnahmen.

Vor der Sprengung muss ein selektiver Rückbau kontaminierter Bereiche oder einzelner Stoffströme durchgeführt werden, da bei einer Sprengung alle eingebauten Bauteile unabhängig vom Material zerstört werden. Eine unmittelbare Sortierung der Abbruchfraktionen ist nach der Sprengung ebenfalls nicht möglich. vgl.[29][31]

Sprengungen gehen mit starken Emissionen durch Staub-, Lärm- und vor allem hohen Erschütterungen einher. Es sind zwar nur kurzzeitige, aber dennoch besonders massive Umweltbelastungen. Das Ausmaß der Erschütterungen kann durch einen entsprechend gut ausgearbeiteten Sprengplan und entsprechende Sicherungsmaßnahmen (gegen Streuflug, Lärm, Primärererschütterungen durch Detonation, Sekundärererschütterungen durch Aufprall, Schwaden von Sprenggasen und gegen Staub) begrenzt werden. So ist es insgesamt möglich, die Umgebungsbelastungen zeitlich zu limitieren. Ferner können die entstehenden Emissionen besser kontrolliert werden. vgl.[29][31]

Sämtliche Sprengmethoden könnten in der Tabelle der mechanischen Rückbauverfahren allen drei Einsatzgebieten zugeteilt werden. Sie sind sowohl für einen schweren Abbruch wie z.B. von Stahlbeton, als auch für mittlere bzw. leichte Abbrüche geeignet. Jedoch ist die Sprengung ein Abbruchverfahren und nicht wirklich ein Rückbauverfahren, da alle Materialien zerstört werden und keine Trennung dabei erfolgt.

Folgende Sprengmethoden können unterschieden werden: [28]

Lockerungssprengung: Bauteile werden damit aufgelockert, um eine Erleichterung der nachfolgenden maschinellen oder manuellen Abbrucharbeiten zu erzielen.

Spalten durch Sprengen: Bei dieser Art des Sprengens werden Trennflächen in den Bauteilen hergestellt. Übliche Verfahren dabei sind Vorspalten, welches als Sondersprengverfahren gilt, oder schonendes Sprengen. Sogenannte vorgefertigte Schneidladungen kommen zur Anwendung, vor allem bei dünnwandigen Bauteilen und Stahlkonstruktionen.

Umlegen durch Sprengen: Hier erfolgt ein Umlegen meist hoher, schlanker Bauteile. Die Sprengung erfolgt in eine vorbestimmte Fallrichtung, wobei der Zertrümmerungsgrad beim Aufprall in Abhängigkeit von der Konstruktion variieren kann.

Zusammenstürzen durch Sprengen: Die tragenden Teile werden gesprengt und führen dadurch den Einsturz des gesamten Gebäudes herbei. Dies erfolgt über Sprengenebenen, verteilt über die gesamte Höhe des Bauwerkes. Die Anzahl dieser richtet sich nach der Art der Konstruktion und auch der Höhe des Gebäudes.

Niederbringen durch Sprengen: Bei dieser Form werden nur die unteren tragenden Bauteile gesprengt. Dadurch wird die Bauwerkshöhe reduziert um die Reichhöhe eines Baggers zu erreichen. Wenn die Konstruktionsart ein Umlegen oder Zusammenstürzen unmöglich macht, kommt diese Art des Verfahrens zur Anwendung.

3.2.3 Hydrodynamische Verfahren

Hydrodynamische Verfahren eignen sich zum Einsatz bei Beton-, Stahlbeton- oder Stahlbauteilen. vgl.[27] Sie können ohne bzw. mit Abrasivmittel (Schneidmittel) erfolgen. Zur Einteilung der hydrodynamischen Rückbauverfahren wird wieder eine Tabelle mit der Unterteilung einerseits in manuelle oder maschinelle Verfahren, andererseits nach Einsatzgebiet in der Praxis erstellt. Die Einsatzgebiete werden in die drei Gruppen „schwer“, „mittel“ und „leicht“ eingeteilt, wobei als „schwer“ der Abbruch von Stahlbeton gilt, als „mittel“ verschiedenste Stahlkonstruktionen und als „leicht“ mehr das Reinigen und weniger der Abbruch von Bausubstanz.

Tabelle 3.2: Einteilung der hydrodynamischen Rückbauverfahren

Hydrodynamische Rückbauverfahren			
Hand/manuell	Hochdruckwasserabrasivschneiden	Hochdruckwasserabrasivschneiden	Hochdruckwasserstrahlen
Gerät/maschinell	Hochdruckwasserabrasivschneiden	Hochdruckwasserabrasivschneiden	Hochdruckwasserstrahlen
	schwer	mittel	leicht

3.2.3.1 Hochdruckwasserstrahlen

Für Bauwerksinstandsetzungsarbeiten, aber auch im Rahmen von Rückbauverfahren lässt sich das *Hochdruckwasserstrahlen* einsetzen. Die Materialbeanspruchung durch Auswasch- und Geschosseffekte (bei Zugabe von Abrasivmitteln) erfolgt durch die Beschleunigung des Wasserstrahls auf mehrere Hundert m/s. Es entstehen Drücke von 60 bis 2500 bar und Austrittsgeschwindigkeiten von bis zu 1000 m/s. Dadurch wird das beschossene Material abgetragen. Die erreichbare Schneidleistung in harten Materialien weist beim Hochdruckwasserstrahlen eine Begrenzung auf. Dadurch wird deutlich, dass die Leistungsfähigkeit dieses Verfahrens von dem

zu trennenden Material abhängig ist. vgl.[27]

Das Hochdruckwasserstrahlen wird eher zum Reinigen von Materialien und weniger zum Abbruch von Bausubstanz eingesetzt. Hiermit lassen sich sowohl Farbschichten und Rost abtragen, als auch Beton sanieren. vgl.[28]

3.2.3.2 Hochdruckwasserabrasivschneiden

Um die Leistungsfähigkeit des Hochdruckwasserstrahlens im Hinblick auf die Festigkeit der zu bearbeitenden Materialien zu erhöhen, kann ein Schneidmittel (Abrasive) dem Strahlwasser zugegeben werden. Hierfür eignen sich z. B. Eisenkies oder Quarz. Das sogenannte *Hochdruckwasserabrasivschneiden* zeichnet sich durch seine höhere Schnittqualität aus. Hiermit lässt sich Beton, Stahlbeton und Stahl durchtrennen. Das Verfahren wird für kleinere Umbau- oder Abbrucharbeiten von Mauerwerks- und Stahlbetonbauteilen mit Dicken bis zu 35 cm eingesetzt. Mit diesem Verfahren lassen sich fast alle Materialien bearbeiten. Die zu bearbeitende Stahlbewehrung beeinflusst den Schneidfortschritt. Der Grund dafür ist, dass mit zunehmendem Bewehrungsstabdurchmesser die erzielbare Trenngeschwindigkeit herabgesetzt wird. vgl.[28]

Dieses Verfahren bietet sich aufgrund der geringen Belastung des unmittelbaren Arbeitsbereichs (keine Erschütterungen, keine Explosionsgefahr, kein Entstehen von Stäuben, Dämpfen oder Schlacken) zur Durchführung von Teilabbrüchen innerhalb von Gebäuden an. Insbesondere für solche, in denen sich erschütterungsempfindliche Materialien bzw. leichtentzündliche Stoffe befinden. Von Nachteil für die Anwendung ist, dass keine gleichmäßige Schnittfläche über die Trenndicke gewährleistet werden kann, was als nachteilig zu betrachten ist. Die Schneidleistung ist vom Schneidwerkzeug und der Geräteführung abhängig. Eine abbruchtechnische Anwendung dieses Verfahrens ist aufgrund des Abwasseranfalls und des hohen Wasser- (ca. 3 m³/h) und Abrasivbedarfs (ca. 80 – 100 kg/h) nicht anzuraten. Auch die Beseitigung der Wasser- und Feststoffmenge in Kombination mit dem hohen Verschleiß von Schneidköpfen und Fokussierrohren ist als Grund zu nennen. Als Abbruchverfahren sollte das Hochdruckwasser(abrasiv)schneiden nur in Ausnahmefällen verwendet werden. vgl.[28]

3.2.4 Thermische Verfahren

Bei den thermischen Rückbauverfahren wird durch das Verbrennen eines Gas-Sauerstoff-Gemisches die nötige Energie erzeugt, um damit ein Bauteil zu durchtrennen. Es gibt dabei verschiedene Techniken, wobei prinzipiell zwischen drei Arten unterschieden wird: vgl.[3]

– Thermisches Trennen durch direkte Erhitzung,

3 Abbruch bzw. Rückbau eines Gebäudes

- Thermisches Trennen durch energiereiche Strahlung und
- Thermisches Trennen mit elektromagnetischer Energie.

Folgende Verfahren sind wiederum für das Trennen massiver Bauteile (z.B. Mauerwerk, Beton oder Stahlbeton) durch direkt Erhitzung üblich: vgl.[3]

- Trennen mit (Pulver-)Schneidbrennern,
- Bohren und Trennen mit Sauerstoffkernlanzen oder Pulverlanzen sowie
- Schneiden mit Plasmabrennern.

Die Einteilung der thermischen Rückbauverfahren erfolgt einerseits in manuelle oder maschinelle Verfahren, andererseits nach Einsatzgebiet in der Praxis. Die Einsatzgebiete werden in zwei Gruppen - „schwer“ und „mittel“ - eingeteilt, wobei als „schwer“ der Abbruch von Stahlbeton gilt, als „mittel“ verschiedenste Stahlkonstruktionen.

Tabelle 3.3: Einteilung der thermischen Rückbauverfahren

Thermische Rückbauverfahren		
Hand/manuell	Sauerstoffkernlanzen, Pulverlanzen	(Pulver-)Schneidbrennen, Sauerstoffkernlanzen, Pulverlanzen, Plasmabrenner
Gerät/maschinell	Sauerstoffkernlanzen, Pulverlanzen	(Pulver-)Schneidbrennen, Plasmabrenner
	schwer	mittel

3.2.4.1 Schneidbrennen/Pulverschneidbrennen

Durch die Verbrennung eines Gemisches aus Brenngas und Sauerstoff wird beim *Schneidbrennen* thermische Energie erzeugt. In Bezug auf die Größe lassen sich Hand- und Maschinenschneidbrenner unterscheiden. Der Schneidsauerstoff wird unter Druck durch die Heizflamme (Acetylen- oder Propan-Sauerstoff-Gemisch) geblasen. Dadurch verflüssigt sich das zu schneidende Material oder verbrennt. Das Schneidbrennen eignet sich für hohe Materialstärken (bis 300 mm, in Sonderbauformen bis 1000 mm). Bei hoher Vorschubgeschwindigkeit werden diese durchtrennt. Mit diesem Verfahren lassen sich Metalle und andere Stoffe sowie Stahl- und Eisenkonstruktionen thermisch trennen. Aufgrund der Brandgefahr, Materialveränderungen an den Schnittkanten sowie dem Spannungszustand der zu schneidenden Bauteile ist die Anwendung jedoch eingeschränkt. Das Schneidbrennen geht mit hohen Lärmbelastungen einher. Ferner können gegebenenfalls gasförmige Belastungen durch die Verbrennung von z. B. zuvor nicht

erfassten Kontaminationen entstehen. Eine Beeinträchtigung durch Staub und Erschütterungen ist kaum gegeben. vgl.[27]

Ebenfalls als thermisches Rückbauverfahren kann das *Pulverschneidbrennen* betrachtet werden. Es ist ein leises, erschütterungsarmes und staubfreies Verfahren. Hierbei wird Energie generiert, indem Eisen- und Aluminiumpulver unter Sauerstoff verbrannt werden. Diese Technik ermöglicht die Trennung von Stahl und Eisen. Dabei wird im Durchschnitt nur eine geringe Leistung erzielt. Dem gegenüber stehen die hohen durchschnittlichen Kosten. vgl.[28]

3.2.4.2 Sauerstoffkernlanzen bzw. Pulverlanzen

Das *Sauerstoffkernlanzen* eignet sich, um Lanzen mit drahtgefüllten Eisenmantelrohren (Länge von 3 – 6 m) unter Druck mit Sauerstoff bei einer Temperatur von 2.200 – 2.700 C zu verbrennen. Es ist ein erschütterungsfreies und geräuscharmes thermisches Schneiden, das bei Beton, gewachsenem Gestein, Ziegelmauerwerk sowie allen Metallen eingesetzt werden kann. Zudem eignet sich der Einsatz zum Bohren großer, tiefer Löcher in Beton sowie zum Abbruch von Beton-, leicht bewehrten Stahlbeton- und Stahlkonstruktionen. Zudem ist ein Betonschmelzen unter Wasser möglich. Bei solchen Arbeiten ist die Brandgefahr zu berücksichtigen. Daher muss während des Schneidens auf ausreichende Belüftung geachtet werden. Nur so lässt sich die Gefahr der Sauerstoffanreicherung oder einer Rauchvergiftung vermeiden. vgl.[27][28]

Pulverlanzen haben ein ähnliches Wirkungsprinzip wie die Kernlanze und der Pulverschneidbrenner. Sie erzeugen thermische Energie, indem ein Metallpulver (Eisen oder Eisen/Aluminiumgemische) mit Sauerstoff reagiert. Pulverlanzen kommen beim Bohren und Perforieren von Bauwerksteilen aus Stahl, Beton, Stahlbeton und Gusseisen zur Anwendung. Das Verfahren verfügt über ein breiteres Anwendungsspektrum als Kernlanzen. Der Geräteaufwand ist jedoch höher. Die Umgebung wird bei diesem Verfahren nicht durch Lärm oder Erschütterungen beeinträchtigt. Es kann jedoch als aufwändig bezeichnet werden. vgl.[27]

3.2.4.3 Plasmabrenner

Beim Schneidvorgang mit *Plasmabrennern* kommt ein Lichtbogen bzw. Plasmabogen, der über ein plasmabildendes Gas erzeugt wird, zum Einsatz. Das verwendete Plasmagas beeinflusst die Temperaturen, die bis zu 20.000 C erreichen können. Hochlegierte Stähle und Nichteisenmetalle können durch die hohe Plasmatemperatur und die große kinetische Energie des Lichtbogens mit großer Geschwindigkeit aufgeschmolzen werden, eine teilweise Verdampfung ist möglich. Das Schneiden mit Plasmabrennern ist weit verbreitet, um Anlagenteile im Kernkraftwerksbau

zu teilen. Das Plasmabrennen zeichnet sich durch eine hohe Arbeitsgeschwindigkeit aus. Dem stehen der vergleichsweise hohe Energieverbrauch und entsprechend hohe Kosten gegenüber. vgl.[27][28]

Thermische Trennverfahren können bei selektiven Rückbaumaßnahmen, in Abhängigkeit der örtlichen Gegebenheiten, eingesetzt werden, da sie eine große Genauigkeit bei der Materialtrennung erzielen. Die einzelnen Verfahren zeigen unterschiedliche Umweltwirkungen. Neben den hohen Temperaturen sind auch immer die entsprechenden Sicherheitsmaßnahmen zu berücksichtigen. In der Praxis werden thermische Rückbau- oder Abbruchverfahren aufgrund der vergleichsweise hohen Kosten jedoch sehr selten genutzt. vgl.[32]

3.2.5 Sonstige Verfahren

3.2.5.1 Spalten/Expansionsverfahren

Hydraulisch angetriebene Pressen oder Keile kommen in vorher hergestellten Bohrungen zum Einsatz. Sie spalten das Bauteil, indem Druckkräfte eingeleitet werden. Alternativ ist es möglich, ein Quellmittel in die Bohrungen zu füllen. Dieses dehnt sich während des Erhärtens stark aus. Dabei entwickeln sich Druckkräfte, die das Bauteil spalten. Wichtig ist, dass die Bauteile aus einem harten Material mit geringer Zugfestigkeit bestehen. Als ideal gelten schwach oder unbewehrte Betonbauteile. Aus dem Verfahren Spalten resultieren keine emissionsbedingten Beeinträchtigungen. Dennoch zeichnet sich das Verfahren durch eine geringe durchschnittliche Leistung aus. Damit verbunden sind jedoch hohe Kosten. Der Erfolg dieses Verfahrens und die Mächtigkeit des Bauteils sind voneinander abhängig. vgl.[28]

3.3 Selektiver Rückbau

Die konventionelle Vorgehensweise mit dem oftmaligen Durchführungskriterium der Dauer der jeweiligen Abbruchmaßnahme ist mit der gesetzlichen Verpflichtung ab 1.1.2016 durch den selektiven Rückbau ersetzt worden. Es ist möglich, durch die Separierung und den getrennten Rückbau von Bereichen, die mit Störstoffen versehen oder kontaminiert sind, Verschleppungen von unerwünschten Stoffen zu verhindern oder zu minimieren. Durch die Anwendung von selektiven Rückbaumethoden lassen sich unterschiedliche Materialien sortenrein erfassen. Die Vorgehensweise beim selektiven Rückbau ist jedoch in der Regel zeitaufwändiger. vgl.[3]

Beim selektiven Rückbau sollen die anfallenden Abfallströme nicht nur minimiert, sondern auch

die Qualität der gewonnenen Stoffströme erhöht werden. Die Folge ist eine Verbesserung ihres Recyclingpotentials. Ferner ist es mit der selektiven Gewinnung von Abbruchmaterial möglich, den Aufwand der für ein Recycling des Bauschutts erforderlichen Aufbereitung zu reduzieren. Da nur schadstoffbelastete/-verunreinigte Anteile zu entsorgen sind, lassen sich auf diese Weise die Entsorgungskosten senken. vgl.[34]

Voraussetzung für die Umsetzung eines selektiven Rückbaus ist eine umfassende Bestandsaufnahme des rückzubauenden Gebäudes. Im Vorfeld muss eine sorgfältige Vorplanung des Ablaufs stattfinden, welche die Ergebnisse der Erfassung der getrennt rückzubauenden unterschiedlichen Materialien berücksichtigt. Der eigentliche Rückbau kann mit unterschiedlichen Techniken vorgenommen werden. Hierbei findet die Demontage von einzelnen Bauteilen, Bauelementen und gegebenenfalls Bereichen statt. Diese ist auf die einzelnen Demontagestufen im gesamten Bauablauf abgestimmt und separiert die anfallenden Reststoffe Schritt für Schritt. vgl.[3]

Für einen kontrollierten Rückbau wird folgende Struktur als ideal bezeichnet: vgl.[33][74]

- Sorgfältiger Ausbau verwendbarer Bauteile (z.B. Fenster, Türen)
- Schadstoffentfrachtung nach geltenden Sicherheitsvorschriften
- Demontage noch vorhandener, aber nicht mehr verwendbarer Einrichtungsgegenstände
- Entkernung der raumauskleidenden, nicht mineralischen Elemente
- Entkernung der technischen Gebäudeausrüstung
- Ausbau nichtkonstruktiver Bauelemente (Dachbelag, Fußboden etc.)
- Rückbau der konstruktiven Bauelemente (Bodenplatte, Fundamente, etc.)
- Endzustand herstellen (Planum usw.)

Laut *Silbe*[33] können selektive Rückbaumaßnahmen kostengünstiger als herkömmliche Abbrüche von Vergleichsprojekten durchgeführt werden. Dies basiert auf entsprechenden Wirtschaftlichkeitsprüfungen. Dies setzt aber eine sorgfältige Planung voraus. Zudem müssen die Rahmenparameter des betreffenden Gebäudes sowie die örtlichen Bedingungen in Bezug auf Aufbereitungs- und Verwertungsmöglichkeiten sowie Entsorgungsmöglichkeiten und -preise betrachtet werden. Hier sind beispielsweise auch die Entfernungen zu den jeweiligen Einrichtungen mit einzuplanen. vgl.[3]

3.3.1 Eignung der Verfahren für den selektiven Rückbau

Die meisten Techniken eines konventionellen Abbruchs können ebenso Anwendung bei selektiven Rückbaumaßnahmen finden. Vor dem Abbruch der eigentlichen mineralischen Bausubstanz

können durch vorbereitende Maßnahmen gesondert spezielle Bereiche vorab gezielt entfernt werden, wenn sie z.B. durch Schadstoffe oder Sulfate belastet sind. Im Rahmen eines selektiven Rückbaus eignen sich die im Folgenden beschriebenen Techniken. vgl.[28]

Das **Demontieren bzw. Bergen** stellt eine Vorgehensweise des selektiven Rückbaus dar. Hierbei erfolgt der Rückbau einer baulichen oder technischen Anlage, damit diese später wieder verwertet werden kann. Das Demontieren zeichnet sich durch ein sehr genaues Arbeiten aus. Hierdurch ergeben sich nur wenige Gefahren für umliegende Bauwerke. Auf diese Weise ist ein erschütterungsfreier Abbruch möglich. Es entstehen keine Staubemissionen. Als Nachteil kann der insgesamt langsame Rückbaufortschritt angesehen werden. Zudem sind die hohen durchschnittlichen Kosten zu nennen. vgl.[26]

Der **Rückbau von Bauteilen** zur Wieder- oder Weiterverwendung stellt eine Sonderform des Demontierens oder Bergens dar. Dabei erfolgt der Rückbau von einzelnen, zum Teil großformatigen Bauteilen wie beispielsweise Betonplatten, welche sich als Ganzes in Neubauten integrieren lassen. Intakte Fenster, die sich in neue Gebäude oder bei Sanierungen wiederverwenden lassen, sind hier ebenfalls zu nennen. vgl.[35]

Beim **Abtragen** werden Schichten mit unterschiedlichen Techniken entfernt. Dieses Verfahren eignet sich auch für den selektiven Rückbau. Beim Abtrag per Hand kann sorgfältig an separaten Stellen gearbeitet werden. Hierdurch lassen sich sowohl flächige Schichten wie Putze oder Bodenschichten als auch einzelne Bereiche wie z.B. Kontaminationsverdachtsflächen durch Schlagen oder Stemmen entfernen. Das Abtragen kann als vorbereitende Maßnahme zum Einsatz kommen, bspw. wenn einzelne Bauteile gelöst werden sollen. vgl.[26]

Beim selektiven Rückbau von Gebäuden kann ebenfalls das **Fräsen und Schälen** oder **Schleifen** angewendet werden. Hierbei wird flächig gearbeitet, indem aufgetragene Störstoffe oder Kontaminationen beseitigt werden. Den Maschinen sind jedoch in Abhängigkeit von der Zugänglichkeit der Flächen Grenzen gesetzt. vgl.[3]

Das **Abgreifen** kann als weiteres Verfahren aufgezählt werden. Mechanische oder hydraulische Greifeinrichtungen entfernen teilweise oder vollständig Bauwerksteile. Diese sind in der Regel durch vorhergehende Maßnahmen nur locker mit anderen Bauteilen verbunden. Hierdurch lassen sich Bauteile, die im Materialhauptstrom unerwünschte Stoffe beinhalten, separieren. vgl.[3]

Das **Sägen** zeichnet sich durch eine hohe Präzision aus. Es eignet sich gut für selektive Rückbaumaßnahmen. Hier werden zum Teil kleine und leichte Arbeitsgeräte eingesetzt, um Teilabbrüche vorzunehmen oder vorbereitende Maßnahmen durchzuführen. Problematisch

gestaltet sich hier der Einsatz von Kühl- oder Spülwasser aufgrund von Kontaminationen oder nassen Bauteilen. vgl.[26]

Bohren ist ähnlich wie das Sägen ein vorbereitendes Verfahren für weitere Maßnahmen des selektiven Rückbaus. Hiermit lassen sich jedoch nur bedingt Schad- oder Störstoffe aus Beton oder Mauerwerk entfernen. Der Grund dafür ist, dass nur geringe Massen bewegt werden können. vgl.[3]

Beim **Press- oder Scherschneiden** werden einzelne Bauteile mittels Zerpressen zerkleinert bzw. gelöst. Durch hydraulisches Zusammendrücken von zangenförmig angeordneten Backen wird das dazwischen befindliche Bauteil zerpresst. Hierbei ist ein vergleichsweise leises und erschütterungsarmes sowie genaues Arbeiten möglich. Damit eignet sich das Scherschneiden auch für den selektiven Rückbau. vgl.[26]

Bei selektiven Rückbaumaßnahmen sind der Nutzung des **Hochdruckwasserstrahlens** durch den damit verbundenen Abwasseranfall sehr enge Grenzen gesetzt. Hier ist zwar ein sorgfältiges Arbeiten ohne die Entstehung von Staub, Gasen oder Dämpfen möglich, eventuelle Kontaminationen des Schneidwassers tragen jedoch dazu bei, dass das Verfahren für viele Anwendungsfälle im selektiven Rückbau nicht geeignet ist. vgl.[3]

Thermische Verfahren können ebenfalls genutzt werden, um einzelne Bauteile zu trennen. Auch hier liegt jedoch ein begrenzter Einsatz vor. Es besteht aufgrund der hohen Temperaturen die Gefahr von Bränden oder Ausgasungen. vgl.[3]

Nach der Entfernung von Kontaminationen und der Entkernung des Gebäudes durch den Rückbau der unerwünschten Stoffströme aus dem Materialhauptstrom können alle konventionellen Techniken für den weiteren Verlauf beim Rückbau des Gebäudes eingesetzt werden. vgl.[3]

So können nach Durchführung aller entsprechenden Vorbereitungsmaßnahmen Techniken wie

- Einschlagen
- Eindrücken und Einreißen
- Einziehen oder
- Sprengtechnik

im Rahmen eines selektiven Rückbaus eingesetzt werden. vgl.[3]

Diese Techniken werden hier nicht genau erläutert, da ihr Einsatz beim selektiven Rückbau in der Praxis seltener erfolgt, jedoch werden sie beim Aufstellen des Klassifizierungssystems berücksichtigt.

3 Abbruch bzw. Rückbau eines Gebäudes

Die nachfolgende Tabelle soll eine Gegenüberstellung der Verfahren mit ihren Vor- und Nachteilen zeigen. Die Vor- bzw. Nachteile können später bei der Bewertung der einzelnen Rückbauverfahren herangezogen werden.

Tabelle 3.4: Vor- bzw. Nachteile der Rückbauverfahren beim selektiven Rückbau

Rückbauverfahren	Vorteile	Nachteile
Demontieren	- sehr genaues Arbeiten - keine Gefahr für andere Bauwerke - keine Erschütterung und Staubemission	- langsamer Baufortschritt - hohe durchschnittliche Kosten
Abtragen (Schlagen, Hämmern, Stemmen)	- großer Einsatzbereich - Größe der Schuttteile bestimmbar - geordneter Abtransport möglich	- mittlere Staubbelastung - starke Belastung durch Lärm - Leistungsfähigkeit variiert stark
Fräsen/Schälen	- geringe Erschütterungen - horizontale bis senkrechte Flächen bearbeitbar	- Anfall von Kühlwasser - mittlere Staubbelastung - Einsatzbereich gering
Abgreifen	- schneller Baufortschritt - Abbruch, Laden, Vorsortierung in einem Arbeitsgang	- erhöhter Platzbedarf - mittlere Staubbelastung
Sägen	- hohe Präzision - kleine und leichte Arbeitsgeräte - keine Erschütterung	- starke Lärmbelastung - Kühlwasser notwendig wegen Staubemission
Bohren	- hohe Präzision - kleine und leichte Arbeitsgeräte - keine Erschütterung	- mittlere Lärmbelastung - Bewegung geringer Massen - hohe durchschnittliche Kosten
Pressschneiden	- leise und erschütterungsarm - große Genauigkeit	- langsamer Baufortschritt - Gefahr durch herunterfallende Bauteile
Hochdruckwasserstrahlen	- keine Entstehung von Staub, Gas, Dämpfen - hohe Schnittqualität - keine Erschütterung	- mögliche Kontamination des Schneidwassers - hoher Wasser bzw. Abrasivbedarf - nur in Ausnahmefällen anwendbar
Thermische Verfahren	- geringe Beeinträchtigung durch Staub - keine Erschütterung	- hohe Temperaturen - geringe Leistung - hohe durchschnittliche Kosten

3.4 Einsatzbedingungen und Leistungsfähigkeit der Rückbauverfahren

Ein wesentlicher Punkt dieser Arbeit ist die Bewertung der eben beschriebenen Rückbauverfahren bezüglich ihrer Vor- und Nachteile. In den Tabellen 3.5 und 3.6 sind die Bedingungen für den Einsatz und die Leistungsfähigkeit der gebräuchlichsten Rückbau- und Trennverfahren zusammengefasst. Bei der Entwicklung des Klassifizierungssystems wird auf bestehende Rückbauverfahren als Grundlage für die Bewertung der Rückbaubarkeit zurückgegriffen.

In Tabelle 3.5 werden die zuvor erläuterten Rückbauverfahren, bezogen auf die Anwendbarkeit bei den wichtigsten Baustoffen, analysiert. Ein Plus(+) bei der Bewertung bedeutet, dass dieses Verfahren in der Praxis als eines der üblichen Verfahren gilt und angewendet wird. Bei einem Kreis(o) ist es zwar durchaus möglich, dieses Verfahren anzuwenden, es wird aber aufgrund gewisser Einschränkungen wie z.B. erhöhter Kosten oder Zeitaufwand seltener ausgeführt. Ein

3 Abbruch bzw. Rückbau eines Gebäudes

Beispiel für die Anwendung wäre, wenn ein bestimmtes Gerät bereits für eine andere Tätigkeit auf der Baustelle verwendet wird und das eigentlich übliche Verfahren die Anlieferung eines Spezialgerätes erfordern würde. Das Minus(-) zeigt, dass dieses Verfahren entweder unmöglich auszuführen oder aber einfach viel zu unwirtschaftlich ist. Deshalb sind diese Verfahren für die angegebenen Zwecke nicht interessant.

In Tabelle 3.6 sind die Leistungsfähigkeiten der am häufigsten angewendeten Rückbauverfahren aufgelistet. Somit können diese miteinander verglichen werden und als ein Kriterium in die Bewertung miteinfließen.

Tabelle 3.5: Übersicht der Eignung von Rückbauverfahren nach [28]

Rückbauverfahren	verwendete Geräte	Traggerüstbaustoff				
		Mauerwerk	Beton	Stahlbeton	Stahl	Holz
Abgreifen	Seil-, Hydraulikbagger mit Greifer oder Zange	+	o	-	-	+
Stemmen (handgeführt)	Hydraulik-, Drucklufthammer mit Spitz-, Flach-, Keilmeißel	+	+	+	-	+
Stemmen (maschinell)	Abbruchhammer, Meißel an Trägergerät	+	+	+	-	+
Einschlagen	Seilbagger mit geführtem Stahlkörper, Vorschlaghammer	+	+	o	-	o
Eindrücken	Flach-, Hydraulikbagger mit Reißzähnen oder Zange	+	+	o	-	+
Einziehen	Greifzug, Seilwinde bzw. Seilzug, Raupe	+	+	+	+	+
Einreißen	Flach-, Hydraulikbagger mit Reißzähnen oder Zange	+	+	+	+	+
Aufreißen	Flach-, Hydraulikbagger mit Reißzähnen oder Zange	o	+	o	-	-
Fräsen	Bagger mit rotierendem Fräsmeißel	+	+	o	-	-
Pressschneiden	Abbruchzange, Abbruchscher	+	+	+	-	-
Scherschneiden	Abbruchzange, Abbruchscher	-	-	-	+	-
Spalten	hydraulisch angetriebene Pressen oder Keile, Quellmittel	+	+	o	-	-
Demontieren	verschiedenste Geräte möglich	-	-	+	+	+
Thermisches Trennen	verschiedenste Geräte möglich	-	-	-	+	-
Hochdruckschneiden	rotierende Multidüse, Abrasivschneiddüse	+	+	+	-	-
Pulverschneiden	Hand- bzw. Maschinenschneidbrenner	+	+	+	+	-
Plasmaschneiden	Plasmaschneider bzw. Plasmabrenner	-	-	-	+	-
Sauerstoffkernlanzen	Lanze mit drahtgefülltem Eisenmantelrohr	+	+	+	-	-
Bohren	Hohlbohrer, Hartmetallbohrkrone	+	+	+	+	+
Sägen	Kreis-, Stich- oder Seilsäge	+	+	+	+	+
Sprengen	Explosivstoffe	+	+	+	+	-

+ : übliches Verfahren
o : möglich, jedoch teilweise mit Einschränkungen
- : unmöglich oder unüblich, da nicht interessant

Tabelle 3.6: Leistungsfähigkeit Rückbauverfahren für unterschiedliche Materialien nach [31]

Abbruchverfahren	Zum Einsatz kommende Geräte	Stahlbeton h/fm ³	unbew. Beton h/fm ³	Mauerwerk h/fm ³
Abtragen	- mit handgeführten Werkzeugen	6,0 bis 15,0	2,0 bis 10,0	1,0 bis 4,0
	- mit Werkzeugen an Trägergeräten über 5 t Eigengewicht	0,25 bis 5,0	0,1 bis 2,0	0,1 bis 0,6
	- mit hydraulischem Felsmeißel an Trägergeräten über 5 t Eigengewicht	0,2 bis 1,0	0,1 bis 0,8	0,1 bis 0,5
Abgreifen	- mit Greifern	-	0,1 bis 0,5	0,1 bis 0,5
	- mit Betonzangen	0,6 bis 6,0	0,3 bis 0,5	0,2
Einschlagen	- mit Fallbirne	0,1 bis 1,5	0,07 bis 0,2	0,05 bis 0,1
Eindrücken	- mit Gerätehydraulik	0,3	0,1 bis 0,4	0,05 bis 0,1
Einreißen	- mit Seilzug oder Gerätehydraulik	0,1 bis 0,3	0,07 bis 0,2	0,05 bis 0,1
Sägen	- mit Betonsägen	0,5 bis 10,0	0,4 bis 6,0	3
Sprengen	- mit Explosivstoffen	0,4	0,25	0,25

fm³ : Kubikmeter feste Masse

Wichtig ist für alle Rückbaumaßnahmen, die eingesetzten Techniken auch in Bezug auf ihre Leistungsfähigkeit aufeinander abzustimmen, um den Ablauf – gerade im Hinblick auf den zur Verfügung stehenden Zeitrahmen – zu optimieren. vgl.[3]

3.5 Baurestmassentrennung bei selektivem Rückbau

Die Trennung der entstehenden Baurestmassen bei Rückbautätigkeiten muss laut Recycling-Baustoffverordnung in folgenden Gruppen erfolgen: [68]

- Bodenaushub
- Betonabbruch
- Asphaltaufruch
- Holzabfälle - behandelt
- Holzabfälle - unbehandelt
- Metallabfälle
- Kunststoffabfälle
- Baustellenabfälle
- Mineralischer Bauschutt

Beim selektiven Rückbau werden anfallende Restmassen, also jene rückgebauten Materialien, welche nicht direkt verwertet werden können, sondern aufbereitet werden müssen oder überhaupt als Abfall deponiert werden, direkt in die dafür vorgesehenen Container eingebracht. Damit können einerseits sehr hohe Trenngenaugigkeiten erzielt werden, andererseits werden durch diesen Prozess nahezu sämtliche Störstoffe in den Baurestmassen beseitigt und fallen in einem deutlich geringeren Ausmaß an als zum Beispiel bei einer reinen Demolierung.

Solche Abbruchmethoden erzeugen einen keineswegs sortenreinen Bauschutt. Es muss stets eine Nachsortierung stattfinden, um zunächst die größeren Störstoffe zu entfernen, da diese eine maschinelle Aufbereitung beeinträchtigen würden. Durch diese Maßnahme stellt sich eine erhebliche Verbesserung in Bezug auf die Sortenreinheit der Restmassen ein. vgl.[37]

Die Qualität der sortenreinen Trennung der einzelnen Materialien ist ein wesentliches Kriterium für eine bessere Klassifizierung der Rückbauverfahren. Ziel aller Verfahren sollte es sein, die Baurestmassen möglichst ohne Aufbereitung direkt weiterverwenden zu können.

3.5.1 Bauschutttaufbereitung

Unter Bauschutt werden Materialien wie Dachziegel, Fliesen, Mauersteine, Keramik oder Verputz zusammengefasst. vgl.[71] Durch einen Aufbereitungsprozess kann der gewonnene Bauschutt beim Rückbauprozess zu einer rezyklierten Gesteinskörnung aufbereitet werden. Dieser kann als Zuschlag für den sogenannten RC-Beton dienen. Jedoch ist darauf zu achten, dass dieser in

Abhängigkeit von der ursprünglichen Bausubstanz und der Art des Rückbaus sowohl bautechnische Störstoffe, dazu zählen z.B. Gips, Kunststoffe oder Pappe, als auch Schadstoffe enthalten kann. Eine Bewertung der Rückbauverfahren, wie sie in dieser Arbeit angestrebt wird, würde diese auch hinsichtlich des Umfangs von Aufbereitungsverfahren des Bauschutts zur Erhöhung der Sortenreinheit und Entfernung von Stör- und / oder Schadstoffen klassifizieren.

Der Aufwand für die Aufbereitung gestaltet sich dabei unterschiedlich aufwändig. Abhängig von den bauvorhabenspezifischen Rahmenbedingungen kann die Aufbereitung mehrere Teilprozesse beinhalten. So ist die Gewinnung der Recyclingbaustoffe weniger aufwändig bei sortenrein und stör- bzw. schadstoffarm gewonnenen Bauschuttfraktionen als bei einem heterogenen Bauschutt. Die Vorsortierung, bei ihr werden Fremd- bzw. Störstoffe entfernt, gilt als erster Aufbereitungsschritt. Ein Verfahren der Vorsortierung ist das Klauben. Darunter versteht man die Entfernung von Fremdstoffen – Holzstücke, Kunststofffolien etc. – per Hand. Die weiteren Schritte bei der Aufbereitung von Bauschutt sind die Zerkleinerung und der Aufschluss, danach eine Klassierung und abschließend der wichtige Schritt, um ein späteres Materialrecycling zu ermöglichen, eine genaue Sortierung der einzelnen Stoffe. vgl.[3]

Mittels Brechern wird der beim Rückbau vorzerkleinerte und von Bewehrungseisen befreite Bauschutt zerkleinert. Durch diesen Schritt soll eine optimale Korngrößenverteilung und Kornform erzielt werden, damit die geplante Wiederverwertung möglich ist. Des Weiteren erfolgt dadurch der Aufschluss von Fremd- und Störstoffen. Nächster Schritt ist eine Siebklassierung, die Fraktionierung des Bauschutts in vorgesehene Kornklassen. Abschließend folgt die Sortierung, welche für ein gutes Recycling entscheidend ist. Sie dient der endgültigen Entfernung von Fremd- und Störstoffen. Zu den Sortierprozessen gehören sowohl Vorsortierungen, Entfernung von groben Störstoffen wie z.B. Bewehrungsstahl als auch Sortierungsverfahren, mit denen weitere feinere Fremdstoffe entfernt werden. vgl.[3]

3.5.2 Aufbereitungsanlage

Im Folgenden wird auf die einzelnen Schritte bei der Aufbereitung von Bauschutt eingegangen, da diese die Wahl des Rückbauverfahrens beeinflussen. Die richtige Verfahrenswahl beim Rückbau liefert für alle Bearbeitungsschritte wesentlich bessere Ergebnisse und einen geringeren Zeitaufwand. Die Erfassung des Umfangs eines Aufbereitungsverfahrens der jeweiligen Rückbautechnik ist Bestandteil der Bewertung des Klassifizierungssystems.

3.5.2.1 Aufschlusszerkleinerung

Sie ist der erste Schritt in der Aufbereitung von Bauschutt und ist für den weiteren Recyclingprozess von entscheidender Bedeutung. Einerseits soll eine Auflösung der vorliegenden Werkstoffverbindungen durch mechanische Beanspruchung erzielt werden, worauf die Füge-techniken, welche einen Teil des Klassifizierungssystems bilden, einen großen Einfluss haben. Andererseits werden bestimmte Stückgrößenverteilungen gebildet, um die spätere Sortierung zu erleichtern. Durch die Erzeugung exakter Stückgrößen kann die Weiterbearbeitung in Schmelzöfen oder ähnlichen Anlagen erfolgen.

Es wird zwischen folgenden Methoden der Aufschlusszerkleinerung unterschieden: vgl. [38]

- Grobzerkleinerung (Grobbrechen): $d > 100$ mm,
- Mittelzerkleinerung (Feinbrechen): $d = 100-5$ mm,
- Feinzerkleinerung (Mahlen): $d = 5-0,1$ mm,
- Feinstzerkleinerung: $d < 0,1$ mm.

Die Grob- und Mittelzerkleinerung sind zur Vorbereitung für verschiedene Recyclingverfahren die am häufigsten angewendeten Methoden. Die Beanspruchung wird bei spröden Stoffen durch Druck (Backenbrecher, Walzenbrecher) oder Schlag/Prall (Hammerbrecher) herbeigeführt, bei nichtspröden Altstoffen durch Scheren, Schneiden, Zug, Biegen oder Torsion. Spröde Stoffe sind alle mineralischen Baustoffe wie Beton, Ziegel oder Naturstein.

Handelt es sich um sehr kleine Werkstoffbestandteile (Elektronikschrott, Litzen) oder Verbundwerkstoffe und Beschichtungen, ist eine Feinzerkleinerung für den Aufschluss zwingend notwendig. Es müssen Stückgrößen von 1-2mm erreicht werden. Entsprechend dem Vorgang der Feinzerkleinerung werden die eingesetzten Maschinen als Mühlen bezeichnet. vgl.[38]

Die Aufschlusszerkleinerung kann auch nicht durch die geeignete Wahl des Rückbauverfahrens eingespart werden, lediglich die Füge-techniken haben einen Einfluss beim Aufschluss der Verbindungen und können diesen Vorgang erleichtern und beschleunigen. Jedoch alle weiteren Schritte bei der Aufbereitung hängen stark mit der jeweiligen Rückbautechnik zusammen.

3.5.2.2 Klassierung

Bei der Klassierung wird ein Körnerkollektiv in verschiedene Korngrößenklassen (Stückgrößenklassen) aufgeteilt. Ein für nachfolgende Prozesse oft notwendiges enges Kornspektrum (Stückgrößenspektrum) sollte aufgrund der zum Teil unvollständigen Zerkleinerung (Grobgut) und der anteiligen Entstehung von Feingut nicht direkt in einer Zerkleinerungsstufe erzielt werden. Vor einer zweiten Zerkleinerungsstufe sollte das Feingut aus dem Haufwerk entfernt werden. Dadurch lässt sich eine unerwünschte weitere Zerkleinerung (Übermahlung) vermeiden.

Hierdurch werden mehrere Zerkleinerungsstufen zwangsläufig verknüpft. Mit einer zwischen-geschalteten Klassierung führt das zu einer typischen Kreislaufschaltung des technologischen Ablaufs (ein sog. Mahlkreislauf). vgl.[38]

Die Klassierung wird durch eine vorhergehende sortenreine Trennung der Materialien beschleunigt und vereinfacht, da durch die gemeinsamen Stoffeigenschaften eine viel gleichmäßigere Zerkleinerung erfolgt ist. Solch eine sortenreine Trennung ist nur mit den richtigen selektiven Rückbaumethoden erreichbar.

3.5.2.3 Sortierung

„Die Sortierung der aufgeschlossenen und wenn erforderlich zerkleinerten und klassierten festen Abfälle in recyclingverträgliche Werkstoffgruppen oder sortenreine Werkstofftypen ist die entscheidende Prozessstufe für die meisten Verfahren des Werkstoffrecyclings.“ [41]

Eine Entlastung der Sortierung kann durch werkstoffspezifische Sammelprozesse und Zwischenlagerungen erfolgen. Während der Sammelprozesse findet häufig bereits die notwendige Abtrennung von Verunreinigungen statt. vgl.[41]

Je nachdem welche Endproduktqualität angestrebt wird, können die anzuwendenden Sortierverfahren variieren. Die Art und Menge der Störstoffe spielt dabei ebenfalls eine wichtige Rolle. vgl.[3]

Sämtliche Sortierverfahren haben zum Ziel, endgültig eine sortenreine Trennung der Materialien zu erhalten. Der Umfang der erforderlichen Maßnahmen richtet sich stark nach dem angewendeten Rückbauverfahren. Durch ein gutes Zusammenspiel der Verbindungstechnik und der gewählten Rückbautechnik könnte der Aufwand der abschließenden Sortierung entfallen.

3.5.2.4 Wahl der Aufbereitungsanlage

Zur Aufbereitung der Baurestmassen können mobile oder stationäre Anlagen verwendet werden. vgl.[42]

Mobile Anlagen bestehen aus wenigen Komponenten zur Absiebung, Klassierung und Eisenseparation und einer Transporteinheit. Der Nachteil mobiler Anlagen liegt vor allem in den hohen Betriebskosten, der geringen Durchsätze sowie beschränkter Aufbereitungsmöglichkeiten, da diese Anlagen vergleichsweise klein sind und nur begrenzte Variationsmöglichkeiten besitzen. vgl.[42] Durch selektive Rückbauverfahren könnte man auf vielen Baustellen mit mobilen Anlagen auskommen, da die beschränkten Aufbereitungsmöglichkeiten bei einer sortenreinen

Trennung zu Beginn ausreichen und sich auch die Betriebskosten in Grenzen halten würden. Dadurch hätte man viele weitere Vorteile. Beispielsweise würde der Transportaufwand zu einer stationären Aufbereitungsanlage wegfallen sowie eine schnelle Rückführung der aufbereiteten Materialien in den Stoffkreislauf gewährleistet werden. Problematisch ist jedoch, dass aufgrund der beschränkten Platzverhältnisse eine Zwischenlagerung direkt auf der Baustelle meist nicht möglich und dadurch eine analytische Kontrolle der Qualität der Baustoffe schwer umsetzbar ist. vgl.[42] Eine mögliche Bestimmung der Qualität kann über die Festlegung der Rückbauverfahren erfolgen.

Stationäre Anlagen ermöglichen andererseits große Durchsatzleistungen bei gleichzeitiger Erzeugung guter Produktqualitäten. Sie besitzen eine weit komplexere Ausstattung, sind fest installiert und eingehaust. Dadurch werden Schall- und Staubemissionen deutlich verringert. vgl.[42]

Durch die richtige Anwendung von selektiven Rückbaumethoden könnte ein Großteil der Materialien sortenrein getrennt und mit einer mobilen Anlage für die restlichen Stoffe das Auslangen gefunden werden. Somit könnte man von den Vorteilen des entfallenden Transportweges und der schnellen Rückführung in den Stoffkreislauf profitieren.

4 Fügetechnik

4.1 Grundlagen

Jedes Bauwerk setzt sich aus einem mehr oder weniger strukturierten, hierarchischen Arrangement von Teilen und Elementen zusammen, welche eine Beziehung zueinander aufweisen. Der Grad der gegenseitigen Abhängigkeiten wird durch die Verbindungen, die zwei Elemente zusammenhalten, festgelegt. Diese hierarchische Gliederung umfasst alle Maßstabsebenen eines Gebäudes und erstreckt sich von den Materialien bzw. den verwendeten Baustoffen über daraus zusammengesetzte Bauteile und Baugruppen bis zur Gesamtstruktur des Gebäudekomplexes.

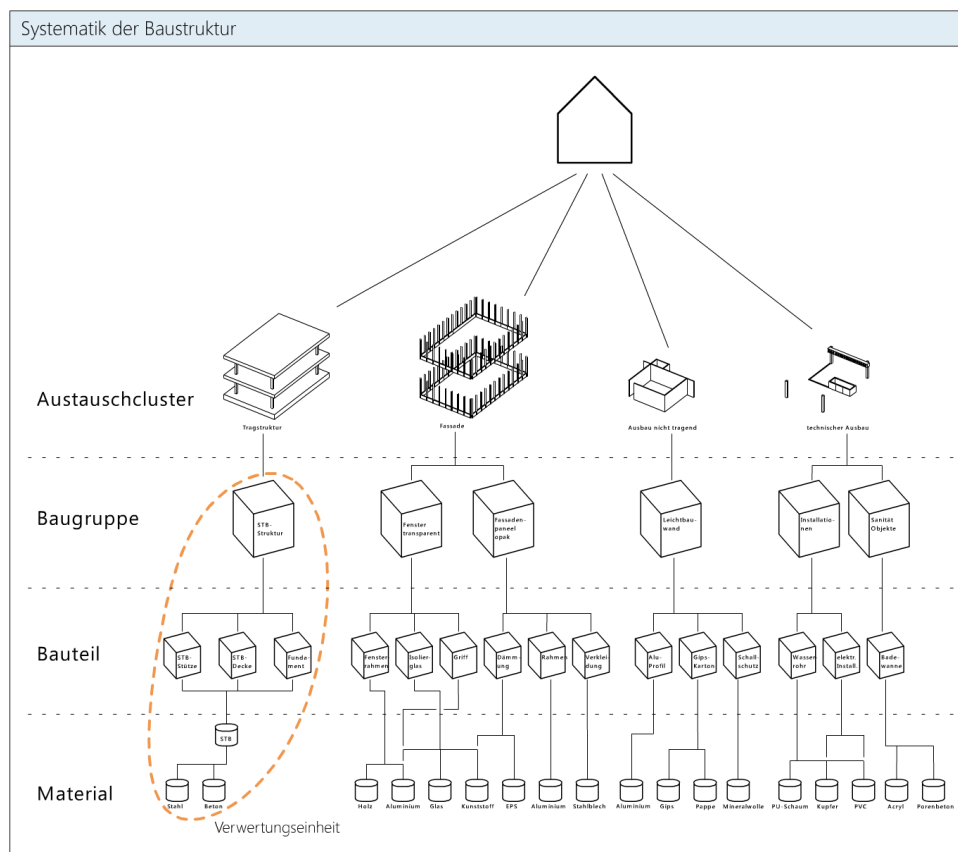


Abbildung 4.1: Baustruktur eines Gebäudes[44]

Die höchste Hierarchieebene bildet das durch S. Brand [50] geprägte Konzept der Austauschcluster (s. Abbildung 4.1). Hier werden verschiedene Bauteile als Funktionseinheiten in Baugruppen zusammengefasst. Diese bilden wiederum Nutzungseinheiten. Jedes Bauteil besteht aus einzelnen Baustoffen mit unterschiedlicher Materialität. vgl.[44][49]

Diese Baustoffe unterschiedlicher Materialität sind durch die Fügetechnik verbunden. Die sortenreine Erfassung und damit ein hochwertiges Recycling beim Rückbau eines Gebäudes hängen stark von der Verbindung ab. Der Recyclingprozess ist davon geprägt, einen möglichst guten Aufschluss¹ der vorliegenden Werkstoffverbindungen, durch eine Zerstörung mit Hilfe einer mechanischen Beanspruchung, zu erzielen, um die Strukturen wieder in möglichst sortenreine Materialkomponenten aufzulösen. vgl.[44]

Ein Bruch bzw. die Trennung zweier Bauteile exakt an den Verbindungsstellen der einzelnen Werkstoffe gilt als optimal (100% Aufschlussgrad). Der Aufschlussgrad wird <100% bleiben, wenn die Verbindungsstellen der Stoffe eine höhere Festigkeit besitzen als die Werkstoffe selbst. In diesem Fall kann der Bruch außerhalb der Verbindungsstelle eintreten. Dies bedeutet, dass die Materialien Rückstände des anderen Stoffes oder der Verbindungsmittel wie z.B. Klebstoffe enthalten. Ein Bruch (bzw. eine Zerkleinerung) tritt nach Überwindung der atomaren bzw. molekularen Bindungskräfte der Verbindungselemente oder der Werkstoffe ein. Dies wird durch mechanische Beanspruchung (Druck, Schlag, Prall, Scheren, Schneiden, Zug, Biegen) erreicht. Als Spröbruch wird ein makroskopisch verformungsloser oder verformungsarmer Bruch bezeichnet, von einem Zähbruch spricht man, wenn eine plastische Verformung dem eigentlichen Bruchereignis vorausgeht. Das spröde Stoffverhalten ist erwünscht, da dadurch der Aufschlussgrad größer, das Zerkleinerungsprodukt qualitativ hochwertiger und auch der verfahrenstechnische Aufwand geringer sind. Günstige Bedingungen dafür sind niedrige Temperaturen. Es erfolgt eine Stoffversprödung durch das Tiefkühlen. Ebenso wichtig sind hohe Beanspruchungsgeschwindigkeiten, da in diesem Fall die Zeit für die plastische Verformung nicht ausreichend ist. vgl.[38]

4.1.1 Fügetechnik als Fertigungsverfahren nach DIN 8580

Grundsätzlich werden in dieser Arbeit die nationalen Regelwerke angewendet. Im Fall der Fügetechnik wird in Kapitel 4 auf die DIN zurückgegriffen, da kein nationales Regelwerk den nötigen Umfang enthält. Nach der DIN 8580 werden die Fertigungsverfahren in die sechs Hauptgruppen

- Urformen,
- Umformen,
- Trennen,
- Fügen,
- Beschichten und
- Stoffeigenschaftändern eingeteilt. vgl.[47]

¹Aufschluss = Trennung zweier Bauteile oder Materialien mit Hilfe einer mechanischen Beanspruchung beim Rückbau eines Gebäudes

Die 6 Hauptgruppen gliedern sich entsprechend der einzelnen Fertigungsverfahren wiederum in verschiedene Untergruppen. Für diese Arbeit werden in Abbildung 4.2 jedoch nur die Untergruppen der Fertigungstechnik Fügen dargestellt, da diese neben der Rückbautechnik den zweiten großen Punkt bei der Bewertung darstellen.



Abbildung 4.2: *Fertigungsverfahren der Hauptgruppe Fügen nach DIN 8580[45]*

Generell werden als Fertigungsverfahren all jene Verfahren verstanden, welche als Ziel die Herstellung bestimmter fester Körper mit einer speziellen Geometrie haben. Bei der Einteilung geht es primär um den Begriff des Zusammenhalts. Dieser wird entweder geschaffen, beibehalten, vermindert oder im Falle der Fügetechnik vermehrt.

4.1.2 Fügetechnik – DIN 8593

In der Neufassung von DIN 8593[46] erfolgt die Unterteilung der Fertigungsverfahren „Fügen“ in 9 Gruppen. Dabei werden die Ordnungsprinzipien unterschieden nach der Art des Zusammenhalts unter Berücksichtigung der Art der Erzeugung (siehe Abb. 4.2). Diese sind:

- GR 4.1 Schwerkraft, Formschluss, Federkraft beim einfachen Zusammensetzen,
- GR 4.2 Einschluss in einen das Füllgut umschließenden Körper beim Füllen,
- GR 4.3 Kraftschluss beim Anpressen und Einpressen,
- GR 4.4,4.5 Formschluss, der durch Urformen bzw. Umformen hervorgerufen ist,
- GR 4.6,4.7 Stoffverbindung beim Schweißen und Löten,
- GR 4.8 Adhäsives Haften beim Kleben sowie
- GR 4.9 Formschluss und/oder Kraftschluss bei textilen Werkstoffen.

Für die Entwicklung des Klassifizierungssystems ist diese Einteilung nicht sinnvoll, da für eine Bewertung die Lösbarkeit, eventuelle Störstoffe etc. wichtiger als die Art des Zusammenhalts sind. Sie wird deshalb durch eine neue, für diese Arbeit zielführende, Variante ersetzt, welche im folgenden Kapitel genauer erläutert wird.

Für das Fügen wurde nach DIN 8593 folgende Definition entwickelt:

„Fügen ist das Zusammenbringen von verschiedenen Werkstücken (Bauelementen) geometrisch bestimmter fester Form oder von ebensolchen Werkstücken mit formlosem Stoff oder Verbindungselementen. Dabei wird der Zusammenhalt zwischen den Elementen jeweils örtlich geschaffen oder vermehrt.“[46]

Gefügt werden können verschiedenartigste Werkstoffe und Werkstoffkombinationen mit unterschiedlichsten Strukturen sowie Konstruktionen mit einer Skalierung weit in den Mikrobereich. Zu den Baustoffen zählen beispielsweise mineralische Baustoffe, Metalle, Holz, Kunststoff oder Papier. Es besteht ebenso die Möglichkeit, zwei Werkstoffe mit Hilfe eines Verbindungsmittels zu fügen. Als Beispiel wären hier Schrauben oder Nägel bzw. auch Zusatzstoffe wie Mörtel, Vergussmittel oder Schweißelektroden zu nennen. Es gibt somit eine Vielzahl unterschiedlichster Füge-techniken. vgl.[47,48]

4.2 Verbindungstechnik

Die vielen verschiedenen Verbindungstechniken können auf unterschiedliche Art und Weise eingeteilt werden. Laut DIN 8593 werden sie neun Verfahrensgruppen (Abbildung 4.2) zugeordnet, jedoch ist für diese Arbeit eine andere Einteilung von Vorteil. Dies liegt daran, dass in dieser Arbeit eine Bewertung bezüglich des Recyclingpotentials von Sekundärrohstoffen, welche beim Rückbau gewonnen werden, stattfinden soll. In den Kapiteln 4.2.1 – 4.2.3 werden jene Eigenschaften von Verbindungselementen näher beschrieben, welche für das Aufstellen eines Klassifizierungssystems von entscheidender Bedeutung sind, da durch sie auf die Qualität der gewonnenen Materialien geschlossen werden kann. Einerseits sind das die Schlussarten, also die jeweiligen physikalischen Wirkprinzipie der Verbindungen, welche in Kapitel 4.2.1 beschrieben werden. Danach wird auf die Verbindungsarten (Kapitel 4.2.2) eingegangen, womit in dieser Arbeit eine Einteilung bezüglich der Trennbarkeit gemeint ist, und schlussendlich noch die Beschreibung möglicher Störstoffe der jeweiligen Verbindungen in Kapitel 4.2.3.

Anhand dieser drei Eigenschaften soll dann eine Einteilung, welche für die Bewertung von Füge-techniken zweckmäßig ist, erstellt werden.

4.2.1 Schlussarten

Die Schlussart einer Verbindung hat einen wesentlichen Einfluss auf die Eigenschaften von Fügeverbindungen. Folgende 3 elementare Schlussarten können für Fügeverbindungen definiert werden:

Beim **Formschluss** wird die Verbindung zwischen den zu fügenden Bauteilen durch mechanischen Kontakt hergestellt. Bei dieser Schlussart greifen die Formkonturen ineinander und ermöglichen so die Kraftübertragung. Als Beispiel für den Formschluss wäre das Einlegen der Dämmung bei einer Holzbalkendecke zu nennen.(siehe Abb. 4.3)

Beim **Kraftschluss** wird die Verbindung zwischen den zu fügenden Bauteilen durch eine Wechselwirkung von Kräften zwischen den einzelnen Bauteilen hergestellt. Bei dieser Schlussart bewirken Reibungskräfte infolge des Zusammenpressens mehrerer Bauteilflächen den Zusammenhalt. Ein Kraftschluss erfolgt zum Beispiel bei sämtlichen Schraub-, Nagel und Nietverbindungen.(siehe Abb. 4.3)

Beim **Stoffschluss** wird die Verbindung zwischen den zu fügenden Bauteilen durch eine Wechselwirkung von Kräften zwischen den Atomen und Molekülen hergestellt. Bei dieser Schlussart bildet sich ein Stoffschluss aufgrund chemischer und/oder physikalischer Prozesse. Dies erfolgt als Beispiel bei allen Klebverbindungen.(siehe Abb. 4.3) vgl.[47][58]

Es gibt für form- und kraftschlüssige Verbindungen eine Vielzahl an Verbindungsarten, welche eine große praktische Bedeutung haben. Eine systematische Gliederung ist deshalb nur schwer möglich. Stoffschlussverbindungen lassen sich hingegen eindeutig in 3 Untergruppen gliedern: Schweiß-, Löt- und Klebverbindungen. Schweißverbindungen zeichnen sich dadurch aus, dass sowohl der Werkstoff selbst als auch die Verbindungszone aus artgleichen Werkstoffen bestehen. Beim Löten wird ein bei niedriger Temperatur schmelzender Werkstoff, ein sogenanntes Lot, als Verbindung ausgebildet. Beim Kleben wiederum verwendet man einen nichtmetallischen Hilfswerkstoff (Klebstoff). Dies geschieht in der Regel ohne schädigende thermische oder chemische Beanspruchung. vgl.[47][58]

Die Eigenschaften von Verbindungen können von verschiedensten Faktoren wie z.B. der Fügbarkeit² abhängen. Dadurch gibt es große Unterschiede in Bezug auf die Haltbarkeit, Demontierbarkeit etc. zwischen ihnen. Jedoch können prinzipiell und entgegen der oft vorherrschenden Meinung alle 3 Schlussarten zum Fügen hochbeanspruchter Bauteile eingesetzt werden. Auch mehrere Schlussarten können in elementaren Verbindungen gemeinsam auftreten, so wie z.B. ein Kraft- und Formschluss bei Schraub- und Nietverbindungen. vgl.[47]

²Fügbarkeit = ist eine Eigenschaft von Bauteilen, die unter gegebenen stofflichen, konstruktiven und fertigungstechnischen Bedingungen so zu einer Verbindung gefügt werden können, dass die geforderten Gebrauchseigenschaften erfüllt werden

4.2.2 Verbindungsarten

Die wichtigste Eigenschaft der Fügeverbindungen für eine Klassifizierung der Sortenreinheit ist die Trennbarkeit. Nur über eine gute Trennbarkeit der Stoffe ist ein hochwertiges Recycling möglich. Demnach sind folgende Verbindungsarten zu unterscheiden:

- permanente Verbindungen
- bedingt lösbare Verbindungen
- lösbare Verbindungen

All diese Verbindungsarten können kraft- und formschlüssig auftreten. Stoffschlüssige Verbindungen hingegen zählen zu den permanenten Verbindungen, wobei trotzdem auch bei diesen durch geeignete Rückbaumethoden die Materialien in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden können.

Prinzipiell ist aufgrund der Verbindungsart ein Trend für die spätere Bewertung im Klassifizierungssystem zu erkennen. Ein hochwertiges Recycling wird durch eher lösbare Verbindungen erleichtert, wohingegen permanente Verbindungen einen großen Nachteil haben.

4.2.3 Schad- bzw. Störstoffe

Neben der Trennbarkeit ist das Wissen über potentielle Störstoffe einer Verbindung entscheidend. Dabei kann entweder das Verbindungsmittel selbst, wie es als Beispiel bei manchen Klebern der Fall ist, aber auch die verbundenen Materialien als Schad- bzw. Störstoff gelten. Dieses Wissen muss vor dem Rückbau eines Gebäudes zur Entfrachtung sämtlicher bedenklicher Stoffe genutzt werden. In der ÖNORM B 3151 werden die zu entfernenden Schad- und Störstoffe aufgelistet. Sie müssen vor dem Rückbau und dem Auftrennen der restlichen Bauteilverbindungen mittels Entrümpelung entsorgt werden. Nur so können die für das Recycling wertvollen Materialien schadstofffrei gewonnen werden. Das Vorhandensein potentieller Störstoffe der Verbindungen beeinflusst somit die Bewertung in der Klassifizierung. Die Verbindungstechniken erzielen eine bessere Bewertung im späteren Klassifizierungssystem, wenn beim Demontieren keine Rückstände an Schad- bzw. Störstoffen hinterlassen werden. vgl.[47][58]

4.3 Verbindungen

In Abbildung 4.3 werden die gängigen Verbindungstechniken, welche in dieser Arbeit für das Aufstellen des Klassifizierungssystems genau analysiert werden, in Anlehnung an Jäger[49] den drei Verbindungsarten permanent, bedingt lösbar und lösbar zugeteilt und mit den physikalischen Wirkprinzipien des Kapitels 4.2.1 überlagert. Des Weiteren fließt in die Darstellung auch das Vorhandensein potentieller Störstoffe für das Materialrecycling mit ein.

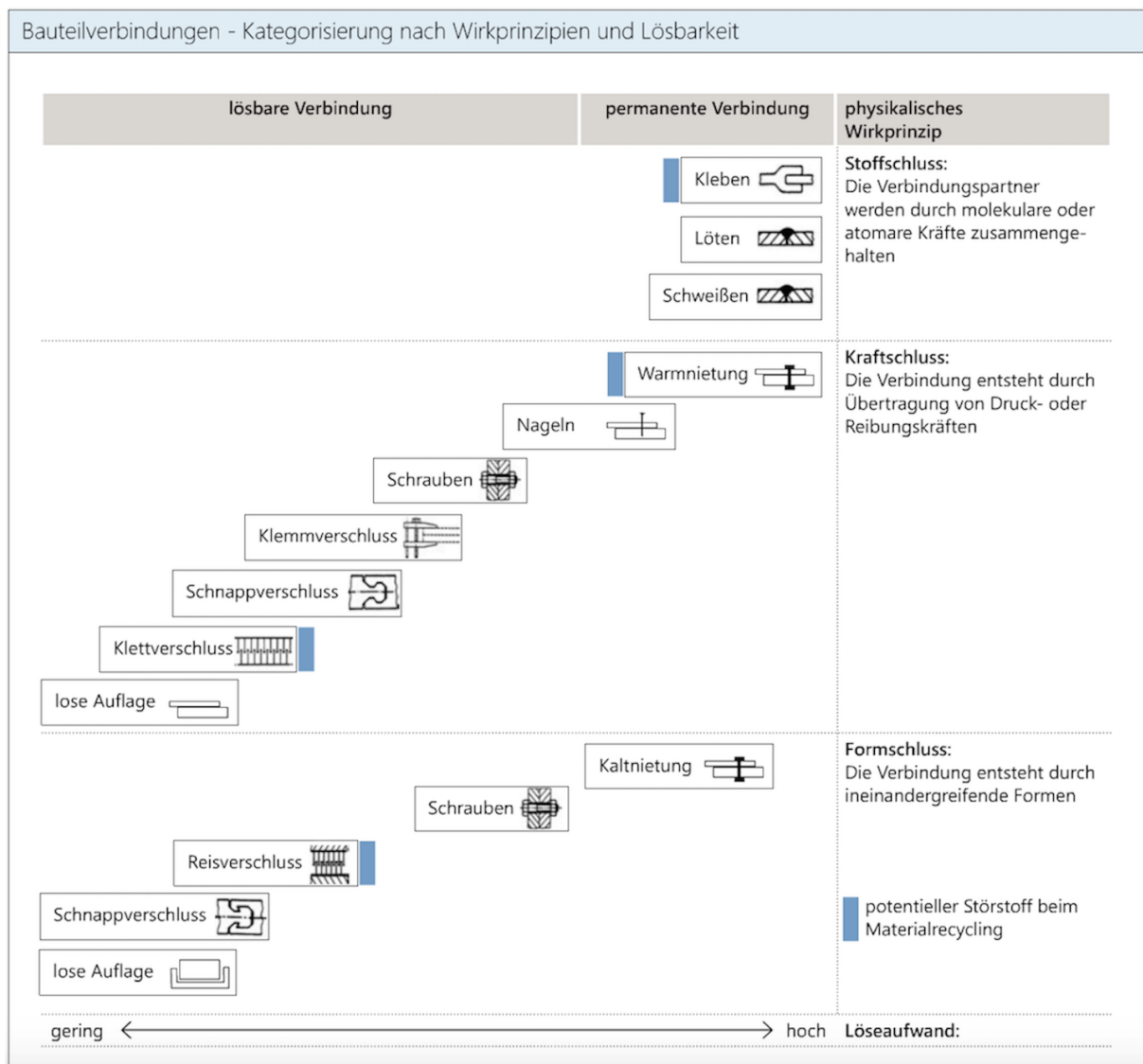


Abbildung 4.3: Einteilung der gängigen Bauteilverbindungen nach [44]

Wie schon in Kapitel 4.2 erläutert, wird eine Einteilung bei der Beschreibung der einzelnen Bauteilverbindungen anhand dieser Eigenschaften vorgenommen. Die Aufzählung erfolgt dabei in Richtung des Löseaufwandes von hoch bis gering. Dadurch entsteht die angestrebte Strukturierung bezüglich des Aufwandes und Möglichkeit der Trennung einer Fügechnik, welche für die Klassifizierung zielführend ist.

4.3.1 Unlösbare Verbindungen

4.3.1.1 Kleben

Ein Klebstoff ist laut DIN[80] ein „nicht metallischer Stoff, der Werkstoffe durch Oberflächenhaftung (Adhäsion) so verbindet, dass die Bindung eine ausreichende innere Festigkeit (Kohäsion) besitzt“. Entscheidend für den Zusammenhalt einer Klebeverbindung sind folglich die Art des Klebstoffs sowie die Qualität der Haftung zwischen Kleber und Bauteil. Abbildung 4.4 stellt die drei möglichen Mechanismen dar. vgl.[52][58]

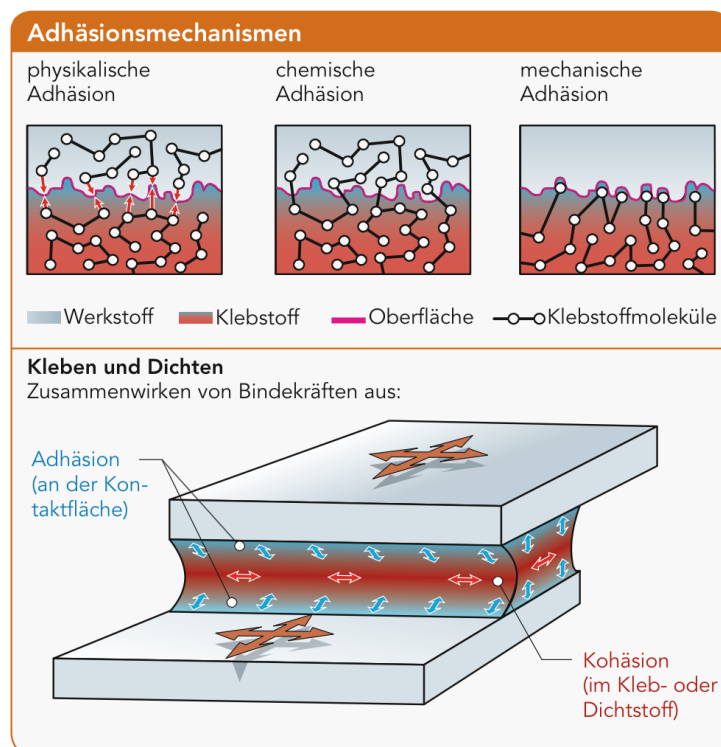


Abbildung 4.4: Adhäsionsmechanismen beim Kleben[58]

Wirkprinzipien:

Klebstoffe, welche durch physikalische Adhäsion abbinden, erhalten die Festigkeit während des Trocknungsprozesses. Durch ein Entschwinden der flüssigen Anteile verhaken die in der Ausgangssubstanz enthaltenen Molekülketten miteinander. Die entstehende zähe Masse ermöglicht den Zusammenhalt.

Die Verbindung von Monomeren zu Polymeren erzeugt die Haftung bei chemisch reagierenden Klebstoffen. Sogenannte Einkomponenten-Klebstoffe binden durch den Eintrag von Licht, Sauerstoff oder Feuchtigkeit ab. Die Reaktion bei Zweikomponenten-Klebern setzt bereits durch Vermischen der beiden Substanzen ein, Umweltfaktoren spielen dabei keine Rolle mehr. Zusätzlich kann bei Klebeverbindungen die Haftung durch mechanische Adhäsion verstärkt

werden. Dabei bilden sich durch den Kleber und der Rauheit der Bauteile mechanische Verankerungen. Dies kann durch gezielte Vorbehandlungen (Säubern und Aufrauen) verstärkt werden. vgl.[52][56]

Zu den chemisch reagierenden Klebstoffen zählen:

- Polyadditionsklebstoffe
- Polymerisationsklebstoffe
- Polykondensationsklebstoffe

Polyadditionsklebstoffe werden auf Epoxid- oder Polyurethanbasis hergestellt und zeichnen sich durch eine extrem hohe Festigkeit aus. Durch Einbringen von Wärme kann ein Abbinden beschleunigt werden.

Acrylat- und Cyanacrylatklebstoffe zählen zu der Gruppe der Polymerisationsklebstoffe. Die Haftung wird durch die in der Luft enthaltene Feuchtigkeit bewirkt, die Abbindezeit beträgt dabei lediglich wenige Sekunden.

Zu den Polykondensationsklebstoffen zählen Phenolharzkleber und Silikone. Aufgrund der komplizierten Umgebungsbedingungen für den Einsatz solcher Kleber, es müssen Temperaturen zwischen 100C und 200C herrschen, kommt diesen Klebstoffen nahezu keinerlei Bedeutung zu. vgl.[58]

Die wichtigsten Klebstoffe, welche ihre Haftung durch Trocknung erzielen sind Lösungsmittel- und Dispersionsklebstoffe. Bei beiden Arten erfolgt die Abbindung durch Verdunsten des flüssigen Anteils. Bei Lösungsmittelklebstoffen sind Polymere in organischen Lösungsmitteln gelöst, bei Dispersionsklebstoffen liegen die festen Anteile als Dispersion verteilt vor. vgl.[58]

Hauptvorteile des Klebens liegen in der vielseitigen Anwendung sowie dem geringen Gewicht der Verbindung. Zusätzlich wird die Festigkeit der Verbindung durch Bohrungen für Schrauben, Nägel oder Nieten nicht negativ beeinflusst. Die großflächige Verbindung dünner Materialien (z.B. Abdichtungsfolien) kann unkompliziert und effizient hergestellt werden.

Als Nachteile können teilweise geringe Wärmebeständigkeit und Einbußen in Bezug auf die Festigkeit durch Umwelt- oder Alterungseinflüsse genannt werden. vgl.[56][58]

4.3.1.2 Löten

Das Löten gilt als thermisches Verfahren, bei welchem durch Schmelzen eines Lotes (Schmelzlöten) oder Diffusion an den Grenzflächen (Diffusionslöten) zwei Bauteile miteinander verbunden werden. Diese können entweder gleicher oder aber auch unterschiedlicher Materialität sein.

Während des Lötens kommt ein Zusatzmaterial, das sogenannte Lot, in den flüssigen Bereich. Die Schmelztemperatur der zu fügenden Stoffe wird dabei jedoch nicht erreicht.

Durch die angewendeten Arbeitstemperaturen kann zwischen drei Lötverfahren unterschieden werden:

Das Weichlöten wird mit einer Temperatur von maximal 450°C durchgeführt. Angewendet wird dieses Verfahren bei Lötverbindungen welche lediglich einer geringen Belastung ausgesetzt sind oder wenn die zu verbindenden Baustoffe eine besondere Wärmeempfindlichkeit aufweisen.

Ab Temperaturen über 450°C spricht man vom Hartlöten. Damit können bereits höhere Festigkeiten erzielt und breite Spaltgeometrien bearbeitet werden.

Müssen für spezielle Einsatzzwecke außergewöhnlich hohe Festigkeiten erreicht werden, kommen hochschmelzende Lotsysteme zum Einsatz. Bei Bearbeitungstemperaturen von über 900°C unter Vakuum spricht man vom Hochtemperaturlöten. Die damit erzeugten hochfesten Stahlverbindungen werden vor allem in jenen Bereichen eingesetzt, in denen es zu dynamischen Belastungen kommt. Das Hochtemperaturlöten hat sich neben modernen Schweißverfahren als wirtschaftliches Verfahren etabliert. vgl.[52][58]

Mechanisches Wirkprinzip:

Bei einer Lotverbindung wird, anders als beim Schweißen, kein kontinuierliches Stoffgefüge zwischen den Fügeteilen hergestellt. Lediglich das Lot erreicht während des Verfahrens seine Solidustemperatur (Schmelztemperatur), die Grundwerkstoffe nicht. Dabei entsteht nicht nur eine stoffschlüssige Verbindung, sondern infolge der Benetzung der Werkstoffoberflächen durch das flüssige Lötmetall und anschließendem Abbinden desselben kann man von einem quasi Kraftschluss an der Lötnaht sprechen. vgl.[58]

Beim Löten können im Prinzip sämtliche metallische Werkstoffe dauerhaft miteinander verbunden werden. Ebenso ist eine großflächige Ausführung unproblematisch und im Vergleich zu Schweißnähten sehr einfach herzustellen. Ein weiterer Vorteil sind die geringen Kosten.

Bei der Auswahl einer passenden Fügetechnik muss jedoch der Festigkeitsnachteil gegenüber nahezu sämtlichen Schweißverfahren bedacht werden. vgl.[52][58]

4.3.1.3 Schweißen

Das Schweißen zählt als thermisches Verfahren, wobei die Verbindung zweier zu fügender Bauteile meist durch die Einbringung von Wärme oder Reibung erfolgt. Durch diesen Prozess kommt es zu einer Plastifizierung der Bauteile, die Molekülketten werden aufgebrochen und beim späteren Abkühlen lagern sich diese aneinander ab. Egal welches Verfahren angewendet wird, es entsteht immer eine nicht lösbare, aber dafür dichte Bauteilverbindung, welche im

Vergleich zu den Ausgangsstoffen eine ähnlich hohe Festigkeit besitzt. Als Vorteile sind somit die hohen übertragbaren Kräfte zu nennen, auch die Herstellung und Justierung kann schnell und kostengünstig erfolgen. Des Weiteren wird ein großes Anwendungsgebiet mit dem Schweißen erfasst, dadurch hat es sich sicher zu einer der wichtigsten Fügetechniken, vor allem im Bereich des Stahlbaus, entwickelt. Das Hauptanwendungsgebiet liegt bei geschweißten Stahl- und Leichtmetallkonstruktionen, hauptsächlich für den Brückenbau. Der vermeintliche Nachteil liegt in der Unlösbarkeit der Verbindung, wobei durch die Zufuhr artgleicher oder zumindest ähnlicher Werkstoffe beim Schweißvorgang eine Weiterverwendung unabhängig von der Bruchstelle beim Rückbau erfolgen kann. vgl.[56][58]

Es gibt eine Vielzahl von Schweißverfahren, welche sich in Bezug auf das Verfahrensprinzip, die zu verarbeitenden Materialien sowie die erzielbare Qualität der Verbindung unterscheiden. Je nach Anwendungsfall kann die Wahl dabei auf unterschiedliche Schweißverfahren fallen.

Grundsätzlich können die Verfahren folgenden Hauptgruppen zugeteilt werden: vgl.[58]

- Widerstandsschweißen
- Lichtbogenschweißen
- Gasschmelzschweißen
- Strahlschweißen
- Pressschweißen

Der Widerstand bzw. die benötigte Wärme wird beim Widerstandsschweißen elektrisch erzeugt. Beim Lichtbogenschweißen ist zwischen dem Werkstück und einer Elektrode ein Lichtbogen gespannt. Beim Gasschmelzschweißen verändert sich der Materialzustand an der Fugestelle aufgrund eines verbrennenden Gasgemisches. Für das Strahlschweißen wird die benötigte Wärme durch energetische Strahlung direkt beim Auftreffen auf die Materialoberfläche erzeugt, beim Pressschweißen funktioniert dies durch Druck und Reibung. vgl.[58]

Mechanisches Wirkprinzip:

Beim Schweißvorgang beruht die mechanische Wirkung auf der Herstellung eines kontinuierlichen, quasi ungestörten Stoffgefüges, entweder zwischen den zu fügenden Bauteilen oder den Bauteilen und der Schweißnaht selbst. Dabei herrscht ein Stoffschluss in allen möglichen Richtungssinnen. vgl.[52]

4.3.1.4 Nieten

Nietverbindungen, die keine Gewindeherstellung erfordern, sind – historisch gesehen – älter als Schraubenverbindungen. Es ist eine im vorindustriellen Bauwesen heikle, erst spät entwickelte Technik. Die Verbindungen können durch Stauchung des überstehenden Endes eines durch-

gesteckten Stifts handwerklich mit einfachsten Hilfsmitteln hergestellt und in ihrer Einfachheit mit Nagelverbindungen verglichen werden. Sie erlauben jedoch anders als diese das Fügen metallischer Teile untereinander. Der große Nachteil gegenüber diesen ist jedoch die Lösbarkeit, da der Aufwand bei Nietverbindungen erheblich höher ist. vgl.[52]

Nietverbindungen werden in der Norm folgendermaßen definiert:

„Die Nietverbindung ist eine nicht lösbare feste oder bewegliche Verbindung eines oder mehrerer Teile mit einem Hilfsfügeteil (Niet) oder mit einem Gestaltelement eines Verbindungspartners (Nietzapfen), das bei der Montage plastisch verformt wird.“[53]

Nietverbindungen lassen sich generell nach dem Primärmerkmal der Zugänglichkeit unterscheiden. Beim herkömmlichen Niet ist eine beidseitige Zugänglichkeit gegeben. Von der einen Seite wird der Stift durchgesteckt, auf der anderen Seite der Setzkopf geformt. Eine beidseitige Zugänglichkeit ist selbst während des Umformvorgangs notwendig, da geschlagen und gehalten werden muss. Als technische Errungenschaft kann die Entwicklung von Blindnieten gesehen werden. Sie erfordern nur eine einseitige Zugänglichkeit. vgl.[52]

Mechanisches Wirkprinzip:

Die Umformung des Niets führt dazu, dass die Bewegung im Gegensinn zur Montagerichtung behindert wird. Die Verbindung kann nicht auseinanderfallen. Der Formschluss bildet die wirkende Hauptschlussart. Wenn loses Spiel herrscht oder quasi-Formschluss bei Passsitz, handelt es sich, je nach Ausführung der Verbindung, quer zur Stiftachse um einen reinen Berühr- oder Formschluss, vor allem wenn durch die axiale Pressung des Nietschafts oder der Niethülse der Werkstoff seitlich verdrängt wird. Hierzu muss dieser das Bohrloch satt ausfüllen, was bei warm geschlagenen Nieten und dem vorgeschriebenen kleinen Übermaß des Bohrlochs von 1 mm stets zutreffend ist.

Bei ausreichender Anpresskraft des Niets auf die Fügeteile, beispielsweise durch die Schrumpfung eines warm geschlagenen Niets nach Erkalten, kann sich quer zur Nietachse ein beschränkter Kraftschluss durch Reibkräfte zwischen den Grenzflächen der Fügeteile ergeben. Liegt eine entsprechend große Belastung der Verbindung in dieser Richtung vor, wird der Schlupf überwunden. In diesem Fall drückt der Nietschaft gegen die Bohrlochwandung, wodurch ein Formschluss entsteht.

Gegen Verdrehen um die Nietachse wirkt infolge der Anpresskraft beim Einzelniet nur ein möglicher Reibschluss auf die Fügeteile. Diese Stiftverbindungen treten deshalb nicht in Funktion, weil der Anschluss stets mit mehreren Nieten hergestellt wird. Drehmomente ergeben sich durch Formschluss an der Nietgruppe. vgl.[52]

4.3.2 Bedingt lösbare bzw. lösbare Verbindungen

4.3.2.1 Nageln

Das Nageln umfasst das Einpressen von Nägeln, also Drahtstiften, in das volle Material. Nägel stellen ein Verbindungsmittel dar, wobei die Fügeile aneinandergesst werden. Nagelverbindungen gelten als die technisch einfachsten und ältesten mechanischen Holzverbindungen. Seit der Antike gibt es handgeschmiedete Eisen-, Bronze- und Kupfernägel. Die Verbindung – das Eintreiben eines Nagelstifts durch Schlagen ohne weitere Vorbereitungen – kann einfach vorgenommen werden. Es sind keine aufwendigeren Hilfsmittel nötig. Der Vorgang kann von Hand ausgeführt werden und erlaubt eine rasche Montage. Im amerikanischen Westen waren Nagelverbindungen die Grundlage der Holzrippenbauweise. Noch heute werden sie in mechanisierter Variante, sogenannten Pressluftnaglern, ausgiebig eingesetzt. vgl.[52]

Als Nägel gelten im Sinne der ÖNORM EN 10230-1:

„Stifte mit glatter, gerauter, angerollter oder gerillter Schaftform mit rundem Flachkopf oder flachem Senkkopf mit oder ohne Einsenkung.“[54]

Mechanisches Wirkprinzip:

Nägel sind verhältnismäßig dünne Stifte. Sie werden in dichten Nagelanordnungen in das Holz geschlagen. Auf diese Weise wird eine gute Kraftverteilung im nachgiebigen Grundwerkstoff Holz erzielt. Der Nachteil sind die großen Steifigkeitsunterschiede zwischen dem Grundwerkstoff und dem Metallverbindungsmittel. Dieser tritt jedoch bei dichten Nagelverbindungen mit dünnen Stiften in den Hintergrund. Nagelverbindungen sind verhältnismäßig steif. Verbindungen mit weniger zahlreichen, dickeren Nägeln sind nachgiebiger. Nägel an sich stellen elastische Verbindungsmittel dar. Sie werden auf Abscheren und infolge ihrer großen Schlankheit stark auf Biegung beansprucht und weisen eine beschränkte Tiefenwirkung auf. vgl.[52][54]

Die Hauptbeanspruchung von Nägeln erfolgt durch: vgl.[52]

- Abscheren in der/den Schnittfläche(n) sowie in direkter Folge auf Lochleibung des Holzes und Biegung des schlanken Nagelschafts im plastisch verformten Holz ringsum.
- Herausziehen, ggf. auch auf Durchziehen des Nagelkopfes durch das kopfseitige Fügeile hindurch.

Der Widerstand gegen das Ausziehen resultiert aus dem Kraftschluss der Reibung zwischen dem Nagelschaft und der Lochwandung, der mit der Zeit infolge Schwindens des Holzes abgeschwächt wird. Diesem Prozess kann durch profilierte Sondernägel entgegengewirkt werden.

Ein Verdrehen um die Nagelachse geht ebenfalls mit einem Reibschluss einher. Er ist aufgrund der begrenzten Anpresskraft kaum wirksam, weshalb kein Widerstand gegen Verdrehung um die Stiftachse vorhanden ist. Ein Verdrehen kann stattdessen durch den Hebelarm einer Mehrfachnagelung verhindert werden. Zusätzlich kann sich ein Quasi-Formschluss ohne Spiel einstellen. Dies ist bei einer aneinander liegenden Stift- und Holzoberfläche möglich und die Folge des Einpressens des Nagels und der daraus folgenden Verdrängung der Holzfasern. vgl.[52]

4.3.2.2 Schrauben

Schraubverbindungen, die auf dem Fügeverfahren Schrauben basieren, sind nahezu ausnahmslos lösbare Verbindungen. Hier wird eine Vorspannkraft hervorgerufen. Diese ergibt sich durch Gewinde mindestens in einem Verbindungspartner oder Verbindungsmittel. Die Vorspannkraft lässt sich durch Steuerung des Anziehdrehmoments sehr präzise dosieren. Dies trifft auch für Befestigungsschrauben zu. Diese kommen in überwiegender Mehrzahl im Bauwesen zum Einsatz. Es werden aber auch Bewegungsschrauben verwendet. Die Schraubbewegung wird hier nicht in Vorspannkraft, sondern in eine Relativbewegung zweier Verbindungspartner übersetzt. vgl.[52][53]

Mechanisches Wirkprinzip:

Eine Schraubverbindung beruht auf einer Verzahnung zweier Bauteile. Diese greifen durch ein Außen- und Innengewinde gleicher Steigung und Ganghöhe ineinander. Das Innengewinde ist bei unmittelbaren Verbindungen in einem der zu fügenden Teile vorhanden. Bei einer mittelbaren Verbindung gehört es zu einem Fügehilfsteil. Als Beispiel kann hier eine Schraubenmutter genannt werden. Eine Bohrung, die für den Schraubenhals bzw. das Innengewinde notwendig ist, führt stets zu einer Querschnittsschwächung im Bauteil. Am Rand der Bohrung erhöht sich im beanspruchten Bauteil die Spannung. Insbesondere bei spröden Werkstoffen führt dies zu einer Kerbwirkung³. vgl.[52]

Schraubverbindungen durch Anpressen setzen eine planmäßige Vorspannung des Verbindungsmittels voraus, um eine kraftschlüssige Verbindung herzustellen. Die Herstellung der Vorspannung kann kontrolliert über einen Drehmomentschlüssel hergestellt werden. Dieser stellt das Aufbringen der rechnerisch ermittelten Vorspannung – des vorgeschriebenen Anziehdrehmoments – durch eine Messung des Drehmoments beim Fügungsvorgang sicher. Der Anpressdruck ist bei kraftschlüssigen Schraubenverbindungen grundlegend für die Fügewirkung

³Kerbwirkung = Effekt einer Stabilitätsverringerung durch vorhandene Kerben oder Vorsprünge an der Materialoberfläche; beruht auf einer lokalen Konzentration von Spannungen, welche das Material brechen lassen können, unabhängig davon, ob die Belastung weit unter der nominalen Bruchlast liegt. vgl.[55]

(z. B. GV-Schraubverbindungen). Zudem wird dadurch die Verschraubung gegen ungewolltes Lösen gesichert.

Auch die Schraubverbindungen mit nur einem Formschluss, um den Schraubenschaft und das Bauteil zu verbinden, sind zu nennen. Beim Fügevorgang wird ein Anpressdruck aufgebracht. Er dient beim Formschluss einzig dem Fugenschluss zwischen den zu verbindenden Bauteilen. Des Weiteren wird die Verbindung dadurch gegen ungewolltes selbsttätiges Lösen gesichert. Damit lassen sich diese Schraubverbindungen dem Fügeverfahren Zusammensetzen zuordnen. Bei vorwiegend formschlüssigen Schraubenverbindungen (z. B. SL-Verbindungen) muss der Anpressdruck ausreichend groß sein. Dadurch lässt sich die Verschraubung, wie oben beschrieben, sichern. vgl.[52][53]

Zu den Vorteilen zählen die einfache Montage, die Wiederverwendbarkeit und die Möglichkeit des Verbindens unterschiedlichster Baustoffe. Das Merkmal der grundsätzlichen Lösbarkeit stellt einen insbesondere im Hinblick auf eine Demontage und anschließenden Recyclingprozess wesentlichen Vorzug dieser Verbindungsart dar. Gleichzeitig sind aber auch Nachteile zu berücksichtigen. Schrauben können sich infolge ihres Fügeprinzips während des Betriebs lösen, insbesondere bei dynamischen Wechselbeanspruchungen. Spezialgewinde oder etwaige Zusatzelemente können dieses Problem jedoch eindämmen. Andere Nachteile bei der Herstellung sind die aufwändige Vorbereitung der Verbindungen durch Vorbohren, Senken und Gewindeschneiden, sowie die begrenzten Einsatzmöglichkeiten bei schwer erreichbaren Verbindungsstellen. vgl.[52][53]

4.3.2.3 Klemmverschluss bzw. Pressverbindung

Hierzu gehören Verbindungen, die mittels elastischer Federkraft oder durch plastische Verformung der Fügeteile eine Pressverbindung herstellen. vgl.[52] Um sehr genau gefertigte Bauteilflächen zusammenzuschieben, eignen sich hydraulische Pressen. Vor dem Fügeprozess werden diese geölt, um ein Festfressen oder Verhaken der Materialoberfläche zu verhindern. Mit einer anderen Methode lassen sich kleine Maßänderungen über Temperaturschwankungen vornehmen. In diesem Fall wird das Außenteil entweder erhitzt oder das Innenteil gekühlt, woraus ein Schrumpf- beziehungsweise Dehnprozess resultiert. Dieser erzeugt die für die Verbindung notwendigen Presskräfte. Die Erwärmung wird mit Ölbädern oder Brennern erreicht. Für das Kühlen kann Trockeneis eingesetzt werden. Weiterhin müssen aber temperaturempfindliche Teile, z. B. aus Kunststoffen, vor dem Erwärm- oder Kühlprozess entfernt werden. vgl.[58]

Die folgende Abbildung zeigt die Montagemöglichkeiten einer Pressverbindung, wobei in Bezug auf die Wiederverwendbarkeit keine Unterschiede zwischen diesen festzustellen sind.

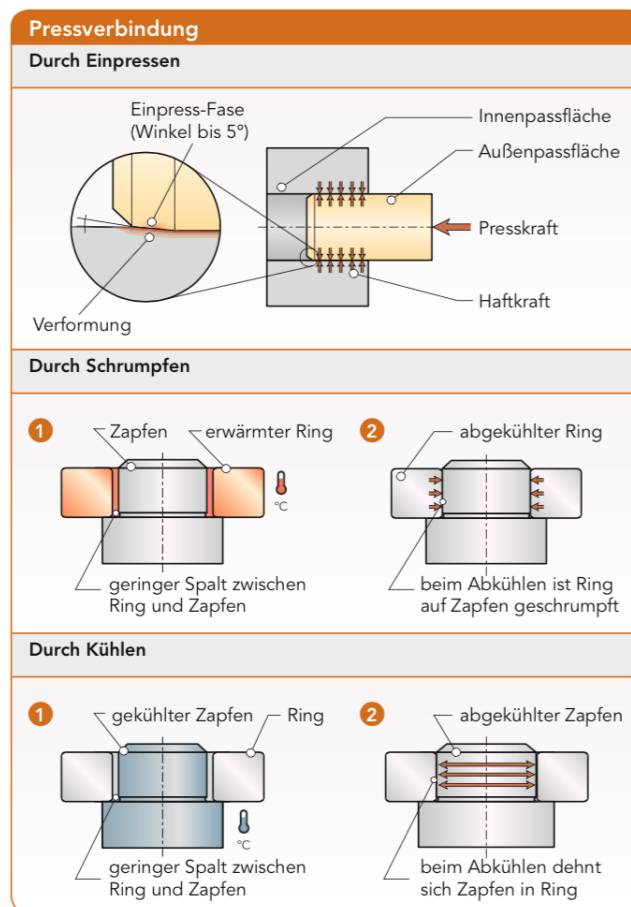


Abbildung 4.5: Montagemöglichkeiten einer Pressverbindung[58]

Mechanisches Wirkprinzip:

Pressverbindungen ergeben sich aus Reib- und Presskräften an den sich berührenden Flächen zweier Bauteile. Dies erfolgt mit Hilfe elastischer Federkraft oder anderer Hilfsmittel wie z.B. Schrauben. Ebenso können über eine aufgezwungene Verformung mechanische Spannungen hervorgerufen werden, welche den Zusammenhalt ermöglichen.

Klemmverbindungen sind sehr kostengünstig in der Herstellung und lassen sich einfach justieren. Im Hinblick auf die Weiterverwendung ist die gute Lösbarkeit der Verbindung ein weiterer großer Vorteil. Jedoch ist die Qualität der Verbindungen oft nicht ausreichend und die übertragbaren Kräfte fallen vergleichsweise begrenzt aus. vgl.[59]

4.3.2.4 Schnappverschluss

Eine Schnappverbindung kann als eine formschlüssige Verbindung zwischen zwei Bauteilen betrachtet werden. Dabei wird die Materialelastizität ohne zusätzliches Fügeelement ausgenutzt. Während des Zusammensteckens ist es nötig, einen Wulst zu überwinden. Dieser verformt sich

4 Fügetechnik

kurzzeitig. Danach federt er in die Ausgangslage zurück. Für die Schnappverbindungen werden Kunststoffe und Federstähle eingesetzt, die sowohl lösbar als auch unlösbar sind. Bei lösbaren Verbindungen besitzt der Wulst in beiden Richtungen eine Schräge, während er bei nicht löslichen Schnappverbindungen lediglich in Richtung des ersten Fügevorgangs vorhanden ist. Eine plane Fläche auf der Rückseite des Wulstes verhindert das unbeabsichtigte Auseinandergehen der beiden Bauteile.

Für Schnappverbindungen werden Schnapphaken verwendet. Diese können entweder kugelig, als Biegefeder oder in zylindrischer Form vorliegen. Großer Vorteil vor allem im Kunststoffbereich ist eine Reduzierung der Teileanzahl eines Bauteils oder einer ganzen Bauteilgruppe (Abbildung 4.6). Das leichte und zerstörungsfreie Lösen einer Schnappverbindung ohne Werkzeug ermöglicht kostengünstige und schnelle Demontageprozesse. vgl.[58]

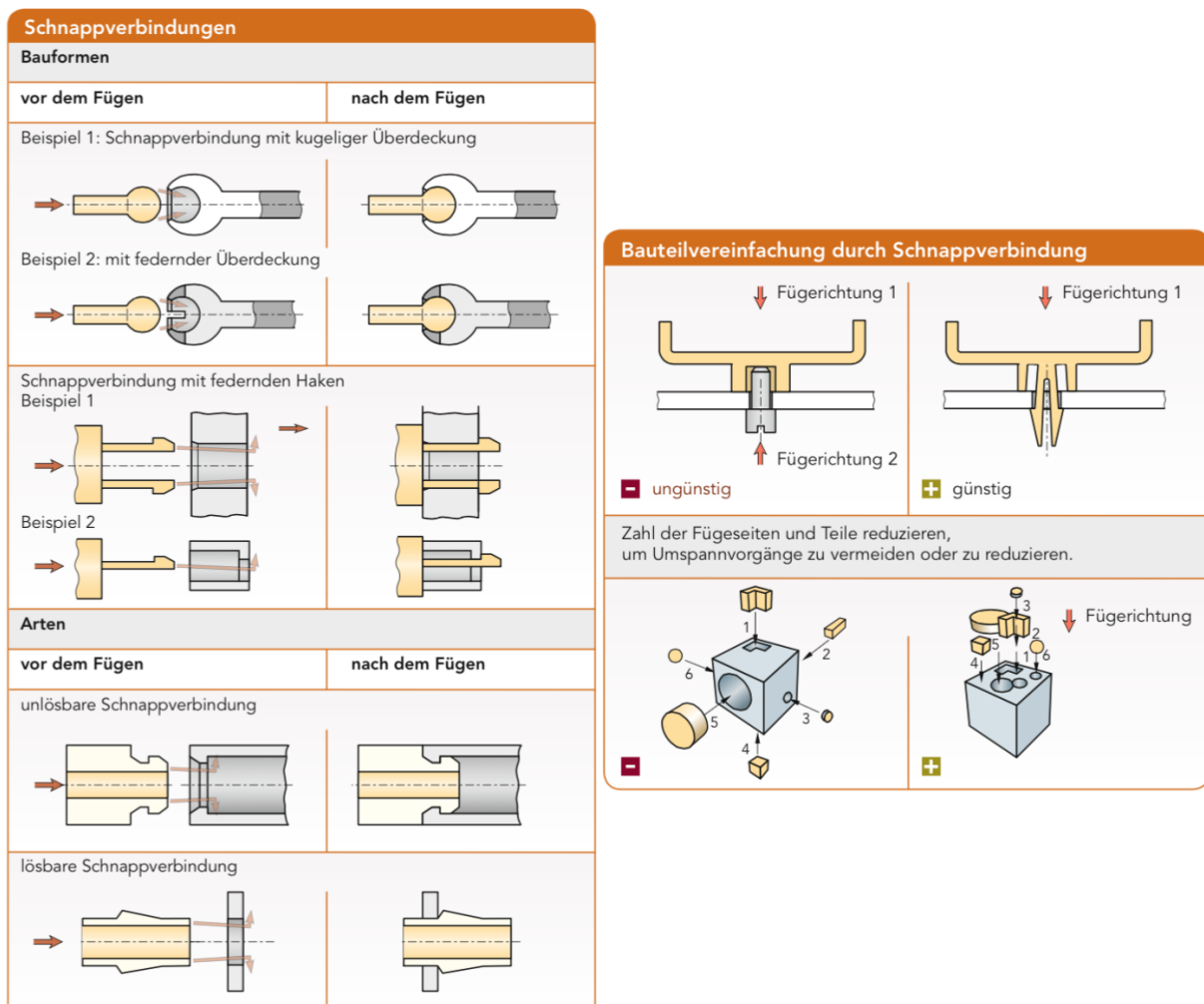


Abbildung 4.6: Schnappverbindungsarten und entstehende Bauteilvereinfachung[58]

Mechanisches Wirkprinzip:

Das Wirkprinzip einer Schnappverbindung beruht auf dem Ineinanderschnappen von Konkav- und Konvexteil während des Fügevorgangs. Dies erfolgt durch elastische und partiell plastische Verformungen an einem oder beiden zu fügenden Bauteilen. Die übertragbare Kraft

der Verbindung – Trennkraft in Lösevorrichtung – ergibt sich einerseits aus den Reibungskräften an den Wirkflächenpaaren und andererseits aus den elastischen Reaktionskräften des Formschlusses(Keilprinzip). vgl.[77]

4.3.2.5 Reißverschluss

Der Reißverschluss oder auch Zippverschluss genannt, ist ein auf Formschluss beruhendes Verbindungsmittel. Das beliebig oft zu lösende Verschlussmittel besteht auf beiden Seiten aus kleinen Zähnen, den sogenannten Krampen, welche durch den Schieber ineinander verhakt oder in entgegengesetzter Richtung wieder getrennt werden können. Heutzutage werden sie hauptsächlich nur noch aus Kunststoff hergestellt und können auch wasserdicht ausgeführt werden. vgl.[44][57][61]

Eine Weiterentwicklung des Reißverschlusses ist der Ziplock. Mit ihm kann eine auf Kraftschluss beruhende Verbindung hergestellt werden, wobei die Verbindungseinheit aus demselben Material wie die zu verbindenden Folien bestehen kann.

Zu den Vorteilen zählen sicherlich das schnelle Verbinden bzw. Lösen sowie das Anbringen auf unterschiedlichsten Substraten mittels z.B. Nähen oder Kleben. Weiters ist noch die wasserdichte Ausführung als positive Eigenschaft zu nennen. Als Nachteile können die geringen Füge- und Trennkräfte und auch der noch kleine Einsatzbereich aufgezählt werden.

4.3.2.6 Klettverschluss

Der Schweizer Ingenieur George de Mestral entdeckte im Jahre 1941 beim Entfernen von Kletten aus dem Fell seines Hundes das Prinzip des „Klettverschlusses“. Zehn Jahre später, im Jahre 1951, erhielt er das erste Patent auf einen Klettverschluss. Im Jahr 1960 startete die industrielle Produktion. Diese Entwicklung beruht auf dem Kopieren eines Vorgangs in der Natur. Heute wird es unter dem Begriff „Bionik“ zusammengefasst.

Mechanisches Wirkprinzip:

Mittlerweile wird zwischen zwei Prinzipien von Klettverschlüssen, welche jeweils durch einen Kraftschluss der beiden Flächen aneinander haften, unterschieden. Das erste dargestellte Prinzip beruht auf der natürlich vorkommenden Klette. Es setzt sich aus einem Haken und einer Schlaufe zusammen und wird im Englischen „hook-and-pile-fastening“ genannt. Der Haken wurde im zweiten dargestellten Verschlussverfahren durch einen pilzförmigen Stift ersetzt und in der Natur so verwendet. Beide Verfahren können zum temporären Verbinden zweier Teile genutzt werden. Das eine ist mit Schlaufen und das andere mit Haken oder Pilzstiften versehen.

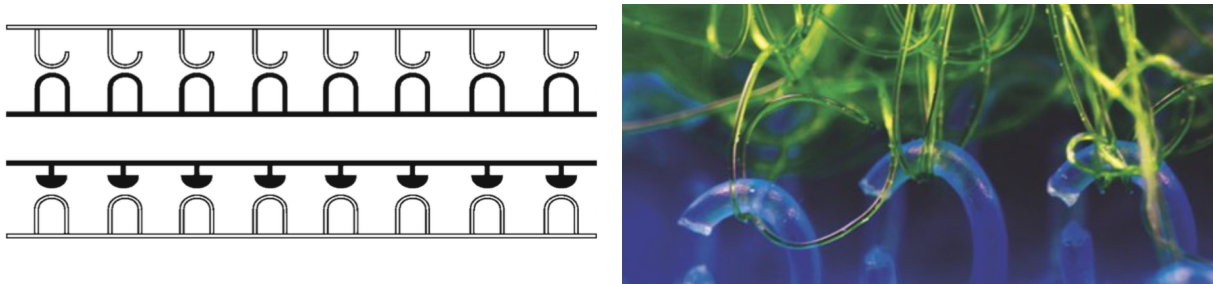


Abbildung 4.7: Der Klettverschluss - Prinzipien und mikroskopische Darstellung[56][60]

Bei den Vorteilen von Klettverschlüssen ist sicherlich das schnelle Verbinden und Lösen zu nennen. Auch ist es leicht auf unterschiedlichsten Substraten applizierbar (z.B. mittels Nähen, Verschrauben, Kleben oder Verschweißen) und verfügt über eine gute Wärmebeständigkeit und hohe Dauerfestigkeit. Klettverschlüsse besitzen allerdings auch Nachteile wie die abnehmende Haftwirkung durch häufigen Gebrauch sowie die geringen Füge- und Trennkräfte, welche nur bei der Montage von Vorteil sind. Klettverschlüsse werden trotz gelegentlich negativer Eigenschaften heutzutage immer mehr in Überlegungen für Verbindungen im Bauwesen miteinbezogen. vgl.[56]

4.3.2.7 Lose Auflage

Unter dem Begriff der losen Auflage werden in dieser Arbeit jene Verbindungen verstanden, welche durch Zusammensetzen hergestellt werden. Die möglichen Verfahren dabei sind Auflegen, Einlegen, Ineinanderschieben, Einhängen oder Einrenken.

Bei dieser Verbindungsart kann es zu mehreren Schlussarten kommen:

- dem sogenannten Gravitationsschluss g ,
- einem Formschluss f , mit oder ohne Spiel, und
- einem elastischen Kraftschluss E .

Mechanisches Wirkprinzip:

Bei diesen Schlussarten wird die Kraft über Druckkontakt an definierte Bauteilflächen übertragen. Dieser Druck muss ständig vorliegen. Ist das nicht der Fall, klafft die Fuge. Außerdem könnte sich die Verbindung in umgekehrter Montagerichtung lösen oder auseinanderfallen. Aus diesem Grund müssen zusammengesetzte Verbindungen zusätzlich gegen das Auseinanderfallen gesichert werden. Für diese sekundäre Verbindungssicherung können im Prinzip alle Schlussarten genutzt werden.

Verbindungen durch Zusammensetzen lassen sich lösen. Sie sind ferner nicht in Richtung der wirkenden Schlusskraft demontierbar. Bei zusammengesetzten formschlüssigen Verbindungen

4 Fügetechnik

besteht im unbelasteten Zustand stets ein loses Spiel zwischen den Verbindungspartnern. Am Ende ist es die Last, oder ggf. bereits die Gravitationskraft vor Belastung, die die Kontaktflächen ineinander führt. Sie überträgt die Kraft über Druck. Um die Verbindungspartner während der Montage überhaupt räumlich zusammenzuführen, ist das lose Spiel erforderlich.

Das Zusammensetzen kann als ein elementares Fügeverfahren betrachtet werden. Es kommt bei den einfachsten Bauweisen zum Einsatz. Das Schichten oder Aufeinanderlegen von Bausteinen oder sonstigen Bauelementen zählt zu den unmittelbarsten und ältesten Baumethoden. Hier erfolgt die Fügung, anders als bei anderen Fügeverfahren durch Zusammensetzen, häufig unmittelbar. In den anderen Fällen wird die Verbindung der Fügeteile durch gesonderte, für das Fügeverfahren eigens hergestellte Verbindungsmittel realisiert. Dieses fällt im ersten Fall weg. Zahlreiche zusammengesetzte formschlüssige Verbindungen arbeiten mit der Schlusswirkung. Hier ist die Form des Fügeteils der entscheidende Aspekt. vgl.[52]

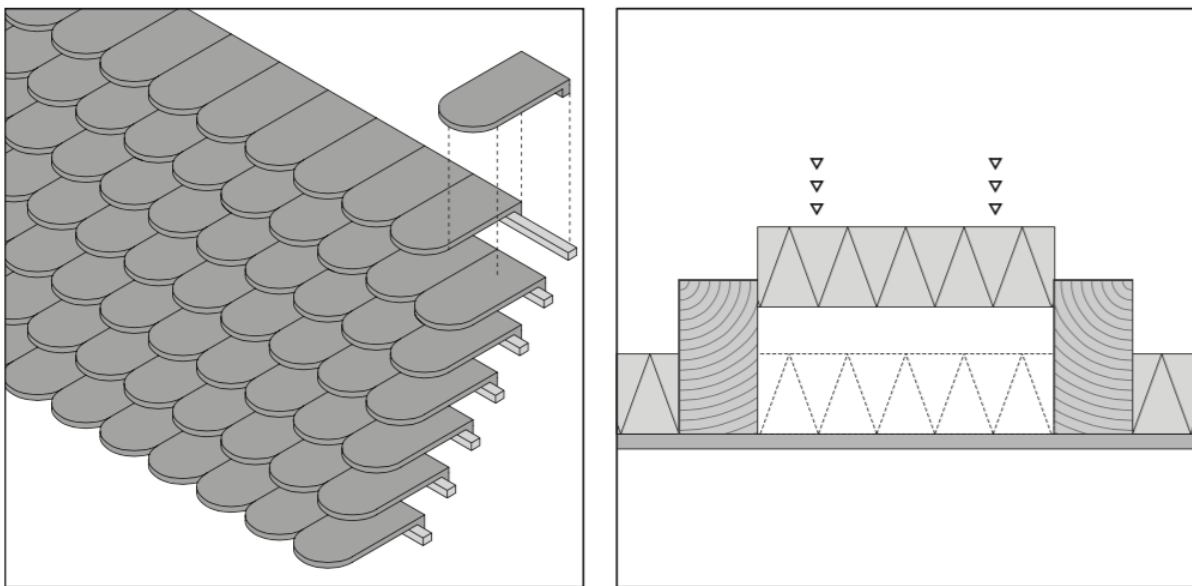


Abbildung 4.8: Beispiele der losen Auflage aus der Baupraxis[52]

Die Abbildung 4.8 zeigt zwei sehr häufig in der Baupraxis angewendete Methoden des Zusammensetzens. Einerseits links das Auflegen von Dachziegeln unter Ausnutzung der Schwerkraft und andererseits rechts das Einlegen einer Dämmplatte in den Zwischenraum zweier Balken.

5 Entwicklung eines Klassifizierungssystems

Die Entwicklung und anschließende Evaluierung des Klassifizierungssystems für Rückbau- bzw. Fügetechniken im Bauwesen erfolgt in mehreren Schritten.

Im ersten Schritt erfolgt die Entwicklung eines Bewertungssystems mit der Festlegung der Bewertungsmethode. Die Methode zur Klassifizierung für diese Arbeit wird in Kapitel 5.1.1 entwickelt und anschließend einem Praxistest unterzogen.

Um zur Klassifizierung zu gelangen, werden die Rückbaumethoden und Fügetechniken getrennt voneinander betrachtet. Die Bewertung erfolgt über eine Analyse verschiedener, für den Zweck dieser Arbeit relevanter Kriterien. Je nach Wichtigkeit erfolgt eine Gewichtung der Kriterien untereinander. Die Qualität des erzielten Sekundärrohstoffes steht bei der Bewertung in dieser Arbeit im Vordergrund, das Kriterium der Kosten wird dabei aber nicht ganz außer Acht gelassen. In der Klassifizierung ergeben die Teilbewertungen der einzelnen Kriterien eine Gesamtbewertung und bilden somit das Gesamtergebnis.

Aus der Fachliteratur werden Kriterien zur Bewertung abgeleitet und in Zusammenarbeit mit Abbruch- und Rückbauunternehmen sowie Deponiebetreibern auf Plausibilität überprüft und festgelegt. Abschließend werden die Ergebnisse kritisch dem Stand der Technik gegenüber gestellt und anhand mehrerer Bauteilaufbauten evaluiert.

Abbildung 5.1 bildet die einzelnen Schritte bis zur Klassifizierung ab. Die Erarbeitung der Kriterien und die Begründung für die Gewichtung findet in den Kapiteln 5.2.1 bzw. 5.3.1 statt.

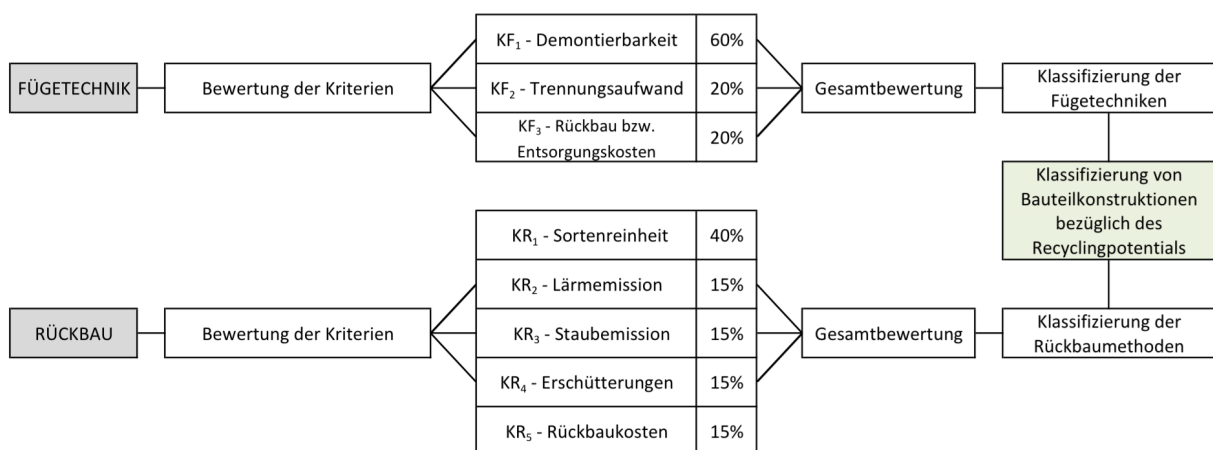


Abbildung 5.1: Schritte zur Klassifizierung von Bauteilkonstruktionen

5.1 Entwicklung des Bewertungssystems

In dieser Arbeit werden in erster Linie Baukonstruktionen betrachtet. Durch eine Bewertung der Rückbau- bzw. Fügetechniken der Konstruktionen kann jedes Projekt, unabhängig von der Art und Bauweise, bezüglich seines Recyclingpotentials klassifiziert werden. Dabei soll einerseits die Fügetechnik mit ihren verschiedenen Verbindungsmöglichkeiten vor allem in Bezug auf die Trennbarkeit bewertet und andererseits auch die Rückbaumethoden alleine analysiert werden. Die Fügetechnik und der Rückbau werden unter Einhaltung der rechtlichen Rahmenbedingungen im Klassifizierungssystem bewertet.

Diese drei Säulen - Fügetechnik, Rückbau und der rechtliche Rahmen - stehen in Wechselbeziehung zueinander und müssen bei der Entwicklung des Klassifizierungssystems genau beachtet werden. In Abbildung 5.1 wird dies dargestellt.

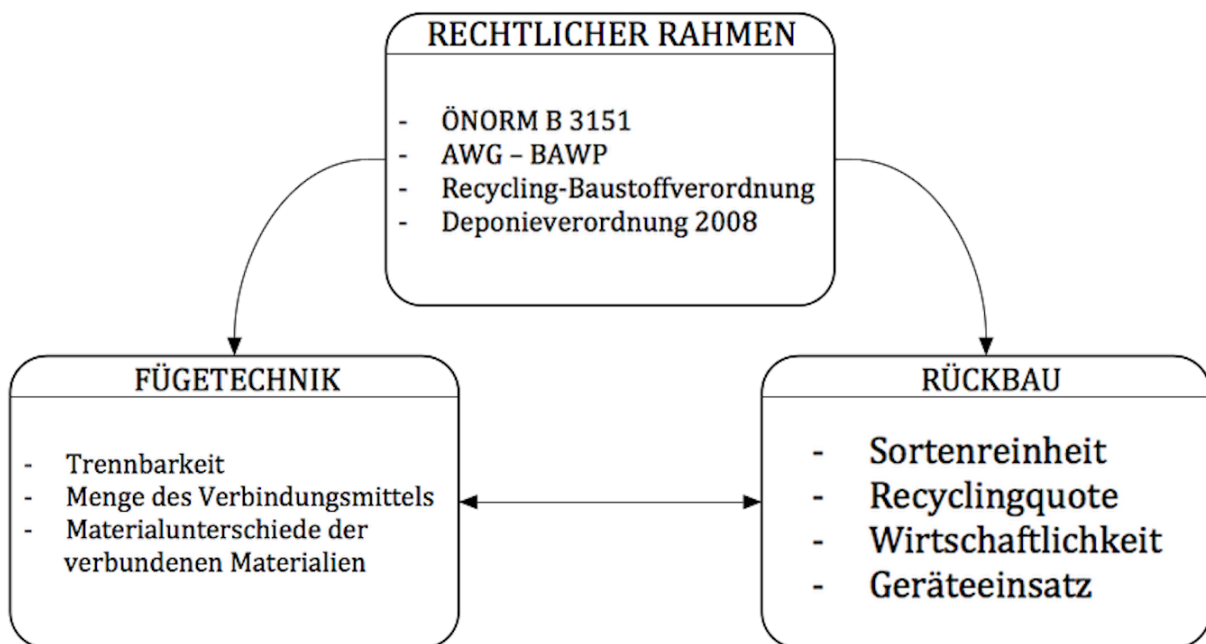


Abbildung 5.2: Einflussfaktoren auf das Klassifizierungssystem

Die ÖNORM B 3151 regelt, dass jeder Abbruch nur noch als Rückbau ausgeführt werden darf. Das AWG gibt mittels des BAWP für die Abfallverwertung stets einen genauen Nachweis der Materialqualität vor, egal ob es sich um die Vorbereitung zur Wiederverwendung, Recycling oder sonstige Verwertungswege wie z.B. energetische Verwertung handelt.

Die neue Recycling-Baustoffverordnung stellt Anforderungen bezüglich des Wiederverwendungsgrades sowie der Qualität der Recycling-Baustoffe. Zu den wichtigsten Pflichten durch die Verordnung zählen eine Schad- und Störstofferkundung vor dem Rückbau.

Die Deponieverordnung schreibt wiederum vor, wieviel und welche Art von Abfällen abgelagert werden darf.

Um all diese Vorgaben erfüllen zu können, werden an die Rückbau- und Fügeverfahren bestimmte Anforderungen gestellt. Diese werden bei der Bewertung genau erfasst und beschrieben, zusätzlich wird stets die Tauglichkeit der jeweiligen Methode gegenüber den gesetzlichen Vorschriften überprüft.

Die beiden weiteren Säulen stehen somit in Wechselwirkung zu den Anforderungen.

Die Fügeverfahren einerseits, deren wichtigste Eigenschaft für das Recycling die sortenreine Trennbarkeit der Bauteilverbindungen ist. Einfluss darauf haben die Materialunterschiede der verbundenen Materialien und die Menge der Verbindungsmittel.

Demgegenüber stehen die Rückbaumethoden, welche nicht nur aufgrund der Sortenreinheit und Recyclingquote der rückgebauten Materialien klassifiziert werden können. Es werden auch die in der Praxis eingesetzten Rückbaumethoden bzw. Geräte berücksichtigt. Die Wirtschaftlichkeit wird in dieser Arbeit auch nicht vernachlässigt, jedoch aufgrund des Ziels möglichst hochwertiges Recyclingmaterial zu erzielen, nicht so stark gewichtet.

5.1.1 Bewertungsmethode

Um eine optimale Lösung bei der Bewertung für eine spezielle Aufgabenstellung zu erzielen, können verschiedene Bewertungsmethoden eingesetzt werden. Zu den üblichen Bewertungsverfahren für Problemstellungen im Bauwesen zählen

- die Argumentenbilanz,
- das Rangfolgeverfahren,
- die Kosten-Nutzen-Analyse,
- die Delphi-Methode und
- die Nutzwertanalyse.

Bei der Argumentenbilanz wird eine Tabelle erstellt, in welcher die Vor- und Nachteile der Methoden mittels Schlagwörtern gegenübergestellt werden. Es können dabei keinerlei Berechnungen durchgeführt werden. Das Verfahren hat einen geringen Aufwand, jedoch ist die Genauigkeit des Ergebnisses sehr gering, da weder eine Einteilung noch eine Gewichtung der Kriterien dabei erfolgt.

Beim Rangfolgeverfahren werden mittels der Symbole +, - und 0 die Kriterien untereinander in einer Tabelle gewichtet. Dabei bedeuten die Symbole, ob ein Kriterium wichtiger, weniger wichtig oder gleich wichtig ist. Als Ergebnis erhält man die Reihung der Kriterien, angefangen mit dem wichtigsten Kriterium, welches die meisten + aufweist. Durch das Verfahren erhält man eine exakte Reihung aller Kriterien. Nachteil dabei ist, dass die Sichtweise des Betrachters

das Ergebnis stark beeinflusst und die einzelnen Kriterien untereinander subjektiv abgewogen werden.

Bei der Kosten-Nutzen-Analyse werden sämtliche Kosten dem jeweiligen Nutzen gegenübergestellt. Dabei kann überprüft werden, wie rentabel das jeweilige Verfahren ist. Die exakte Bestimmung der Wirtschaftlichkeit kann als großer Vorteil angesehen werden. Nachteil des Verfahrens ist, dass die monetären Einflüsse im Vordergrund stehen, jedoch bei der Bewertung der Fügetechniken und Rückbaumethoden die technischen Aspekte den finanziellen Aspekten vorzuziehen sind.

Die Delphi-Methode basiert auf einer Befragung verschiedener Experten. Dabei äußern sie ihre Meinung zum Gesamtvorgang sowie ihrem Fachgebiet. Danach bekommen die Experten in einer weiteren Runde sämtliche Ergebnisse vorgelegt, um ihre Meinung zu überprüfen bzw. gegebenenfalls auch zu ändern. Dieses Prozedere wird so lange wiederholt, bis sich die Mehrheit gleich entscheidet. Die Vorteile liegen einerseits in der Kombination der Vorzüge einer Gruppenbefragung und einer schriftlichen Befragung, andererseits in der herrschenden Anonymität, welche dazu führt, dass Erhebungsfehler aufgrund von sozialer Erwünschtheit reduziert werden können. Nachteil ist der große Zeitaufwand und die nur bedingte Möglichkeit der Reproduzierbarkeit.

Die Nutzwertanalyse funktioniert über eine Bewertung des Nutzens für ein bestimmtes Ziel. Dabei werden verschiedene Kriterien hinsichtlich des Erfüllens der Aufgabe analysiert. Es erfolgt das Aufstellen einer sogenannten Baumstruktur, das heißt, die Bewertungskriterien werden hierarchisch geordnet. Die einzelnen Bewertungskriterien können im Vorhinein aus den Anforderungen an die Bewertung abgeleitet werden. Die Möglichkeit der genauen hierarchischen Gliederung der Kriterien und Orientierung an einem gemeinsamen Gesamtziel stellt den großen Vorteil dieser Methode dar. Der Nachteil besteht in der Einflussnahme des Nutzers durch subjektive Empfindungen. vgl.[28]

Bei genauer Betrachtung der Vor- und Nachteile dieser üblichen Bewertungsverfahren erweist sich die Nutzwertanalyse als am geeignetsten zur Bewertung von Fügetechniken und Rückbauverfahren. Unabhängig voneinander werden Kriterien aus unterschiedlichen Bereichen betrachtet, wobei deren Zielerfüllung nach technischen und ökonomischen Nutzen untersucht und bewertet wird. Es entsteht eine hierarchische Gliederung mit einem klar definierten Gesamtziel. Der Interpretationsspielraum für eine fehlerhafte Anwendung wird durch die exakte Formulierung der Unterziele der einzelnen Kriterien klein gehalten. vgl.[28] Die Auswahl der Kriterien für die Nutzwertanalyse muss in Abstimmung auf die immer weiter entwickelten rechtlichen Vorgaben erfolgen.

5.1.2 Gewichtung der Kriterien

Die Kriterien des Klassifizierungssystems, welche in Abbildung 5.1 dargestellt sind und in den Kapiteln 5.2.1 und 5.3.1 erarbeitet werden, sind hierarchisch gegliedert und orientieren sich an dem klar definierten Gesamtziel, eine hochwertige Sekundärrohstoffgewinnung zu ermöglichen. Die hierarchische Gliederung der Bewertungen erfolgt in dieser Arbeit mittels einer Gewichtung der Kriterien für das Gesamtziel der Rezyklierbarkeit. Die einzelnen Kriterien werden dabei untereinander prozentual gewichtet, sodass alle Kriterien zusammen 100% ergeben.

5.1.3 Bewertung der Kriterien

Für die Bewertung der Füge- und Rückbautechniken werden in dieser Arbeit die ausgewählten Kriterien mittels einer Skala von 1 bis 4 eingeteilt. Dieser Bewertung liegen die Eigenschaften der Verbindungstechniken bzw. Verbindungsarten in Kapitel 4.2 zugrunde. Als Beispiel steht das Kriterium der Lösbarkeit bei Füge-Techniken: Hier reicht die Skala von 1-lösbar bis 4-unlösbar. Somit ergibt sich eine Bewertung von 1-4 für jedes Kriterium alleine und zur Vervollständigung werden anschließend die Bewertungen der Kriterien mit ihrer Gewichtung aufsummiert und zu einer Gesamtbewertung der jeweiligen Füge- bzw. Rückbautechnik in Form einer Note zusammengefasst.

Daraus ergibt sich am Schluss jeweils eine Klassifizierungsmatrix für die Füge-Technik und den Rückbau, welche bei einem beliebigen Projekt anwendbar sind, um die Rezyklierbarkeit der Materialien eines Gebäudes in Abhängigkeit von Verbindungen und Rückbaumethoden der einzelnen Konstruktionen zu bewerten.

5.2 Bewertung der Füge-Technik

Bei der Bewertung der Verbindungstechniken können ökologische und ökonomische Teilaspekte in den Vordergrund rücken. In dieser Arbeit liegt das Hauptaugenmerk auf der Lösbarkeit der Verbindungen und einer sortenreinen Trennung der rückgebauten Substanzen. Durch die Entwicklung des Klassifizierungssystems wird es möglich sein, anhand der Verbindungsarten auf die Sekundärrohstoffqualität schließen zu können.

5.2.1 Kriterien für die Bewertung von Fügetechniken

Die Bestimmung der Kriterien erfolgte im ersten Schritt anhand einer umfangreichen Literaturstudie[3, 25, 31, 40], im zweiten Schritt wurden die aus der Literatur abgeleiteten Kriterien für das Klassifizierungssystem in Zusammenarbeit mit Unternehmen aus der Praxis evaluiert und festgelegt. Dabei wurden bei den bereits vorhandenen Kriteriensteckbriefen¹ sämtliche Kriterien hinsichtlich der Relevanz für den Gebäuderückbau analysiert und anschließend ausgewählt. Die Bewertung in dieser Arbeit wird auf das Ziel, möglichst hochwertiges Sekundärrohstoffmaterial zu gewinnen, ausgelegt. Deshalb werden die Kriterien Lösbarkeit, Demontierbarkeit sowie der Trennungsaufwand der Verbindung ausgewählt. Ebenso muss das Kriterium der Wirtschaftlichkeit beim Rückbau auch berücksichtigt werden.

5.2.1.1 KF₁ - Lösbarkeit, Demontierbarkeit

Bei der Bewertung der Fügetechniken stellt die Demontierbarkeit das wichtigste Kriterium dar, um eine hohe sortenreine Trennung der Sekundärrohstoffe zu erhalten. Die Wiederverwendung von Sekundärrohstoffen hängt wesentlich von der Sortenreinheit der gewonnenen Baustoffe bei der Demontage der Verbindung ab. Die einzelnen Materialien können bei lösbaren Verbindungen ohne Zerstörung als sortenreines Material weiterverwendet werden, wobei eine Verwertung auf hohem Qualitätsniveau bei bedingt oder unlösbaren Verbindungen oft stark eingeschränkt wird. vgl.[40] Die Bewertung des Kriteriums Lösbarkeit erfolgt mittels folgender Skala:

Sehr gut-1: Lösbare Verbindung – zerstörungsfreies Trennen ist möglich

Gut-2: Bedingt lösbare Verbindung – Trennen nur mit Teilzerstörung möglich

Mittel-3: Bedingt lösbare Verbindung mit Verunreinigung – bei der Trennung der Materialschichten kommt es zu einer Teilzerstörung sowie Anhaftung von Resten der jeweils anderen Schicht

Schlecht-4: Unlösbare Verbindung – eine Trennung der Materialien ist während des Rückbaus nicht möglich

5.2.1.2 KF₂ - Trennungsaufwand

Ein weiteres Kriterium des Klassifizierungssystems ist der Trennungsaufwand. Dieser ist oft nicht mit dem Fügeaufwand zu Beginn des Lebenszyklusses eines Gebäudes vergleichbar.

¹Kriteriensteckbrief = Schriftstück mit der Festlegung des Bewertungsziels, Bewertungsmaßstabs und der Bewertungsregeln

Als Beispiel hat „Kleben“ einen geringen Füge-, aber sehr hohen Trennungsaufwand. Der Trennungsaufwand bestimmt die Art des Rückbaues mit, zu großer Zeit- oder Geräteaufwand kann aus wirtschaftlicher Sicht nicht in Kauf genommen werden. Bei Rückbauarbeiten in der Praxis müssen der Bauherr und das Abbruchunternehmen anhand des Aufwandes entscheiden, ob eine genaue sortenreine Trennung mit anschließender Wiederverwendung der Baumaterialien sinnvoll oder wann hingegen die Wirtschaftlichkeit nicht mehr gegeben ist. Das Kriterium wird mittels folgender Skala bewertet:

- Sehr gut-1: Der Trennungsaufwand ist gering – die Verbindung kann einfach händisch gelöst werden
- Gut-2: Der Trennungsaufwand ist relativ gering – die Verbindung kann händisch oder mit Hilfe kleiner Werkzeuge relativ schnell gelöst werden
- Mittel-3: Der Trennungsaufwand ist akzeptabel – die Verbindung kann mit Hilfe von Werkzeugen oder kleine Maschinen mit ein wenig Zeitaufwand gelöst werden
- Schlecht-4: Der Trennungsaufwand ist hoch – die Verbindung muss mit Hilfe von Werkzeugen oder Maschinen unter großem Zeitaufwand gelöst werden

5.2.1.3 KF₃ - Rückbau- bzw. Entsorgungskosten

Die Rückbau- und Entsorgungskosten sind das dritte Kriterium im Klassifizierungssystem für die Bewertung der Fügetechnik. Die Art der Fügetechnik beeinflusst indirekt die Kosten durch den unterschiedlichen Personal- und Geräteaufwand beim Rückbau des Gebäudes. Da das Hauptaugenmerk in dieser Arbeit bei der Bewertung der sortenreinen Trennbarkeit der Baustoffe liegt, wird dieses Kriterium nur mit 20% in der Bewertung gewichtet. Für die Bewertung der Rückbau- und Entsorgungskosten wurden vor allem Beispiele aus der Praxis der DGNB² herangezogen. Die Bewertung des Kriteriums „Rückbau- und Entsorgungskosten“ erfolgt mittels folgender Skala:

- Sehr gut-1: Das Verhältnis Kosten des Rückbaues bis zur Wiederverwendung / Kosten des äquivalenten Neuproduktes ist niedrig
- Gut-2: Das Verhältnis Kosten des Rückbaues bis zur Wiederverwendung / Kosten des äquivalenten Neuproduktes ist relativ niedrig
- Mittel-3: Das Verhältnis Kosten des Rückbaues bis zur Wiederverwendung / Kosten des äquivalenten Neuproduktes ist ungefähr gleich
- Schlecht-4: Das Verhältnis Kosten des Rückbaues bis zur Wiederverwendung / Kosten des äquivalenten Neuproduktes ist hoch

²DGNB = Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen

5.2.2 Gewichtung und Bewertung der Kriterien

Die Bewertung der Fügeverfahren erfolgt anhand der zuvor angeführten Skala. Dabei wird nach Vergleichen mit bereits bekannten Bewertungssystemen – LEED³, BREEAM⁴, DGNB, ÖGNI⁵ und BNB⁶ – eine Gewichtung von 60% für die Lösbarkeit und jeweils 20% für den Trennungsaufwand bzw. die Rückbau- und Entsorgungskosten gewählt. Dies ist auf das zuvor erläuterte Ziel rückzuschließen, welches in dieser Arbeit einen hohen Grad der Sortenreinheit der rückgebauten Materialien anstrebt. Der Trennungsaufwand und die Rückbaukosten fließen mit jeweils 20% in das Ergebnis der Gesamtbewertung ein.

5.3 Bewertung der Rückbaumethoden

Durch die Untersuchung und Bewertung der in der Praxis angewandten Rückbauverfahren kann eine Optimierung der zukünftig eingesetzten Rückbaumethoden von Baukonstruktionen ermöglicht werden. Aus diesem Grund werden einige häufig angewandte Rückbauverfahren analysiert und bewertet. Beim Rückbauprozess wird bei lösbaren Verbindungen mit einer möglichst hohen Demontagetiefe ausgebaut. Unlösbare Verbindungen werden hingegen nicht getrennt, sondern konventionell abgebrochen und erst im Rahmen der Entsorgung einem eventuellen Trennprozess zugeführt. Aufgrund einer fehlenden Datengrundlage ist eine exakte detaillierte Analyse bezüglich der resultierenden Umweltbelastungen und Kosten nicht möglich. Durch die Schaffung eines „optimalen“ Rückbauvorganges als fiktives System ergeben sich die zu bewertenden Kriterien für die Analyse. vgl.[40]

5.3.1 Kriterien für die Bewertung von Rückbaumethoden

Die Auswahl der Kriterien erfolgte auch hier im ersten Schritt anhand einer umfangreichen Fachliteraturstudie, welche sich vor allem auf Silbe[33] und Rentz[69] stützt. Die Kriterien wurden sorgfältig erarbeitet und in Zusammenarbeit mit Unternehmen aus der Praxis evaluiert und festgelegt. Eine genaue Analyse zur Feststellung der Wichtigkeit für diese Arbeit wurde bei jedem Kriterium durchgeführt. Schlussendlich ergaben sich dabei fünf Kriterien (Abbildung 5.1), welche eine Klassifizierung der konventionellen Rückbaumethoden möglich machen.

³LEED = Leadership in Energy and Environmental Design, vom U.S. Green Building Council

⁴BREEAM = Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology; vom Building Research Establishment aus Großbritannien

⁵ÖGNI = Österreichische Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft

⁶BNB = Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen; erstellt vom Bundesministerium für Umwelt in Deutschland

5.3.1.1 KR₁ - Sortenreinheit

Die erzielbare Sortenreinheit bildet den Grundstein zur qualitativ hochwertigen Wiederverwendung von Baustoffen. Eine Unterteilung der Skala erfolgt wie bei den anderen Kriterien in vier Stufen. Dabei wird unterschieden, ob im Rückbauverfahren die Bauteile sortenrein getrennt werden oder ob Vorarbeiten in Form von z.B. Demontagen oder Ähnlichem nötig sind. Die Bewertung beinhaltet auch die Art der Verbindung, welche im Klassifizierungssystem mitbewertet wird. Die Bewertung des Kriteriums beinhaltet folgende Stufen:

Sehr gut-1: sortenreine Trennung der Baustoffe

Gut-2: relativ sortenreine Trennung – lediglich kleine Reste von Verbindungsmitteln wie Kleber oder anderen Materialschichten

Mittel-3: nahezu keine sortenreine Trennung – große Reste von Verbindungsmitteln wie Kleber oder anderen Materialschichten

Schlecht-4: keine sortenreine Trennung der Baustoffe(z.B. Baurestmasse)

5.3.1.2 KR₂ - Lärmemission

Das Bundes Immissionsschutzgesetz[72] gibt die Grundlagen für die Lärmemission vor, welche für die Bewertung der Rückbaumethoden im Klassifizierungssystem erforderlich sind. Diese Bewertung wird wieder mit einer 4-stufigen Skala vorgenommen: angefangen mit der minimalen Lärmemission, welche dem zumutbaren Schallpegel in einem Aufenthaltsraum entspricht, bis hin zu der Lärmemission, durch welche, auf lange Zeit gesehen, eine Schädigung des Gehörs, auch durch entsprechende Schutzmaßnahmen wie Gehörschutz nicht mehr verhindert werden kann. Die Einteilung der Bewertung erfolgt in folgenden Stufen:

Sehr gut-1: minimale/keine Lärmemission – bis 40 dB

Gut-2: geringe Lärmemission – bis 60 dB

Mittel-3: gemäßigte Lärmemission – bis 85 dB

Schlecht-4: große und sehr große Lärmemission – größer als 85 dB

5.3.1.3 KR₃ - Staubemission

Die Staubemission wird in Anlehnung an das BImSchG[72] in 4 Grade unterteilt. Dabei reicht die Skala der Staubemissionen von keinerlei Staubentwicklung, minimaler Staubentwicklung, ohne Schutzmaßnahmen aktivieren zu müssen, und Staubentwicklung lediglich in abgekapselten Zonen ohne Störung der umliegenden Bereiche bis hin zu extrem starken, gesundheitsgefähr-

denden Staubemissionen, welchen durch das Tragen von Staubschutzanzügen entgegengewirkt werden muss. Die beste Bewertung ist dabei meist nur bei manuellen Rückbauprozessen zu erreichen. Die Einteilung erfolgt nach BImSchG[72]:

- Sehr gut-1: minimale/keine Staubemission
- Gut-2: geringe Staubemission
- Mittel-3: mittlere Staubemission
- Schlecht-4: große und sehr große Staubemission

5.3.1.4 KR₄ - Erschütterungen

Die bei Rückbauarbeiten entstehenden Erschütterungen stellen ein weiteres Bewertungskriterium für das Klassifizierungssystem dar. Laut BImSchG sind sie „*schädliche Umwelteinwirkungen, wenn sie nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen.*“[72] Dies bezieht sich nicht nur auf das Gebäude, vielmehr auch auf die Menschen selbst. Beim Rückbau kommt es allerdings meist nur sehr kurz zu Erschütterungen. Sie können daher als kurzfristige Einwirkung angesehen werden. In Anlehnung an das BImSchG[72] erfolgt die Bewertung dieses Kriteriums nach folgenden Punkten:

- Sehr gut-1: gar nicht bis gerade spürbar – einzelne ruhende Personen können die Erschütterungen wahrnehmen
- Gut-2: gut spürbar – Bewegungen sind spürbar, eventuell geringe Beeinträchtigung der üblichen Nutzung
- Mittel-3: stark spürbar – leichte Schäden am Gebäude, feine Rissbildung im Verputz
- Schlecht-4: sehr stark spürbar – große Risse, Abreißen von tragenden Wänden oder Decken bis hin zur Beeinträchtigung der Standsicherheit

5.3.1.5 KR₅ - Rückbaukosten

Neben den ökologischen Faktoren wird das ökonomische Kriterium der Rückbaukosten mit in die Beurteilung aufgenommen. Dabei werden die Lohnkosten, Kosten für den Einsatz der Maschinen und die Kosten für den Energieeinsatz berücksichtigt. Des Weiteren wird bei dieser Beurteilung beachtet, dass selektive Rückbaumaßnahmen auch mehr Kosten in Bezug auf den Erkundungs- und Planungsaufwand verursachen. vgl.[33] Die Rückbautechniken werden mit Hilfe von bereits durchgeführten Berechnungen der Kosten von Abbruchprojekten aus

verschiedenen Fachliteraturwerken[25, 28, 31, 33, 40, 69] und zusätzlich Befragungen aus der Praxis mittels folgender Skala bewertet:

Sehr gut-1: sehr wirtschaftliches Verfahren - die Kosten für den Rückbau sind sehr gering

Gut-2: wirtschaftliches Verfahren - die Kosten für den Rückbau sind gering

Mittel-3: eher unwirtschaftliches Verfahren - die Kosten für den Rückbau sind eher hoch

Schlecht-4: sehr unwirtschaftliches Verfahren - die Kosten für den Rückbau sind sehr hoch

5.3.2 Gewichtung und Bewertung der Kriterien

Die Bewertung der Rückbaumethoden erfolgt anhand der zuvor angeführten Skala. Dabei wird nach Vergleichen mit bereits bekannten Bewertungssystemen – LEED, BREEAM, DGNB, ÖGNI und BNB - eine Gewichtung von 40% für die Sortenreinheit und jeweils 15% für die Bewertungskriterien Lärmemission, Staubemission, Erschütterungen und Rückbaukosten gewählt. Das Ziel ist die Gewinnung von qualitativ hochwertigen Sekundärrohstoffen, wodurch die stärkere Gewichtung auf der Seite der Sortenreinheit zu erklären ist. Die Emissionen und Kosten fließen nur mit jeweils 15% in das Ergebnis der Gesamtbewertung ein.

5.4 Klassifizierungssystem für Rückbau- bzw. Füge-Techniken

Die Klassifizierung der Rückbau bzw. Füge-Techniken erfolgt in zwei Schritten. Zuerst wird eine Klassifizierung der Verbindungstechniken vorgenommen, wobei die sortenreine Wiedergewinnung und ein geringer Demontageaufwand an oberster Stelle stehen. Die Auflistung der möglichen Rückbauverfahren für die jeweilige Füge-Technik dient dann als Überleitung zur Klassifizierung der Rückbaumethoden. Die Sortenreinheit stellt in Bezug auf die Rückbautechnik das wichtigste Kriterium dar. Die Bewertung der Rückbaumethoden stellt den zweiten Schritt der Klassifizierung dar.

5.4.1 Klassifizierung Füge-Technik

Es gibt derzeit eine Vielzahl unterschiedlichster Füge-Techniken, sei es für vor Ort hergestellte Konstruktionen, im Werk vorgefertigte Konstruktionen oder auch für nachträgliche Befestigungen von z.B. Dächern oder abgehängten Decken.

5 Entwicklung eines Klassifizierungssystems

Die Klassifizierung der Fügeverfahren erfolgt über eine Bewertung der zuvor erarbeiteten Kriterien und anschließenden Aufsummierung zu einer Gesamtbewertung. Durch diese Gesamtbewertung werden die Fügeverfahren vier Verbindungsklassen zugeteilt. Die vier Klassen werden in der Tabelle 5.1 näher beschrieben.

Tabelle 5.1: Definition der Verbindungsklassen

Verbindungsklassen	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4
Beschreibung	Es besteht kein Verbund der zwei miteinander verbundenen Baustoffe bzw. Bauteile. Beim Trennen der Baustoffe entstehen keine zusätzlichen Materialströme aufgrund der Verbindung. Die Art des Trennprozesses spielt eine eher untergeordnete Rolle.	Die beiden Schichten eines Bauteils sind zwar miteinander verbunden, es kann aber trotzdem eine Trennung vorgenommen werden ohne zusätzliche Materialströme zu erzeugen. Der Trennprozess spielt für die Sortenreinheit hier schon eine größere Rolle.	Die Trennung zweier Schichten eines Bauteils ist zwar möglich, jedoch kann diese nicht mehr sortenrein vorgenommen werden. Beim Rückbau fallen zusätzliche Materialströme an, es fällt immer eine gewisse Menge des einen Materials als Verbundstoff mit dem anderen Material an.	Die Trennung zweier Baustoffe ist nicht möglich. Es fallen zusätzliche Materialströme an. Wird beim Rückbauprozess eine Verbindung versucht aufzulösen, fällt immer ein großer Teil der angrenzenden Schicht als Verbundstoff an.
Verbindungsklassenbeschreibung	Lösbare Verbindung	Bedingt lösbare Verbindung	Verunreinigt lösbare Verbindung	Unlösbare Verbindung
Trennprozess	Hauptsächlich manuell, geringer Maschineneinsatz	Geringer Maschineneinsatz	Hoher Maschineneinsatz	Meist keine Trennung möglich
Zerstörungspotential	Zerstörungsfrei	Teilweise zerstörend	Teilweise zerstörend	Zerstörend
Wiederverwendung	Möglich	Eventuell möglich	Schwer möglich, eventuell nach Bearbeitung	Nicht möglich
Verwertung	Möglich	Möglich	Nach Bearbeitung möglich	Möglich durch Aufbereitungsprozess
Rückbaukosten	niedrige Kosten	relativ niedrige Kosten	relativ hohe Kosten	hohe Kosten

Die Klassifizierungsmatrix für Fügeverfahren enthält sämtliche Einzelbewertungen der Kriterien sowie Informationen zu den Untergründen (es erfolgt lediglich eine Aufzählung der Grundbaustoffe), auf welchen die Verbindung anwendbar ist, dem jeweiligen physikalischen Wirkprinzip sowie für die Fügeverfahren Kleben eine Unterteilung in Abbinde- bzw. Klebstoffarten. Die Darstellung erfolgt in Kapitel 5.4.3.

Während der Klassifizierung der Fügeverfahren wird bereits eine Analyse der möglichen Rückbauverfahren durchgeführt. Diese wird in der Klassifizierungsmatrix ebenfalls dargestellt. Tabelle 5.2 stellt die Klassifizierung der Fügeverfahren mit ihren jeweiligen anwendbaren Rückbauverfahren dar. Die Informationen bzw. Bewertungen werden mittels Fachliteratur[12, 17, 25, 40, 44, 75] und Befragungen aus der Praxis vorgenommen.

In Tabelle 5.2 wird in der blauen Spalte die Lösbarkeit mit einer Gewichtung von 60% bewertet, in der roten bzw. grünen Spalte der Trennungsaufwand bzw. die Rückbau- und Entsorgungskosten mit einer Gewichtung von je 20%. Die Gesamtbewertung in genauen Zahlenwerten erfolgt in der neunten Spalte, mit der nachfolgenden Klassifizierung der Fügeverfahren in die einzelnen Verbindungsklassen. Die Verbindungsklassen werden zur besseren Übersicht farblich markiert.

5.4.2 Klassifizierung Rückbautechnik

Die Klassifizierung der Rückbautechnik wird über eine Bewertung der zuvor erarbeiteten Kriterien und anschließenden Aufsummierung zu einer Gesamtbewertung durchgeführt. Durch diese Gesamtbewertung werden die Rückbaumethoden ebenfalls vier Klassen zugeordnet.

Die Klassifizierungsmatrix der Rückbautechniken besteht aufgrund des Umfanges aus zwei Teilen. Im ersten Teil werden bereits alle Rückbaumethoden bis auf die Demontage klassifiziert, der zweite Teil beschäftigt sich dann ausführlich mit der Klassifizierung der verschiedenen Varianten des Demontierens oder ähnlichen Rückbauprozessen, da diese den Großteil der Rückbauarbeiten bei einem selektiven Rückbau ausmachen. Der erste Teil enthält dabei Angaben zu speziellen Einzeltechniken der jeweiligen Rückbaumethode, der Ausführungsvariante (handgeführt oder maschinell), den eingesetzten Geräten bzw. Maschinen sowie den bevorzugten Einsatzgebieten. Im zweiten Teil sind Informationen zur Ausführungsform (händisch oder maschinell) und den verwendeten Werkzeugen enthalten. Die Darstellung der beiden Teile der Klassifizierungsmatrix erfolgt in Kapitel 5.4.3 .

Die Bewertung der fünf Kriterien mit einer anschließenden Gesamtbeurteilung und die daraus resultierende Klassifizierung bilden den Mittelpunkt der Darstellung beider Teile. Die Informationen bzw. Bewertungen entstanden mit Hilfe fachliterarischer Werke[3, 23, 25, 28, 31, 33, 40] sowie Befragungen von in der Praxis tätigen Firmen.

Tabelle 5.3 bzw. 5.4 stellen dabei in den farbigen Spalten die Bewertung der einzelnen Kriterien mit der darüber liegenden Gewichtung dar. Die Gesamtbewertung in genauen Zahlenwerten erfolgt in der Spalte danach, aus welchem sich schlussendlich die Klassifizierung ergibt. Die verschiedenen Klassen werden zur besseren Übersicht farblich markiert.

5.4.3 Darstellung der Klassifizierungsmatrizen

Tabelle 5.2 stellt die Klassifizierung für Fügetechniken dar. Die Analyse der Möglichkeit einer Anwendung der verschiedenen Rückbauverfahren wird schon in dieser Tabelle dargestellt, da dies bei der Wahl der Verbindung in Betracht gezogen werden muss.

In Tabelle 5.3 und 5.4 erfolgt die Darstellung der Klassifizierung für Rückbautechniken. Um eine spätere gemeinsame Nutzung der Matrizen zu gewährleisten, erfolgt die Einteilung äquivalent zu den Verbindungsklassen in vier unterschiedliche Rückbauklassen. Der Aufbau der Matrizen für Rückbautechniken (Teil 1 bzw. Teil 2) variiert dabei aufgrund unterschiedlicher Anforderungen, Bewertung und Klassifizierung sind jedoch ident.

5 Entwicklung eines Klassifizierungssystems

Tabelle 5.3: Klassifizierungsmatrix für Rückbautechniken Teil 1

Rückbau-/Abbruchtechnik	Gewichtung:					40%	15%	15%	15%	15%	Bewertung Rückbautechnik	Klassifizierung Rückbautechnik
	Einzel- techniken	handgeführt/ maschinell	Geräte	Einsatzgebiet	Sortenreinheit	Lärmemission	Staubemission	Erschütterungen	Rückbaukosten			
Abtragen	Schlagen, Hämmern, Stemmen	handgeführt	Hydraulik- oder Druckluft-Hämmer mit Spitz-, Flach- oder Keilmeißeln	Mauerwerk, Beton, Holz, Putz, Estrich, Fliesen	2	4	3	2	4	2,8	Klasse 2 Klasse 3	
		maschinell	Abbruchhämmer oder Meißel an Trägergeräten	Beton, Stahlbeton	3	4	4	4	2	3,3	Klasse 3 Klasse 4	
	Fräsen, Schälen	maschinell	Bagger mit rotierender Fräsmeißel	Mauerwerk, Beton, Stahlbeton, bituminöse Flächen	3	4	4	2	3	3,2	Klasse 3	
Abgreifen		maschinell	Seil- oder Hydraulikbagger mit Greifern	Mauerwerk, Holz, (dünne Betonkonstruktionen)	2	2	3	2	2	2,2	Klasse 2	
Einschlagen		handgeführt	Vorschlaghammer	Mauerwerk, Beton, Stahlbeton	4	3	3	3	2	3,3	Klasse 3 Klasse 4	
		maschinell	Seilbagger mit stählerner Fallbirne	Mauerwerk, Beton, Stahlbeton	4	4	4	4	1	3,6	Klasse 4	
Eindrücken		handgeführt	hydraulische Abbruchzangen	Mauerwerk, Beton, Holz	3	3	4	3	2	3,0	Klasse 3	
		maschinell	Flach- oder Hydraulikbagger mit Stoßarmen und Löffeln	Mauerwerk, Beton, Stahlbeton	4	4	4	4	1	3,6	Klasse 4	
Einziehen		handgeführt	Greifzüge oder Seilwinden	Mauerwerk, Beton, Holz	4	3	4	3	1	3,3	Klasse 3 Klasse 4	
		maschinell	Seilzüge oder Raupen mit Seilstropp/Kette	Mauerwerk, Beton, Stahlbeton, Holz, Stahl	4	3	4	4	1	3,4	Klasse 3 Klasse 4	
Sägen		handgeführt/ maschinell	Hand-, Scheiben-, Seil- oder Kettensägen	Mauerwerk, Beton, Stahlbeton, Holz, Stahl	1	4	2	1	4	2,1	Klasse 2	
Bohren		handgeführt	Kern-, Hohl- oder Hartmetallbohrer	Mauerwerk, Beton, Holz, Stahl	1	3	2	1	4	1,9	Klasse 1 Klasse 2	
Press-/Scherschneiden		maschinell	Abbruchzange, Abbruchscherer	Mauerwerk, Beton, Stahlbeton, Stahl	3	2	3	2	1	2,4	Klasse 2 Klasse 3	
Sprengen			Sprengmittel	Mauerwerk, Beton, Stahlbeton, Stahl	4	4	4	4	2	3,7	Klasse 4	
Hydrodynamische Verfahren	Hochdruckschneiden (Reinigungsverfahren)	handgeführt/ maschinell	Hochdruckwasserstrahler	Mauerwerk, Beton, Stahlbeton, Stahl	1	4	1	2	4	2,1	Klasse 2	
Thermische Verfahren	Pulver-, Plasmaschneiden; SKL	handgeführt/ maschinell	Hand-, Maschinenschneidbrenner; Plasmabrenner; Sauerstoff-Kernlanze	Mauerwerk, Beton, Stahlbeton, Stahl	1	2	2	2	3	1,8	Klasse 1 Klasse 2	

5 Entwicklung eines Klassifizierungssystems

Tabelle 5.4: Klassifizierungsmatrix für Rückbautechniken Teil 2

Rückbau-/Abbruchtechnik	Gewichtung:					Bewertung Rückbautechnik	Klassifizierung Rückbautechnik			
	Rückbauszenario (-technik)	händisch/ maschinell	Geräte	40% Sortenreinheit	15% Lärmemission			15% Staubemission	15% Erschütterungen	15% Rückbaukosten
Demontieren/ selektive Rückbautechniken	Abziehen von nicht verklebtem Teppich	händisch	Spachtel, Teppichmesser	1	1	1	1	2	1,2	Klasse 1
	Abziehen von verklebtem Teppich	händisch	Spachtel, Teppichmesser	3	2	1	1	2	2,1	Klasse 2
	Abziehen eines PVC-Fußbodenbelages	händisch	Spachtel, Schabeisen, Flachschaufel	3	2	1	1	2	2,1	Klasse 2
	Demontage verschiedener Arten von Fliesen	händisch/ maschinell	Elektrohämmer, Spezialmeißel, Schraubenzieher	3	2	1	1	4	2,4	Klasse 2 Klasse 3
	Entfernung Estrich, schwimmend verlegt	händisch/ maschinell	Elektrohämmer, Schaufel	2	2	1	1	4	2,0	Klasse 2
	Verbundestrich, direkt am Betonboden	händisch	Elektrohämmer, Stemmeisen, Schaufel	3	2	3	1	4	2,7	Klasse 2 Klasse 3
		maschinell	Betonfräse, Stemmwerkzeuge	3	3	3	2	3	2,9	Klasse 3
	Ausbau Parkettboden, schwimmend verlegt	händisch	Brechstange, Spachtel	1	2	1	1	1	1,2	Klasse 1
	Ausbau Parkettboden, verklebt	händisch/ (maschinell)	Schaber, Stemmeisen, (Roll-Stripper)	4	3	2	2	3	3,1	Klasse 3
	Ausbau Wärmedämmschüttung, -platten, horizontal lose aufgelegt	händisch		1	1	1	1	1	1,0	Klasse 1
	Abziehen/Abschälen der Dämmschicht(vertikal)	händisch	Schepseisen, Schaber, Spachtel	2	1	2	1	3	1,9	Klasse 1 Klasse 2
		maschinell	Bagger mit Schaber oder Greifer	3	2	3	2	2	2,6	Klasse 2 Klasse 3
	Lösen von punktuellen Verbindungen einer Dämmschicht(Dübel)	händisch	Spachtel, Zange	2	1	1	1	2	1,6	Klasse 1 Klasse 2
	Ablösen von Putz/Kleber/ Farben/Mörtel	händisch/ maschinell	Hammer, Meißel, Elektrohämmer, Schleifmaschine	3	2	4	2	3	2,9	Klasse 3

6 Evaluierung des entwickelten Klassifizierungssystems

Das entwickelte Klassifizierungssystem wird nun einem Praxistest unterzogen. Dies erfolgt über die Bewertung ausgewählter Baukonstruktionen. Dabei werden verschiedene Aufbauten in Bezug auf die Recyclingfähigkeit analysiert.

Bevor einzelne Baukonstruktionen eines Gebäudes bewertet werden können, müssen diese aus dem gesamten Gebäudekomplex theoretisch mit allen nötigen Informationen – Lage und Verteilung der Materialien, möglichen Schnittstellen, Art der Materialien und zusammenhängenden Elemente sowie Materialverbindungen in Bezug auf ihre Trennbarkeit– freigeschnitten werden. Anschließend kann die Bewertung erfolgen, wie es bei den folgenden Konstruktionen beispielhaft vorgenommen wird. Die Bewertungen der einzelnen Konstruktionen können in der Praxis zusammengefasst und für die Beurteilung der Recyclingfähigkeit eines gesamten Gebäudes herangezogen werden.

Das in dieser Arbeit entwickelte System wird in Kapitel 6.1 anhand zweier Aufbauten detailliert vorgestellt und anschließend dem Stand der Technik gegenübergestellt. Dies erfolgt in Kapitel 6.2 mittels eines in Excel implementierten Tools und der praktischen Evaluierung weiterer Bauteilaufbauten. Dabei wird das in dieser Arbeit entwickelte System dem BNB-XLS-Tool-4.1.4¹ gegenübergestellt. Die Ergebnisse beider Systeme werden in Bezug auf die Vor- und Nachteile untersucht und anschließend diskutiert.

6.1 Klassifizierung ausgewählter Baukonstruktionen

Um die Anwendungsmöglichkeiten der Klassifizierung zu prüfen, erfolgt in diesem Kapitel die Bewertung zweier Bauteilaufbauten. Als erstes Beispiel wird eine Außenwandkonstruktion mit Wärmedämm-Verbundsystem untersucht, als zweites Beispiel eine Deckenkonstruktion. Dabei soll das entwickelte System einem ersten Praxistest unterzogen und detailliert vorgestellt werden.

¹BNB-XLS-Tool-4.1.4 = Bewertungsinstrument für das BNB-Kriterium 4.1.4 „Rückbau, Trennung und Verwertung“

6.1.1 Außenwandkonstruktion

Im folgenden Beispiel wird eine Außenwandkonstruktion mit einem WDVS untersucht. Ein Wärmedämm-Verbundsystem besteht aus verschiedenen Komponenten, prinzipiell kann der Aufbau mit folgender Abbildung dargestellt werden:

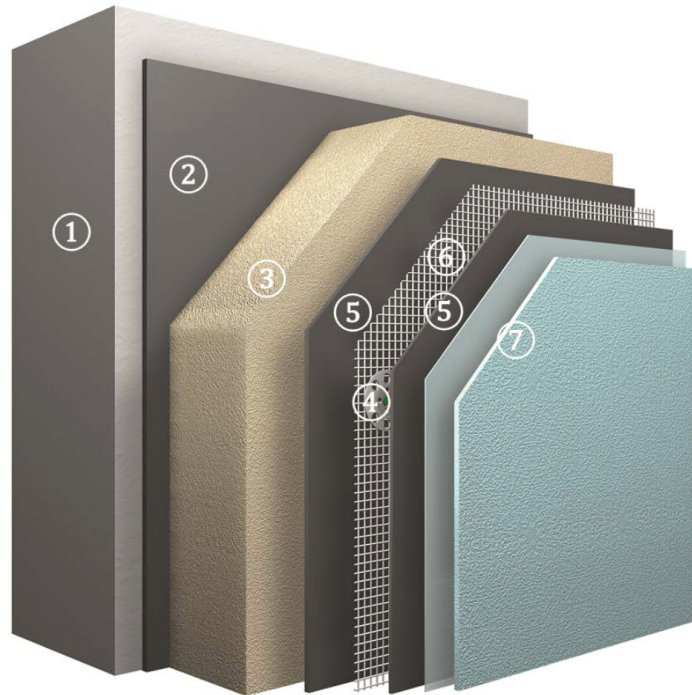


Abbildung 6.1: Schematischer Aufbau eines typischen Wärmedämm-Verbundsystems[76]

Die Bestandteile dabei sind (1) Gebäudeaußenwand, (2) Kleber, (3) Wärmedämmstoff, (4) Dübel, (5) Unterputz, (6) Glasfasergewebe, (7) Oberputz.

Die Gebäudeaußenwand besteht im Beispiel für die Bewertung aus Beton, als Kleber für die Wärmedämmung wurde Armierungsmörtel verwendet. Die Wärmedämmung erfolgt über Mineralwollplatten. Die Verbindung zum Unterputz mit dazwischenliegendem Glasfasergewebe und Oberputz wird ebenfalls mit Armierungsmörtel hergestellt.

Der Rückbau solch eines WDVS kann entweder konventionell oder selektiv erfolgen. Beim konventionellen Rückbau wird mittels eines radmobilen Baggers der gesamte Materialverbund auf einmal abgeschabt. Dabei entsteht ein Gemisch aus den Komponenten des WDVS, welches als Baumischabfall entsorgt werden muss. Um jedoch ein Recycling zu ermöglichen, muss der Rückbau selektiv erfolgen. Dabei werden alle Bau-, Konstruktions- und Ausrüstungsteile entsprechend ihrer Funktion oder Materialzusammensetzung zurückgebaut und sortenrein erfasst. Die einzelnen Schritte dieses Rückbaues werden nun mit Hilfe der zuvor entwickelten Klassifizierungssysteme analysiert.

6 Evaluierung des entwickelten Klassifizierungssystems

Der Oberputz, Unterputz mit Glasfasergewebe sowie die Armierungsmörtelschichten werden in einem Rückbauprozess gelöst. Dieser kann dem Referenzszenario „Ablösen von Putz etc.“ zugeordnet werden.

Tabelle 6.1: Analyse des Rückbaus der Putzschichten mit Hilfe der Klassifizierungsmatrix

Rückbau-/Abbruchtechnik	Gewichtung:					Bewertung Rückbautechnik	Klassifizierung Rückbautechnik			
	Rückbauszenario (-technik)	händisch/maschinell	Geräte	Sortenreinheit	Lärmemission			Staubemission	Erschütterungen	Rückbaukosten
Demontieren/ selektive Rückbautechniken	Ablösen von Putz/Kleber/ Farben/Mörtel	händisch/maschinell	Hammer, Meißel, Elektrohammer, Schleifmaschine	3	2	4	2	3	2,9	Klasse 3

Der Schälwinkel sowie die Abzugsgeschwindigkeit spielen für das Ergebnis dabei eine maßgebende Rolle, da sonst das Ablösen entlang des Gittergewebes erfolgt (Abbildung 6.2) und nicht wie gewünscht entlang der Grenze Armierungsschicht und Dämmung. vgl.[76]



Abbildung 6.2: Abschälen der Decklage ohne Berücksichtigung des Abschälwinkels[76]

Danach erfolgt das Abschälen der Mineralwollplatte mit der Klassifizierung laut Referenzszenario „händisches Abschälen Dämmschicht vertikal“. Der Rückbau der Mineralwollplatten könnte auch maschinell erfolgen, wie jedoch in Tabelle 6.2 zu sehen ist, würde die Bewertung dann schlechter ausfallen.

6 Evaluierung des entwickelten Klassifizierungssystems

Tabelle 6.2: Analyse des Rückbaus der Dämmung mit Hilfe der Klassifizierungsmatrix

Rückbau-/Abbruchtechnik	Gewichtung:				40%	15%	15%	15%	15%	Bewertung Rückbautechnik	Klassifizierung Rückbautechnik
	Rückbauszenario (-technik)	händisch/ maschinell	Geräte	Einsatzgebiet	Sortenreinheit	Lärmemission	Staubemission	Erschütterungen	Rückbaukosten		
Demontieren/ selektive Rückbautechniken	Abziehen/Abschälen der Dämmschicht(vertikal)	händisch	Schepseisen, Schaber, Spachtel		2	1	2	1	3	1,9	Klasse 1 Klasse 2
		maschinell	Bagger mit Schaber oder Greifer		3	2	3	2	2	2,6	Klasse 2 Klasse 3

Am Ende kann der Rohbau mittels Schlagen, Hämmern und Stemmen abgetragen werden. Dabei ist ein handgeführter Rückbauvorgang dem maschinellen Abbruchhammer vorzuziehen, da dieser erneut eine bessere Bewertung erhält.

Tabelle 6.3: Analyse Abbruch des Rohbaus mit Hilfe der Klassifizierungsmatrix

Rückbau-/Abbruchtechnik	Gewichtung:				40%	15%	15%	15%	15%	Bewertung Rückbautechnik	Klassifizierung Rückbautechnik
	Einzel- techniken	handgeführt/ maschinell	Geräte	Einsatzgebiet	Sortenreinheit	Lärmemission	Staubemission	Erschütterungen	Rückbaukosten		
Abtragen	Schlagen, Hämmern, Stemmen	handgeführt	Hydraulik- oder Druckluftschlämmer mit Spitz-, Flach- oder Keilmeißeln	Mauerwerk, Beton, Holz, Putz, Estrich, Fliesen	2	4	3	2	4	2,8	Klasse 2 Klasse 3
		maschinell	Abbruchhämmer oder Meißel an Trägergeräten	Beton, Stahlbeton	3	4	4	4	2	3,3	Klasse 3 Klasse 4

Die Verbindungen der einzelnen Schichten werden jeweils mit einem Armierungsmörtel hergestellt und erhalten eine Klassifizierung als „Mörtel-Beton-Verbindung“.

Tabelle 6.4: Analyse der Verbindungen mit Hilfe der Klassifizierungsmatrix

Verbindungstechnik	Gewichtung:				60%	20%	20%	Bewertung der Verbindung	Klassifizierung der Verbindung (Verbindungs-klasse)
	Untergründe	Wirprinzip	Abbindeart	Klebstoffart	Lösbarkeit	Trennungsaufwand	Rückbau- und Entsorgungskosten		
Mörtel-Beton-Verbindung	Beton, Mauerwerk	Stoffschluss			2-3	2-3	3	2,6	Klasse 2 Klasse 3

In Tabelle 6.5 sind die gesammelten Ergebnisse der Analyse mit Hilfe der Klassifizierungssysteme dargestellt.

6 Evaluierung des entwickelten Klassifizierungssystems

Tabelle 6.5: Analyse des WDVS mit Hilfe der Klassifizierungsmatrizen für Füge- bzw. Rückbautechniken

Schicht Nr.	Name	Bemerkung	Referenz-Fügetechnik	Klassifizierung der Fügetechnik	Referenzszenario Rückbautechnik	Klassifizierung der Rückbautechnik
1	Oberputz	mit Armierungsmörtel geklebt	Mörtel-Beton-Verbindung	Klasse 2 Klasse 3	Ablösen von Putz/Kleber/ Farben/Mörtel	Klasse 3
2	Unterputz	mit Armierungsmörtel geklebt	Mörtel-Beton-Verbindung	Klasse 2 Klasse 3	Ablösen von Putz/Kleber/ Farben/Mörtel	Klasse 3
3	Glasfasergewebe	mit Armierungsmörtel geklebt	Mörtel-Beton-Verbindung	Klasse 2 Klasse 3	Ablösen von Putz/Kleber/ Farben/Mörtel	Klasse 3
4	Unterputz	mit Armierungsmörtel geklebt	Mörtel-Beton-Verbindung	Klasse 2 Klasse 3	Ablösen von Putz/Kleber/ Farben/Mörtel	Klasse 3
5	Mineralwollplatte	mit Armierungsmörtel geklebt	Mörtel-Beton-Verbindung	Klasse 2 Klasse 3	händisches Abziehen/Abschälen Dämmschicht(vertikal)	Klasse 1 Klasse 2
6	Beton				Abtragen mittels Schlagen, Hämmern, Stemmen	Klasse 2 Klasse 3

Bei der Klassifizierung ergibt sich im Schnitt eine Bewertung der Klasse 2-3. Laut Tabelle 5.1 ist für diese Klassen ein wirklich hochwertiges Recycling schwer bis gar nicht möglich. Es fällt auf, dass durch den Einsatz von alternativen Fügetechniken als Ersatz für den Klebemörtel weitaus bessere Ergebnisse erzielt werden könnten. Möglichkeiten dazu wären leicht zu lösende Klebstoffe wie z.B. PSA-Kleber² oder auch textile Fügetechniken(Klettverschluss). Durch die Weiterentwicklung der Fügetechniken würde der Rückbau ebenfalls erleichtert und damit auch in diesem Bereich eine bessere Klassifizierung erzielt werden. vgl.[76]

²PSA-Kleber = pressure sensitive adhesive; erzielen ohne Einwirkung von Wärme nur durch Anpressen eine (dauerhafte) Haftwirkung; sind mechanisch leicht zu lösen

6.1.2 Deckenkonstruktion

Im folgenden Beispiel wird eine Deckenkonstruktion mit schwimmendem Estrich untersucht. Abbildung 6.3 stellt den prinzipiellen Schichtaufbau ohne einen Fußbodenbelag dar.

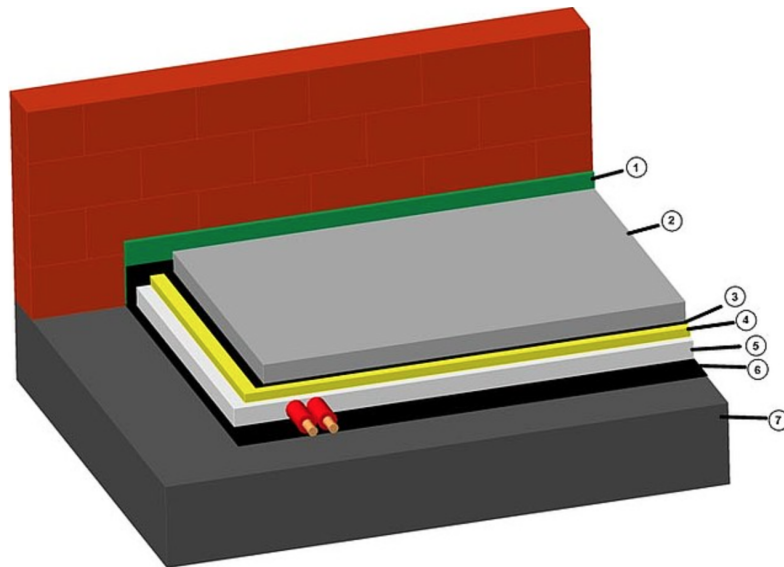


Abbildung 6.3: Schematischer Aufbau einer Decke mit schwimmendem Estrich[78]

Die Bestandteile dabei sind (1) Randdämmstreifen, (2) schwimmender Estrich, (3) Trennlage, (4) Trittschalldämmung, (5) Wärmedämmung, (6) Abdichtung bei erdberührender Sohle, (7) Decke.

Die Konstruktion zur Bewertung besteht dabei aus einer Stahlbetondecke mit einem schwimmenden Zementestrich und aufgeklebtem PVC-Fußbodenbelag. Die Dämmung besteht aus einer PUR-Hartschaumdämmplatte, welche auf einer Steinwolle-Trittschalldämmplatte aufliegt. Der Randdämmstreifen wird aus Polystyrol oder Mineralwolle ausgeführt, jedoch in der Bewertung nicht berücksichtigt, da es in diesem Beispiel nur um die Deckenkonstruktion geht und die Verbindung zu anderen Bauteilen in einem eigenen Schritt bewertet wird.

Der Rückbau der Decke kann entweder konventionell oder selektiv erfolgen. Beim konventionellen Abbruch wird lediglich der PVC-Bodenbelag abgezogen, die restlichen Schichten werden gemeinsam abgebrochen. Dabei fällt ein Baumischabfall an, welcher nur entsorgt werden kann. Der selektive Rückbau erfolgt in mehreren einzelnen Prozessschritten. Diese Prozesse werden mit Hilfe der Klassifizierungssysteme bezüglich des Recyclingpotentials der anfallenden Materialien analysiert.

Der PVC-Bodenbelag wird beim Ausbau zunächst leicht gelockert und danach abgezogen. Er fällt nicht sortenrein an, sondern ist durch Reste des Klebers und eventuell auch Estrichs verschmutzt.

6 Evaluierung des entwickelten Klassifizierungssystems

Der Rückbauprozess wird dem Referenzszenario „Abziehen eines PVC-Fußbodenbelages“ zugeordnet. Als Kleber kommt ein Dispersionsklebstoff zum Einsatz. Die Verbindung fällt somit unter den Punkt „Kleben – durch Trocknung“.

Tabelle 6.6: Analyse Rückbau des PVC-Bodenbelages mit Hilfe der Klassifizierungsmatrix

Rückbau-/Abbruchtechnik	Gewichtung:					Bewertung Rückbautechnik	Klassifizierung Rückbautechnik			
	Rückbauszenario (-technik)	händisch/maschinell	Geräte	Sortenreinheit	Lärmemission			Staubemission	Erschütterungen	Rückbaukosten
Demontieren/ selektive Rückbautechniken	Abziehen eines PVC-Fußbodenbelages	händisch	Spachtel, Schabeisen, Flachschaufel	3	2	1	1	2	2,1	Klasse 2

Tabelle 6.7: Analyse der Verbindung Bodenbelag - Estrich mit Hilfe der Klassifizierungsmatrix

Verbindungstechnik				Gewichtung:			Bewertung der Verbindung	Klassifizierung der Verbindung (Verbindungs-klasse)	
	Untergründe	Wirkprinzip	Abbindeart	Klebstoffart	Lösbarkeit	Trennungsaufwand			Rückbau- und Entsorgungskosten
Kleben	Stahl, Beton, Holz, Leichtmetall	Stoffschluss	durch Trocknung	Lösemittel- und Dispersionsklebstoffe, Polyvinylacetat, Äthylen, Nitritkautschuk, Polyurethan- kautschuk, Styrolbutadien	3-4	3-4	3	3,4	Klasse 3 Klasse 4

Der Zementestrich wird aufgestemmt und anschließend für den Transport zerkleinert. Die Verbindung zum Bodenbelag ist dabei durch die vollflächige Verklebung schwerer aufzulösen als die Verbindung zur darunter liegenden PE-Folie. Durch einen sorgfältigen Ausbau kann die Trennung ohne Anhaftung von Teilen der PE-Folie erfolgen. Der Rückbau des Zementestrichs kann dem Prozess „Entfernung Estrich, schwimmend verlegt“ zugeordnet werden. Die Verbindung erhält eine Klassifizierung als „Mörtel-Beton-Verbindung“.

Tabelle 6.8: Analyse Rückbau des Zementestrichs mit Hilfe der Klassifizierungsmatrix

Rückbau-/Abbruchtechnik	Gewichtung:					Bewertung Rückbautechnik	Klassifizierung Rückbautechnik			
	Rückbauszenario (-technik)	händisch/maschinell	Geräte	Sortenreinheit	Lärmemission			Staubemission	Erschütterungen	Rückbaukosten
Demontieren/ selektive Rückbautechniken	Entfernung Estrich, schwimmend verlegt	händisch/maschinell	Elektrohämmer, Schaufel,	2	2	1	1	4	2,0	Klasse 2

6 Evaluierung des entwickelten Klassifizierungssystems

Tabelle 6.9: Analyse der Verbindung Estrich - Folie mit Hilfe der Klassifizierungsmatrix

Verbindungstechnik	Untergründe	Wirkprinzip	Abbindeart	Klebstoffart	Gewichtung:			Bewertung der Verbindung	Klassifizierung der Verbindung (Verbindungsklasse)
					60%	20%	20%		
Mörtel-Beton-Verbindung	Beton, Mauerwerk	Stoffschluss			Lösbarkeit	Trennungsaufwand	Rückbau- und Entsorgungskosten	2,6	Klasse 2 Klasse 3

Die Polyethylenfolie kann von den darunterliegenden Dämmschichten sortenrein abgezogen werden, sofern sie nicht durch den Ausbau des Estrichs zerstört wurde. Als Referenzszenario für den Rückbau wird das „Abziehen von nicht verklebtem Teppich“ verwendet. Die Verbindung kann der Referenzfügetechnik „Legen/Zusammensetzen“ zugeordnet werden.

Tabelle 6.10: Analyse des Rückbaus der PE-Folie mit Hilfe der Klassifizierungsmatrix

Rückbau-/Abbruchtechnik	Rückbauszenario (-technik)	händisch/maschinell	Geräte	Gewichtung:					Bewertung Rückbautechnik	Klassifizierung Rückbautechnik
				40%	15%	15%	15%	15%		
Demontieren/ selektive Rückbautechniken	Abziehen von nicht verklebtem Teppich	händisch	Spachtel, Teppichmesser	Sortenreinheit	Lärmemission	Staubemission	Erschütterungen	Rückbaukosten	1,2	Klasse 1

Tabelle 6.11: Analyse der Verbindung Folie - Dämmung mit Hilfe der Klassifizierungsmatrix

Verbindungstechnik	Untergründe	Wirkprinzip	Abbindeart	Klebstoffart	Gewichtung:			Bewertung der Verbindung	Klassifizierung der Verbindung (Verbindungsklasse)
					60%	20%	20%		
Legen/ Zusammensetzen	Beton, Holz, Mauerwerk, Stahl	Schwerkraft Formschluss			Lösbarkeit	Trennungsaufwand	Rückbau- und Entsorgungskosten	1,0	Klasse 1

Die PUR-Dämmplatten werden einfach abgenommen, da diese lediglich lose aufgelegt sind. Diese können sortenrein gewonnen werden, sofern ein sorgsamer Ausbau des Estrichs erfolgt ist und die Dämmung und PE-Folie dabei nicht beschädigt wurden. Der Prozess „Ausbau Wärmedämmplatte, horizontal lose aufgelegt“ wird als Referenzszenario für den Rückbau aus dem Klassifizierungssystem für die Bewertung herangezogen.

Die Trittschalldämmung aus Steinwolle kann ebenfalls sortenrein gewonnen werden, da diese weder mit den PUR-Dämmplatten noch mit dem Beton verbunden ist, sondern nur lose

6 Evaluierung des entwickelten Klassifizierungssystems

auffliegt. Die Bewertung des Rückbaus erfolgt analog zu den Dämmplatten mittels desselben Referenzszenarios. Die Verbindungen beider Dämmschichten werden der Referenzfügetechnik „Legen/Zusammensetzen“ zugeordnet.

Tabelle 6.12: Analyse des Rückbaus der Dämmschichten mit Hilfe der Klassifizierungsmatrix

Rückbau-/Abbruchtechnik	Rückbauszenario (-technik)	händisch/ maschinell	Geräte	Gewichtung:					Bewertung Rückbautechnik	Klassifizierung Rückbautechnik
				40%	15%	15%	15%	15%		
				Sortenreinheit	Lärmemission	Staubemission	Erschütterungen	Rückbaukosten		
Demontieren/ selektive Rückbautechniken	Ausbau Wärmedämmschüttung, -platten, horizontal lose aufgelegt	händisch		1	1	1	1	1	1,0	Klasse 1

Tabelle 6.13: Analyse der Verbindungen der Dämmschichten mit Hilfe der Klassifizierungsmatrix

Verbindungstechnik	Untergründe	Wirprinzip	Abbindeart	Klebstoffart	Gewichtung:			Bewertung der Verbindung	Klassifizierung der Verbindung (Verbindungs-klasse)
					60%	20%	20%		
					Lösbarkeit	Trennungsaufwand	Rückbau- und Entsorgungskosten		
Legen/ Zusammensetzen	Beton, Holz, Mauerwerk, Stahl	Schwerkraft Formschluss			1	1	1	1,0	Klasse 1

Der Rohbau kann zum Abschluss durch Schlagen, Hämmern und Stemmen abgetragen werden. Dabei ist ein handgeführter Rückbauvorgang dem maschinellen Abbruchhammer vorzuziehen, da dieser eine bessere Bewertung erhält.

Tabelle 6.14: Analyse Abbruch des Rohbaus mit Hilfe der Klassifizierungsmatrix

Rückbau-/Abbruchtechnik	Einzel- techniken	handgeführt/ maschinell	Geräte	Einsatzgebiet	Gewichtung:					Bewertung Rückbautechnik	Klassifizierung Rückbautechnik
					40%	15%	15%	15%	15%		
					Sortenreinheit	Lärmemission	Staubemission	Erschütterungen	Rückbaukosten		
Abtragen	Schlagen, Hämmern, Stemmen	handgeführt	Hydraulik- oder Druckluft-hämmer mit Spitz-, Flach- oder Keilmeißeln	Mauerwerk, Beton, Holz, Putz, Estrich, Fliesen	2	4	3	2	4	2,8	Klasse 2 Klasse 3
		maschinell	Abbruchhämmer oder Meißel an Trägergeräten	Beton, Stahlbeton	3	4	4	4	2	3,3	Klasse 3 Klasse 4

In Tabelle 6.15 sind die gesammelten Ergebnisse der Analyse mit Hilfe der Klassifizierungssysteme dargestellt.

Tabelle 6.15: Analyse der Deckenkonstruktion mit Hilfe der Klassifizierungsmatrizen Füge-/Rückbautechniken

Schicht Nr.	Name	Bemerkung	Referenz-Fügetechnik	Klassifizierung der Fügetechnik	Referenzszenario Rückbautechnik	Klassifizierung der Rückbautechnik
1	PVC-Bodenbelag	verklebt	Kleben - durch Trocknung	Klasse 3 Klasse 4	Abziehen eines PVC-Fußbodenbelages	Klasse 1 Klasse 2
2	Zementestrich	schwimmend verlegt	Mörtel-Beton-Verbindung	Klasse 2 Klasse 3	Entfernung Estrich, schwimmend verlegt	Klasse 1 Klasse 2
3	PE-Folie	lose auf Dämmung aufgelegt	Legen/ Zusammensetzen	Klasse 1	Abziehen von nicht verklebtem Teppich	Klasse 1
4	PUR-Hartschaumplatte	lose aufgelegt	Legen/ Zusammensetzen	Klasse 1	Ausbau Wärmedämmplatte, horizontal lose verlegt	Klasse 1
5	Steinwolle-Trittschalldämmung	lose aufgelegt	Legen/ Zusammensetzen	Klasse 1	Ausbau Wärmedämmplatte, horizontal lose verlegt	Klasse 1
6	Stahlbeton				Abtragen mittels Schlagen, Hämmern, Stemmen	Klasse 2 Klasse 3

Bei der Klassifizierung der Konstruktion fallen sowohl die PE-Folie als auch die Dämmungsschichten in die Klasse 1. Es entstehen bei sorgfältiger Trennung keine zusätzlichen Materialströme und die einzelnen Baustoffe können beim Recyclingprozess aufgrund ihrer Sortenreinheit als Sekundärrohstoff direkt wiederverwendet werden.

Der Zementestrich erhält im Mittel auch noch die Klassifizierungsstufe 2. Lediglich die Verbindung des Bodenbelages mit dem Estrich stellt Probleme für eine sortenreine Gewinnung und Wiederverwendung dar. Aufgrund der vollflächigen Verklebung erhält der Bodenbelag eine schlechte Bewertung. Ziel muss es auch für diesen Aufbau sein, alternative Fügtechniken zu entwickeln, welche anstatt des Klebers zum Einsatz kommen könnten.

6.2 Gegenüberstellung des Klassifizierungssystems mit dem BNB-XLS-Tool-4.1.4

Die Bewertung mit Hilfe der Klassifizierungsmatrizen wird in diesem Kapitel dem derzeitigen Stand der Technik bei der Bewertung von Bauteilaufbauten gegenübergestellt. Dazu wird das „Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude (BNB)“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit der deutschen Bundesregierung herangezogen.

6.2.1 Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude (BNB)

In einer zweijährigen Zusammenarbeit zwischen dem Bundesbauministerium und der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V. (DGNB) entstand ein erster Kriterienkatalog, um Nachhaltigkeitsaspekte eines Gebäudes ganzheitlich zu betrachten und anschließend zu bewerten.

Das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude (BNB) stellt dabei ein ganzheitliches quantitatives Bewertungsverfahren dar, welches dem Leitfaden Nachhaltiges Bauen ergänzend zur Seite steht. Der gesamte Lebenszyklus eines Gebäudes wird unter Berücksichtigung der ökologischen, ökonomischen und soziokulturellen Faktoren umfassend betrachtet. Darüber hinaus werden auch technische sowie prozessuale Aspekte berücksichtigt, die als Querschnittsaspekte Einfluss auf sämtliche Teilaspekte der Nachhaltigkeit haben (Abbildung 6.4). Dadurch entsteht ein transparentes, objektiv nachvollziehbares Bewertungssystem, welches die internationalen Entwicklungen im Bereich Normung zum Nachhaltigen Bauen widerspiegelt. vgl.[79]

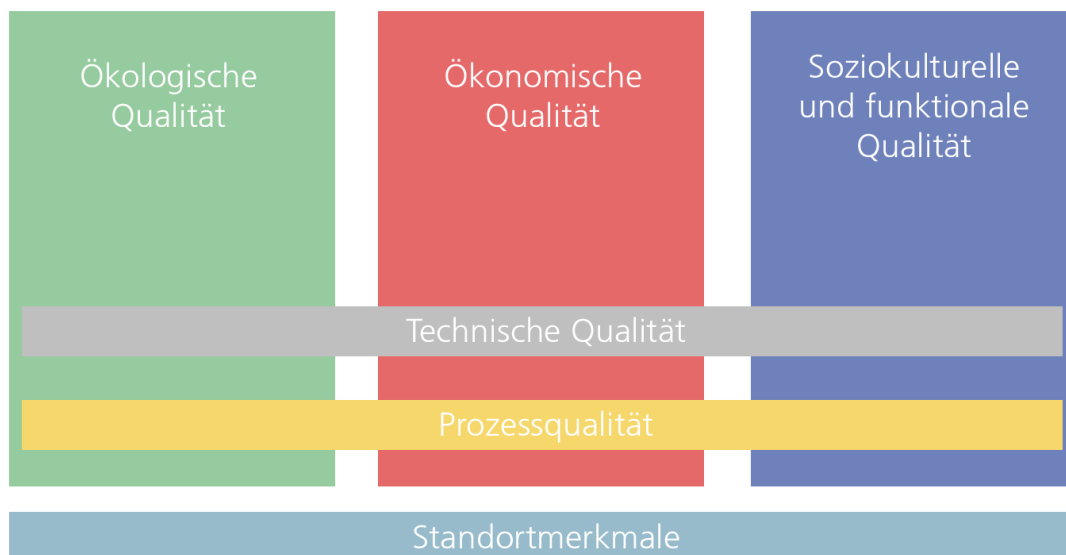


Abbildung 6.4: Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen - Teilaspekte der Nachhaltigkeit[79]

Die Bewertung der fünf Teilaspekte erfolgt getrennt in ihrer jeweiligen Hauptkriterien-Gruppe und wird mit einer festgelegten Gewichtung zu einer Gesamtnote verrechnet. Dies bietet die Möglichkeit einer gesonderten Darstellung herausragender Qualitäten in ein oder mehreren Teilbereichen. Der Erfüllungsgrad der Teilaspekte ergibt die Gesamtnote und Zuordnung zur Zertifizierungsstufe (Abbildung 6.5). vgl.[79]

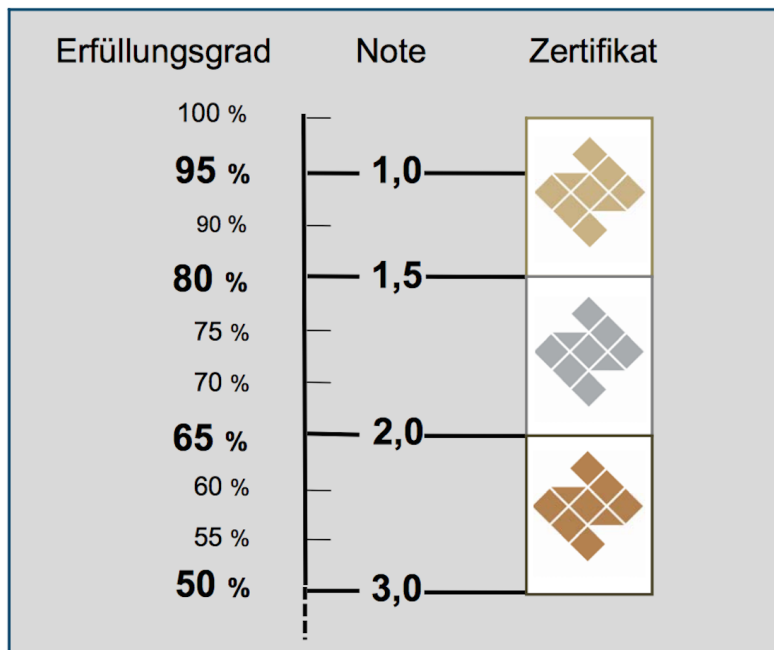


Abbildung 6.5: BNB - Zuordnung der Erfüllungsgrade zu Gebäudenote und Zertifikat[79]

Die Gegenüberstellung mit dem in dieser Arbeit entwickelten Klassifizierungssystem für Rückbau- und Fügeverfahren erfolgt über das Bewertungsinstrument für das BNB-Kriterium 4.1.4 „Rückbau, Trennung und Verwertung“ aus dem Teilaspekt „Technische Qualität“. Bei der Beurteilung der Rückbau- und Recyclingfähigkeit eines Bauteils werden die einzelnen Schichten in Bezug auf Rückbaufähigkeit, Sortenreinheit und Verwertbarkeit bewertet. Dadurch ergibt sich ein bauteilbezogener Recyclingfaktor, welcher einen gebäudeunabhängigen Vergleich unterschiedlicher Konstruktionen ermöglicht. vgl.[79] Die genaue Beschreibung des BNB-Kriterium 4.1.4 befindet sich in Anhang 1.

6.2.2 Auswahl der Bauteilaufbauten

Für die Bewertung und Gegenüberstellung der beiden Systeme werden Bauteile aus sämtlichen Bereichen eines Gebäudes ausgewählt. Bei der Auswahl wird besonders darauf geachtet, möglichst unterschiedliche Konstruktionen, Materialien, Verbindungen und Systeme zu verwenden, um ein breites Spektrum der Bewertungsmöglichkeiten mit dieser Evaluierung abzudecken.

Folgende Bauteilaufbauten werden bewertet:

- Erdanliegende Bodenplatte mit Fußbodenaufbau
- Innendecke mit Fußbodenaufbau
- Außendecke - Dachfläche mit Kies
- Erdanliegende Wand

- Außenwand hinterlüftet - Paneelfassade
- Innenwand Trockenbau

Der genaue Konstruktionsaufbau sowie wichtige Kenngrößen der Baustoffschichten befinden sich in Anhang 2.

6.2.3 Bewertung der Bauteilaufbauten

Die Bewertung der Bauteilaufbauten erfolgt bei beiden Systemen mittels eines in Excel implementierten Tools.

Beim BNB-Kriterium 4.1.4 erfolgt die Bewertung im sogenannten Bauteilkatalog. In diesem sind einzelne Bauteilkategorien (Gründung, Außenwand Erdreich, Decke etc.) mit bereits evaluierten Bauteilaufbauten definiert. Die in Kapitel 6.3.2 ausgewählten Bauteile werden hier nach den Kriterien Rückbau, Trennung und Verwertung bewertet. Daraus ergibt sich ein bauteilbezogener Recyclingfaktor (R-Faktor) zwischen 0 und 10 Punkten.

In der anschließenden Projekteingabe erfolgt die Bewertung des Gesamtgebäudes. Das Produkt aus R und dem Massenanteil des Bauelements am gesamten Gebäude ergibt zunächst die Punktzahl für das einzelne Bauelement. Die Summe der Punktzahlen für alle Bauelemente ergeben die Bewertungspunkte für das gesamte Gebäude, wobei die maximale Bewertung für das Kriterium 4.1.4 wie auch für alle anderen Kriterien des BNB, bei 100 Punkten liegt.

Das in dieser Arbeit entwickelte Klassifizierungssystem bewertet in einem ersten Schritt die einzelnen Schichten der Bauteilaufbauten. Dies erfolgt über eine Klassifizierung der Rückbau- bzw. Fügetechnik. Der Mittelwert der Bewertungen der einzelnen Schichten ergibt die Gesamtklassifizierung des Bauteils. Durch eine Gewichtung der Bauteilklassifizierungen, bezogen auf die Massenanteile des jeweiligen Bauelements am gesamten Gebäude, kann ein Mittelwert gebildet werden, welcher die Gesamtklassifizierung des Gesamtgebäudes darstellt.

Die Ergebnisse der Bewertung beider Systeme werden auf den folgenden Seiten dargestellt.

6 Evaluierung des entwickelten Klassifizierungssystems

Tabelle 6.16: BNB-Steckbrief 4.1.4 – Bewertung im Bauteilkatalog

BAUTEILKATALOG für BNB-Steckbrief 4.1.4 Version 2015 Stand BBSR-Bauteilkatalog: 15.03.2016		Bewertung der Eignung		Projekt		Bewertung		
Bearbeiter projektspezifischer Katalog:		BNB-Nummer:		Projekt:		Bewertung		
Datum projektspezifischer Katalog:		BNB-Nummer:		Projekt:		Bewertung		
lfd. Nr.	Kategorie	Bauteilbezeichnung	Kurzbeschreibung Schichtenaufbau	Rückbau	Trennung	Verwertung	lfd. Nr. Katalog	R-Faktor
Gründung								
1	GRU Gründung	Streifenfundament	SIB;	Ø	+	+	1 GRÜ	6,75
2	GRU Gründung	Bohrpflahl Tiefgründung	SIB;	--	+	+	2 GRÜ	5,25
3	GRU Gründung	Bodenplatte	Epoxy; CT; SIB.; Blumenbann; XPS; Leichtbet.; PE; Kies	Ø	Ø	Ø	3 GRÜ	5,00
Eigenes Bauteil (Gründung):								
1	GRU-E Gründung	Erdanliegende Bodenplatte	Magerbet.; XPS; Bentonit; SIB.; Schüttware; Kunstst.Folie; EPS; Kunstst.Folie; CT; min.Besch.	Ø	-	Ø	1 GRÜ-E	4,25
2	GRU-E Gründung	Erdanliegende Bodenplatte	Kies; XPS; Bentonit; SIB.; Perfleschüttung; nachw.Dämm.; Stampflehm gewachst	++	++	++	2 GRÜ-E	10,00
3	GRU-E Gründung	Erdanliegende Bodenplatte	Magerbet.; XPS; Blumen-Metall; SIB.; Schüttware; Kunstst.Folie; EPS; Kunstst.Folie; CT; Teppich	--	--	--	3 GRÜ-E	0,00
				5,00	2,5	5		
Außenwand Erdreich								
1	AER Außenwand erdberührt	gedämmte Kelleraußenwand	gipsfr.Putz; SIB.; Blumenbesch.; XPS	Ø	+	+	1 AER	6,75
Eigenes Bauteil (Außenwand Erdreich):								
1	AER-E Außenwand erdberührt	Erdanliegende Wand	SIB.; Bentonit; XPS	++	+	Ø	1 AER-E	7,25
2	AER-E Außenwand erdberührt	Erdanliegende Wand	SIB.; Bentonit; CG	++	++	++	2 AER-E	10,00
3	AER-E Außenwand erdberührt	Erdanliegende Wand	SIB.; Blumen-Metall; XPS	--	--	--	3 AER-E	0,00
Außenwand massiv								
1	AMA Außenwand massiv	einschalige AW aus por. HLZ	Keramik; gipsfr.Putz; por.HLZ; gipsfr.Putz	+	+	Ø	1 AMA	6,50
2	AMA Außenwand massiv	einschalige AW aus por. HLZ	Keramik; gipsfr.Putz; por.HLZ mit Dämmf.; gipsfr.Putz	Ø	Ø	Ø	2 AMA	5,00

6 Evaluierung des entwickelten Klassifizierungssystems

BAUTEILKATALOG
für BNB-Steckbrief 4.1.4 Version 2015
Stand BBSR-Bauteilkatalog: 15.03.2016



Tabelle 6.16: BNB-Steckbrief 4.1.4 – Bewertung im Bauteilkatalog (Fortsetzung)

		Bewertung der Eignung						
		--	-	Ø	+	++		
		sehr ungünstig	ungünstig	durchschnittlich	günstig	sehr günstig		
Bearbeiter projektspezifischer Katalog:		Projekt:						
Datum projektspezifischer Katalog:		BNB-Nummer:						
lfd. Nr.	Kategorie	Bauteilbezeichnung	Kurzbeschreibung Schichtenaufbau	Rückbau	Trennung	Verwertung	lfd. Nr. Katalog	R-Faktor
3	AMA Außenwand massiv	einschalige AW aus Leichtbeton	gipsfr.Putz; Leichtbet.; gipsfr.Putz	+	+	Ø	3 AMA	6,50
4	AMA Außenwand massiv	einschalige AW aus Porenbeton	gipsfr.Putz; Porenbet.; gipsfr.Putz	+	Ø	-	4 AMA	4,75
5	AMA Außenwand massiv	einschalige AW aus Leichtbeton	gipssthal.Putz; Leichtbet.; gipsfr.Putz	Ø	-	--	5 AMA	2,25
6	AMA Außenwand massiv	einschalige AW aus por. HLZ	gipssthal.Putz; por.HLZ mit Dämmf.; gipssthal.Putz	Ø	-	--	6 AMA	2,25
7	AMA Außenwand massiv	mehrschalige AW mit WDVS	gipsfr.Putz; SIB.; MW; gipsfr.Putz	Ø	+	+	7 AMA	6,75
8	AMA Außenwand massiv	mehrschalige AW mit VHF	gipsfr.Putz; SIB.; MW; AI-UK; Faserzern.	Ø	+	+	8 AMA	6,75
9	AMA Außenwand massiv	AW Sib. mit hinterlüfteter Natursteinfassade	SIB.; MW; SI-UK; Naturst.	+	+	+	9 AMA	7,50
Eigenes Bauteil (Außenwand massiv):								
1	AMA-E Außenwand massiv	Außenwand hinterlüftet	SIB.; MW; WD-Vlies; AI-UK; FF-Alu	+	+	++	1 AMA-E	8,50
2	AMA-E Außenwand massiv	Außenwand hinterlüftet	SIB.; nachw.Dämm.; WD-Vlies; Metall-UK; FF-Metall	++	++	++	2 AMA-E	10,00
3	AMA-E Außenwand massiv	Außenwand hinterlüftet	SIB.; XPS; Windpapier - mit Latting befestigt; Vormauerziegel (Kalkmörtel)	--	--	--	3 AMA-E	0,00
Innenwand								
1	ILE Innenwand leicht	GK-Innenwand mit MW-Dämmung	GK; Metallprofile; MW; GK	+	+	Ø	1 ILE	6,50
Eigenes Bauteil (Innenwand):								
1	ILE-E Innenwand leicht	Innenwand	GK; Metallprofile; MW; GK	+	+	Ø	1 ILE-E	6,50
2	IMA-E Innenwand massiv	Innenwand	Stamplförmig oder Lehmmauerwerk mit Lehmhörlot und Lehmputz	++	++	++	2 IMA-E	10,00
3	IMA-E Innenwand massiv	Innenwand	gipssthal.Putz; Ziegel; gipssthal.Putz	--	--	--	3 IMA-E	0,00

6 Evaluierung des entwickelten Klassifizierungssystems

Tabelle 6.16: BNB-Steckbrief 4.1.4 – Bewertung im Bauteilkatalog (Fortsetzung)

BAUTEILKATALOG für BNB-Steckbrief 4.1.4 Version 2015 Stand BBSR-Bauteilkatalog: 15.03.2016		Bewertung der Eignung		Bewertung der Eignung		Bewertung der Eignung	
		sehr ungünstig	ungünstig	durchschnittlich	günstig	sehr günstig	
		---	-	0	+	++	
Bearbeiter projektspezifischer Katalog: Datum projektspezifischer Katalog:		Projekt: BNB-Nummer:					
Kategorie		Bauteilbezeichnung					
Kategorie		Kurzbeschreibung Schichtenaufbau					
lfd. Nr.	Kategorie	Bauteilbezeichnung	Rückbau	Trennung	Verwertung	lfd. Nr. Katalog	R-Faktor
Decke							
1	DEC Decke	Ortbetondecke verputzt	Ø	+	++	1 DEC	7,75
2	DEC Decke	Ortbetondecke verputzt	Ø	Ø	Ø	2 DEC	5,00
3	DEC Decke	Ortbetondecke mit AHD	Ø	+	++	3 DEC	7,75
4	DEC Decke	Holzbauteildecke	+	+	Ø	4 DEC	6,50
Eigenes Bauteil (Decke):							
1	DEC-E Decke	Innendecke	+	+	+	1 DEC-E	7,50
2	DEC-E Decke	Innendecke	++	++	++	2 DEC-E	10,00
3	DEC-E Decke	Innendecke	--	--	--	3 DEC-E	0,00
Deckenbelag							
1	DBE Deckenbelag	Verbundestrich	-	+	+	1 DBE	6,00
2	DBE Deckenbelag	Verbundestrich	-	+	-	2 DBE	4,00
3	DBE Deckenbelag	Schwimmender Estrich	Ø	+	+	3 DBE	6,75
4	DBE Deckenbelag	Schwimmender Estrich	Ø	+	-	4 DBE	4,75
5	DBE Deckenbelag	Verbundestrich	Ø	+	-	5 DBE	4,75
6	DBE Deckenbelag	Schwimmender Estrich	Ø	+	Ø	6 DBE	5,75
7	DBE Deckenbelag	Schwimmender Estrich	+	Ø	Ø	7 DBE	5,75
8	DBE Deckenbelag	Schwimmender Estrich	+	Ø	-	8 DBE	4,75

6 Evaluierung des entwickelten Klassifizierungssystems

BAUTEILKATALOG
für BNB-Steckbrief 4.1.4 Version 2015
Stand BBSR-Bauteilkatalog: 15.03.2016



Tabelle 6.16: BNB-Steckbrief 4.1.4 – Bewertung im Bauteilkatalog (Fortsetzung)

		Bewertung der Eignung									
		sehr ungünstig	ungünstig	durchschnittlich	günstig	sehr günstig					
		---	-	0	+	++					
Bearbeiter projektspezifischer Katalog:							Projekt:				
Datum projektspezifischer Katalog:							BNB-Nummer:				
lfd. Nr.	Kategorie	Bauteilbezeichnung	Kurzbeschreibung Schichtenaufbau	Rückbau	Trennung	Verwertung	lfd. Nr. Katalog	R-Faktor			
Eigenes Bauteil (Deckenbelag):											
1	DBE-E Deckenbelag	Schwimmender Estrich	Kunstst.Folie; EPS; Kunstst.Folie; CT; min.Besch.	+	0	0	1 DBEE	5,75			
2	DBE-E Deckenbelag	Stampflehboden auf Trittschalldämmung	nachw.Dämmn.; Stampflehm gewachst	++	++	++	2 DBEE	10,00			
3	DBE-E Deckenbelag	Schwimmender Estrich	Kunstst.Folie; EPS; Kunstst.Folie; CT; Teppich	---	---	---	3 DBE-E	0,00			
Dach											
1	DAC Dach	Massivbau Flachdach verputzt	SIB.; gipsfr.Putz	0	+	++	1 DAC	7,75			
2	DAC Dach	Massivbau Flachdach verputzt	SIB.; gipsfr.Putz	0	0	0	2 DAC	5,00			
3	DAC Dach	Massivbau Flachdach mit AHD	SIB.; AI.; UK; GK	0	+	++	3 DAC	7,75			
4	DAC Dach	Dachverglasung	Sh.; Glas	0	++	+	4 DAC	7,50			
5	DAC Dach	Massivbau Flachdach Kies	MW; SIB.; Blumenbahn; XPS; Vlies; Kies; Splitt	0	0	0	5 DAC	5,00			
Eigenes Bauteil (Dach):											
1	DAC-E Dach	Außendecke	SIB.; Anstr.; Blumenbahn; CG; Blumenbahn; Vlies; Kies	0	0	0	1 DAC-E	5,00			
2	DAC-E Dach	Außendecke	Stahlprofilkonstr.; kunstst.Folie; nachw.Dämmn.; Kunstst.Abdichtung; Kies	++	++	++	2 DAC-E	10,00			
3	DAC-E Dach	Außendecke	GK; SIB.; Anstr.; Blumenbahn; XPS; Blumenbahn; Vlies; Betonplatten	---	---	---	3 DAC-E	0,00			

6 Evaluierung des entwickelten Klassifizierungssystems

Tabelle 6.17: BNB-Steckbrief 4.1.4 – Projekteingabe / Gesamtbewertung

Bearbeiter:		Projekt:		Gesamt-punktzahl				
Datum:		BNB-Nummer:		59,14				
				100,00%				
ERGEBNIS 0		Gesamt-masse		Punkte / Bauteil				
lfd. Nr.	Bauteilnummer	Einbauart	Bauteil	Kommentar	lfd. Nr. Katalog	R-faktor	Anteil [%]	
Gründung								
4	1.3	JG01, Gänge, Unkleiden	GRU-E, Erdanliegende Bodenplatte; Magerbet.; XPS; Bentonit; SIB.; Schütware; Kunstst.Folie; EPS; Kunstst.Folie; CT; min.Besch.		1	GRU-E	4,25	35,61
				Summe Gründung				15,14
Außenwand Erdreich								
4	4.2	JG1,EG01,OG01	AER-E, Erdanliegende Wand; SIB.; Bentonit; XPS		1	AER-E	7,25	9,86
				Summe Außenwand Erdreich				9,86
Außenwand massiv								
4	4.4		AMA-E, Außenwand hinterlüftet; SIB.; MW; WD-Vlies; AL-UK; FP-AU		1	AMA-E	8,50	11,41
				Summe Außenwand massiv				11,41
Innenwand leicht								
4	5.1a		ILE-E, Innenwand; GK; Metallprofile; MW; GK		1	ILE-E	6,50	0,70
				Summe Innenwand leicht				0,70
Decke								
4	2.5a	OGs; Garderoben/ Gänge/ Meeting Point	DEC-E, Innendecke; SIB.; Schütware		1	DEC-E	7,50	11,02
				Summe Decke				11,02
Deckenbelag								
4	2.5a	OGs; Garderoben/ Gänge/ Meeting Point	DBE-E, Schwimmender Estrich; Kunstst.Folie; EPS; Kunstst.Folie; CT; min.Besch.		1	DBE-E	5,75	1,65
				Summe Deckenbelag				1,65
Dach								
4	3.5		DAC-E, Außendecke; SIB.; Anstr.; Bitumenbahn; OG; Bitumenbahn; Vlies; Kies		1	DAC-E	5,00	9,36
				Summe Dach				9,36

Projekteingabe für BNB-Steckbrief 4.1.4 - Version 2015

Stand BBSR-Bauteilkatalog: 15.03.2016



6 Evaluierung des entwickelten Klassifizierungssystems

Tabelle 6.18: Klassifizierungssystem – Bewertung der Bauteilaufbauten

Klassifizierung									
---		Klasse 4							
--		Klasse 3 / Klasse 4							
-		Klasse 3							
0		Klasse 2 / Klasse 3							
+		Klasse 2							
++		Klasse 1 / Klasse 2							
+++		Klasse 1							
lfd. Nr.	Kategorie	Bauteilbezeichnung	Kurzbeschreibung Schichtenaufbau	Schicht (Innen/unten)	Referenz-Fügetechnik	Referenzszenario Rückbautechnik	Klassifizierung Fügetechnik	Klassifizierung Rückbautechnik	Gesamtklassifizierung
Gründung									
1	GRU-E	Erdeabhängige Bodenplatte	Magerbet., XPS, Bentonit, SIB-, Schuttware, Kunststoff-Folie, EPS; kunstst.Folie, CT, min.Besch.	Magerbeton Dämmstoff - Extrudiertes Polystyrol Bentonit Abdichtung Ziegeln/ Mörtel-Beton-Verband Mörtel-Beton-Verband Schuttware Kunststoffbasierte Folien Dämmstoff - Expandiertes Polystyrol Kunststoffbasierte Folien Estrich - Zement Beschichtung - mineralisch	Mörtel-Beton-Verband Ziegeln/ Mörtel-Beton-Verband Mörtel-Beton-Verband Legen/ Zusammensetzen Legen/ Zusammensetzen Kleben - durch Trocknung Mörtel-Beton-Verband Mörtel-Beton-Verband	Abtragen mittels Schlagen, Hämmern, Stemmen händisches Abziehen/ Abschalen der Dämmschicht Abziehen von verklebtem Teppich mittels Schlagen, Hämmern, Stemmen Abtragen mittels Schlagen, Hämmern, Stemmen Abziehen von verklebtem Teppich Ausbau Wärmedämmplatte, horizontal lose verlegt Abziehen von verklebtem Teppich Entfernung Estrich, schwimmend verlegt Abziehen von verklebtem Teppich	0 +++ 0 0 +++ +++ -- 0 0	0 ++ + 0 0 + +++ + ++ +	Klasse 2 / Klasse 3 0 + ++ 0 0 ++ +++ - + 0
Außenwand Erdreich									
1	AER-E	Erdeabhängige Wand	SIB-, Bentonit, XPS	Stahlbeton (Ortbeton) Bentonit Abdichtung Dämmstoff - Extrudiertes Polystyrol	Legen/ Zusammensetzen Mörtel-Beton-Verband	Abtragen mittels Schlagen, Hämmern, Stemmen Abziehen von verklebtem Teppich händisches Abziehen/ Abschalen der Dämmschicht	0 +++ 0	0 + ++	Klasse 2 0 ++ +
Außenwand massiv									
1	AUA-E	Außenwand Innenputz	SIB-, MW, WD-Vlies, AU-UK, FP-AU	Stahlbeton (Ortbeton) Dämmstoff - Mineralwolle mit Dübel befestigt Winddichtung - Vlies Unterkonstruktion - Aluminium Fassadengarnier - Aluminium	Mörtel-Beton-Verband Ziegeln/ Zusammensetzen Schraubverbindung Schraubverbindung	Abtragen mittels Schlagen, Hämmern, Stemmen händisches Abschalen der Dämmschicht / Dübel lösen Teppich Lösen von punktuellen Verbindungen Lösen von punktuellen Verbindungen	0 +++ + +	0 ++ +++ ++ ++	Klasse 1 / Klasse 2 0 + +++ ++ ++

6 Evaluierung des entwickelten Klassifizierungssystems

Tabelle 6.18: Klassifizierungssystem – Bewertung der Bauteilaufbauten (Fortsetzung)

Klassifizierung							Klasse 4	Klasse 3 / Klasse 4	Klasse 3	Klasse 2 / Klasse 3	Klasse 2	Klasse 1 / Klasse 2	Klasse 1
ifz. Nr.	Kategorie	Bauteilbezeichnung	Kurzbeschreibung Schichtenaufbau	Schicht (Innen/unten)	Referenz-Fügetechnik	Referenzszenario Rückbautechnik	Klassifizierung Fügetechnik	Klassifizierung Rückbautechnik	Gesamtklassifizierung				
Innenwand leicht													
1	ILE-E Innenwand leicht	Innenwand	GK; Metallprofile; MW; GK	Gipskarton	Schraubverbindung (mit Verspachtelung)	Lösen von punktuellen Verbindungen + Spachtel	Ø	+	Klasse 2				
				Metallprofile	Schraubverbindung	Lösen von punktuellen Verbindungen	+	+++	+++				
				Dämmstoff- Mineralwolle	Legen/ Zusammensetzen	händisches Abziehen/ Abschalen der Dämmschicht	+++	+++	+++				
				Gipskarton	Schraubverbindung (mit Verspachtelung)	Lösen von punktuellen Verbindungen + Spachtel	Ø	+	Ø				
Decke + Deckenbelag													
Decke													
1	DEC-E Decke	Innendecke	SIB; Schuttware	Stahlbeton (Ortbeton)		Abtragen mittels Schlägen, Hämmern, Stemmen	Ø	Ø	Klasse 2 / Klasse 3				
				Schuttware	Mörtel-Beton-Verbindung	Abtragen mittels Schlägen, Hämmern, Stemmen	Ø	Ø	Ø				
1	DBE-E Deckenbelag	Schwimmender Estrich	Kunstst.Folie; EPS; Kunstst.Folie; CT; min.Besch.	Kunststoffbasierte Folien	Kleben - durch Trocknung	Abziehen von verklebtem Teppich	--	+	Klasse 2				
				Dämmstoff- Expandiertes Polystyrol	Legen/ Zusammensetzen	Ausbau Wärmedämmplatte, horizontal lose verlegt	+++	+++	+++				
				Kunststoffbasierte Folien	Legen/ Zusammensetzen	Abziehen von verklebtem Teppich	+++	+	+++				
				Estrich - Zement	Mörtel-Beton-Verbindung	Entfernung Estrich, schwimmend verlegt	Ø	+++	+				
				Beschichtung - mineralisch	Mörtel-Beton-Verbindung	Abziehen von verklebtem Teppich	Ø	+	Ø				
Dach													
1	DAC-E Dach	Außenbocke	SIB; Anstr.; Blumenbahn; CG; Blumenbahn; Vlies; Kies	Stahlbeton (Ortbeton)		Abtragen mittels Schlägen, Hämmern, Stemmen	Ø	Ø	Klasse 2 / Klasse 3				
				Anstrich - Dispersionslatex		Abösen von Putz/Kleber/Farben/Mörtel	Ø	-	Ø				
				Blumenbahn	Schweißverbindung/ Kleben	Abziehen von verklebtem Teppich	-	+	Ø				
				Dämmstoff- Schaumglas	Kleben - durch Trocknung	händisches Abziehen/ Abschalen der Dämmschicht	--	+++	Ø				
				Blumenbahn	Schweißverbindung/ Kleben	Abziehen von verklebtem Teppich	-	+	Ø				
				Vlies	Legen/ Zusammensetzen	Abziehen von nicht verklebtem Teppich	+++	+++	+++				
				Kies	Zusammensetzen	Ausbau Schüttung, horizontal lose verlegt	+++	+++	+++				

6 Evaluierung des entwickelten Klassifizierungssystems

Tabelle 6.19: Klassifizierungssystem – Bewertung des Gesamtgebäudes

Klassifizierung		Klassifizierung				
		---	--	-	0	+
lfd. Nr.	Kategorie	Bauteilbezeichnung	Kurzbeschreibung Schichtenaufbau	Masse [kg]	Anteil[%]	Gesamtklassifizierung
Gründung						
1	GRUE	Gründung	Magerbet., XPS; Bentonit; SIB.; Schutzware; kunstl.Folie; EPS; kunstl.Folie; CT; mini.Besch.	1621,2	35,61	Klasse 2 / Klasse 3
Außenwand Erdreich						
1	AERE	Außenwand Erdreich	SIB.; Bentonit; XPS	616,8	13,69	Klasse 2
Außenwand massiv						
1	AMAE	Außenwand massiv	SIB.; MW; WD-Vlies; AI-LUK; FP-Alu	611,0	13,42	Klasse 1 / Klasse 2
Innenwand leicht						
1	ILEE	Innenwand leicht	GK; Metallprofile; MW; GK	48,7	1,07	Klasse 2
Decke + Deckenbelag						
1	DECE	Decke	SIB.; Schutzware	669,0	14,70	Klasse 2 / Klasse 3
1	DBEE	Deckenbelag	kunstl.Folie; EPS; kunstl.Folie; CT; mini.Besch.	130,9	2,88	Klasse 2
Dach						
1	DACE	Dach	SIB.; Anstr.; Blumenbahn; GG; Blumenbahn; Vlies; Kies	852,6	18,73	Klasse 2 / Klasse 3
Gesamtmasse:				4552,2	100,00	Klasse 2
						2,09

Klassifizierung für Rückbau- bzw. Füge Techniken

6.2.4 Analyse der Bauteilaufbauten

Die Analyse stützt sich auf bestehende Bewertungen der DGNB³ in Bezug auf das Kriterium „Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit“ aus dem Teilaspekt „Technische Qualität“ sowie gesamten Ökobilanzvergleichen nach El khouli[82] und Glücklich[83]. Die Untersuchungen anderer Qualitäten wie z.B. die Möglichkeit einer technisch gleichwertigen Nutzung, Vergleiche der Lebensdauer oder Kosten während des Lebenszyklus etc. wurden bei der Betrachtung der Aufbauten nicht berücksichtigt. Die vorgeschlagenen Verbesserungsmöglichkeiten stellen nur in Bezug auf die Rückbaufähigkeit und Recyclingfreundlichkeit das Optimum dar. Eine abschließende zusätzliche Betrachtung der gesamten Umweltwirkungen wurde unabhängig davon erarbeitet.

6.2.4.1 Erdanliegende Bodenplatte mit Fußbodenaufbau

Die untersuchte Bodenplatte ist als „Braune Wanne“ mit schwimmendem Estrich ausgeführt und erhält durch das BNB 4,25 Punkte und die Klasse 2-3 durch das Klassifizierungssystem.

Die Sauberkeitsschicht aus Magerbeton wird laut EN 13670 nicht gefordert, es muss lediglich eine ebene und saubere Grundfläche geschaffen werden, um eine nötige Betondeckung und die Genauigkeit der Abstandhalter zu gewährleisten. Eine bessere Bewertung wird mit Kies als Sauberkeitsschicht erzielt, da dieser einen geringeren Rückbauaufwand besitzt und eine einfache Wiederverwendung ermöglicht.

Die Wärmedämmung aus XPS kann nicht oder nur zum Teil wiederverwendet oder für ein verlustloses Recycling auf gleicher Qualitätsstufe aufbereitet werden. Sofern die darüber liegende Schicht mit einer Trennlage eingebracht wurde, kann diese zumindest leicht getrennt werden und den Rückbauaufwand somit in Grenzen halten.

Die Abdichtung aus Bentonit wird als Klasse 1-2 eingestuft und bildet die Schutzschicht der Dämmschicht, damit in den Verbund der Dämmstoffplatten keine für die Dämmwirkung schädlichen Stoffe wie z.B. Zementmilch eintreten können. Sie wird lose verlegt und kann somit beim Rückbauprozess leicht getrennt werden. Die Verwertung ist aufgrund eines komplexen Aufbereitungsprozesses problematisch aber möglich. Eine Einstufung in Klasse 4 bei der Bewertung erhält eine vollflächig verklebte Bitumenbahn mit Metalleinlage. Diese ist nur unter Zerstörung demontierbar und wird dadurch auch unbrauchbar für eine Weiterverwendung.

Der Rückbauaufwand und die Verwertungsmöglichkeiten der Ausgleichsschüttung aus gebundenem Splitt können durch einen Einsatz einer Perliteschüttung massiv verbessert werden. Diese kann sortenrein abgesaugt und prinzipiell wiederverwendet werden.

³TEC-Tool 1.6; Excel-Tool zur Bewertung des DGNB Kriterium 1.6 aus dem Themenfeld „Technische Qualität“[81]

Der Fußbodenaufbau als schwimmender Estrich eignet sich nicht für einen schnellen, einfachen Rückbau. Lediglich die Trittschalldämmung aus EPS kann durch die lose Auflage schnell demontiert und weiterverarbeitet werden. Die größten Probleme ergeben sich durch die stoßverklebte Folie und den darüber liegenden Estrich mit der Beschichtung auf Zementbasis. Diese sind nur unter Zerstörung der Verbindungen und Baustoffe demontierbar und machen eine Wiederverwendung unmöglich. Die beste Bewertung erhält ein Stampflehmboden auf einer Trittschalldämmung aus Naturfaser. Naturfaserdämmplatten (z.B. Flachs, Hanf oder Typha) können wiederverwendet oder durch Verrottung einem verlustlosen Recyclingprozess zugeführt werden. Der Rückbauaufwand ist aufgrund der leichten Trennbarkeit der lose verlegten Platten sehr gering. Der Stampflehmboden kann ebenfalls sortenrein getrennt und nach einer technischen Aufbereitung der Bestandteile wiederverwendet werden. Am schlechtesten schneidet ein schwimmender Estrich mit vollflächig verklebten Folien, einer verdübelten und vollflächig verklebten Trittschalldämmung aus Kunststoff-Schaum (EPS,XPS,PUR) und einem verklebten Teppich oder Parkett als Oberboden ab.

Betrachtet man die ökologischen Optimierungspotentiale eines Fußbodenaufbaus, fällt auf, dass die Wahl des Estrichs den Primärenergieinhalt nur geringfügig beeinflusst. Die Trennlagen hingegen weisen ein großes Optimierungspotential auf. Besonders vorteilhaft sind Kunststofffolien aus Rezyklat, sie bewirken eine erneute Reduktion des Primärenergieinhalts von Estrich und Trittschalldämmung von etwa 20% im Verhältnis zu einer neu hergestellten PE-Folie. Bei der Wahl der Bodenbeläge sind das Material wie auch die Dauerhaftigkeit die wichtigsten Faktoren bei der Optimierung. Ein leimfreier Belag ist für den Rückbau, die Wiederverwendung und niedrige Umweltwirkungen vorzuziehen.

6.2.4.2 Erdanliegende Wand

Die untersuchte erdanliegende Wand ist ebenfalls als „Braune Wanne“ ausgeführt und erhält bei der Bewertung durch das BNB 7,25 Punkte und die Klasse 2 durch das Klassifizierungssystem. Die Abdichtung aus Bentonit wird lose verlegt und kann somit beim Rückbauprozess leicht getrennt werden. Die Verwertung ist aufgrund eines komplexen Aufbereitungsprozesses problematisch, aber möglich. Klasse 4 erzielt eine vollflächig verklebte Bitumenbahn mit Metalleinlage. Diese wird bei der Demontage zerstört und dadurch unbrauchbar für eine Weiterverwendung. Die XPS Wärmedämmung kann aufgrund der vollflächigen Verklebung nicht wiederverwendet oder für ein verlustloses Recycling auf gleicher Qualitätsstufe aufbereitet werden. Die Verschmutzung durch den Kleber oder andere Materialien ermöglicht keine Rückführung in den Stoffkreislauf, die Dämmung fällt als Abfall an und kann nicht zu neuem XPS-Schaum verarbeitet werden. Zum Vergleich ist eine Dämmung aus Glasschaumplatten die bestmögliche Umsetzung

in Bezug auf die Recyclingfähigkeit. Das Schaumglas kann wieder eingeschmolzen werden und, obwohl die Oberfläche aufgrund der mechanischen Empfindlichkeit Anstriche aus z.B. Asphalt benötigt, auch als verklebtes Material granuliert und für den Straßenbau verwendet werden.

6.2.4.3 Außenwand hinterlüftet – Paneelfassade

Die untersuchte Außenwand ist als hinterlüftete Fassade mit einem vorgehängten Fassadenpaneel ausgeführt und erhält eine sehr gute Bewertung von 8,50 Punkten durch das BNB und die Klasse 1-2 durch das Klassifizierungssystem.

Die Mineralwolle-Dämmung ist mit Dübeln befestigt und vollflächig verklebt. Eine Wiederverwendung ist möglich, sofern die Mineralwolle nicht vor 1996⁴ eingebaut wurde. Bessere Ergebnisse würden mit Naturfaserdämmmatten erzielt werden. Diese können zwischen die Konstruktion für die vorgehängte Fassade geklemmt und leicht demontiert und weiterverwendet werden. Als Klasse 4 schneidet eine verdübelte und vollflächig verklebte XPS oder EPS Wärmedämmung ab.

Die Winddichtung wird mit einem Vlies hergestellt und mit einem Klebeband auf der Unterkonstruktion befestigt. Durch den Einsatz eines auf die Lattung genagelten Windpapiers wird der Rückbau erschwert und somit eine schlechtere Bewertung erzielt.

Das vorgehängte Fassadenpaneel kann Klasse 1 zugeordnet werden, sofern die Unterkonstruktion und das Paneel aus Holz oder dem gleichen Metall hergestellt wurden, da aufgrund der Monomaterialität der Bestandteile die Demontagefähigkeit für eine Wiederverwendung nicht relevant ist. Zum Vergleich eignet sich eine Außenwandbekleidung aus Vormauerziegeln (mit Kalkmörtel vermörtelt) nicht für ein hochwertiges Recycling. Die Ziegel können aufgrund der anhaftenden Flächenverbindung durch den Mörtel nicht zerstörungsfrei gelöst werden und ermöglichen somit lediglich ein Downcycling in Form einer stofflichen Verwertung z.B. zu Schotter oder Splitt.

Bei der Betrachtung des gesamten Lebenszyklus einer opaken Fassade hängen die Umweltwirkungen maßgeblich von der Dämmqualität ab. Die Wärmeverluste übersteigen nach spätestens 50 Jahren die Herstellungsenergie, unabhängig wie aufwendig die Fassadenkonstruktion oder wie hoch die Dämmqualität ist. Nachwachsende Dämmstoffe schneiden ökobilanziell am besten ab. Eine Tragkonstruktion aus Holz, insbesondere in Form einer Holztafelkonstruktion, verursacht die geringsten Umweltwirkungen auf dem Gebiet der tragenden Bauteile. Zusätzliches Optimierungspotential zeigt sich bei der Ausführung der vorgehängten Fassade. Hier sind Konstruktionen aus Holz jenen aus Metall vorzuziehen.

⁴Bei Mineralwolle-Dämmstoffen, die vor 1996 eingebaut wurden, besteht der Verdacht, dass sie krebserregend wirken; zwischen 1996 und 2000 wurde die gesamte Produktion sukzessive auf Produkte, welche als unbedenklich gelten, umgestellt.

6.2.4.4 Innenwand Trockenbau

Bei der untersuchten Innenwand handelt es sich um eine Gipskartonwand mit Metallständerwerk aus Stahlblech und dazwischenliegender Dämmung aus Mineralwolle. Die Konstruktion erhält durch das BNB 6,50 Punkte und wird beim Klassifizierungssystem als Klasse 2 eingestuft.

Die Mineralwolle kann, wie zuvor besprochen, unter gewissen Bedingungen wiederverwendet werden. Das Metallständerwerk kann ebenfalls zurückgebaut und weiterverwendet werden. Probleme stellen jedoch die Gipskartonwände dar. Diese sind nur unter Zerstörung und mit auch anhaftenden Fremdstoffen rückbaubar und können somit nicht wiederverwendet werden. Lediglich reine Platten (meist nur aus Verschnitt und nicht beim Rückbau gewonnen) können in den Kreislauf zurückgeführt werden. Dabei muss der Gips vom Karton mechanisch getrennt und abgesaugt werden, um anschließend für die Herstellung neuer Gipskartonplatten einsetzbar zu sein.

Das bestmögliche Ergebnis in Bezug auf den Rückbau und die Wiederverwendung der Baustoffe erzielt eine massive Innenwand aus Stampflehm oder Lehmmauerwerk mit Lehmörtel und Lehmputz. Ein Lehmmauerwerk ist unbegrenzt wiederverwendbar und kann aufgrund der Monomaterialität verlustlos recycelt werden.

Eine Innenwand aus Ziegeln mit gipshaltigem Putz hingegen erhält die schlechteste Klassifizierung. Diese ist nur unter Zerstörung demontierbar und aufgrund des nicht monomateriellen Schichtenaufbaus nicht wiederverwendbar. Der Ziegelabfall aus dem Gebäudeabbruch ist in der Kategorie Bauschutt enthalten, wird als ziegelreicher Mauerwerkabbruch bezeichnet und kann nach einem aufwendigen Aufbereitungsprozess als Recyclingbaustoff z.B. für Trag- und Frostschutzschichten eingesetzt werden.

Die Betrachtung der gesamten Umwelteinwirkungen verschiedener Wandkonstruktionen zeigt, dass Leichtbauwände einen ca. 15-35% niedrigeren Primärenergieinhalt im Vergleich zu massiven Innenwänden besitzen. Aufgrund bestimmter Schallschutzanforderungen können sich auch Mischkonstruktionen anbieten. Bei Leichtbauwänden stellen dickere Innenwandteile, anstelle mehrlagiger Verkleidungen ein wichtiges Optimierungspotential dar. Dämmstoffe aus natürlichen Materialien wie auch entkoppelte Schalen bei einer Holzbauweise wirken sich positiv auf die Umweltwirkungen aus, letztere zusätzlich noch auf den Schallschutz.

6.2.4.5 Innendecke mit Fußbodenaufbau

Die Innendeckenkonstruktion besteht aus einer Stahlbetonplatte mit einer Ausgleichsschüttung aus gebundenem Splitt und einem schwimmenden Estrich als Fußbodenaufbau. Die Bewertung durch das BNB ergibt 5,75 Punkte, beim Klassifizierungssystem wird Klasse 2-3 erreicht.

Die Ausgleichsschüttung aus gebundenem Splitt erhält eine mittlere Klassifizierung. Der Rückbauaufwand und die Verwertungsmöglichkeiten können durch einen Einsatz einer Perliteschüttung massiv verbessert werden. Diese kann sortenrein abgesaugt und prinzipiell wiederverwendet werden. Am schlechtesten schneiden zementgebundene Schüttungen bei der Bewertung ab.

Die bestmögliche Bewertung kann durch einen Verzicht der unteren Deckenbekleidung, also einer Ausführung in Sichtbauweise, erzielt werden. Dies trägt zur Ressourcenschonung bei und beschleunigt den Rückbau. Ebenfalls eine ausgezeichnete Bewertung erzielen Streckmetall-Kassetten oder Paneele, welche aufgrund der Monomaterialität bei der Demontage und späteren Wiederverwendung keinerlei Probleme bereiten. Das schlechteste Ergebnis erzielt eine verspachtelte Gipskartondecke. Die Gipskartonplatten sind, wie schon zuvor erläutert, nur unter Zerstörung und mit auch anhaftenden Fremdstoffen rückbaubar und können somit nicht wiederverwendet werden. Es können lediglich reine Platten, meist nur aus dem Verschnitt, in den Kreislauf rückgeführt werden.

Für ein hochwertiges Recycling eignet sich ein schwimmender Estrich als Deckenbelag nicht. Lediglich die Trittschalldämmung aus EPS kann durch die lose Auflage schnell demontiert und weiterverarbeitet werden. Die größten Probleme verursachen die stoßverklebte Folie und der Estrich mit der Beschichtung auf Zementbasis. Diese sind nur unter Zerstörung der Verbindungen und Baustoffe demontierbar und machen eine Wiederverwendung unmöglich. Anzuraten wäre erneut ein Stampflehboden auf einer Trittschalldämmung aus Naturfaser. Die lose verlegten Platten können leicht gelöst und dem verlustlosen Recyclingprozess durch Wiederverwendung oder Verrottung zugeführt werden. Der Stampflehboden kann ebenfalls sortenrein getrennt und nach einer technischen Aufbereitung der Bestandteile wiederverwendet werden. Am schlechtesten schneidet ein schwimmender Estrich mit vollflächig verklebten Folien, einer verdübelten und vollflächig verklebten Trittschalldämmung aus Kunststoff-Schaum (EPS,XPS,PUR) und einem verklebten Teppich oder Parkett als Oberboden ab.

Eine Holzbalkendecke mit TSD aus Naturfaser, mit einer Perliteschüttung und bereits wiederverwendeter Holzdielen in Nut und Feder auf der Holzunterkonstruktion verschraubt, erzielt ebenfalls ein ausgezeichnetes Ergebnis mit einer Gesamtklassifizierung in Klasse 1. Eine sortenreine Trennung durch die lösbaren Verbindungen ist möglich und somit können sämtliche Bestandteile wiederverwendet werden.

Bei bauökologischen Betrachtungen können anstelle einer einfachen Flachdecke aus Beton durch mineralische Tragkonstruktionen, z.B. in Form einer Plattenbalkendecke oder Spannbetondecke aus ressourcenschonendem Hochofenzement, die Umwelteinwirkungen um bis zu 30% reduziert werden. Noch besser schneiden Holzkonstruktionen ab, welche sogar die Möglichkeit eines negativen Primärenergieinhaltes besitzen. Unterdecken weisen ebenso ökologische Optimierungspotentiale auf, empfehlenswert sind vor allem jene aus Holzwerkstoffen oder

Holzwoleplatten. Dieser ökologische Vorteil kann durch einen notwendigen Einsatz abgehängter Elemente aufgrund des Brandschutzes begrenzt werden.

6.2.4.6 Außendecke – Dachfläche Kies

Die untersuchte Außendecke ist als Warmdach mit einer Dachfläche aus Kies konzipiert. Die Konstruktion erhält 5,00 Punkte durch das BNB und wird in die Klasse 2-3 durch das Klassifizierungssystem eingestuft.

Die Dampfsperre bildet eine Bitumenbahn, welche auf dem Voranstrich vollflächig verklebt ist. Für den Rückbau ist diese Schicht sehr ungeeignet, die besten Ergebnisse erzielt man mit einer lose verlegten PE-Folie (s_d -Wert > 1500). Diese kann einfach abgezogen werden und, sofern es der Hersteller bestätigt, zu hoch- oder gleichwertigen Roh- oder Baustoffen verwertet werden. Die Dämmung aus Schaumglas erhält eine Bewertung der Klasse 2-3. Der Vorteil ist, dass das Schaumglas nach dem Rückbau wieder eingeschmolzen und auch als verklebtes Material granuliert und wiederverwendet werden kann. Lose verlegte Naturfaserdämmplatten eignen sich besser, unbrauchbar sind vollflächig verklebte und verdübelte XPS-Platten.

Die bituminöse Abdichtungsbahn ist aufgrund des Materialverbundes kaum von den Trägerlagen zu entfernen und eignet sich somit nicht für ein Recycling, da bereits ein Überschuss an reinerem Recyclingbitumen aus dem Straßenbau besteht. Anstelle dessen bietet sich eine verschweißte und lose verlegte Kunststoff-Abdichtungsbahn an. Diese kann erneut bei Vorhandensein einer Bestätigung durch den Hersteller wiederverwertet werden.

Der Dachbelag aus Kies auf einer Schutzschicht in Form eines Vlieses kann einfach zurückgebaut und erneut verwendet werden. Bei Verwendung einer Kunststoffbahn kann sogar die Schutzschicht entfallen. Eine schlechtere Klassifizierung erzielen Betonplatten auf Mörtelsäckchen, da diese einen erheblichen Rückbauaufwand besitzen.

Eine Gesamtklassifizierung der Klasse 1 erzielt auch ein geneigtes Holzdach mit einem Lehmfeinputz auf Lehmbauplatten, einem anschließenden Dampfbremspapier, Naturfaserdämmmaten (eingeklemmt zwischen den Dachsparren), einer Holzschalung und einer lose verlegten PE-Unterspannbahn mit darüber angebrachter Lattung. Diese Konstruktion ermöglicht nach Trennung und technischer Aufbereitung eine Wiederverwendung aller Konstruktionsteile.

Bei der Betrachtung der Umwelteinwirkungen würde ein auf einer Holzkonstruktion ausgeführtes Kaltdach am besten abschneiden. Die nicht erneuerbare Primärenergie könnte dadurch mindestens um ein Drittel gesenkt werden. Das Umkehrdach liefert im Vergleich zum Warmdach lediglich einen minimal höheren Primärenergieinhalt und erweist sich dafür in Bezug auf die Instandhaltung und den Rückbau als geeigneter. Der Wahl der Dämmung kommt größte Bedeutung zu, da sie Hauptquelle negativer Umweltwirkungen ist. Holzfaser- und Korkdämmplatten,

knapp gefolgt von EPS- und Mineralwollämmstoffen stellen in ökologischer Hinsicht optimale Materialien dar. Da bei der Dachabdichtung der Bitumengehalt eine entscheidende Rolle spielt, ist Kunststoffbahnen bei gleicher Leistung mit wesentlich geringerem Primärenergieinhalt stets der Vorzug zu geben. Die Befestigungsvariante des Dachbelages hingegen hat keinen großen Einfluss auf die Umweltwirkungen der gesamten Konstruktion. Durch den Einsatz von Klebstoffen ergeben sich Nachteile für die Instandhaltung und den Rückbau auf der einen Seite, primärenergetische Vorteile auf der anderen Seite.

6.2.5 Vor- und Nachteile der Bewertungssysteme

Bei der Analyse der Bauteilaufbauten zeigt sich, dass eine Bewertung durch die beiden Systeme zwar auf unterschiedliche Art und Weise erfolgt, jedoch zu einem ähnlichen Ergebnis führt. Die Bodenplatte und Dachkonstruktion werden am schlechtesten bewertet bzw. klassifiziert. Dies ist größtenteils auf die Komplexität der Aufbauten sowie mühsame Rückbauprozesse aufgrund des Einsatzes schlechter klassifizierter Fügeverfahren zurückzuführen. Die Paneelfassade erhält bei beiden Systemen die beste Klassifizierung. Ihre Vorteile liegen in der einfachen Rückbaubarkeit einzelner Elemente zum Austausch bei Beschädigung schon während des Lebenszyklusses und den optimalen Voraussetzungen für ein hochwertiges Materialrecycling durch die Möglichkeit einer sortenreinen Trennung der einzelnen Baustofffraktionen beim Rückbau.

Laut BNB erreicht das Gesamtgebäude einen Erfüllungsgrad von rund 59% für das Kriterium 4.1.4 „Rückbau, Trennung und Verwertung“. Dies entspricht einer Gebäudenote 2-3 sowie einem bronzenen Zertifikat. Die Klassifizierung des Gesamtgebäudes in Klasse 2 durch das in dieser Arbeit entwickelte System würde bei Umrechnung zum Vergleich einen Erfüllungsgrad von rund 63% erhalten.

Das BNB stellt eine ganzheitliche Nachhaltigkeitsbewertung für zukunftsfähige Gebäude dar. Dabei werden eine Vielzahl relevanter Kriterien einer lebenszyklusorientierten Beurteilung unterzogen. Diese Betrachtung erfolgt über den Zeitraum sämtlicher Phasen des Lebenszyklus, von der Planungs- bis zur Beseitigungsphase. Es werden ökologische, ökonomische, soziokulturelle und funktionale, technische und prozessuale Qualitäten gleichermaßen betrachtet. Zusätzlich findet noch gesondert eine Bewertung des Standortes statt, fließt jedoch nicht direkt in die Bewertung mit ein.

Die Vorteile des BNB liegen in der Möglichkeit einer Anwendung bei sämtlichen Gebäudetypen und einer weltweiten Vergleichbarkeit von Bauwerken. Es werden die wichtigsten Faktoren Energieverbrauch, Emissionen, Lebenszykluskosten, Funktionalität oder Gesundheit und Komfort berücksichtigt und bewertet. Der technische Aspekt wird gleichwertig mit in die Bewertung

aufgenommen. Die Zielsetzung ist es, Optimierungspotentiale bei der Errichtung nachhaltiger Gebäude aufzuzeigen. Dies führt zu einer Reduzierung der Lebenszykluskosten, einem Schutz der Umwelt und natürlichen Ressourcen sowie einer Verbesserung der Arbeits- und Lebensqualität. Durch den Erhalt einer Zertifizierung durch das BNB kann von einer effizienteren Nutzung der vorhandenen Ressourcen beim jeweiligen Gebäude ausgegangen werden. Das BNB zeichnet sich ebenso durch ein leicht anwendbares, gut strukturiertes Bewertungssystem aus, mit einer abgetrennten Bewertung der einzelnen Teilbereiche, um eine gesonderte Darstellung herausragender Qualitäten oder problematischer Umweltwirkungen zu ermöglichen.

Den vielen Vorteilen stehen auch einige Nachteile gegenüber. Diese beziehen sich auf das Zertifizierungssystem an sich, jedoch auch auf die äußeren Umstände und etwaigen Folgen. Als erstes muss bei der Gesamtplanung eines Bauvorhabens der Zeitaufwand für die Analyse durch das BNB berücksichtigt werden. Durch eine verpflichtende Zertifizierung sämtlicher Gebäude kann dies schon bei der Ausschreibung enthalten sein. Als nachteilig muss auch der Entwicklungsstand gesehen werden, da das System noch relativ neu ist und die Bewertungsinstrumente ausbaufähig sind. Einige Kriterien sind noch nicht formell freigegeben und der Umfang der enthaltenen Bauteilaufbauten verbesserungswürdig. Die Bewertung des Kriterium 4.1.4 „Rückbau, Trennung und Verwertung“ wird aus hochbaukonstruktiver Sicht mit viel zu geringem Ausmaß und unzureichender Tiefe behandelt. Es herrscht eine geringe Transparenz aufgrund einer Bewertung anhand lediglich dreier Kriterien für die Konstruktion als gesamte Einheit anstatt gesondert für jede einzelne Bauteilschicht.

Das in dieser Arbeit entwickelte Klassifizierungssystem für Rückbau- bzw. Fügetechniken von Baukonstruktionen stellt keine ganzheitliche Nachhaltigkeitsbewertung dar, sondern konzentriert sich auf den technischen Aspekt des Rückbaus, der Trennung von Bauteilschichten, Verwertung und Recycling der Materialien.

Die Vorteile dieses Systems liegen in der Anpassungsfähigkeit je nach Aufgabenstellung. Der technische Aspekt wird dabei aus hochbaukonstruktiver Sicht in einem umfassenderen Ausmaß behandelt. Die Bewertung erfolgt anhand einer Vielfalt von Kriterien und detaillierter für jede Bauteilschicht. So können Qualitäten einzelner Schichten eines Bauteils, aber auch problematische Bauteilverbindungen gesondert dargestellt werden. Durch eine Umsetzung der veranschaulichten Optimierungspotentiale kann man eine Reduktion des Abfalles und eine Erhöhung der Recyclingquote erzielen. Gleichzeitig dient es als Inspiration zur Findung innovativer Lösungen in der Füge- bzw. Rückbautechnik. Ein weiterer Vorteil liegt in der leichten Anwendbarkeit aufgrund eines strukturierten, transparenten und überschaubaren Bewertungsmodells.

Zu den Nachteilen zählt vor allem eine Einflussnahme des Nutzers auf das Ergebnis durch subjektive Empfindungen bei der Bewertung. Dies bezieht sich auf die Auswahl der Referenzfügetechniken und –rückbaumethoden bei der Klassifizierung der einzelnen Schichten. Im

Vergleich zum BNB ist mit einem höheren Aufwand für die Datenerhebung und Analyse aufgrund der Komplexität durch eine isolierte Bewertung jeder Bauteilschicht zu rechnen. Darüber hinaus könnte das Bewertungsinstrument noch erweitert werden um eine klare Zuteilung zu den Referenzszenarien zu ermöglichen und dadurch subjektive Empfindungen abzuschwächen. Eine Einbindung der möglichen Verwertungswege einzelner Baustoffe ist mit diesem System nicht möglich. Es können zwei unterschiedliche Baustoffe aufgrund der gleichen Einstufung bei Füge- und Rückbautechnik dieselbe Bewertung erhalten, jedoch aufgrund spezieller Stoffeigenschaften in Bezug auf die Recyclingfähigkeit variieren.

Die folgende Tabelle soll die Vor- und Nachteile beider Systeme gegenüberstellen.

Tabelle 6.20: Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile beider Systeme

	+	-
BNB	Anwendung bei allen Gebäudetypen Berücksichtigung aller gängigen Umweltstandards Einbindung der technischen Aspekte Schutz der Ressourcen Reduzierung der Lebenszykluskosten Verbesserung der Arbeits- und Lebensqualität leicht anwendbares, gut strukturiertes Bewertungssystem	Entwicklungsstand geringer Umfang an Bauteilaufbauten aus hochbaukonstruktiver Sicht in geringem Ausmaß behandelt geringe Transparenz, lediglich drei Kriterien keine gesonderte Bewertung der Bauteilschichten
Eigenes System	flexible Anpassungsfähigkeit aus hochbaukonstruktiver Sicht umfangreicher behandelt großer Umfang an Kriterien Bewertung einzelner Schichten Inspiration zur Findung innovativer Lösungen transparentes und überschaubares Bewertungsmodell	Einflussnahme des Nutzers durch subjektive Empfindungen höherer Aufwand Entwicklungsstand der Matrizen Nichtberücksichtigung der Verwertungsmöglichkeiten

6.3 Zusammenfassung

Im vorliegenden Kapitel wurde zunächst die Anwendung der Methodik ausführlich an zwei Bauteilen illustriert. Dabei handelte es sich einerseits um eine Außenwandkonstruktion mit WDVS, andererseits um einen Deckenaufbau mit schwimmendem Estrich. Durch die Anwendung der Klassifizierungsmatrizen auf die einzelnen Bauteilschichten konnte eine prinzipielle Eignung des entwickelten Systems bestätigt werden.

Danach wurde mit dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen BNB ein etabliertes System zur Nachhaltigkeitsbewertung von Bauwerken vorgestellt. Dieses baut auf dem sogenannten Drei-Säulen-Modell auf, mit den Nachhaltigkeitszielen nach Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft unterteilt. Diese werden durch die technischen und prozessualen Qualitäten ergänzt. Aus der Vielfalt der Kriterien ist für die vorliegende Arbeit das BNB-Kriterium 4.1.4 „Rückbau, Trennung und Verwertung“ aus dem Teilaspekt „Technische Qualität“ hervorzuheben.

Die Gegenüberstellung des entwickelten Systems mit dem aktuellen Stand des BNB-Kriterium „Rückbau, Trennung und Verwertung“ zeigte die unterschiedlichen Ansätze bei der Bewertung auf. Bezüglich der Auswahl der Kriterien und deren Bedeutung für das Gesamtziel herrscht jedoch trotzdem weitgehend Konsens. Der Lösungsansatz des BNB liegt in einer Analyse mit anschließender Bewertung des gesamten Bauteils als Einheit mit einem relativ geringen Bewertungsaufwand. Demgegenüber steht das entwickelte System mit einer unabhängigen Prüfung jeder Bauteilschicht und anschließender Aufsummierung zu einem Gesamtergebnis.

Anschließend wurden die zur Gegenüberstellung verwendeten Bauteilaufbauten bezüglich besonders relevanter Optimierungspotentiale untersucht. Insbesondere waren dies mögliche Umsetzungsalternativen zur Steigerung der Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit sowie Senkung der Umwelteinwirkungen.

Das entwickelte Klassifizierungssystem zeichnet sich als ein transparentes und überschaubares Bewertungsmodell zur Darstellung besonderer Qualitäten einzelner Bauteilschichten aus. Eine Erweiterung der Matrizen und dadurch auch Reduzierung der Einflussnahme des Nutzers durch subjektive Empfindungen muss jedoch ebenso wie eine Möglichkeit der Mitberücksichtigung der anschließenden Verwertungsmöglichkeiten der Baustoffe erfolgen.

Das BNB zeichnet sich hingegen als eine ganzheitliche Nachhaltigkeitsbetrachtung mit der Einbindung sämtlicher Aspekte aus und ist daher ein System, mit welchem eine abschließende Aussage der Umweltwirkungen und möglichen Optimierungspotentiale getroffen werden kann. Das mit dem entwickelten System verglichene Kriterium „Rückbau, Trennung und Verwertung“ sieht eine Bewertung anhand lediglich dreier Kriterien vor. Dieser Umstand und zusätzlich die Durchführung der Bewertung führen zu einer geringen Transparenz. Dadurch würde sich eine Weiterentwicklung durch einen Beitrag des entwickelten Systems durchaus anbieten.

7 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde eine Methodik entwickelt, welche eine Nachhaltigkeitsbewertung von Baukonstruktionen in Abhängigkeit der verwendeten Füge- bzw. Rückbautechniken ermöglicht.

Als Ausgangspunkt der Überlegungen dienten Literaturrecherchen zu den Themen Materialströme, Recycling und Abfälle im Bauwesen. Diese sollten mögliche Optimierungspotentiale offenlegen und relevante Einflussfaktoren aufzeigen. Anschließend wurden die Möglichkeiten des Gebäuderückbaus ausführlich dargestellt, wie sich die Problemstellung entwickelt hat und welche Lösungsansätze dadurch entstehen. Dabei richtete sich das Hauptaugenmerk auf den selektiven Rückbau mit den verschiedenen Demontagestufen.

In Kapitel 5 fand die Entwicklung des Klassifizierungssystems statt, mit der Auswahl der Bewertungsmethode sowie der Prüfung einer Vielfalt an Kriterien und ihrer Eignung für den Zweck dieser Arbeit. Die entstandenen Matrizen sollen einen Beitrag zur Beurteilung von Baukonstruktionen in Bezug auf die Recyclingfähigkeit liefern.

Zum Abschluss wurde die entwickelte Methodik durch eine Gegenüberstellung mit einem in der Praxis erprobten System evaluiert. Es erfolgte eine Bewertung unterschiedlicher Bauteile, eine Diskussion der differierenden Lösungsansätze und kritische Reflexion beider Systeme.

7.1 Materialströme und Recycling im Bauwesen

Die Bauwirtschaft zeichnet sich durch große Stoffströme aus. Der Input beträgt jährlich etwa 108 Mio. t an Baustoffen. Der überwiegende Teil besteht dabei aus mineralischen Baustoffen. Diese sind nicht reproduzierbar oder nachwachsend, können jedoch trotzdem wieder in Umlauf gebracht werden, da sie sich aufbereiten und wieder verwenden lassen.

Auf der Outputseite machen allein die Baurestmassen und der Bodenaushub gemeinsam rund 56% des gesamten Abfallaufkommens in Österreich aus. Betrachtet man die Abfälle im Bauwesen, fällt auf, dass der überwiegende Teil, nämlich mehr als 90%, aus dem Abbruch, dem Umbau und der Sanierung von Bauwerken stammt. Lediglich knappe 10% fallen durch den Neubau an. Der überwiegende Teil der Abfälle wird verwertet, jedoch werden noch immer rund 9% deponiert. Um eine hohe Qualität bei der Aufbereitung der Abfälle erzielen zu können, ist die exakte Trennung der einzelnen Stofffraktionen von entscheidender Bedeutung.

Die Verwendung von Sekundärrohstoffen aus dem Recyclingprozess erfüllt gleich in mehrfacher Hinsicht die Anforderungen an eine nachhaltige Entwicklung: einerseits die zeitliche Verlängerung der Verfügbarkeit von Primärrohstoffen und damit eine Schonung der Umwelt, andererseits eine massive Einsparung an Deponieraum. Bei der Realisierung der Baustoffkreisläufe können durch gezielt eingesetzte Techniken die Energieverbräuche gesenkt und dementsprechend auch Emissionen reduziert werden.

7.2 Rückbau von Gebäuden

Der Rückbau von Gebäuden gewinnt aufgrund der zunehmenden Anzahl unterschiedlicher Baustoffe immer mehr an Bedeutung. Es müssen vor allem selektive Vorgehensweisen eingesetzt werden, um sowohl die Qualität als auch die Sortenreinheit der gewonnenen Stoffströme beim Abbruch zu erhöhen. Der selektive Rückbau ist nicht nur aus gesetzlicher Sicht sondern auch für den Recyclingprozess heutzutage einem Abbruch vorzuziehen. Dieser beinhaltet die Demontage eines Gebäudes in Abhängigkeit der Konstruktion und baustofflichen Zusammensetzung mit einem Rückbau aller Bau-, Konstruktions- und Ausrüstungsteile entsprechend ihrer Funktion oder Materialzusammensetzung. Die Bauteile sowie die Abfallfraktionen können so sortenrein erfasst, verwertet und beseitigt werden. Die Verwertungsmöglichkeiten der Stoffströme werden verbessert, wenn die sorgfältige Getrennthaltung der Baustoffe und Abtrennung der Abfälle bereits während des Abbruchs sichergestellt wird.

Damit ein selektiver Rückbau erfolgen kann, muss eine umfassende Bestandsaufnahme der unterschiedlichen, im rückzubauenden Gebäude befindlichen Bau- und sonstigen Inhaltsstoffe (z.B. Schadstoffe) erfolgen. Hierbei müssen die verschiedenen getrennt rückzubauenden Materialien optimal erfasst werden. Die Ergebnisse der Bestandsaufnahme dienen der sorgfältigen Vorplanung des Ablaufs. Das gesamte Gebäude wird in umgekehrter Reihenfolge im Vergleich zum Neubau zurückgebaut, um eine konsequente Abtrennung sämtlicher unerwünschter Bestandteile zu gewährleisten. Willkomm[22] definiert vier Demontagestufen:

Demontagestufe 1: Ausbau direkt wiederverwendbarer Materialien entsprechend Qualität und technischem Standard, zum Beispiel Armaturen, Objekte, Einrichtungen, Heizkörper, Rohrleitungen.

Demontagestufe 2: Ausbau von Material, das nach Vorbehandlung weiterverwendet werden kann, zum Beispiel Fenster, Türen, Leitungen, Rohrregister, Elektromaterial, Kabelkanäle.

Demontagestufe 3: Ausbau von Stoffen, die durch Rückführung zur Grundsubstanz oder nach Zerkleinern und Zerfasern weiterverwendet werden, zum Beispiel Bodenbeläge, Dämmstoffe, Verkleidungen, Glas, Holz, Beschläge, Befestigungsmaterial.

Demontagestufe 4: Abbau der Dach- und Fassadenkonstruktion, zum Beispiel Kiesschüttung und bituminöses Dichtungs- und Dämmmaterial, Dachziegel und Dachstuhl sowie die Demontage von Brüstungs- und Fassadenelementen.

Damit der Gebäuderückbauprozess noch effizienter durchgeführt werden kann, sind Optimierungen bei der Materialwahl, Füge- bzw. Rückbautechnik notwendig. Das in weiterer Folge entwickelte Klassifizierungssystem soll dazu beitragen. Es stellt eine Methode zur Bewertung von Baukonstruktionen dar und basiert im Kern auf einer Nutzwertanalyse, angewendet auf einen Kriterienkatalog, welcher den Maßstab für die Kriterienbewertung und deren Gewichtung liefert.

7.3 Zusammenfassung – Klassifizierungssystem

In Kapitel 5 dieser Arbeit wurde anschließend das Klassifizierungssystem für Rückbau- bzw. Fügeverfahren entwickelt. Die Methodik beruht auf einer Nutzwertanalyse unterschiedlicher Kriterien, wobei deren Zielerfüllung nach technischen und ökonomischen Nutzen untersucht und bewertet wird. Dabei wurden verschiedene Kriterienkataloge aus fachliterarischen Werken und bestehenden Bewertungssystemen betrachtet und daraufhin verschlankt. Ausgewählt wurden nur jene, welche für den Zweck dieser Arbeit, nämlich ein hochwertiges Recycling zu ermöglichen, als relevant erachtet wurden. Es sei in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, dass andere Faktoren für eine ganzheitliche Nachhaltigkeitsbetrachtung ebenso bedeutend sind. Diese liegen jedoch jenseits des Anwendungsbereichs der vorliegenden Methode, die dazu dienen soll, Baukonstruktionen bezüglich ihrer Rückbaufreundlichkeit zu bewerten und zu optimieren. Die Gewichtung der Kriterien muss entsprechend den Präferenzen gewählt werden, andere etablierte Systeme dienen dabei als Ausgangspunkt der Überlegungen.

Die eigentliche Entwicklung der Methodik erfolgte im Anschluss durch die Aufstellung der Klassifizierungsmatrizen über eine Bewertung der gewichteten Kriterien. Das System ist auf sämtliche Bereiche eines Gebäudes anwendbar und kann auch, falls Datenlücken einer einfachen Anwendung entgegenstehen, adaptiert werden.

7.4 Gegenüberstellung – Eigenes System / BNB

Das Kapitel 6 veranschaulichte zunächst den Bewertungsablauf bei konkreten Beispielen und sollte damit die Adaptivität des Klassifizierungssystems bei unterschiedlichen Problemstellungen illustrieren.

Anschließend wurde das BNB als etabliertes System zur Bewertung der Nachhaltigkeit vorgestellt. Dieses beruht auf dem Drei-Säulen-Modell, mit den Nachhaltigkeitszielen, die in die Bereiche Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft unterteilt sind. Die technischen und prozessualen Qualitäten stehen ergänzend zur Seite. Für den Zweck der Arbeit wurde zur Gegenüberstellung das technische Kriterium „Rückbau, Trennung und Verwertung“ herangezogen.

Anhand einer Bewertung von Bauteilkonstruktionen aus unterschiedlichen Bereichen wurden die differierenden Lösungsansätze beider Systeme aufgezeigt. Liegt dieser beim BNB in einer Analyse mit anschließender Bewertung des gesamten Bauteils als Einheit, beurteilt die entwickelte Methodik hingegen einzelne Materialschichten unabhängig voneinander und summiert die Ergebnisse zu einer Gesamtklassifizierung auf. Weitgehend Konsens herrscht indessen bei der Auswahl der Kriterien und deren Wichtigkeit für das Gesamtziel.

Die Analyse der bewerteten Aufbauten sollte mögliche Optimierungspotentiale aufdecken, insbesondere mögliche Ausführungsalternativen bestimmter Schichten zur Steigerung der Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit. Es müssen die für den jeweiligen Zweck verbundenen Präferenzen betrachtet werden, um entscheiden zu können, welcher Variante letztendlich der Vorzug zu geben ist. Um eine endgültige Entscheidung treffen zu können, sollten ganzheitliche Nachhaltigkeitsbetrachtungen durchgeführt werden. Dass man in der Realität oft auf die herkömmlichen Bauweisen trifft, ist dadurch zu erklären, dass entweder die technisch gleichwertige Nutzung sonst nicht gegeben ist oder derartig langfristige generationsübergreifende Überlegungen nicht so stark berücksichtigt werden.

Das entwickelte Klassifizierungssystem zeichnet sich als ein transparentes und überschaubares Bewertungsmodell mit einer Darstellung besonderer Qualitäten einzelner Bauteilschichten aus. Eine Erweiterung der Matrizen und dadurch auch Reduzierung der Einflussnahme des Nutzers durch subjektive Empfindungen sollte erfolgen. Die nicht vorhandene Möglichkeit einer Mitberücksichtigung der anschließenden Verwertungsmöglichkeiten der Baustoffe ist ebenfalls als Nachteil anzusehen.

Im Vergleich dazu zeichnet sich das BNB durch eine Einbindung aller Aspekte als eine ganzheitliche Nachhaltigkeitsbetrachtung aus und erlaubt somit eine abschließende Aussage zu den vorhandenen Optimierungspotentialen eines Gebäudes. Das Kriterium „Rückbau, Trennung und Verwertung“ verfügt jedoch aufgrund der Bewertung anhand lediglich dreier Kriterien über eine geringe Transparenz. Die Bewertung erfolgt für das gesamte Bauteil als Einheit, wobei trotzdem die einzelnen Materialien gesondert betrachtet werden müssen. Eine Darstellung der einzelnen Schichten wäre wünschenswert, um die Potentiale des Bauteils deutlicher zu veranschaulichen.

8 Ausblick

Aus einer abschließenden Betrachtung ergaben sich Schlussfolgerungen zum künftigen Forschungs- und Handlungsbedarf, welche auf der einen Seite die entwickelte Methodik betreffen, auf der anderen Seite generelle Aspekte behandeln. Eine Unterteilung wurde somit zum besseren Verständnis nach Perspektiven des Bewertungsmodells und weiterführendem Entwicklungsbedarf in Bezug auf die Bauproduktauswahl und Konstruktionsoptimierung vorgenommen. Der weitere Forschungsbedarf der jeweiligen Themengebiete wurde durch die im Zuge der Bearbeitung aufgetretenen Fragestellungen abgeleitet.

8.1 Bewertungsmodell

Das entwickelte Bewertungssystem soll als Entscheidungshilfe für den Planer und Systemhersteller sowie als mögliche Ergänzung für bereits bestehende Zertifizierungssysteme angesehen werden. Es kann sowohl im Neubau als auch bei Sanierungsvorhaben eingesetzt werden, z.B. zur vergleichenden Variantenuntersuchung. Die Flexibilität ist ein weiterer Vorteil, die Gewichtung könnte individuell variiert werden, je nachdem welche Aspekte für das Gesamtziel hervorzuheben sind. Die der Bewertung zu Grunde gelegte Gewichtung sollte in weiterer Folge durch eine zusätzliche vergleichende Evaluierung an einer Vielzahl gleichartiger Gebäude überprüft werden.

Für eine vollständige Zertifizierung durch ein ganzheitliches Bewertungssystem ist der Aufwand sehr hoch, dieser muss deshalb durch einen höheren Nutzerkomfort sowie niedrigere Betriebs- und Instandhaltungskosten ausgeglichen werden können. Es sei zusätzlich erwähnt, dass sich der Aufwand für eine Bewertung derzeit nur bei größeren Gebäuden lohnt.

8.2 Weiterer Entwicklungs- und Handlungsbedarf

8.2.1 Lebenszyklusorientierte Bauproduktauswahl

Ein bislang oft vernachlässigtes Thema ist die lebenszyklusorientierte Auswahl bei der Kombination und Verbindungstechnik von Bauprodukten, Bauteilschichten und Bauteilen. Unterschiedliche Lebens- und Nutzungsdauer von z.B. Teilen des Ausbaus und des Rohbaus müssen in der

Planung verstärkt beachtet werden. So sollte die Lebensdauer der eingesetzten Baustoffe an die voraussichtliche Nutzungsdauer angepasst werden. Besonders kritische Folgen könnten ansonsten bei mehrschichtigen Bauteilen auftreten, da sowohl der Instandhaltungsaufwand als auch die Kreislauffähigkeit massiv beeinträchtigt wären. Als Fernziel sollte die Möglichkeit einer Integration eines umfassenden Wartungs- und Instandhaltungskonzeptes beim Planungsprozess bestehen, welches sämtliche Ablaufdaten für die einzelnen Komponenten eines Gebäudes beinhaltet. Dies erfordert jedoch noch umfassende Forschungsarbeiten, um die Qualität und Verfügbarkeit der Daten zum Thema Lebensdauer von Bauprodukten unter definierten Einsatzbedingungen zu verbessern. Diese steckt noch am Beginn einer im Detail nicht einschätzbaren Entwicklung und lässt so eine exakte Durchführung von wirklich aussagekräftigen Lebenszyklusbewertungen noch nicht zu. Diese Überlegungen zeigen, dass von der Baustoffindustrie vermehrt geschlossene Bausysteme anstelle einzelner Bauprodukte angeboten werden sollten, um nachhaltige Gebäude wirklich realisieren zu können.

8.2.2 Konstruktionsoptimierung

Die Planung der Rückbaustufen eines Gebäudes sollte auf die Lebensdauer der Bauteile bezogen erfolgen. Die Lebensdauerstatistiken stellen jedoch immer nur Durchschnittswerte dar und können stark variieren, insbesondere da die Qualität der Daten noch nicht optimiert ist. Eine Reduzierung des Stoff- und Energieeinsatzes durch sparsame Konstruktionen könnte der ungewissen Größe „Lebensdauer von Baustoffen“ entgegenwirken. Das Herstellen von lösbaren Verbindungen würde ebenfalls einen positiven Effekt haben, denn laut Untersuchungen hat die Art der Verbindungsmittel einen sehr großen Einfluss auf den Rückbau und das anschließende Recycling. Die Rückbaumethoden müssen sich stark an den verwendeten Verbindungen orientieren.

Um klassische Methoden ablösen zu können, besteht für die Zukunft ein großer Forschungsbedarf zur Findung alternativer Produkte, welche sich beim Rückbau noch leichter und schneller lösen lassen, ohne eine zerstörende Wirkung auf die zu trennenden Materialien auszuüben. Die Vorteile dieser neuen Verbindungen müssen in der schnellen Montage, vergleichsweise hohen Belastbarkeit, schadlosen Demontage und zerstörungsfreier Wirkung auf die zu trennenden Bauteile liegen.

Forschungsbedarf besteht auch in der Verfahrensfindung zur Bestimmung konstruktionsbedingter Mehrkosten wie Instandhaltungskosten oder erhöhter Abbruchkosten, da diese noch nicht exakt erfasst werden können.

Literaturverzeichnis

- [1] Österreichische Bautechnik Vereinigung: Verwendung von Tunnelausbruch. Wien, 2015
- [2] Markova, S.; Rechberger, H.: Entwicklung eines Konzepts zur Förderung der Kreislaufwirtschaft im Bauwesen: Materieller Gebäudepass und Design for Recycling für das Bauwesen. TU Wien, 2011
- [3] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Optimierung des Rückbaus/Abbruchs von Gebäuden zur Rückgewinnung und Aufbereitung von Baustoffen unter Schadstoffentfrachtung (insbes. Sulfat) des RC-Materials. 2013
- [4] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Umweltbundesamt GmbH: Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2011 - Teil 1. 2011
- [5] Maydl, P.: Baustofflehre VA Vorlesung. TU Graz, 2007
- [6] Cresnik, G.: Die Substituierung mineralischer Rohstoffe durch Baurestmassen. Diplomarbeit, TU Graz, 2006.
- [7] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Umweltbundesamt GmbH: Deponieverordnung. 2008
- [8] Umweltbundesamt GmbH: Zulässige Abfallarten auf Bodenaushubdeponien, <http://www.umweltbundesamt.at>, 22.07.2015
- [9] Bundesamt für Umwelt BAFU: Deponierung, <http://www.bafu.admin.ch>, 22.07.2015
- [10] K+S Entsorgung: Untertage-Deponie, <http://www.ks-entsorgung.com>, 15.08.2015
- [11] Forschungsinitiative Nachhaltigkeit Massiv: Kreislaufwirtschaft, <http://www.nachhaltigkeit-massiv.at>, 15.08.2015
- [12] Maydl, J.: Zum Einfluss der konstruktiven Durchbildung auf die Nachhaltigkeitsbewertung von Hochbauten. Dissertation, TU Graz, 2013
- [13] Henzelmann, T.; Büchele, R.; Engel, M.: Nachhaltigkeit im Immobilienmanagement. München, 2010

- [14] Maydl, P. et al.: Nachhaltiger Massivbau. TU Graz, 2005
- [15] Amt für Abfall- und Stoffflusswirtschaft der Steiermärkischen Landesregierung: Das Instrument der Stoffflussanalyse, <http://www.steiermark.at>, 02.09.2015
- [16] Pohl, S.: Analyse der Rechenverfahren für die Ökobilanzierung im Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude (BNB). Stuttgart, 2014
- [17] Roth, C.: Lebenszyklusanalyse von Baukonstruktionen unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten. Dissertation, Darmstadt, 2011
- [18] König, H. et al.: Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung. Detail Green Books, München, 2009
- [19] Umweltbundesamt GmbH: Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft, BGBl. I Nr. 102. 2002
- [20] Erkenntnis des VwGH, Zl. 2009/07/0208 vom 26.05.2011 bezüglich des Abfallendes von Recyclingbaustoffen
- [21] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Umweltbundesamt GmbH: Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2011 - Teil 2. 2011
- [22] Willkomm, W.: Recyclinggerechtes Konstruieren im Hochbau. RKW-Verlag, Eschborn, 1996
- [23] Jung, W.: Rückbauleitfaden. Staatliches Umweltamt Hagen, 2005
- [24] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung und Bundesministerium der Verteidigung: Arbeitshilfen Recycling. Berlin/Bonn, 2008
- [25] Krey, F.: Selektiver Abbruch - Beispiele aus der Praxis. Potsdam, 2008
- [26] Albrecht, R.: Moderner Abbruch. Wiesbaden und Berlin: Bauverlag GmbH, 1981
- [27] Lippok, J.; Korth, D.: Abbrucharbeiten. Deutscher Abbruchverband, Köln, 2007
- [28] Toppel, C.O.: Technische und ökonomische Bewertung verschiedener Abbruchverfahren im Industriebau. Dissertation, TU Darmstadt, 2003
- [29] Osebold, R.: Abbruch von Massivbauwerken. Köln, 1981

- [30] Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM B 2251 - Abbrucharbeiten-Werkvertragsnorm. 2006
- [31] Eibl, J.; Walther, H.J.: Umweltgerechter Rückbau. Beuth Verlag GmbH Berlin, 1996
- [32] Werner, W.: Das bisschen Abbruch? - Von der Spitzhacke zur Spitzentechnologie. Verband der Baumaschinen-Ingenieure und - Meister, 2010
- [33] Silbe, K.: Wirtschaftlichkeit kontrollierter Rückbauarbeiten. Dissertation, TU Darmstadt, 1999
- [34] Walker, I.; Tränkler, J.: Untersuchungen zur künftigen Verwertbarkeit von Bauschutt. Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen, 1993
- [35] Mettke, A. et al.: Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf. Cottbus, 2008
- [36] Premm, P.: Abbruch-, Recycling-, Deponierungsprozess und Kosten. Diplomarbeit, FH JOANNEUM, 2012
- [37] Clement, D.: Konzept zur nachhaltigen Nutzung von Baurestmassen basierend auf der thematischen Strategie für Abfallvermeidung und Abfallrecycling der EU. Ressourcen Management Agentur (RMA), Wien, 2010
- [38] Martens, H.: Recyclingtechnik – Fachbuch für Lehre und Praxis. Springer-Verlag GmbH, Berlin, 2011
- [39] Schubert, G.: Zerkleinerungstechnik für nichtspröde Abfälle und Schrotte, Aufbereitungstechnik. Leipzig, 2002
- [40] Graubner, C.A.; Hüske K.: Nachhaltigkeit im Bauwesen. Ernst & Sohn Verlag GmbH, Berlin, 2003
- [41] Schubert, H.: Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe, Bd. I: Zerkleinern, Klassieren. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 2002
- [42] Gewiese, A. et al.: Recycling von Baureststoffen. 1994
- [43] Bilitewski, B.; Härdtle, G.; Marek, K.: Abfallwirtschaft. Springer-Verlag GmbH, Berlin, 2000

- [44] Brenner, V.: Recyclinggerechtes Konstruieren – Konzepte für eine abfallfreie Konstruktionsweise im Bauwesen. Diplomarbeit, Universität Stuttgart, 2010
- [45] DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., DIN 8580: Fertigungsverfahren - Begriffe, Einteilung. Berlin: Beuth-Verlag
- [46] DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., DIN 8593: Fügen. Berlin: Beuth-Verlag
- [47] Matthes, K.J.; Riedel, F.: Fügetechnik. Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 2003
- [48] Matthes, K.J.; Richter, E.: Schweißtechnik – Schweißen von metallischen Konstruktionswerkstoffen. Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 2006
- [49] Jäger, W. et al.: Entwicklung der Grundprinzipien für voll rezyklierbare, modulare, massive Bauweisen in Breitenanwendung auf 0-Energiebasis. TU Dresden, 2013
- [50] Brand, S.: How Buildings Learn. New York: Viking Penguin, 1994
- [51] Wittke, K.: Stoffschlüssige Fügeverbindungen – Vorschlag zur Klassifikation. TU Chemnitz, 1992
- [52] Moro, J.L.: Baukonstruktion, vom Prinzip zum Detail – Band 3 Umsetzung. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009
- [53] Verein Deutscher Ingenieure: VDI 2232 - Methodische Auswahl fester Verbindungen - Systematik, Konstruktionskataloge, Arbeitshilfen. Beuth-Verlag, Berlin, 2004
- [54] Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 10230-1: Nägel aus Stahldraht - Teil 1: Lose Nägel für allgemeine Verwendungszwecke. 2000
- [55] Spektrum: Kerbwirkung, <http://www.spektrum.de>, 15.08.2015
- [56] Gries, T.; Klopp, K.: Füge- und Oberflächentechnologien für Textilien - Verfahren und Anwendungen. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007
- [57] Petroski, H.: Messer, Gabel, Reißverschluß: die Evolution der Gebrauchsgegenstände. Birkhäuser Basel, 1994
- [58] Kalweit, A.: Handbuch für technisches Produktdesign – Material und Fertigung. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012

- [59] Examio GmbH: Klemmverbindungen, <http://www.ingenieurkurse.de>, 28.09.2015
- [60] Biokon: Der Klettverschluss als Klassiker der Bionik, <http://www.biokon.de>, 04.10.2015
- [61] DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., DIN EN 16732: Reißverschlüsse - Spezifikation. Berlin: Beuth-Verlag
- [62] Steinbauer, J.: Nochmal Besser: Aufwertung durch Umnutzung - Zweckentfremdung und Möbeldesign. Diplomarbeit, TU Wien, 2006
- [63] Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union: Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien vom 19. November 2008
- [64] Landesregierung Niederösterreich: Baurestmassendeponie, <http://www.deponiebar.at>, 26.10.2015
- [65] Wirtschaftskammer Österreich WKO: Baurestmassentrennung auf der Baustelle. Wien, 2006
- [66] Wirtschaftskammer Österreich WKO: Bodenaushub und Baurestmassen, Wien, 2011
- [67] Ossberger, M.: Geschichte der Abfallwirtschaft in Österreich. Diplomarbeit, TU Wien, 1997
- [68] Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich: Recycling-Baustoffverordnung. BGBl. II Nr. 181/2015
- [69] Rentz, O.; Schultmann, F.; Ruch, M.; Sindt, V.: Demontage und Recycling von Gebäuden, Entwicklung von Demontage- und Verwertungskonzepten unter besonderer Berücksichtigung der Umweltverträglichkeit. Landsberg, 1997
- [70] Bundesminister für Umwelt, Jugend und Familie: Verordnung über die Trennung von bei Bautätigkeiten anfallenden Materialien BGBl. Nr. 259/1991
- [71] Firmengruppe Bergler: Entsorgung, <http://www.bergler.de>, 09.11.2015
- [72] Bundesgesetzblatt für die Republik Deutschland: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG)
- [73] Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM B 3151 - Rückbau von Bauwerken als Standardabbruchmethode. 2014

- [74] Verein - Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung e. V.: Publikationen, <http://www.abw-recycling.de>, 29.11.2015
- [75] Schneider, U.: recyclingfähig konstruieren. Haus der Zukunft, Wien, 2011
- [76] Albrecht, W.; Schwitalla C.: Rückbau, Recycling und Verwertung von WDVS. Valley, 2014
- [77] Beitz, W.; Vogel, T.; Käufer, H.: Verfahren zum lösbaren Verbinden von Kunststoffteilen mit Metallteilen mittels einer durch Klebung hergestellten formschlüssigen Schnappverbindung. Berlin, 1988
- [78] Zementestriche, <http://www.mikeska.de>, 15.11.2016
- [79] Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen, <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de>, 05.12.2016
- [80] DIN-Deutsches Institut für Normung e.V., DIN 8593-8: Fertigungsverfahren Fügen - Kleben. Berlin: Beuth-Verlag
- [81] DGNB: TEC-Tool 1.6, Excel-Tool zur Bewertung des DGNB Kriterium 1.6. Stuttgart
- [82] El khouli, S.; John, V.; Zeumer, M.: Nachhaltig konstruieren. Freiburg, 2014
- [83] Glücklich, D.: Ökologisches Bauen - Von Grundlagen zu Gesamtkonzepten. München: Deutsche Verlags-Anstalt, 2005

A Anhang - 1

Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Büro- und Verwaltungsgebäude

BNB_BN
4.1.4

Hauptkriteriengruppe	Technische Qualität
Kriteriengruppe	Technische Ausführung
Kriterium	Rückbau, Trennung und Verwertung

Relevanz und Zielsetzungen

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) fordert für den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes die

- Schonung der natürlichen Ressourcen
- Vermeidung von Abfällen
- ordnungsgemäße und schadlose Verwertung unvermeidbarer Abfälle
- gemeinwohlverträgliche Beseitigung nicht verwertbarer Abfälle

Ziele sind die Einsparung von Deponieraum, Rohstoffen und Produktionsenergie.

Beschreibung

Dieses BNB-Kriterium bezieht sich auf die Baukonstruktion (KG 300). Die haustechnischen Anlagen (KG 400) werden in diesem Kriterium zunächst nicht bewertet. Da gemäß der RBBau vor der Entscheidung zum Neubau zu prüfen ist, ob bestehende Bausubstanz zur Erfüllung eines vorgegebenen Raumbedarfs genutzt werden kann, ist diese Abwägung nicht Bestandteil dieser Betrachtung

Für die Bewertung wirken sich günstig aus:

- die Verwendung von recyclingfähigen Baustoffen und Bauteilen
- der Einsatz abfallarmer Konstruktionen, die die Möglichkeit eines sortenreinen Rückbaus erlauben

Durch die Überprüfung von mindestens 80 % der Masse der baulichen Substanz gemäß oben genannten Forderungen soll eine hohe Aussagekraft erzielt werden.

Die folgenden, in den Arbeitshilfen Recycling des Bundesbauministeriums geforderten, Maßnahmen bewertet das BNB an anderer Stelle:

- die Wiederverwendung von Bauteilen und Einbauten sowie die Verwendung von Recycling-Baustoffen (Ökobilanz, Kriterien 1.1.1 bis 1.1.5)
- Konzepte für das Abfallaufkommen bzw. für die Wertstoffverwendung aus Nutzung, zukünftigen Modernisierungen und Nutzungsende (Kriterium 5.1.3)
- die Abfallvermeidung bei der Bauausführung (Kriterium 5.2.1)

Quantitative Bewertung

Methode

Bauelementekatalog

Für die Beurteilung der Rückbau- und Recyclingfähigkeit des Gebäudes sind alle Bauteile und ihre Flächen- bzw. Massenanteile anhand einer vom BBSR zur Verfügung gestellten Excel-basierten Arbeitshilfe mit integriertem Bauelementekatalog zu erfassen. Die Elemente dieses Kataloges erfassen die wesentlichen Schichten und Schichtdicken eines Bauteils (min. 80 % der Masse) und werden im Bezug auf Rückbaufähigkeit, Sortenreinheit und Verwertbarkeit bewertet.

Ermittlung der Bewertungspunkte

Für jedes Element des Bauteilkataloges wird aus den Bewertungspunkten für Rückbau, Sortenreinheit und Verwertung im Verhältnis 3: 3: 4 der bauteilbezogene Recyclingfaktor R gebildet:

$$(R = 0,30 \cdot P_{\text{Rückbau}} + 0,30 \cdot P_{\text{Sortenreinheit}} + 0,40 \cdot P_{\text{Verwertung}})$$

Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Büro- und Verwaltungsgebäude

BNB_BN
4.1.4

Hauptkriteriengruppe	Technische Qualität
Kriteriengruppe	Technische Ausführung
Kriterium	Rückbau, Trennung und Verwertung

Methode

Mit dem bauteilbezogenen Recyclingfaktor wird ein gebäudeunabhängiger Vergleich unterschiedlicher Konstruktionen ermöglicht. Das Produkt aus R und dem Anteil des Bauelements am gesamten Gebäude ergibt die Punktzahl für jedes Bauelement. Die Summe der Punktzahlen für alle Bauelemente ergibt die Bewertungspunkte für das Gesamtgebäude und stellt das Ergebnis des BNB-Kriteriums 4.1.4 dar.

Die Gewichtung kann grundsätzlich für einzelne Materialien oder auf Ebene der Bauteile erfolgen.

Falls erforderlich, kann im Bauteilkatalog durch den Bewerter ein neues Element angelegt und mit einem entsprechenden Bewertungsvorschlag versehen werden. Orientierung bieten dabei die vorhandenen Elemente des Bauteilkataloges. Neu angelegte Elemente werden grundsätzlich durch die zuständige Konformitätsprüfungsstelle überprüft.

Erfassung der Bauelemente

Die Ermittlung der Bauteilflächen erfolgt mit Hilfe der Planunterlagen für das Baugenehmigungsverfahren und des Nachweises gemäß EnEV. Ziel dabei ist eine sinnvolle Zusammenfassung gleichartiger Bauteile. Stützen sind wie kurze, tragende Wandstücke zu erfassen. Die entsprechende Fläche ist durch Addition der Ansichtsflächen der Stützen zu ermitteln, die Schichtdicken ergeben sich aus den Dicken der Stützen. Für Rundstützen ist sinngemäß zu verfahren. Die Schichtdicken bei sich durchdringenden Schichten sind anteilig einzutragen (z. B. bei Dämmung zwischen Sparren).

Rückbaufähigkeit

Beschreibt den Aufwand, der für Demontage oder Abbruch eines Bauteils aus dem Gebäudeverband nötig ist. Betrachtet werden hier z. B. der Aufwand aus:

- Verbund des Bauteils im Bauwerk mit der Umgebung (z. B. Stahlbetonaußenwand als Keller- oder Hochbauteil)
- Art der Gebäudekonstruktion (Ortbauweise – Fertigbauweise)
- Verbund des Bauteils oder der Bauteilschicht mit angrenzenden Bauteilen oder Bauteilschichten

Sortenreinheit

Beschreibt den Aufwand, der für die sortenreine Trennung mehrschichtiger und / oder inhomogener Bauteile anfällt. Unterschieden werden Gebäude und deren Bauteile, die nach dem Rückbau folgende Bauabfallfraktionen verursachen:

- Bauteile, bei denen hersteller- oder brancheneigene Rückführungssysteme für Baustellenabfälle vorhanden sind. (z. B. PVC- Fenster, Metalle usw.)
- Mineralischer Bauschutt, der überwiegend aus Betonbruch besteht
- Mineralischer Bauschutt, der aus Beton und zu geringen Anteilen aus Ziegel und / oder Kalksandstein besteht
- Mineralischer Bauschutt, der aus Beton und zu erheblichen Anteilen aus Ziegel und / oder Kalksandstein besteht
- Mineralischer Bauschutt, der zu überwiegenden Teilen aus Porenbeton besteht
- Mineralischer Bauschutt, der mit gipshaltigen Störstoffen verunreinigt ist
- separat abgetrennte Gipsfraktionen
- Schaumdämmstoffe, Kunststoffe
- Faserdämmstoffe
- Holzfraktionen
- Glasfraktionen

Hauptkriteriengruppe	Technische Qualität
Kriteriengruppe	Technische Ausführung
Kriterium	Rückbau, Trennung und Verwertung

Methode**Verwertbarkeit**

Für die Bewertung der Verwertbarkeit der Baustofffraktionen gelten die zur Zeit der Bewertung am Markt aktuell verfügbaren technischen Verfahren. Alternativ können bei Bauteilen mit langer zu erwartender Nutzungsdauer Forschungsvorhaben, die praktikable Lösungsmöglichkeiten in absehbarer Zeit zur Verfügung stellen können, positiv bewertet werden. Prinzipiell gilt darüber hinaus folgende Reihenfolge für die Qualität des Recyclings:

- Hochwertige Verwertung. Der Baustoff bleibt im selben Produktzyklus
- Minderwertige Verwertung. Der Baustoff wird für untergeordnete Produkte eingesetzt
- Thermische Verwertung
- Deponierung

Bauprodukte für heutige Neubauten müssen so beschaffen sein, dass beim Abriss keine gefährlichen Abfälle anfallen.

Zur Aufwertung führen tendenziell

- Einfache Rückbaubarkeit
- Hohe Sortenreinheit, z. B. durch den Einsatz homogener Baustoffe und leicht trennbarer Bauteilschichten
- Eine gute Wiederverwertbarkeit der Ausgangsmaterialien
- Vorhandene Rücknahme- und Recyclingsysteme der Produkthersteller
- Detaillierte Recyclingkonzepte für Rückbauaufwand, Gewährleistung der Sortenreinheit und die Wiederverwertbarkeit der Gebäudeteile

Zu Abwertung führen tendenziell

- Verunreinigung von Fraktionen des Bauschutts oder Bauabfalls durch anhaftende oder beigemengte potenzielle Störstoffe, welche die Wiederverwertung erschweren
- Schwer zu trennende Verbundkonstruktionen ohne Recyclingkonzept
- Heterogene Baukonstruktionen ohne Recyclingkonzept

**Direkt in Bezug
genommene
Regelwerke**

keine Angaben

Weitere Regelwerke

- Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (KrWG) vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), zuletzt geändert 22. Mai 2013 (BGBl. I S.1324),
<http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/krwg/gesamt.pdf>Richtlinie des Rates zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Bauprodukte (89/106/EWG) vom 29. September 2003
- Technische Regeln für Gefahrstoffe, Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Dezember 2006,
www.baua.de/clin_137/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS.html
- Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung - GefStoffV),
www.baua.de/nn_12292/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Rechtstexte/pdf/Gefahrstoffverordnung.pdf
- Revision EG-Abfallrahmenrichtlinie (EG-AbfRRL)
www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do

Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Büro- und Verwaltungsgebäude

BNB_BN
4.1.4

Hauptkriteriengruppe	Technische Qualität
Kriteriengruppe	Technische Ausführung
Kriterium	Rückbau, Trennung und Verwertung

Fachinformationen / Anwendungshilfen

- Arbeitshilfen Recycling des Bundesbauministeriums (www.arbeitshilfen-recycling.de/index0.html)
- Das BBSR stellt als Arbeitshilfe eine Excel-Datei zur Datenerfassung und Bewertung zur Verfügung. Die Datei mit den erfassten Daten ist der Dokumentation beizufügen. Alternativ kann – in Abstimmung mit der zuständigen Konformitätsprüfungsstelle – die Nachweisführung auch mit dem vom BBSR bereitgestellten Berechnungswerkzeug „eLCA“ erfolgen.

Erforderliche Unterlagen

- Nachweis der Hüllfläche gemäß EnEV sowie der nicht thermisch konditionierten Hüllfläche
- Nachweis der Grundflächen durch Pläne und Flächenaufstellung
- Nachweis der Konstruktion mittels Baubeschreibungen, Ausschreibungstexten, Dokumentationen
- Erfassung aller wesentlichen Bauteile mittels bereitgestellter Excel-Datei

Hinweise zur Nachweisführung

Die Grundsätze für die Bewertung der Bauelemente werden im Folgenden erläutert:

Gründung

Gründungen von Bauwerken werden überwiegend aus dem Baustoffen Beton oder Stahlbeton hergestellt. Für den Rückbauaufwand ist in erster Linie die Verzahnung mit dem Baugrund maßgeblich. Je tiefer das Fundament in den Baugrund eingreift, desto aufwendiger ist der Rückbau.

Keller-Außenwände

Kellerkonstruktionen bestehen im Verwaltungsbau überwiegend aus Beton oder Stahlbeton. Unterschieden werden:

- Konstruktionen ohne Anforderungen an die Wasserundurchlässigkeit
- wasserundurchlässige Konstruktionen (WU-Beton) und
- wasserdichte Konstruktionen mit Bitumenbahnenabdichtung, Kunststoffbahnenabdichtung oder Dickbitumenabdichtung.

Bei beheizten Kellern gibt es in der Regel eine weitere zu berücksichtigende Stoffkomponente in Form einer mit Tragschicht und Abdichtung verklebten Perimeterdämmung.

Außenwände

werden unterschieden in:

- Systemfassaden, die als Fertigteilmodul vorgehängt werden
- Lochfassaden, die aus mehreren Funktionsschichten bestehen

Lochfassaden werden zusätzlich ausgehend vom Baustoff der Tragschicht in Bauteile mit und ohne die Recyclingfähigkeit einer Fraktion mindernde Störstoffe eingeteilt. Die Bewertung der Sortenreinheit wird anhand des Aufwands für den Rückbau der Schichten beurteilt. Sind Störstoffe in anhaftenden Bauteilschichten vertreten, ist der Rückbauaufwand ausschlaggebend für die Bewertung. Die Rückbaufähigkeit wird durch lösbare Fertigteilkonstruktionen prinzipiell erleichtert.

Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)

Büro- und Verwaltungsgebäude

 BNB_BN
4.1.4

Hauptkriteriengruppe	Technische Qualität
Kriteriengruppe	Technische Ausführung
Kriterium	Rückbau, Trennung und Verwertung

Hinweise zur Nachweisführung

Decken

Decken bestehen in der Regel aus mehreren Funktionsschichten. Zur Einschätzung der Verwertbarkeit werden Deckenaufbauten, ausgehend vom Baustoff der Tragschicht in Bauteile mit und ohne Störstoffe eingeteilt. Die Bewertung der Sortenreinheit wird anhand der Rückbauaufwände der Schichten beurteilt. Die Rückbaufähigkeit wird durch lösbare Fertigteilkonstruktionen prinzipiell erleichtert.

Innenwände

Innenwände werden in tragende und nichttragende Wände unterschieden. Nicht tragende Innenwände werden bei dieser Gewichtung gegenüber allen anderen Bauteilen aufgrund ihrer geringeren Masse mit einem Abschlagsfaktor von 0,5 belegt. Bei nicht tragenden Konstruktionen wird weiterhin in Trockenbau und traditionelle Massivbauweise unterteilt. Letztere unterscheiden sich unwesentlich von tragenden Massivwänden und werden bezüglich Sortenreinheit und Verwertbarkeit - ebenfalls ausgehend von der Tragschicht - in Bauteile mit und ohne Störstoffe unterschieden.

Dächer

Dächer werden nach der Konstruktionsform in Flach- und Steildächer und nach der Art der Witterungsschutzschicht in Dächer mit Abdichtung und Dächer mit Dacheindeckung aufgeteilt. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal ist die Lage der Wärmedämmung im Verhältnis zur Wasser führenden Schicht. Mit dieser Einordnung werden unterschieden:

- Steildächer mit Deckung und Dämmung der obersten Geschossdecke
- Steildächer mit Deckung und Dämmung des Daches
- Flach- und Steildächer mit Abdichtung auf der Dämmung
- Flachdächer mit Abdichtung oberhalb der hinterlüfteten Dämmung
- Flachdächer mit Abdichtung unter der Dämmung
- Flachdächer mit Abdichtung zwischen der Dämmung

Zusätzlich wird bei Flachdächern zwischen Deckenunterkonstruktionen, bzw. -schichten mit - und ohne Störstoffen unterschieden.



Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) Büro- und Verwaltungsgebäude

BNB_BN
4.1.4

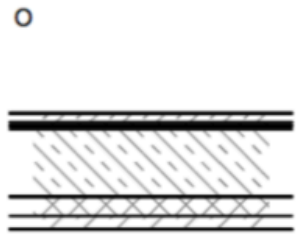
Hauptkriteriengruppe	Technische Qualität
Kriteriengruppe	Technische Ausführung
Kriterium	Rückbau, Trennung und Verwertung

Bewertungsmaßstab

	Anforderungsniveau
Z: 100	Die Summe der Bewertungspunkte ergibt 100.
R: 50	Die Summe der Bewertungspunkte ergibt 50.
G: 10	Alle Bauteile des Gebäudes sind mit Hilfe des Elementkataloges des BBSR nachvollziehbar erfasst. Die Summe der Bewertungspunkte ergibt 10.
Zwischenwerte werden durch das Rechenprogramm abschnittsweise linear interpoliert.	

B Anhang - 2

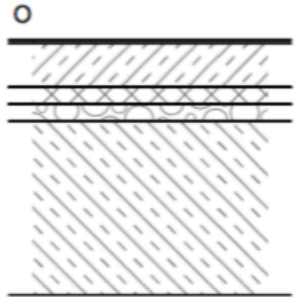
B Anhang - 2

Bauteilbezeichnung Erdberührte Fußböden UG01, Gänge, Umkleiden		Bauteil Nr. 1.3			
Bauteiltyp Erdanliegende Bodenplatte >1,5 m unter Erde		EB			
Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert		0,20 W/m²K			
		erforderlich	0,40 W/m²K	U	M 1:50

Konstruktionsaufbau und Berechnung

Nr	Baustoffschichten von außen nach innen Bezeichnung	ID kurz	berücksichtigen <input type="checkbox"/>	Bestand <input type="checkbox"/>	d	λ	$R = d/\lambda$	ρ	$\rho \cdot d$
					Dicke m	Leitfähigkeit W/m K	Durchlassw. m²K/W	Dichte kg/m³	Flächengewicht kg/m²
1	Erdreich	WSK	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0,0000	0,000	0,000		0,0
2	Grobplanum	WSK	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0,0000	0,000	0,000		0,0
3	Sauberkeitsschicht	OEN	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0,1000	1,710	0,058	2.300,0	230,0
4	XPS- G50/SF (Druckfestigkeit lt. Statik)	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0,1400	0,038	3,684	38,0	5,3
5	Abdichtung Braune Wanne (Bentonit Abc)	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0100	0,170	0,059	1.000,0	10,0
6	Stahlbeton-Platte lt. Statik, mind.	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0,5000	2,300	0,217	2.400,0	1.200,0
7	Ausgleichschüttung (Splitt, geb.)	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0250	0,700	0,036	1.800,0	45,0
8	PE-Folie, überlappt	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0002	0,230	0,001	1.500,0	0,3
9	EPS T-1000 plus, Trittschalldämmung	Austh	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0250	0,032	0,781	12,0	0,3
10	PE-Folie, stoßverklebt (sd>=120m)	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0002	0,230	0,001	1.500,0	0,3
11	Estrich lt. Statik	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0650	1,400	0,046	2.000,0	130,0
Dicke des Bauteils					0,870				
Flächenbezogene Masse des Bauteils								1.621,2	
Summe der Wärmedurchlasswiderstände ΣR_t							4,825	m²K/W	

B Anhang - 2

Bauteilbezeichnung Fußboden OGs, Garderoben/ Gänge/ Meeting Point		Bauteil Nr. 2.5a	
Bauteiltyp Innendecke		IDO	
Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert		0,84 W/m²K	
		erforderlich	0,00 W/m²K

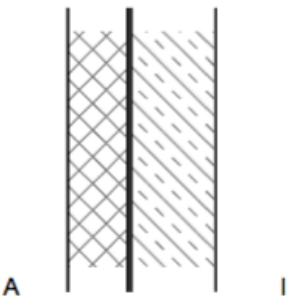
Konstruktionsaufbau und Berechnung									
Nr	Baustoffschichten von außen nach innen	ID	berücksichtigen	Bestand	d	λ	$R = d/\lambda$	ρ	$\rho \cdot d$
					Dicke m	Leitfähigkeit W/m K	Durchlassw. m²K/W	Dichte kg/m³	Flächengewicht kg/m²
1	Stahlbeton-Platte bzw. Bubbledecke lt. S	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>		0,2600	2,300	0,113	2.400,0	624,0
2	Ausgleichsschicht Splittschüttung (geb.)	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>		0,0250	0,700	0,036	1.800,0	45,0
3	PE-Folie, stoßverklebt, sd>=120m	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>		0,0002	0,230	0,001	1.500,0	0,3
4	EPS T-1000 Trittschalldämmung (Druckf	Austh	<input checked="" type="checkbox"/>		0,0250	0,038	0,658	12,0	0,3
5	PE-Folie, überlappt	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>		0,0002	0,230	0,001	1.500,0	0,3
6	Estrich lt. Statik	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>		0,0650	1,400	0,046	2.000,0	130,0
7	mineralische Besch. auf Zementbasis	WSK	<input type="checkbox"/>		0,0050	0,000	0,000		0,0
Dicke des Bauteils					0,380				
Flächenbezogene Masse des Bauteils								799,9	
Summe der Wärmedurchlasswiderstände							ΣR_t	0,855	m²K/W

B Anhang - 2

Bauteilbezeichnung Dachfläche Kies		Bauteil Nr. 3.5	
Bauteiltyp Außendecke		AD	
Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert		0,10 W/m²K	
		erforderlich	0,20 W/m²K

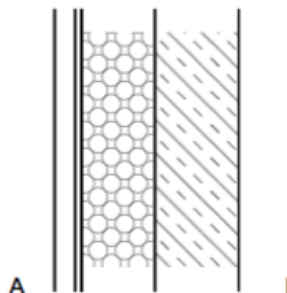
Konstruktionsaufbau und Berechnung									
Nr	Baustoffschichten von außen nach innen	ID kurz	berücksichtigen	Bestand	d	λ	$R = d/\lambda$	ρ	$\rho \cdot d$
					Dicke m	Leitfähigkeit W/m K	Durchlassw. m²K/W	Dichte kg/m³	Flächengewicht kg/m²
1	Rundkies	WSK	<input type="checkbox"/>		0,0900	0,700	0,129	1.800,0	162,0
2	Schutzvlies 300g/m², alternativ Gmmigr:	WSK	<input type="checkbox"/>		0,0000	0,220	0,000	53,5	0,0
3	bit. Dachabdichtung, 2-lagig	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>		0,0100	0,170	0,059	1.200,0	12,0
4	Schaumglas (Foamglas T4+) in Heißbitu	bauboo	<input checked="" type="checkbox"/>		0,3775	0,041	9,207	115,0	43,4
5	bit. Bauschutzabdichtung (gem. IFB-RL)	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>		0,0050	0,170	0,029	1.200,0	6,0
6	Voranstrich	bauboo	<input checked="" type="checkbox"/>		0,0050	0,230	0,022	1.050,0	5,2
7	Stahlbeton-Platte bzw. Bubbledecke lt. S	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>		0,2600	2,300	0,113	2.400,0	624,0
Dicke des Bauteils					0,748				
Flächenbezogene Masse des Bauteils								852,6	
Summe der Wärmedurchlasswiderstände							ΣR_t	9,430	m²K/W

B Anhang - 2

Bauteilbezeichnung Erdberührte Außenwände UG1,EG01,OG01		Bauteil Nr. 4.2	
Bauteiltyp Erdanliegende Wand bis 1,5 m unter Erde		EWu	
Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert		0,20 W/m²K	
		erforderlich	0,40 W/m²K

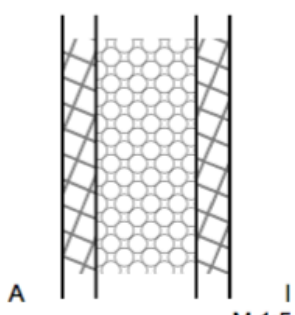
Konstruktionsaufbau und Berechnung									
Baustoffschichten		ID	berücksichtigen	Bestand	d	λ	$R = d/\lambda$	ρ	$\rho \cdot d$
von außen nach innen		kurz			Dicke	Leitfähigkeit	Durchlassw.	Dichte	Flächengewicht
Nr	Bezeichnung				m	W/m K	m²K/W	kg/m³	kg/m²
1	XPS - G (hinterwanderungssicher, vollflächig)	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>		0,1800	0,038	4,737	38,0	6,8
2	Abdichtung Braune Wanne (Bentonit Abdichtung)	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>		0,0100	0,170	0,059	1.200,0	12,0
3	Stahlbeton-Wand lt. Statik 25-40cm	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>		0,2500	2,300	0,109	2.400,0	600,0
Dicke des Bauteils					0,440				
Flächenbezogene Masse des Bauteils								618,8	
Summe der Wärmedurchlasswiderstände							ΣR_t	4,905	m²K/W

B Anhang - 2

Bauteilbezeichnung Paneelfassade, Regelaufbau		Bauteil Nr. 4.4	 <p>A I M 1:20</p>
Bauteiltyp Außenwand hinterlüftet		Awh	
Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert		0,15 W/m²K	
		erforderlich	0,35 W/m²K

Konstruktionsaufbau und Berechnung									
Nr	Baustoffschichten	ID	berücksichtigen	Bestand	d	λ	$R = d/\lambda$	ρ	$\rho \cdot d$
					Dicke	Leitfähigkeit	Durchlassw.	Dichte	Flächengewicht
	von außen nach innen				m	W/m K	m²K/W	kg/m³	kg/m²
1	Fassadenpaneel auf UK	• bauboo	<input type="checkbox"/>		0,0600	0,000	0,000		0,0
2	Hinterlüftung mind.	• bauboo	<input type="checkbox"/>		0,0200	0,000	0,000		0,0
3	Winddichtung, diff. offen	• bauboo	<input type="checkbox"/>		0,0001	0,510	0,000	400,0	0,0
4	Mineralwolle FDPL, Dübelbefestigung		<input checked="" type="checkbox"/>		0,2200	0,035	6,286	50,0	11,0
5	Stahlbeton-Wand lt. Statik	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>		0,2500	2,300	0,109	2.400,0	600,0
Dicke des Bauteils					0,550				
Flächenbezogene Masse des Bauteils								611,0	
Summe der Wärmedurchlasswiderstände ΣR_t							6,395	m²K/W	

B Anhang - 2

Bauteilbezeichnung Innenwand Trockenbau 125mm, $R_w \geq 54\text{dB}$		Bauteil Nr. 5.1a	
Bauteiltyp Innenwand		IW	
Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert		0,42 $\text{W/m}^2\text{K}$	
		erforderlich	0,00 $\text{W/m}^2\text{K}$

Konstruktionsaufbau und Berechnung									
Nr	Baustoffschichten von außen nach innen Bezeichnung	ID kurz	berücksichtigen	Bestand	d	λ	$R = d/\lambda$	ρ	$\rho \cdot d$
					Dicke m	Leitfähigkeit W/m K	Durchlassw. $\text{m}^2\text{K/W}$	Dichte kg/m^3	Flächengewicht kg/m^2
1	Latexanstrich (Labor) bzw. mineralischer	bauboo	<input type="checkbox"/>		0,0000	0,750	0,000	1.700,0	0,0
2	Grundierung •	bauboo	<input type="checkbox"/>		0,0000	0,750	0,000	1.700,0	0,0
3	GKB, GKF, GKBi/ GKFi, zementgeb. Tro	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>		0,0250	0,210	0,119	900,0	22,5
4	Mineralwolle MW-W zw. Metall-C-Profil-		<input checked="" type="checkbox"/>		0,0750	0,040	1,875	50,0	3,7
5	GKB, GKF, GKBi/ GKFi, zementgeb. Tro	WSK	<input checked="" type="checkbox"/>		0,0250	0,210	0,119	900,0	22,5
6	Grundierung •	bauboo	<input checked="" type="checkbox"/>		0,0000	0,750	0,000	1.700,0	0,0
7	Latexanstrich (Labor) bzw. mineralischer	bauboo	<input type="checkbox"/>		0,0000	0,750	0,000	1.700,0	0,0
Dicke des Bauteils					0,125				
Flächenbezogene Masse des Bauteils								48,7	
Summe der Wärmedurchlasswiderstände ΣR_t							2,113	$\text{m}^2\text{K/W}$	