

Diploma Thesis

Recycling potentials in the construction industry

submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

Diplomarbeit

Recyclingpotentiale in der Bauindustrie

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Stefan Schützenhofer, BSc

Matr.Nr.: 01129251

unter der Anleitung von

Associate Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Iva Kovacic**

Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement
Industriebau und interdisziplinäre Bauplanung
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/234-2, 1040 Wien, Österreich

Wien, im Februar 2019



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Danksagung

„Leider lässt sich eine wahrhafte Dankbarkeit mit Worten nicht ausdrücken.“¹

Dies trifft speziell auf meine Familie und ganz besonders meine Mutter zu, die mich während des Studiums nach allen ihren Möglichkeiten unterstützte.

Des Weiteren auf meine Betreuerin Iva Kovacic, welche stets konstruktive Verbesserungsvorschläge parat hatte und so die Qualität dieser Arbeit verbesserte, und mir einen Teil der Zeit die Möglichkeit bot während des Verfassens der Arbeit eine Zeit lang am Institut tätig zu sein, was vieles vereinfachte.

¹Johann Wolfgang von Goethe



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Kurzfassung

Im Laufe der Zeit stieg der globale Ressourcenbedarf der Menschheit stark an. Dies waren zunächst Folgen der Bildung von Siedlungen, und im Weiteren der Industriellen Revolution. Die Entwicklung von Computer und anderen elektronischen Gerätschaften führen nun dazu, dass das Spektrum der benötigten Stoffe und Materialien immer vielfältiger wird, und die Zusammensetzung in genutzten Objekten immer komplexer. Dies trifft auch auf die Bauindustrie zu, in der die am Markt verfügbare Palette an Baumaterialien stetig zunimmt wie Materialanalysen von Gebäuden unterschiedlicher Alters zeigen. In Bezug auf Ressourcenmanagement tritt durch die Errichtung, und nach der Nutzung des Abbruchs von Gebäuden noch ein weiteres Problem auf, und zwar ein Flächenproblem. So wurde in der Vergangenheit ein Großteil der beim Abbruch entstehenden Massen auf Deponien abgelagert.

Thema dieser Arbeit ist, welche Schritte notwendig sind, dass in Zukunft verwertbare Materialien verbaut werden, und diese möglichst einfach und in ausreichender Qualität geborgen werden können. Thematisiert werden unter anderem die Fragen, welche Informationen sollten während des Planungsprozesses dokumentiert werden, an welchen Stellen scheitert es derzeit eine Kreislaufwirtschaft im Bauwesen zu implementieren, und welche Beteiligten können den Prozess beeinflussen, sowie welche objektrelevanten Eigenschaften gibt es? Eine mögliche Bewertung dieser Gebäudeeigenschaften schon in der Planungsphase ist diesbezüglich unerlässlich. Es wurde in der Literatur nach Bewertungskonzepten gesucht, ebenso wie weitere Ansätze um die Bauindustrie materialeffizienter zu gestalten, wie beispielsweise die Wiederverwendung. Ein Bewertungskonzept, welches Recycling relevante Faktoren berücksichtigt wurde in einer Fallstudie getestet und die Ergebnisse mit Experten diskutiert. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass das Wissen, wie konstruiert werden muss, um mit möglichst geringem Aufwand Recyceln zu können vorhanden ist, die Gesetzeslage jedoch einen möglichst kostenarmen Rückbau begünstigt, wodurch die Materialeffizienz verringert wird. Daher ist die Implementierung einer Gebäudebewertung, welche diese Gesichtspunkte berücksichtigt sehr wünschenswert, jedoch als einzelne Maßnahme nicht ausreichend. Zusätzlich ist die Schaffung von Materialkreisläufen essentiell, sowie eine Konkretisierung mancher Gesetzestexte, um diese auch zu nutzen.

Stichworte: Baurestmassen, Gebäude-Recycling, Baustoffverwertung, Gebäudeperformance nach Nutzung



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abstract

In the course of time, the global resource requirements of mankind increased. These were the consequences of the establishment of settlements in the first place, followed by the Industrial Revolution. The development of computers and other electronic devices has led to a wider range of required substances and materials. Also the composition of objects in use is becoming more complex. This also applies to the construction industry, where the range of building materials available on the market is constantly increasing as seen from material analysis of buildings of different ages. In terms of resource management, the construction and demolition of buildings is faced with another problem, an area problem. In the past, the majority of the masses generated during the demolition process were deposited in landfills.

The focus of this thesis is to examine the steps that are required, that in the future, buildings are constructed in a way that materials can be reused as good as possible, and these can simply be salvaged in sufficient quality. Among other things, the questions that will be addressed are: what information should be documented during the planning process, where is it currently failing to implement a closed cycle economy in the construction industry, and which participants can influence the process, as well as which object-relevant characteristics are there? A possible evaluation of these properties already in the planning phase is essential in this regard. In the literature, evaluation concepts have been sought, as well as other approaches to make the construction industry more material efficient, such as reuse. An evaluation concept that takes recycling relevant factors into account was tested in a case study and the results discussed with experts. The investigations have shown that the knowledge of how to construct in order to be able to recycle with as little effort as possible is available, but that the legal situation favours a deconstruction with as little costs as possible, thereby reducing material efficiency. Therefore, the implementation of a building evaluation that takes these aspects into account is highly desirable, but not sufficient as a single measure. In addition, the creation of material cycles is essential, as well as the concretisation of some laws in order to use them.

Keywords: construction waste, structure recycling, recycling of building materials, building demolition performance

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	10
1.1	Problemstellung	10
1.2	Motivation	12
1.3	Ziele	13
2	Methodik	14
2.1	Vorgehensweise	14
2.2	Literaturrecherche	14
2.3	Fallstudie Recycling-Bewertung	15
2.4	Experteninterviews - Ergebnisvalidierung	15
3	Grundlagen	17
3.1	Baurestmassen (BRM)	17
3.1.1	Einteilung der Materialien	18
3.1.2	Urban Mining	20
3.1.3	Derzeitiger Umgang mit Baurestmassen	26
3.2	Potentiale und Hindernisse	29
3.2.1	Baumaterialebene	29
3.2.2	Informationsebene	30
3.2.3	Soziale Ebene	31
3.2.4	Institutionelle Ebene	31
4	Fallstudie: Bewertung des Recyclingpotentials	32
4.1	Bewertungskonzept End-of-Life	32
4.1.1	Formeln und Faktoren	33
4.1.2	Anwendungsschwierigkeiten	37
4.2	Bewertungsobjekt	40
4.2.1	Aufbauten	40
4.2.2	Berechnungsbeispiel eines Bauteils	50
4.3	Bewertungsergebnisse	55
4.3.1	Bauteile	55
4.3.2	Gebäude	57
4.3.3	Expertengespräche zur Validierung der Ergebnisse	59
4.3.4	Zusammenfassung und Diskussion - Bauteil- und Gebäudeebene	61
5	Schlussfolgerung	65
5.1	Erkenntnis aus empirischer Forschung	65
5.1.1	Baumaterialebene	65
5.1.2	Informationsebene	65
5.1.3	Soziale Ebene	67
5.1.4	Institutionelle Ebene	67
5.2	Erkenntnis zufolge Fallstudie und Expertengespräche	68
5.3	Zusammenfassung der Maßnahmen und Ausblick	70

6 Anhang	75
6.1 Berechnung. End-of-Life	75

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Problemstellung

Seit der Entstehung von menschlichen Siedlungen steigt der weltweite Ressourcenbedarf stetig an. Dies ist einerseits bedingt durch die zunehmend rasanter wachsende Weltbevölkerung, was bei gleichbleibendem Konsum von Gütern jedes Individuums zwangsläufig einen erhöhten Bedarf mit sich zieht. Andererseits liegt dies auch am wachsenden Bedarf jedes Einzelnen. So beschränkte sich der Konsum unserer Vorfahren in der Steinzeit auf Nahrung, einige Werkzeuge und dergleichen, durch das Entstehen von Siedlungen und zunehmender Technologisierung und Urbanisierung entstand ein Bedarfswachstum an Materialien wie Holz, Steine und Eisen und später Asphalt oder Stahl, sowie Wasser und Energie. Diese Entwicklung hatte nicht nur zur Folge, dass der Bedarf an Gütern stieg, sondern auch mehr Abfall entsteht. Ebenso wuchs das Materielle Lager immens an, welches noch immer rund 1% jedes Jahr steigt, wie in Abb.1.1 zu sehen ist.

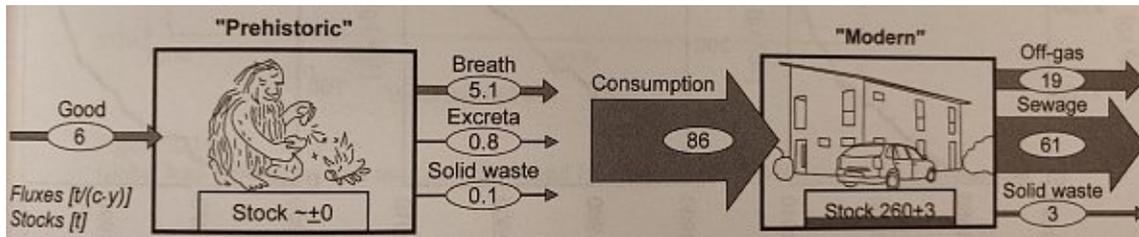


Abb. 1.1: Änderung des täglichen Materialflusses im Laufe der Zeit,[2]

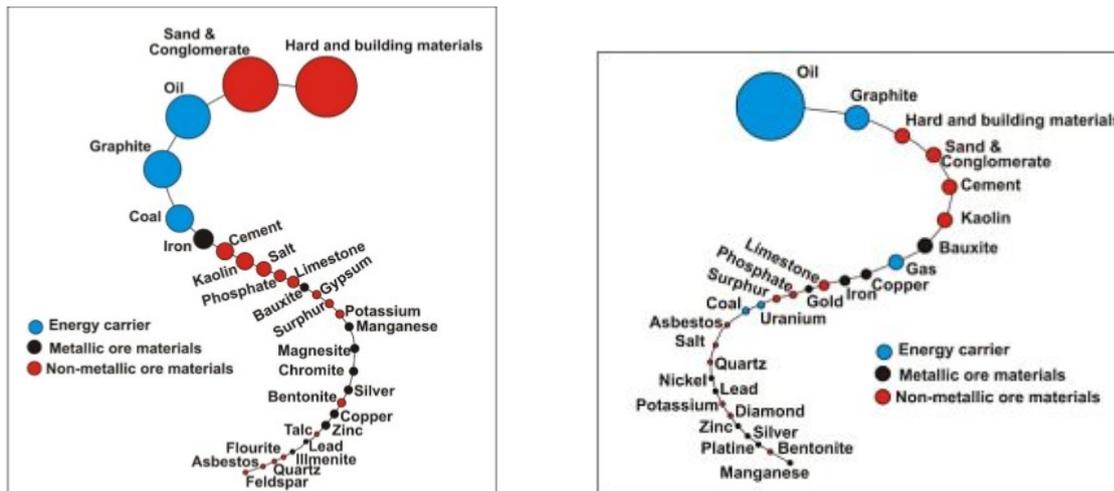
Das starke Bevölkerungswachstum hat zur Folge, dass selbst wenn der Pro-Kopf-Bedarf sinkt, eine Reduktion des Globalen Ressourcenbedarfs nur schwer vorstellbar ist. Ein ähnliches Phänomen tritt im Umgang mit Energie auf. Auch wenn Geräte wie Kühlschränke, oder Kraftfahrzeuge einen immer höheren Wirkungsgrad aufweisen, steigt die Anzahl der Geräte, was ein Null-Summenspiel ergibt. Berücksichtigt man den steigenden Technologisierungsgrad, vor allem in Schwellen- und Entwicklungsländern, und neuere Erscheinungen wie beispielsweise global aufgestellte Paketdienste, ist auch hier ein Bedarfsrückgang eher nicht absehbar.

Es gibt keine Energiekrise. Es gibt nur eine maßlose Energieverschwendung - FRIEDENSREICH HUNDERTWASSER¹

Dies mag bei Energie zutreffend sein, da die potentiell nutzbare Energie im Erdinneren, der Sonne, des Windes und der Gezeiten den Energiebedarf der Gesamtbevölkerung um ein Vielfaches übersteigt. Beziehungsweise aus der Tatsache, dass Energie nicht vernichtet werden kann. Die Probleme hierbei sind eher durch welches Medium wird Energie bereitgestellt, wo wird sie

¹FRIEDENSREICH HUNDERTWASSER(1928-2000), Auszug aus dem Gedicht: Ich bin ein König, Wien, Oktober 1981,[17]

"nutzbar" gemacht und wo "verbraucht", und welche Folgen hat dies für die Umwelt (Emissionen, Flächenbedarf, Unfallrisiko, etc.). Anders sieht dies jedoch bei materiellen Gütern aus, welche ein reales Limit aufweisen, und zu den bei der Energienutzung auftretenden Problemen (z.B.: Transport und Erzeugungsverfahren) noch hinzukommt, dass sich Stoffe und Materialien nicht in beliebiger Menge fördern lassen. So gibt es beispielsweise Stoffe, deren natürliches Vorkommen als Primärressourcenmenge und der Menge im anthropogenen Lager fast gleich groß ist, wie beispielsweise Kupfer [33], aber auch Ressourcen deren Verwendung problematischer ist als die anderer.



(a) 30 wichtigsten Ressourcen nach Mengenbedarf [19] (b) 30 wichtigsten Ressourcen nach wirtschaftlicher Priorität [19]

Abb. 1.2: Menge und Priorität der weltweit genutzten Ressourcen

Dies kann einerseits vom Massenbedarf (Sand - Durchschnittlicher Verbrauch in Europa: 4,6 Tonnen im Jahr je Einwohner [35]), der Erneuerbarkeit (Erdöl) oder der Wiedergewinnung nach der Nutzung (Seltene Erden) abhängen. Weiters ist festzuhalten, dass die Menge einer Materialreserve (wirtschaftlich nutzbarer Teil einer Ressource) auch immer mit der Erreichbarkeit und ökonomischen Förderbarkeit zusammenhängt, welche sich im Laufe der Zeit ändern können, was jedoch den teilweise rasch steigenden Ressourcenbedarf kaum decken kann.

Weiters kommt zum erhöhten Energie- und Ressourcenbedarf hinzu, dass in der modernen Gesellschaft deutlich mehr Abfall produziert wird, und das urbane Lager jedes Menschen immens angewachsen ist. Wobei es tendenziell so ist, dass mit zunehmendem Wohlstand die Abfallmenge überproportional stark ansteigt. Versucht man dieser Probleme Herr zu werden, ist es unausweichlich, die anfallenden Abfälle zu sammeln und so aufzubereiten, dass eine weitere Nutzung möglich ist. Dies kann in Form einer Wiederverwendung, oder einer Aufbereitung zu Sekundärrohstoffen geschehen, welche der Selben oder ähnlichen Nutzung zugeführt werden kann und im Sinne von [18] die Kreislaufwirtschaft fördert.

Der Bundes- Abfallwirtschaftsplan (BAWP) erhebt regelmäßig Daten über Aufkommen und Zusammensetzung der Abfälle in Österreich und liefert einen Überblick über deren Behandlung und Umgang. Betrachtet man den Zeitraum 2010-2015, so ist das Gesamtabfallaufkommen im Vergleichszeitraum um rund 10% gestiegen, von 51,72 Mio. t auf 57,10 Mio. t, was größtenteils auf ein erhöhtes Gebäudeabbruch- und Aushubaufkommen zurückzuführen ist [12]. Die Zusammensetzung und Verwertungswege können Abb. 1.3 entnommen werden.

Bau- und Abbruchabfälle nehmen einen erheblichen Anteil des Gesamtabfallaufkommens ein. Deren Recycling und Aufbereitung ist daher von hoher Relevanz im Bezug auf Ressourcenschonung

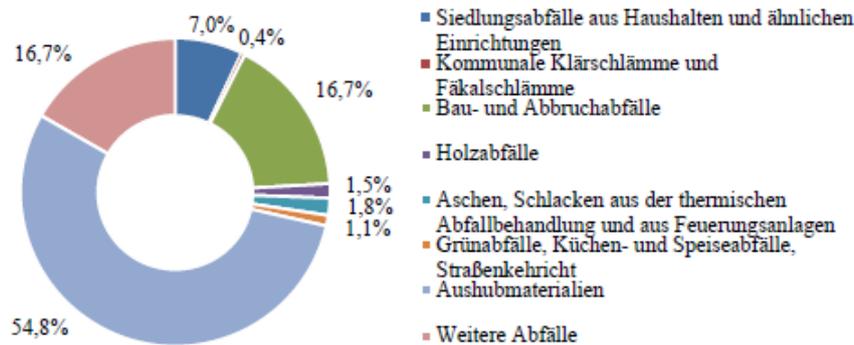


Abb. 1.3: Österreichweite Zusammensetzung der Gesamtabfallmenge des Jahres 2015, [12]

und Raumnutzung, da Materialien eine begrenzte Größe darstellen, ebenso wie Deponievolumen begrenzt ist. Anzumerken ist jedoch, dass der Anteil an Bau- und Abbruchabfällen starke regionale Unterschiede aufweisen kann, so beträgt der Anteil für den Raum Wien beispielsweise rund 50% [36]. Sie bestehen Masse mäßig zum Großteil aus mineralischen Abfällen wie Betonabbruch, Straßenaufbruch sowie Bauschutt, welcher sich wiederum aus unterschiedlichen mineralischen Materialien zusammen setzt wie beispielsweise Beton, Ziegel, Steinen und Putz. In Zukunft werden die Baustoffe Holz, zufolge des derzeitigen deutlich vermehrten Einsatzes [26], und diverse Dämmmaterialien aufgrund ihres hohen Volumens - diese weisen zumeist eine ähnliche Schichtstärke auf wie die tragende Schicht - auch wenn Ihre Masse (enthalten in Baustellenabfälle) verhältnismäßig klein ist, deutlich an Bedeutung gewinnen.

1.2 Motivation

Man sieht also, dass die Bauindustrie nicht nur einen hohen Anteil an der Gesamtabfallmenge stellt, sondern auch der Bedarf an Ressourcen beträchtlich ist. Gleichzeitig soll möglichst Ressourcenschonend umgegangen werden, was zwangsläufig eine Verwertung der beim Abbruch von Gebäuden entstehenden Abfällen mit sich zieht und am sinnvollsten durch eine Kreislaufwirtschaft im Sinne von [18] durch eine ökologische Produktgestaltung und eine Stärkung der Recyclingindustrie umgesetzt werden kann. In den letzten Jahrzehnten hat sich in Bezug auf die Verwertung von Baurestmassen zwar einiges getan (vergleicht man [7] mit [12], sieht man, dass die Masse an mineralischen Baumassen in Verwertungsanlagen sich in diesem Zeitraum fast verdreifacht hat), jedoch ist noch Verbesserungspotential vorhanden, wenn es um qualitativ hochwertiges Recycling geht. So werden rund 80% der mineralisch erzeugten Recyclingbaustoffe (RC-Baustoffe) minderwertigen Funktionen zugeführt [16], wie beispielsweise aufbereitete Betonmassen für Künettenverfüllungen oder als Drainageschicht eingesetzt werden. Ein optimierter Abbruch in Form eines verwertungsorientierten Rückbaus ist der Anfang des Recyclingprozesses von Baumaterialien, wobei der Grundpfeiler für ressourcenschonendes Bauen schon in der Planungsphase gelegt wird, da der zu betreibende Aufwand von der gewählten Konstruktion, den Materialien und geschaffenen Platzverhältnissen während des Abbruches abhängen. Da dieses Thema erst seit der Jahrtausendwende (2000) verstärkt behandelt wird, gibt es noch viel Verbesserungsbedarf. Vor allem im Hochbau, der Gegenstand dieser Arbeit ist, wo der Einsatz von RC-Baustoffe noch gering ist und skeptisch betrachtet wird [16].

1.3 Ziele

Ziel dieser Arbeit ist es den Vorgang des Recyclings von Baurestmassen (BRM) zu beleuchten, Schwachstellen ausfindig zu machen und Maßnahmen zu erarbeiten um den Primärressourcenbedarf im Bauwesen zu reduzieren und so einen Beitrag zu einer nachhaltigen Bauindustrie zu leisten. Hierzu sollen zwei Ebenen untersucht, und dazu bestimmende Faktoren und Maßnahmen ausfindig gemacht werden um Abfälle der Bauindustrie einer optimalen Behandlung und Verwertung zuzuführen und die Ressourcenschonung zu verstärken. Nämlich zum einen die baubetriebliche Seite - wie geplant, gebaut und abgerissen werden soll - und zum anderen die bautechnische Seite - welche Verwertungsmöglichkeiten gibt es und welche ist die Material abhängig beste. Außerdem sollen zur Verfügung stehende Werkzeuge ausfindig gemacht werden, welche den Abbruchvorgang möglichst nachhaltig und einfach zu gestalten. Des weiteren soll der Einfluss von beispielsweise der Fügetechnik, der Verortung oder Gestalt des Bauwerks auf diese Ebenen untersucht werden. Die Erkenntnisse aus dem Vergleich des gängigen Ablaufes in der Praxis, mit den technologisch möglichen Verwertungswegen von BRM, mit den einzelnen Widerständen Materialien bestmöglich zu nutzen, sollen in eines der wenigen zur Zeit bestehende Bewertungskonzept für die Beurteilung der Performance eines Gebäudes am Ende der Nutzungsphase - Bewertungskonzept: End-of-Life von Prof. Vogdt - einfließen und so Verbesserungspotential der drei Bereiche:

- Abbruch
- Trennung
- Verwertung

aufzeigen, was Konstruktionsart und Verwertungswege angeht. Die Untersuchungen sollen für eine ausgewählte, im Bauwesen häufig verwendete Anzahl von Baumaterialien durchgeführt werden, wobei die Herangehensweise auf jedes weitere vorkommende Material angewandt werden können soll.

Kapitel 2

Methodik

2.1 Vorgehensweise

Um die Problemstellung Recycling im Bauwesen thematisieren zu können, war es nötig einen Überblick über das mengenmäßige Aufkommen und die Zusammensetzung von Baurestmassen zu gewinnen. Des Weiteren musste in Erfahrung gebracht werden, wie Recycling bautechnologisch und baubetrieblich bewerkstelligt wird. Es war zu klären, wie mit den unterschiedlichen Materialien während und nach Abbruchtätigkeiten umgegangen wird, was Trennung, derzeitige Verwertungswege und potentiell mögliche Verwertungswege angeht. Von besonderem Interesse waren Einfluss von Gebäudehöhe, Verortung und Füge-technik. Um Maßnahmen zur Verbesserung des Recyclings von BRM zu erarbeiten, wurden folgende Schritte unternommen, welche im weiteren genauer beschrieben werden:

- Literaturrecherche
- Fallstudie Recycling-Bewertung
 - Bewertung eines Gebäudemodells in Holzbauweise und Massivbauweise
 - Betrachtung des Recyclingpotentials durch Material-effiziente Verwertungswege
- Experteninterviews
 - Institut für Bauen und Ökologie
 - Magistrat für Umweltschutz
 - Abfallwirtschaft-Konsulent

2.2 Literaturrecherche

Die Literaturrecherche lieferte einen Überblick, wie Abbruchtätigkeiten ablaufen, welche Regeln dabei einzuhalten sind und wie mit den unterschiedlichen Materialien umzugehen ist. Neben gesetzlichen Regelungen zu Schadstoffgrenzwerten und Trennpflichten unterschiedlicher Abbruchmaterialien wurden einige Werke die den Umgang mit Baurestmassen (vorwiegend mineralisch) und deren Verbesserungspotential aufzeigen gefunden. Sie zeichnen meist das Bild: hochwertiges Recycling ist oft möglich, jedoch geschieht dies nicht. Bewertungsmethoden wie Recyclingfreundlich ein Bauwerk ist, also wie ein Gebäude nach Ende der Nutzungsphase performt, wurde nur zwei gefunden, wobei diese zur Zeit noch keine Anwendung in der Praxis finden. Eines ist zur Zeit noch in der Validierungsphase und wurde von Prof. Dr.-Ing. Frank Vogdt entwickelt, und wird im folgenden noch genauer beschrieben. Mit Hilfe des zweiten Verfahrens können die anfallenden Bauabfälle und das verwertbare Recyclingmaterial abgeschätzt werden, dieses ist in [22] gezeigt. Es weist den Materialien Abfall- und Verwertungsquoten zu, und berücksichtigt die Lebensdauer und Recyclingquoten der unterschiedlichen Strukturen.

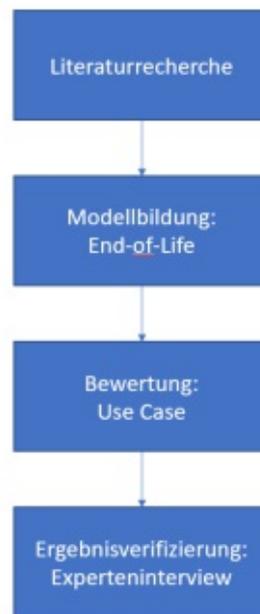


Abb. 2.1: Vorgehensweise in dieser Arbeit

2.3 Fallstudie Recycling-Bewertung

Wie oben erwähnt besteht zur Zeit nur ein Bewertungskonzept zur Beurteilung der Recyclingfreundlichkeit eines Bauwerks. Also wie viel Aufwand betrieben werden muss, um es abzureißen und in die einzelnen Materialfrachten zu trennen, und wie gut die materielle Verwertung ist. Hierfür wurde vom betreuenden Institut ein digitales Gebäudemodell zur Verfügung gestellt, an welchem das Bewertungskonzept gemäß [38] angewandt wird. Dieses mehrgeschossige Wohngebäude wird in Holzmassivbauweise, sowie in klassischer Beton-Massivbauweise betrachtet und die Performance End-of-Life bilanziert. Mit diesem Verfahren ist zur Zeit lediglich eine Bewertung auf Bauteilebene möglich. In einem weiteren Schritt wird das Verbesserungspotential im Bezug auf Verwertung betrachtet, Hierzu werden übliche Verwertungsmethoden möglichen Recyclingwegen gegenübergestellt und im Anschluss die Ergebnisse diskutiert. Für diese Aufgabe wurden die zur Bewertung notwendigen Formeln und Daten (Schichtaufbauten, Flächen, Höhen, Fügetechnik, etc.) in Excel eingetragen und die Berechnung durchgeführt.

2.4 Experteninterviews - Ergebnisvalidierung

Die Experteninterviews wurden durchgeführt, um die Bewertungsergebnisse zu validieren, und somit die fehlende Erfahrung zu dieser Thematik durch Wissen sachkundiger Personen zu ergänzen. Fachgespräche fanden mit folgenden Personen statt:

- P1 CEO Umweltconsulting Unternehmen
geführt am 21.01.2019
- P2 Mitarbeiter MA22 - Wiener Umweltschutzabteilung
geführt am 18.01.2019
- P3 Mitarbeiterin IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie
geführt am 01.02.2019

Im Zuge der Gespräche wurden die, für die Berechnung herangezogenen Verwertungswege, und die Bewertungsergebnisse thematisiert, sowie Vor- und Nachteile von möglichen Ansätzen von der Bauteilebene auf die Gebäudeebene schließen zu können.

Kapitel 3

Grundlagen

Wie in Kap. 2.2 erwähnt, befasst sich diese Arbeit mit dem Recycling von beim Abbruch eines Gebäudes entstehenden BRM. Im speziellen auf die unterschiedlichen Rohbaumaterialien Beton und Holz, Dämmung sowie diverse Materialien von Fußbodenaufbauten und Verkleidungen. Es wird der betriebliche und technische Ablauf betrachtet, sowie die gesetzlichen und normativen Regelungen, sowie was man in Zukunft durch neue Technologien und Verfahren erwarten darf.

3.1 Baurestmassen (BRM)

Wie Abb. 1.3 zu entnehmen ist, machen Bau- und Abbruchabfälle rund 17% der Gesamtabfallmenge in Österreich aus. Diese kommen in etwa zu je gleichen Teilen aus Hochbau und Tiefbau [26]. Die Abfälle aus dem Hochbau, welche in dieser Arbeit behandelt werden, bestehen wiederum zu 70%–90% aus mineralischem Material wie Beton- oder Ziegelabbruch. Die größte Fraktion der Bauabfälle ist Betonabbruch, mit einer Gesamtmasse von 3,4 Mio. t/a (entspricht 34%), gefolgt von Bauschutt, mit einer Gesamtmasse von ca. 3,15 Mio. t/a (entspricht 32%). Bei einer Gesamtabfallmenge von etwa 10 Mio. t/a, entspricht dies einer Pro-Kopf-Abfallmenge von über 1 t/Person/a. Eine vollständige Auflistung ist [12] zu entnehmen. Vergleicht man diese Werte mit den Erhebungen der Bundesrepublik Deutschland, welche in [25] dargestellt sind, sieht man, dass diese Werte korrelieren, wie dies schon von Markova und Rechberger [26] festgestellt wurde. Ebenso korrelieren die Abbruchmassen zu einem früheren Zeitpunkt, wenn man [1, 7] vergleicht. Für die Zukunft ist anzunehmen, dass der Anteil an Betonabbruch weiter steigen wird, und der von Bauschutt, in welchem Ziegel enthalten sind gleich bleiben oder sogar sinken wird. Wenn man bedenkt, dass tendenziell ältere Bauwerke abgebrochen werden und das sich in den letzten 120 Jahren der Materialeinsatz geändert hat. Es ist eine klare Tendenz von Mauerwerk hin zu Beton erkennbar, dessen Einsatz sich etwa verzehnfacht hat, und der von Ziegeln sich etwa halbierte [26]. Des weiteren ist der Einsatz von Holz gestiegen, und wird in Zukunft noch weiter zunehmen, denkt man an moderne Holzwerkstoffe wie Brettschicht- oder Brettsperrholz und den daraus realisierten Prestigeprojekte wie Moholt 50/50 in Trondheim/Norwegen, oder das HoHo in Wien/Österreich [32]. Laut [16] stammen schon jetzt 45% des Abfallholzes aus dem Baugewerbe, wobei davon auszugehen ist, dass diese Zahl noch weiter ansteigen wird. Diese Zahlen stammen zwar aus Deutschland, wie gezeigt wurde, korrelieren die Daten mit jenen von Österreich jedoch gut.

3.1.1 Einteilung der Materialien

Aufgrund der sich rasch entwickelnden Baustoffindustrie, in welcher eine Vielzahl unterschiedlicher Materialien zum Einsatz kommen und ständig neue Entwicklungen auf den Markt kommen, gestaltet sich eine vollständige Aufzählung der Baumaterialien als schwierig, bis nahezu unmöglich. Es liegen eine Vielzahl von Datenbanken vor, mit welchen versucht wird diese möglichst umfangreich abzudecken. Diese unterscheiden sich oftmals nur durch die Materialbezeichnungen und den Feinheitsgrad der Gliederung. Abb. 3.1 gibt einen Überblick, über die häufig im Bauwesen (Hochbau) eingesetzten Materialien, sowie deren Zuordnung zu abfallrelevanter Materialgruppen.

Materialgruppe	Baumaterial	Verwendungsbeispiele	Abfallbezeichnung (BAWP)	Getrennte Sammlung gem. RB-VO	ÖNORM B 3151	
Mineralische Abfälle	Naturstein	Marmor, Granit, Gesteinskörnung	Aushubmaterialien	Mineralische Abfälle		
	Beton	Normalbeton, Leichtbeton	Betonabbruch		Beton	
	Mauerwerk	Ziegel, Gasbeton	Bauschutt (ausgenommen Gips)		Sonstige Hauptbestandteile	Störstoffe: Gasbeton, nicht-mineralische Beläge, Gips,
	Keramik	Spaltplatten, Bodenklirkerplatten				
	Putz, Estrich, Mörtel	Zement-, Gips-, Magnesium-, Baukalkbasis				
Holz	Vollholz	Holzbelag, Holzverkleidung	Bau-/Abbruchholz	Holzabfälle	Holz	
	Bauholz	Konstruktionsholz, (zB. Holzlattung)				
	Holzwerkstoffe	Brettsperrholz, Sperrholz, OSB-Platten, Holzspanplatten				
Metalle	Stahl	Formrohr, Bewehrung	Metalle	Metallabfälle	Metalle	
	Kupfer	Blech, Leitung				
	Aluminium	Aluprofil, Fensterprofil				
Dämmstoffe	Mineralische Dämmstoffe	Glaswolle, Steinwolle, Schaumglas, Kalziumsilikat	Baustellenabfälle	Sonstige Hauptbestandteile	Sonstige Hauptbestandteile	Störstoff
	Organische Dämmstoffe	Harf, Zellulose, Kork, Holzfaser				
	Thermoplast. Dämmstoffe	EPS, XPS		Kunststoffe		
Folien und Trennschichten	Kunststoffe	Schutz-, Trennvlies, Dichtungsbahn	Gefährliche Abfälle - Teerhaltige Abfälle			
	Bitumen	Anstrich, bituminöse Dichtungsbahnen				
Sonstiges & Verbundwerkstoffe	Silikate	Silikatputz	Baustellenabfälle			
	Gips	Gipskartonplatte				
	Weitere	Dampfdruckausgleich, Aluminiumbitumen				

Abb. 3.1: Einteilung der Materialien und Zuordnung zu relevanten Baurestmassen

Es wurde versucht eine möglichst repräsentative Auswahl der Baumaterialien zu treffen. Umfangreichere Auflistungen befinden sich in [1, 12, 25, 26, 40], welche auch als Quelle dienen. Es wurde versucht einzelne Vorteile der Einteilungen zu nutzen:

- Zusammenfassen zu Abfallkategorien [12], da diese eine gemeinsame Sammlung erfahren, oder schon vor den eigentlichen Abbrucharbeiten entfernt werden [28].
- Sehr umfangreiche und detaillierte Auflistung in [26, 40] wobei die massenmäßig relevanten ausgewählt wurden.

3.1.2 Urban Mining

Betrachtet man den globalen Ressourcenbedarf (Abb. 1.2a) fällt auf, dass die in der Bauindustrie benötigten Materialien, wie Sand, Eisen diverse Rohbaumaterialien den größten Bedarf aufweisen. Vergleicht man dies mit dem anthropogenen Materiallager, welches Massenmäßig auf rund 350-400 Mg pro Kopf geschätzt wird und großteils aus den in der Bauindustrie zum Einsatz kommenden Materialien wie Stahl, Ziegel und Beton besteht [33], ist eine ähnliche materielle Zusammensetzung feststellbar. Daher startete der Versuch nicht neue Primärressourcen mit Hilfe des klassischen Bergbaus zu fördern, sondern die schon genutzten Ressourcen nach Ablauf der Nutzungsphase so aufzubereiten, dass eine weitere Nutzung möglich ist. Der Vorgang gezielt Sekundärressourcen aus dem anthropogenen Lager zu entnehmen wird als *Urban Mining* bezeichnet. Hierbei treten jedoch einige Hürden auf:

- Aus dem anthropogenen Lager können erst Ressourcen gewonnen werden, wenn die Materialien nicht mehr genutzt werden. Zuzufolge der zeitlichen Änderung, der eingesetzten Materialien, passen das Portfolio der verfügbaren, abgebrochenen Materialien und der benötigten eventuell nicht überein.
- Der Wiedergewinnungsaufwand steigt überproportional stark mit der Recyclingquote (Abb. 3.4).
- Das vorhandene Lager ist noch wenig erforscht (Abb. 3.2).
- Sekundärrohstoffe müssen technisch und wirtschaftlich mit Primärrohstoffen mithalten, sie sind jedoch am Markt wenig etabliert.

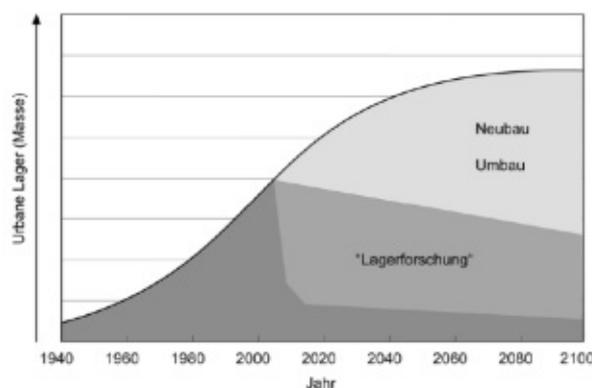


Abb. 3.2: Kenntnis über das anthropogene Materiallager im Laufe der Zeit,[33]

Das heißt, zur Zeit besteht nicht die Möglichkeit nach Bedarf abzubrechen, um die benötigten Sekundärressourcen erzeugen zu können, da dies nur schwer planbar ist. Es wird abgebrochen, Baurestmassen zu Sekundärrohstoffen aufbereitet, soweit dies möglich ist, und dann versucht die so gewonnenen RC-Baustoffe wieder ins anthropogene Lager einzugliedern. Schon heute gibt es Städte, die einen ausgeglichenen Materialfluss an Import und Export haben, und ihren Materialbedarf zu über 80 % aus Sekundärrohstoffen decken könnten [5]. Auf Städte mag dies zutreffen, betrachtet man die Daten für Österreich, zeigt sich ein Bild wie es in Tab. 3.1 zu sehen ist.

Tab. 3.1: Vergleich von Bedarf und Abfall von Baumassen im Jahr 2004/2005 für das Bundesgebiet Österreich, [7, 26]

Material	Bedarf 2005 [Mio. t]	Abbruchmassen 2004 [Mio. t]	Delta 2004 [Mio. t]
Beton	23,25	1,35	+21,9
Bauschutt	7,91	2,50	+5,41
Holz	8,62	0,27	+8,35
Baustellenabfälle	0,38	1,1	-0,72
Stahl	0,77	1,69	-0,92

Selbst wenn man aktuellere Zahlen aus [12] heranzieht und diese mit dem Bedarf von 2005 vergleicht, erhält man ein ähnliches Bild. Es ist zu erkennen, dass der Gesamtbedarf der ausgewählten Baustoffe etwa dem zehnfachen der Abbruchmassen entspricht. Dies kann unterschiedliche Gründe haben, beispielsweise dass mehr Neubauten auf unbebauten Gebieten entstehen, oder auch Infrastruktur wie Dämme oder Brücken neu errichtet werden, welche eine sehr lange Nutzungsdauer haben. Allgemein lässt sich sagen, dass in Österreich mehr gebaut als abgebrochen wird. Herstellung von Baumaterialien aus großteils Sekundärrohstoffen ist daher nur möglich, wo sich die Masse an Bausubstanz nicht dramatisch ändert, also in bereits dicht bebauten Städten, die auch keine räumliche Ausdehnung mehr widerfahren. Wenn man nun überlegt, dass zur Zeit, wenn ein Recycling von 100 % betrieben würde, nur 10 % des Primärressourcenbedarfs substituiert werden könnte, und 80 % einer minderwertigen Verwertung zugeführt werden, liegt der Primärressourcenbedarf noch immer bei 92 %. Um tatsächlich natürliche Materialreserven zu schonen, ist daher eine hochwertige stoffliche Verwertung, im Zusammenhang mit gutem "Verbauungsmanagement" (Nutzung des Bestands, wie leerstehende Wohnung, statt Schaffung neuer Strukturen) notwendig. Es ist allerdings auch anzumerken, dass eine direkte Gegenüberstellung der Massen nur bedingt möglich ist, da Markova und Rechberger [26] eine sehr umfangreiche Aufzählung anführt, und im BAWP [7] teilweise Materialmischungen aufgelistet sind, wie Bauschutt, welcher beispielsweise auch Betonabbruch enthält. Oder Baustellenabfälle, wobei diese Gruppen in Tab. 3.1 durch aufsummieren der Materialien aus [26] zustande kommen. Hinzu kommen Unsicherheiten in der Erfassung der Materialmassen. Folgende Fehlerquellen liegen vor:

Beton: Noch am repräsentativsten, jedoch wird Beton bis zu einem gewissen Grad in der Abfallfraktion Bauschutt gesammelt, und daher in der Betonfracht nicht erfasst,

Bauschutt: Als Bedarf wurden Ziegel, Mauerwerk und Betonsteine und Putz/Estrich addiert, Fliesen, Mörtel und Steine wurden nicht erfasst.

Holz: Hier musste keine Massenberechnung oder Zuordnung erfolgen. Holzmasten wurden in der Abfallmenge jedoch nicht berücksichtigt. Hier ist auch der größte Bedarfszuwachs (prozentual) im Zeitraum 2005-2007 zu verzeichnen. Laut [P3] ist hier die Unsicherheit in der Abfallstatistik besonders hoch, da diese häufig in Privathaushalten einer Verbrennung zugeführt werden.

Baustellenabfälle: Hier werden auf Abfallseiten auch Verpackungsmaterial, Teilweise Holz und kleinere Teile wie Nägel usw. Inkludiert. Eine genaue Bedarfserfassung ist daher nicht möglich. Es wurde lediglich der Dämmstoffbedarf berücksichtigt. Der Vergleich ist nicht repräsentativ!

Stahl: Hier ist der Bedarf gut erfasst, der BAWP gibt jedoch keine metallischen Abfälle an, die explizit aus der Bauindustrie kommen. Vergleich nicht repräsentativ!

Die angegebenen Zahlen sind daher mit Unsicherheiten behaftet, was vermutlich jedoch wenig Einfluss auf die Größenordnung hat, in der Bedarf und Abfall zueinander stehen.

3.1.2.1 Regelungen des Abbruchablaufes

Die Grundlage bildet das Abfallwirtschaftsgesetz: 2002 (AWG-2002) [13], welches unterstützt durch den BAWP[12] und andere Richtlinien den Umgang mit Abfall regelt. Hierin wird auch eine Abfallhierarchie festgelegt, welche wie folgt aussieht:

1. Abfallvermeidung
2. Vorbereitung zur Wiederverwendung
 - a) Reinigen von z.B. Altkleidern
 - b) Funktionsfähigkeitsprüfung und Reparatur
3. Recycling
 - a) Gleiche Materialeigenschaften z.B. "Metall zu Metall"
 - b) Kompostierung
4. Sonstige Verwertung
 - a) Sonstige stoffliche Verwertung z.B. Verfüllung, Rekultivierung
 - b) Energetische Verwertung z.B. Ersatzbrennstoff, Verbrennung mit Energieeffizienzkriterium
 - c) Sonstige energetische oder chemische Verwertung
5. Beseitigung
 - a) Verbrennung ohne ausreichende Energienutzung
 - b) Deponierung reaktionsarmer Materialien

Man sieht also, dass zuerst versucht werden soll, möglichst wenig Abfall zu erzeugen, anschließend sollen Gegenstände und Materialien möglichst lange in Verwendung bleiben, danach erst Recyclingwegen zugeführt werden und wenn dies nicht möglich ist erst dann einer anderen Verwendung zuzuführen. Erst wenn keine stoffliche Verwertung sinnvoll/möglich ist, sollen Güter erst einer thermischen Nutzung oder Deponierung übergeben werden.

Am Ende der Nutzungsphase eines Gebäudes steht in der Regel der Abbruch. Dies ist der Anfang des Prozesses die Materialien eines Gebäudes zu RC-Baustoffe zu verarbeiten, sie anderweitig zu nutzen, beispielsweise thermisch zu verwerten, oder als letzte Maßnahme zu deponieren. Die Rangordnung entspricht somit den Grundsätzen des AWG-2002 [13], mit denen versucht wird die Ziele des letzteren zu verwirklichen um eine nachhaltige Bauindustrie zu gestalten. Die Ziele lauten (in verkürzter Form) wie folgt:

1. Schutz von Mensch, Tier und Umwelt
2. Schutz der Luft
3. Ressourcenschonung (Rohstoffe, Energie, Landschaft, Deponievolumen)
4. Risiko auf negative Umweltauswirkungen von Sekundärrohstoffen darf jenes von Primärrohstoffen nicht übersteigen
5. Schutz kommender Generationen durch Begrenzung der Ablagerung auf ungefährliche Abfälle.

Um diese Prinzipien ordnungsgemäß einzuhalten und die Ziele zu erreichen, gibt es etliche Gesetzestexte, Richtlinien und Empfehlungen, welche einen einheitlichen Standard bei der Ausführung von Abbruchtätigkeiten und den damit zusammenhängenden Materialflüssen sicherstellen, und so ein bestmögliches Ergebnis der Ressourcenschonung erreichen soll. Hierzu gehören die bereits erwähnten BAWP [12] und AWG-2002 [13] ebenso wie [18, 23, 28], welche die Themen Kreislaufwirtschaft, Schad- und Störstofferkundung von Bauwerken, thermische Verwertung, sowie Deponierung behandeln, und viele mehr. Die genannten Beispiele verweisen aufeinander und stellen so eine Gesamtregelung für dieses komplexe Themenfeld dar. Eine vollzählige Aufzählung würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Im folgenden werden die recyclingrelevanten Einzelschritte und deren Reglementierung näher beleuchtet:

Abbruch

Als Abbruchtätigkeit wird jede Tätigkeit bezeichnet, bei der Bauabfall entsteht. Dies beinhaltet den Abbruch gesamter Bauwerke, ebenso wie Umbauten und Sanierungen. Mit welchem Aufwand Abbrüche ausgeführt werden müssen ist in ÖNORM - B 3151 [28] und Recycling-Baustoffverordnung (RC-VO) [8], mit der Gesetzesnovelle [6], geregelt. Bevor mit den eigentlichen Abbrucharbeiten begonnen werden kann, muss das Gebäude entrümpelt sein. Der weitere Ablauf ist von der anfallenden Abbruchmenge und von dem Abbruch verbauten Volumen abhängig. Das Flussdiagramm in Abb. 3.3 gibt einen guten Überblick über den üblichen Ablauf, wobei seit der Gesetzesnovelle [6] der gesetzliche Grenzwert, der anfallenden Abfallmenge, ab wann eine Schad- und Störstofferkundung durchgeführt werden muss von 100 t auf 750 t erhöht wurde. Dies ist beim Gesamtabbruch von Bauwerken jedoch schnell erreicht, vor allem bei massiven Bauweisen. So haben beispielsweise die Geschossdecken, des in dieser Arbeit betrachteten Gebäudemodells (in massiver Holzbauweise) bereits 620 t, Dach, Decke gegen Außenluft und die Decke oberhalb der Büroräumlichkeiten nicht inkludiert. Sofern eine Schad- und Störstofferkundung notwendig wird, ist im Anschluss an dieses ein Rückbaukonzept zu erstellen.

In Welcher Form die Schad- und Störstofferkundung durchgeführt werden muss, ist vom umbauten Raum des Abbruchobjektes abhängig. Bis zu einem Volumen von 3500 t ist eine orientierte Schad- und Störstofferkundung ausreichend, darüber hinaus ist eine umfassende Analyse gemäß ÖNORM EN ISO 16000-32 [23] durchzuführen (wobei in [28] noch auf die Vorgänger-Norm ONR 192130 verweist). Diese unterscheiden sich durch den Dokumentationsunterschied bei Schadstoffen, bei einer orientierten Untersuchung ist es ausreichend das Vorhandensein und die

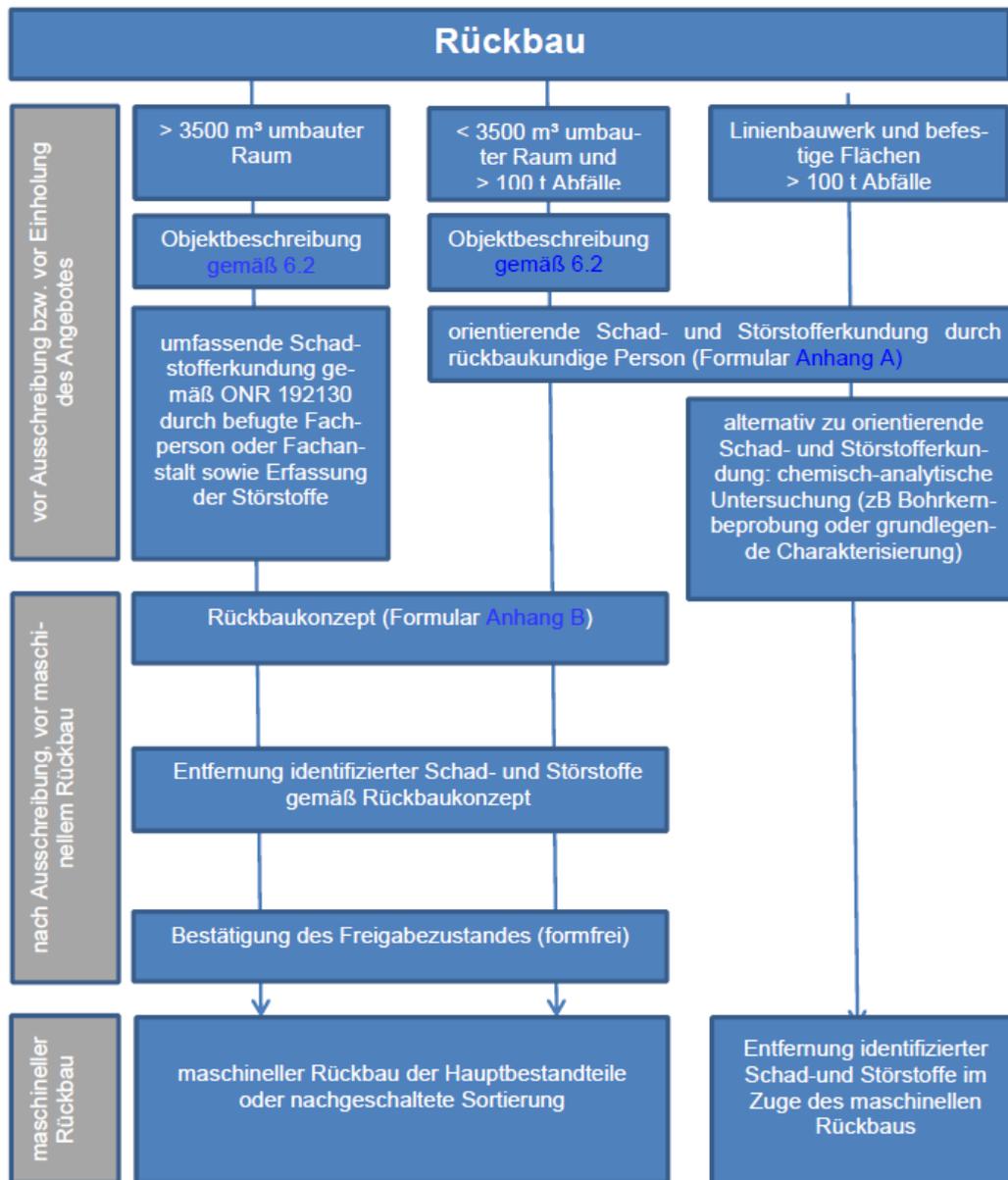


Abb. 3.3: Regelablauf bei Rückbauten,[28]

Menge zu dokumentieren, eine umfassende Schad- und Störstofferkundung verlangt die Lage im Bauwerk, Probenahme mit Untersuchung und Beschreibung des schadstoffbelasteten Materials, die Untersuchungsmethodik ist nicht definiert. Bei Störstoffen ist in beiden Fällen der selbe Aufwand notwendig. Vorkommen und geschätzte Masse sind ausreichend, eine weiterreichende Dokumentation ist jedoch wünschenswert. Das erarbeitete Abbruchkonzept gibt Empfehlungen, wie der Abbruchablauf am bestmöglichen zu gestalten ist, um unerwünschte Stoffe aus den getrennt zu sammelnden Abbruchmaterialien fern zu halten. Wie schlussendlich tatsächlich abgebrochen wird, obliegt dem Abbruchunternehmen. In einem ersten Schritt werden Schad- und Störstoffe so gut es geht entfernt, dies beinhaltet beispielsweise Fenster und Türen, welche (bis auf für Staubschutzzwecke) ausgebaut werden, und falls möglich einer Gebrauchtteilbörse zugeführt werden können. Anschließend sollte ein Rohbauähnlicher Zustand vorhanden sein, welcher bei

Einteilung in geeignete Abschnitte (im Normalfall geschoßweise) maschinell abgebrochen werden darf, sofern der Status des Freigabezustandes durch qualifiziertes Personal bestätigt wurde.

Sammlung und Trennung

Für die weitere Verwertung der Baurestmassen ist eine möglichst sortenreine Sammlung der unterschiedlichen Fraktionen essentiell, da nur aus hochwertigen und möglichst homogenen Abbruchmaterial auch hochwertige RC-Baustoffe hergestellt werden können [9, 16, 37]. Die bei den Tätigkeiten anfallenden Massen sind auf jeden Fall in die Hauptbestandteile gemäß [6] getrennt zu sammeln, wie es in Abb. 3.1 zu sehen ist.

Es wird jedoch nicht geregelt, mit welchem Aufwand getrennt werden soll, noch gibt es ein Organ, das die Trennung vor Ort bewertet und kontrolliert. Das AWG-2002 [13] legt für Baurestmassen lediglich fest:

Verwertbare Materialien sind einer Verwertung zuzuführen, sofern dies ökologisch zweckmäßig und technisch möglich ist und dies nicht mit unverhältnismäßigen Kosten verbunden ist. [13] S. 29

Da jedoch keine Beurteilungskriterien definiert sind, viel Interpretationsspielraum zulässt und letzten Endes vom Bauherrn, beziehungsweise Abbruchunternehmen beurteilt wird. Diesbezüglich wurden auch keine Untersuchungen in der Literatur gefunden, führt man sich jedoch vor Augen, wie sich Aufwand und Recyclingrate zueinander verhalten, wie in Abb. 3.4 zu sehen ist, liegt die Vermutung nahe, dass dies nur mit aller nötigstem Aufwand betrieben wird, da meist der günstigste Anbieter den Abbruchauftrag erhält. Anzumerken ist, dass 80 % nicht für alle Materialien die kosteneffizienteste Recyclingquote ist. Der exponentielle Anstieg des Aufwandes trifft jedoch häufig zu.

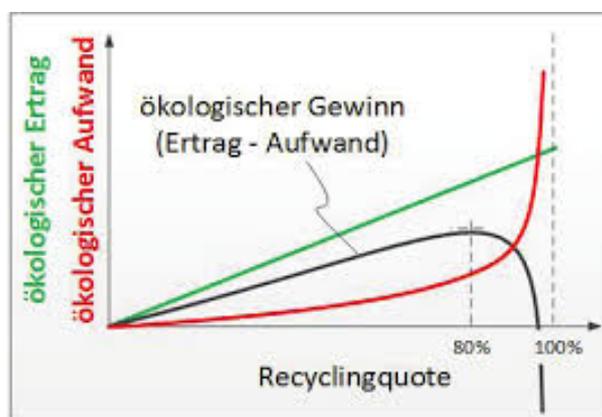


Abb. 3.4: Schematische Darstellung des Zusammenhangs von benötigter Arbeit zu Recyclingquote [14]

Die nötigen Platzbedürfnisse für die getrennte Sammlung sollten auf jeden Fall bei der Erstellung eines Abbruchkonzeptes berücksichtigt werden. Vor allem im Innerstädtischen Raum ist dies durch den teils dicht verbauten Raum nur schwer möglich, oder gar nicht machbar. Ebenso hat sich gezeigt, dass ältere Bauwerke in Ziegel- und Fachwerkbauweise zumeist einfacher in ihre Einzelbauteile zerlegt werden können [16], dies hat nicht nur eine erleichterte Trennbarkeit zur Folge, sondern ebenso erleichtert es die Möglichkeit, Bauteile einer Wiederverwendung zuzuführen. Abbruch- und Sammeltätigkeiten sind also von der Bauform abhängig.

Verwertung

Ob und wie Materialien zu Sekundärrohstoffen aufbereitet werden, hängt von unterschiedlichen Faktoren ab, wie um welches Material es sich handelt, in welcher Reinheit es vorliegt, ob eine Schadstoffbelastung vorhanden ist, und es sowohl technisch möglich, als auch wirtschaftlich machbar ist. Man sieht also, dass Art des Abbruches und Aufwand beim Trennen Grundsteine für ein hochwertiges Recycling sind. Falls es möglich ist ganze Bauteile schadensfrei auszubauen und andern Orts wieder zu verwenden, ist dies anzustreben. Dies kann beispielsweise bei gut erhaltenen Störstoffen, wie Fenster, Türen oder Fußbodenbelägen der Fall sein und wird von [28] empfohlen. Dies kann jedoch auch bei massiven Bauteilen, wie Wänden und Decken, vor allem bei Betonfertigteilen sinnvoll sein [12, 16], wie Untersuchungen in Deutschland wie dem Projekt "Plattenvereinigung" zeigten. Falls ausreichende Platzverhältnisse vorhanden sind, sollte auch eine Aufbereitung und Einsatz der RC-Baustoffe vor Ort geprüft werden. Dies reduziert etwaige lange Antransporte von Baumaterial und reduziert so den Energieeinsatz des neuen Bauwerks. Nach getrennter Sammlung der Hauptbestandteile können diese von Recyclingunternehmen zu RC-Baustoffe verarbeitet werden. Allenfalls ist bei Eintreffen der Bauabfälle eine Eingangsprüfung vorzunehmen, bei der das nicht vorhanden sein der vor dem Rückbau identifizierten Schad- und Störstoffe kontrolliert wird, ebenso wie eine chemische Untersuchung nach Herstellung der RC-Baustoffe, um diese einer Qualitätsklasse zuzuordnen, die die mögliche Art des Einsatzes festlegt. Diese Untersuchungen sind von der dafür zugelassenen akkreditierten Konformitätsprüfstelle [8] durchzuführen.

3.1.3 Derzeitiger Umgang mit Baurestmassen

Im folgenden soll beleuchtet werden, welche Verwertungsmöglichkeiten es für die einzelnen in Abb. 3.1 dargestellten und für diese Arbeit relevanten Materialgruppen gibt. Im Zuge der Untersuchungen [38] wurden Wertstoffkreisläufe ausfindig gemacht. Ebenso im Zuge von [21], welche vom betreuenden Institut zur Verfügung gestellt wurde. Im Folgenden ist das Ergebnis dieser Arbeiten sowie eigener Recherche zusammengefasst, wobei eine vollständige Auflistung der Materialien in Tab. 4.18 zu sehen ist. Die beiden Materialgruppen *Folien und Trennschichten* und *Sonstige Verbundwerkstoffe* wurden zusammengefasst.

1. MINERALISCHE ABFÄLLE

Naturstein-Schüttungen Dies entspricht gemäß [11] technischem Schüttmaterial, welches gemäß RC-VO zu RC-Baustoffe verarbeitet werden kann. Dieses kann anschließend im Grundbau als Schüttmaterial oder Dammkörper zum Einsatz kommen, oder Verwendung als Drainageschicht oder in anderer ungebundener Form Verwendung finden.

Beton Hier ist bis zu einem gewissen Grad ein Materialkreislauf möglich. Zwar kann aus Beton kein neuer Beton hergestellt werden, jedoch ist es möglich Zuschlagsstoffe für die Betonherstellung zu erzeugen. Des weiteren ist gemäß [6] eine Nutzung in ungebundener Form möglich. Dies hat zur Folge, dass häufig eine minderwertige Verwertung in Form von Hinterfüllungen und Drainageschichten zum Einsatz kommt [16, 40]. Wie in [16] gezeigt wird, wurden schon Bauwerke mit Recyclingbeton realisiert, bei denen Betonfestigkeiten von bis zu C30/37 erreicht werden konnten. Damit sind bei vielen Hochbauprojekten die mechanischen Erfordernissen eingehalten. Falls Schadstoffe (beispielsweise Bitumen, Gips) anhaften müssen diese entfernt werden.

Putz/Estrich/Mauerstein Mineralische Mischfraktionen werden zumeist einer Verwertungsanlage zugeführt und nach der Aufbereitung als Künettenverfüllung und ungebundenes Schüttungsmaterial zum Einsatz gebracht [40]. Die Einsatzmöglichkeit ist

jedoch auch stark davon abhängig, welches, und vor allem in welcher Reinheit ein Material vorliegt. So können beispielsweise Kalk-Sandsteine oder Ziegel für Mauerwerke aus den selbigen Abfallfrachten erzeugt werden [38]. Zur Zeit werden auch Verfahren entwickelt, Mischfrachten kleiner Körnung zu trennen, und so eine Substitution von Sand bei der Werkstoffproduktion zu ersetzen, oder Ersatzbaustoffe zu entwickeln, die beispielsweise Asbestabfälle unschädlich machen [31]. Der Feinkornanteil wird laut [P2] zur Zeit jedoch in der Regel deponiert. Eine eindeutige Zuordnung zu einem Verwertungsweg erscheint daher schwierig.

Gips Diese werden gemäß [28] als Störstoffe gehandhabt, und sind vor den eigentlichen Abbruchtätigkeiten aus dem Bauwerk zu entfernen, da er eine stoffliche Verwertung anderen Mineralischen Bauschutts erschwert, und bei einer Deponierung zu Problemen zufolge Sulfatbildung führt. Er tritt zumeist in Form von Gipskartonplatten und Gipsputz auf und kann in einen Materialkreislauf zurückgeführt werden, landen zur Zeit jedoch in der Regel im Baustellenabfall. Platten sollten getrennt gesammelt werden, und bei ausreichender Reinheit einer Materialverwertung zugeführt werden. Bei Putzen ist dies nicht so einfach möglich, da dieser maschinell von seinem Untergrund gelöst werden müsste. Eine Trennung findet zwar bei der Aufbereitung statt (zufolge unterschiedlicher Härten), oft jedoch nicht mit dem gewünschten Erfolg [16]. Eine Verwertung ist dann zwar möglich, wenn auch erschwert. So besteht bei ungebundenem Einbau der so erzeugten RC-Baustoffe die Gefahr des Eintrages von Sulfaten in die Umwelt, und in gebundener Form die des Sulfatreibens.

2. HOLZ

Vollholz/Bauholz Der mögliche Verwertungsweg wird maßgeblich vom Vorhandensein und der Art einer Beschichtung, oder Behandlung bestimmt. Beschichtungen können entfernt werden, wohingegen bei chemischen Behandlungen mit gefährlichen Stoffen oder anderen Verunreinigungen dies nicht möglich ist, was eine getrennte Sammlung als Folge hat [10]. Im Idealfall werden die Holzbauteile untersucht und einer Schlüssel-Nummer gemäß *Abfallverzeichnis 2001* zugeordnet. Entspricht diese einer der im *Anhang 1* aufgelisteten in [10], so ist eine Verwertung der Abbruchhölzer möglich. Es sollte geprüft werden, ob eine Wiederverwendung möglich ist, was jedoch zumeist mit hohem händischem Arbeitsaufwand verbunden ist, und daher nur selten angewandt wird. Eine Zuführung in die Holzwerkstoffindustrie und Produktion von Spanplatten, oder Erzeugung von Aktivkohle ist möglich, was als Downcycling angesehen wird. Nicht verwertbares Holz, wie Parkett mit PAK versetztem Kleber, oder PCB haltigen Anstrichen müssen einer thermischen Verwertung zugeführt werden. Da sowohl die Untersuchung behandelte Hölzer, als auch das Entfernen schadstoffbelasteter Anhaftungen und Anstriche jedoch sehr aufwändig ist (in Zukunft durch Maschinen automatisiert möglich), werden behandelte Hölzer (außer nur mechanisch behandelt) meist verbrannt. Ebenso ist es bei älteren Bauwerken, wo prinzipiell von einer Holzbehandlung mit schadstoffhaltigen Mitteln ausgegangen wird [16].

Holzwerkstoffe Verhält sich ähnlich wie Vollholz, es ist jedoch zu unterscheiden, ob es sich um Werkstoffe aus Spänen, wie OSB-Platten, oder MDF-Platten handelt, oder bestehend aus Brettern, wie Brettsperrholz. Werkstoff aus Spänen können einem Materialkreislauf zugeführt werden (sogar bis zu 100%) [16], was als Recycling zu werten ist. Im Gegensatz dazu kann Brettsperrholz auch nur der Holzwerkstoffindustrie zugeführt werden, was als Downcycling gewertet wird. Eine Wiederverwendung ganzer massiver Bauteile aus Holz, ähnlich wie der mehrmaligen Nutzung von Betonfertigteilen,

ebenso wie die Vorbereitung zur Wiederverwendung von genagelten Holzstapeln ist noch zu prüfen.

3. METALLE

Stahl In Form von Armierung oder Stahlträgern ist eine Rückführung in die Metallindustrie möglich [16, 40]. Da Fremdstoffe jedoch nach Möglichkeit entfernt werden sollen, kann eine Aufbereitung eines Spezialunternehmens von Nöten sein. Prinzipiell lässt sich feststellen, dass Metalle sehr gute Eigenschaften haben, um möglichst geschlossene Kreisläufe zu schaffen. Lediglich eine Multi-Metallurgische Aufbereitung stellt Metallproduzenten vor Schwierigkeiten (Metallurgischer Kreis).

4. DÄMMSTOFFE

Glaswolle Hier ist zwischen neuer und alter Glaswolle zu unterscheiden, wobei die alte krebserregend ist. Eine stoffliche Verwertung ist technisch in Form eines Materialkreislaufes möglich [16, 38], jedoch geschieht dies auf Grund von hohen Transportkosten nicht. Von Seiten der Abbruchunternehmen wird zumeist auch nicht zwischen den Dämmungsarten unterschieden, meist werden sie wie gefährlicher Abfall (lose, alte Glasfaserdämmung) behandelt, unter großen Arbeiterschutzmaßnahmen ausgebaut, luftdicht verpackt und anschließend so auf einer Deponie gelagert, da chemische Analysen recht teuer sind und nur selten durchgeführt werden [16]. Laut [P1] ist trotz diesen Untersuchungen keine eindeutige Faser-Charakterisierung möglich, und eine Rückführung aus Bestandsgebäuden, in einen Materialkreislauf in nächster Zukunft nicht vorstellbar.

Steinwolle Ähnlich wie bei der Glaswolle, sind Materialkreisläufe technisch möglich, jedoch scheitert es an zu hohen Kosten, sowie der Reinheit des anfallendes Abfalles. Daher wird ein Großteil der anfallenden Mengen deponiert [16].

Holzfaser Gehört zu den Holzwerkstoffen, bestehend aus Spänen. Eine Materielle Verwertung von Holzspanplatten ist laut [16] möglich, es besteht jedoch ein Beseitigungsgebot für diese Werkstoffe [P1], und muss daher einer thermischen Behandlung zugeführt werden.

EPS Eine Verwertung in einem Materialkreislauf ist technisch möglich, jedoch müsste hier das Material in möglichst materialhomogener Form gesammelt werden, was häufig nicht der Fall ist. So ist die Verunreinigung mit Putz und Trägermaterial, aber auch mit mineralischem Wandmaterial, welches beim Abschaben der Dämmung mit abgetragen wird. Ebenso ist das Untermischen in Drainageschichten möglich, jedoch wegen späterer Trennung nicht zu empfehlen (Verschleppung des Verwertungsproblems). Eine bessere, minderwertig-stoffliche Nutzung ist der Einsatz, in der Ziegelproduktion. Dies wird jedoch durch flammhemmende Mittel im Styropor mit Produktionsdatum bis 2014 erschwert. Beide Verwertungswege sind als Downcycling zu betrachten. An letzter Stelle (jedoch die übliche Verwertung) steht die thermische Verwertung [16]. Da es sich um ein organisches Material handelt, besteht ein Deponierungsverbot [11]. Ebenso wie für Spanplatten besteht zur Zeit auch für EPS ein Verbrennungsgebot [P1].

5. SONSTIGES

PE-Folien und Trennschichten Eine separate Sammlung und Rückführung in Materialkreisläufe ist möglich, wenn das vorliegende Material in ausreichend geringer Form vorliegt. Die Folien, aber auch beispielsweise Rohre werden zerkleinert, und zu einem Sekundärrohstoff in Form von PE-Granulat aufbereitet, welches als Ausgangsstoff

in der Kunststoffindustrie zum Einsatz kommt. Einer stofflichen Verwertung stehen jedoch die geringen Entsorgungskosten bei einer thermischen Verwertung gegenüber, sowie die Vielzahl an verwendeten, unterschiedlichen Kunststoffen (welche alle getrennt gesammelt werden müssten), im Vergleich zu ihrer Masse und geringer Anzahl an Rücknahmesystemen [16].

Bitumendichtung Hier sind keine hochwertigen Verwertungswege möglich. Eine thermische Verwertung ist die einzige. Einer Verklebung mit dem Untergrund zieht mit sich, dass auch angrenzende Schichten der selben Verwertung zugeführt werden. So werden zwei verklebte Folien, auch wenn eine Kunststofffolie vorliegt gemeinsam in einer Mischfracht abtransportiert und einer thermischen Verwertung zugeführt. Es sei denn, der PAK-Wert ist zu hoch. Da eine rückstandslose Entfernung bituminöser Schichten schwer möglich ist, werden auch häufig ganze Bauteile deponiert [P1] (Mauerwerk mit Teeranstrich). Auch wenn in dieser Arbeit bituminöse Dichtungsschichten gleich behandelt werden, gibt es umweltrelevante Unterschiede. So katalysieren Metalle, wie sie in Aluminium-Bitumendichtungen vorhanden sind, Schadstoffe/Toxine während des Verbrennungsprozesses [P3].

Eine materialabhängige Zuordnung der Verwertungswege ist also nicht möglich, da die Verwertung auch von der Fügetechnik abhängt (Haftschluss wird nur selten getrennt) und wie engagiert das Abbruchpersonal bei den Trennarbeiten ist - also wie die einzelnen Fraktionen nach dem Abbruch darliegen. (Abfallfracht, Homogenität, etc...)

3.2 Potentiale und Hindernisse

Bislang wurde der Stand der Technik im Umgang mit Baurestmassen beleuchtet, welche Schritte notwendig sind, um aus einem Abbruchgebäude neue Baumaterialien zu gewinnen, und in welchem gesetzlichen Rahmen dies zu erfolgen hat. Im weiteren wird erörtert, welche Schritte nötig sind, um den Umgang mit Baurestmassen nachhaltiger zu gestalten, um vorhandene Potentiale auszuschöpfen und welche Hürden dabei entstehen. Hierzu werden vier Ebenen betrachtet, und Maßnahmen erarbeitet:

- Baumaterialebene
- Informationsebene
- Soziale Ebene
- Staatliche/Institutionelle Ebene

3.2.1 Baumaterialebene

Die Grundvoraussetzung für ein funktionierendes Recycling sind vorhandene Materialkreisläufe. Bestehen diese nicht, ist es zwecklos, noch soviel Aufwand in die getrennte Sammlung von Abfällen zu investieren. Um den logistischen Aufwand beim Abbruch eines Gebäudes möglichst gering zu halten, ist es von Vorteil, eine möglichst geringe Anzahl unterschiedlicher Materialien in einem Gebäude zu verbauen. Ebenso sollte die Materialvielfalt im gesamten Bauwesen möglichst gering gehalten werden, was daher immer höheren technischen Anforderungen und der bisherigen Entwicklung nur schwer vorstellbar ist.

3.2.2 Informationsebene

Seit Beginn der Digitalisierung werden Daten immer wichtiger. Seit der Implementierung von BIM (Building Information Modeling) in der Software des Bauwesens, ist es möglich ein digitales Abbild eines Gebäudes zu erstellen, und Lebenszyklus relevante Daten, wie Dichte, Graue Energie der Materialien, Lebensdauer, usw. einzelnen Bauteilschichten zu zuordnen. Es ist auch möglich geworden, große Datenmengen zu verarbeiten und zu analysieren. Da dies jedoch eine verhältnismäßig junge Technologie ist, kommt es in der Praxis häufig zu folgenden Problemen:

- Wenig bis keine Information zur eindeutigen Materialdefinition vorhanden
- Keine numerische Bewertung in der Praxis, wie Recyclingfreundlich Konstruktionen sind
- Keine bis schlecht genutzte Materialkreisläufe vorhanden

In der Literatur finden sich zu den obigen Problemen folgende erarbeitete Lösungsansätze.

3.2.2.1 Materieller Gebäude Pass (MGP)

Im Zuge von [21] wurde es ermöglicht, mithilfe von BIM-Technologie, und der Software *Building One* einen MGP zu erstellen, welcher die je Bauteil vorkommenden Materialien auflistet, und diese über das Gesamtgebäude zu Gesamtmassen akkumuliert. Zusätzlich sind Informationen bezüglich der Fügetechnik, der einzelnen Materialschichten vorhanden, sowie Kennwerte für eine Ökobilanzierung. Dieses Werkzeug bildet also die Grundlage nach dem im BAWP angestrebten Materialkataster, welcher wiederum die Unsicherheiten in der Lagerforschung (Abb. 3.2) reduziert. Für die Zukunft sollte die Erstellung eines MGP, oder eines BIM-Modells, mit ausreichend Daten, erstellt werden. Bei größeren Bauwerken (> 750 t) sollte dies verpflichtend sein, da dies die Qualität der Stör- und Schadstofferkundung, sowie die Erstellung der Abbruchkonzepte sehr vereinfacht. Da hiermit jedoch weitere Planungskosten verbunden sind, wird sich die freiwillige Erstellung eines solchen in Grenzen halten.

3.2.2.2 RFDI

Radio-Frequency Identification wird eine Technologie bezeichnet, bei der ein sogenannter RFID-Chip in einem Gegenstand verbaut wird, welcher Produkt spezifische Informationen besitzt. In Kombination mit dem MGP sehe es so aus, dass ein Abbruchkonzept entwickelt wird, vor Ort der per Chip überprüft wird, ob tatsächlich das angenommene Material vorliegt und dieses dann geeignet gesammelt werden kann. Laut Co-Autor von [31] besteht jedoch das Problem, dass zum Zeitpunkt einer etwaigen stofflichen Verwertung das Problem im Raum steht, dass die verwendete Sendetechnologie dann noch aktuell ist, was vor allem bei üblichen Nutzungsdauern 50 Jahren und mehr ein besonderes Problem darstellt.

3.2.2.3 Recycling Börse Bau (RBB)

Schon heute gibt es eine Vermittlungsplattform für Baurestmassen [30]. In dieser können Privatpersonen und Juristische Personen im Bezug auf BRM Inserate aufgeben, was sowohl Angebot, als auch Nachfrage anbelangt. Dieses sollte gefördert, erweitert und in Kooperation mit Materialherstellern stehen. Zur Zeit beschränkt sich die Vermittlung auf mineralische BRM, außerdem ist der Anteil an Gesamtabfällen aus dem Bauwesen laut Auskunft von [P2, P3] sehr gering.

3.2.3 Soziale Ebene

Recyclingprodukten fehlt es häufig an Akzeptanz. Sowohl in leistungsfähiger Sicht, als auch hygienisch/gesundheitlicher Sicht. Wenn man bedenkt, dass Recyclingprodukte zumeist ein strengeres und umfangreicheres Prüfverfahren durchlaufen, zu unrecht. Wichtig erscheint es, ein Bewusstsein in der Bevölkerung zu schaffen, wie wichtig dieses Thema ist [16]. Besonders zweckmäßig scheint es einen hohen Grad an Wiederverwendung und Einsatz von Recyclingprodukten bei staatlichen Projekten einzusetzen, und darüber auch zu informieren. Prestigebauwerken eignen sich dafür wohl am ehesten.

3.2.4 Institutionelle Ebene

Auch wenn alle Ebenen ein Netz bilden, kann man hier die größten Veränderungen erwirken. Durch Gesetze lässt sich Verhalten zwangsverordnen, welches sonst nur schwer zustande kommt. Da das AWG-2002 die Grundlage für den Umgang mit Abfall liefert, und die Forderung nach ökologischer Zweckmäßigkeit, Wirtschaftlichkeit und technischer Machbarkeit ist sehr wage, und lässt viel Interpretationsspielraum zu. Eine gesetzliche Präzisierung ist von Vorteil, jedoch müssen hier Untersuchungen durchgeführt werden, bei welchen Materialien und Konstruktionen mit dem geringsten Aufwand der größtmögliche Erfolg erzielt werden kann. Da hier jedoch nachhaltiger Umgang mit Ressourcen und möglichst geringer Einfluss auf die Umwelt im Vordergrund steht, darf nicht nur die Masse, sondern auch Energie-, wirtschaftliche und Emissionsaspekte, sowie Aspekte der Ressourcenknappheit berücksichtigt werden. Dies erfordert eine multimodale Bewertung [26]. Hier soll lediglich die materielle Komponente beleuchtet werden. Weitere Probleme sind laut Dipl.Ing. Dr. Arne Ragossnig, dass das Rückbaukonzept vor der Ausschreibung der Abbrucharbeiten erstellt wird, und daher sehr allgemein gehalten ist, die etwaige Wiederverwendung dem Bauherrn obliegt, sowie keine genaue Regelung über Systematik und Umfang von Schad- und Störstoffanalysen, wodurch verhindert werden soll, dass beispielsweise schadstoffhaltige Schichten nicht abgetragen und separat entsorgt werden [31]. Folgende Probleme treten in der Praxis auf:

- Keine Weisungsorgane bei Abbrucharbeiten
 - Recycling-freundliches Trennen überwachen
 - Abbruchkonzept fortschreiben
- Wirtschaftlich-Technische Verhältnismäßigkeit bei Abbrucharbeiten nicht bekannt
- RC-Baustoffe oftmals nicht ins (EU-)Ausland exportierbar

Kapitel 4

Fallstudie: Bewertung des Recyclingpotentials

Wie in Kap. 2.2 erwähnt, wurde lediglich ein Modell zur Bewertung der Abbruch- und Verwertungsfreundlichkeit von Bauteilen in der Literatur gefunden. Dieses wurde von Prof. Dr. Ing. Frank Vogdt entwickelt (Technischen Universität Berlin - Fachbereich für Bauphysik und Baukonstruktion). Es soll als Entwurfskriterium während der Planungsphase dienen (Integration BNB-Bewertungssystem) und ist in [38] dargestellt. Hierbei werden drei recyclingrelevante Bauteileigenschaften bewertet, nämlich wie einfach sich der Rückbau gestaltet, wie leicht die verwendeten Materialien voneinander trennbar und für das Recycling in ausreichend sortenreiner Form sammelbar sind, und welche Materialeffizienz bei der Verwertung der Baumaterialien erreicht wird. Sowohl das Bewertungskonzept, als auch das zu bewertende Gebäudemodell werden im weiteren erläutert. Die Vorgehensweise bei der Bewertung des Modells ist in Abb. 4.1 dargestellt.

4.1 Bewertungskonzept End-of-Life

Das Recyclingbewertungskonzept End-of-Life teilt den drei zuvor genannten, im Recyclingprozess relevanten Schritten, *Rückbau*, *Trennung*, und *Verwertung*, Punkte in Form eines Notensystems zu, welche von 1–8 reichen, wobei 8 die bestmögliche Note darstellt. Je nach erreichter Punktezahl wird die Recyclingfreundlichkeit des Bauteils durch die zuvor genannten drei Kategorien in eine der vier Klassen *schlecht* (0 bis 2 Punkte), *mittel* (> 2 bis 4 Punkte), *gut* (> 4 bis 6 Punkte) und *sehr gut* (> 6 Punkte) eingeteilt. In Abhängigkeit der Kategorie fließen unterschiedliche Faktoren in die Berechnung ein, wie Art und Lage des Bauteils für die Kategorie Rückbau, Fügetechnik und Beschichtung bei Kategorie Trennung, sowie die Verwertungswege der unterschiedlichen Materialien in die Kategorie Verwertung. Es wurde entwickelt, um als Werkzeug schon während des Planungsprozesses eines Bauwerks zu dienen, um beurteilen zu können, wie Recyclingfreundlich es ist und als Indikator für eine möglichst geringe Masse an unverwertbaren Bauabfällen am Ende des Lebenszykluses.

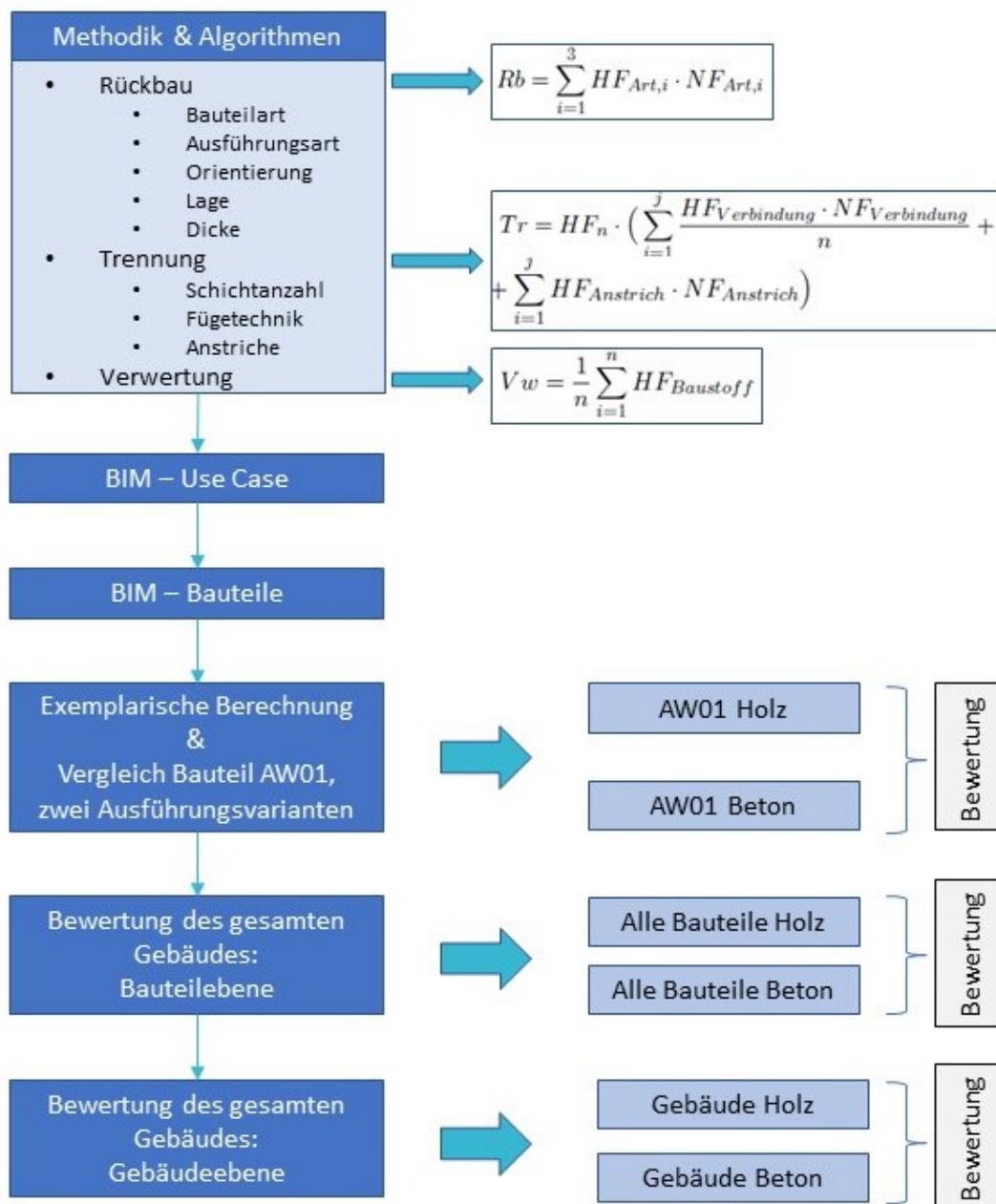


Abb. 4.1: Darstellung der Vorgehensweise zur Bewertung der Recyclingfreundlichkeit

4.1.1 Formeln und Faktoren

4.1.1.1 Rückbau

Diese Kategorie setzt sich aus der Summe dreier Unterkategorien zusammen, wobei jeder Unterkategorie ein Haupt- und ein Nebenfaktor zugeordnet wird, welche durch Multiplikation die Bewertung der Unterkategorie ergibt. In die Rückbaubewertung fließen folgende Faktoren ein:

- Art des Bauteils (zB.: Außenwand)
- Ausführungsart (zB.: Massiv mit WDVS)
- Orientierung (zB.: Vertikal)
- Dicke der tragende Schicht (zB.: >24 cm)
- Lage (zB.: 10-20 m)

$$Rb = \sum_{i=1}^3 HF_{Art,i} \cdot NF_{Art,i} \quad (4.1)$$

wobei die einzelnen Bauteileigenschaften folgende Faktoren zugeordnet sind:

Tab. 4.1: Haupt und Nebenfaktoren zur Berechnung der Kategorie Rückbau, [38]

Bauteilart	HF_{Art}	Ausführungsart	NF_{Art}
Außenwand	1,3	Massiv ohne Dämmung	1,80
		Skelett mit Vorhangfassade	1,62
		Massiv mit hinterlüfteter Bekleidung	1,44
		Massiv mit WDVS	1,26
		Holzmassiv mit hinterlüfteter Bekleidung	1,44
Decke	1,3	Massiv	1,44
		Holzmassiv	1,44
Dach	1,3	Flachdach-Massiv	1,44
		Flachdach Holzmassiv	1,44
Orientierung	HF_{Dicke}	Dicke	NF_{Dicke}
Vertikal	3,42	$\leq 24cm$	1,20
		$>24 cm$	0,86
Horizontal	3,42	$\leq 24cm$	1,20
		$>24 cm$	0,86
Orientierung	HF_{Lage}	Höhe	NF_{Lage}
Vertikal	1,3	$\leq 10m$	1,20
		10-20 m	1,0
		$>20 cm$	0
Horizontal	1,3	$\leq 10m$	1,20
		10-20 m	1,0
		$>20 m$	0

Wie schon erwähnt, befindet sich das Bewertungsverfahren derzeit noch in der Validierungsphase, was zur Folge hat, dass einzelne Werte noch adaptiert werden müssen. Des weiteren beschränken sich die vorhandenen Daten auf vertikale Außenbauteile (Außenwand). Daher war es von Nöten weitere Faktoren anzunehmen um ein ganzes Bauwerk bewerten zu können. Die in Gelb hinterlegten Faktoren in Tab. 4.1 entsprechen eigenen Annahmen, und stammen nicht aus [38].

4.1.1.2 Trennung

Bei der sortenreinen Trennung der in einem Bauwerk verwendeten Baumaterialien spielen die Schichtanzahl des Bauteils, die Fügetechnik, sowie das Vorhandensein eines Anstrichs oder einer Beschichtung in die Bewertung eine Rolle. Die Anzahl der Schichten hat zwar keinen Einfluss darauf, ob Materialien unterschiedlicher Schichten trennbar sind, jedoch auf die Arbeit, welche für eine recyclingfreundliche, getrennte Sammlung aufgewandt werden muss, um diese im weiteren überhaupt einer stofflichen Verwertung zuführen zu können, wie in Abb. 3.4 gezeigt wurde. Bei der Fügetechnik unterscheidet man zwischen mechanischen und gefügedichten Verbindungen. Mechanische Verbindungen wirken sich günstiger auf die Trennung aus, je geringer die Anzahl der Verbindungsmittel je Quadratmeter ist. Bei gefügedichten Verbindungen ist der Anteil an Haftfläche ausschlaggebend, außerdem ist es hier auch beinahe unmöglich eine Trennung ohne einem gewissen Anteil an Mischfracht zu erzeugen, so wird beispielsweise beim Abklopfen von Fliesen von einer Wand immer ein Fliesenmörtel an dieser zurückbleiben, oder man klopft Beton mit ab, wohingegen geschraubte Bretter rückstandslos von deren Trägermaterial zu entfernen sind. Wobei auch die Art der mechanischen Verbindungsmittel von Bedeutung ist. Handelt es sich um ein schnell lösbares Verbindungsmittel, wie ist die Verbindung zugänglich und dergleichen. Des Weiteren ist das Vorhandensein und die Art eines Anstrichs von Bedeutung. Dies berücksichtigt beispielsweise den Aufwand der betrieben werden muss, da gewisse Anstriche und Anhaftungen als Schadstoffe gelten [23]. Auch hier werden den einzelnen Kategorien Haupt- und Nebenfaktoren zugeordnet. Die Bewertung erhält man durch Multiplikation von Haupt- und Nebenfaktor der einzelnen Unterkategorien und anschließender Summenbildung über alle Schichten. Außerdem ist der Einfluss der Schichtanzahl zu berücksichtigen.

$$Tr = HF_n \cdot \left(\sum_{i=1}^j \frac{HF_{Verbindung} \cdot NF_{Verbindung}}{n} + \sum_{i=1}^j HF_{Anstrich} \cdot NF_{Anstrich} \right) \quad (4.2)$$

wobei die einzelnen Bauteileigenschaften folgende Faktoren zugeordnet sind:

Tab. 4.2: Hauptfaktoren zur Berechnung der Kategorie Trennung - Unterkategorie Anzahl der Bauteilschichten, [38]

Bauteilschichten	HF_n
1	1,50
2	1,36
3	1,25
4-5	1,07
>6	1,00

Tab. 4.3: Haupt und Nebenfaktoren zur Berechnung der Kategorie Trennung - Unterkategorie Fügetechnik, [38]

Verbindungsart	$HF_{Verbindung}$	Flächenbezogene Verbindung	$NF_{Verbindung}$
Mechanisch durch Verbindungsmittel	1,79	Anzahl der Verbindungsmittel / m ²	4 - 6 1,1
			7 - 10 0,5
			> 10 0
Gefügedicht durch Mörtel oder Kleber	1,66	Klebe(Mörtel)flächenanteil	≤ 50% 1,1
			> 50 % 0,5
			100 % 0

Tab. 4.4: Haupt und Nebenfaktoren zur Berechnung der Kategorie Trennung - Unterkategorie Vorhandene Anstriche, [38]

Art des Anstriches	$HF_{Anstrich}$	$NF_{Anstrich}$
Nicht vorhanden	1,5	1
mineralisch	0,75	1
organisch	0	0

4.1.1.3 Verwertung

Hier ist das einzig relevante Bewertungskriterium der Verwertungsweg rückgebauter Materialien, welcher für jede Bauteilschicht bestimmt werden muss. Abhängig davon, ob eine stoffliche Verwertung, eine thermische Verwertung oder Deponierung erfolgt, werden den Bauteilschichten Punkte zugewiesen. Der Mittelwert aller Schichtbewertungen ergibt die Bauteilbewertung. Betrachtet man die angeführten Verwertungswege und den ihnen zugeordneten Bewertungspunkten fällt auf, dass sich die Verteilung an der Reihung der Abfallhierarchie [13] orientiert. Anzumerken ist jedoch, dass eine *Vorbereitung zur Wiederverwertung* (Höchste Ebene der Stofflichen Verwertung) nicht berücksichtigt wird, was bei manchen Bauteilen wie Betonfertigteilen, oder Baumaterialien wie alten Dachziegeln durchaus sinnvoll sein kann, und auch am Markt (zumindest teilweise) nachgefragt ist [12, 16], außerdem stehen *Downcycling* (entspricht vermutlich *Sonstiger Stofflicher Verwertung*) und *Heizwert/PEI¹ > 1* (entspricht *energetischer Verwertung, Ersatzbrennstoff*) auf derselben abfallwirtschaftlichen Hierarchieebene, dennoch werden unterschiedliche Punkte verteilt. Des weiteren fällt eine thermische Verwertung mit geringem Heizwert unter die Kategorie Beseitigung, während *sonstige stoffliche Verwertungen* keine Berücksichtigung findet. Hier sei an dieser Stelle Holzspäne in der Ziegelherstellung, oder Holz zur Erzeugung von Synthesegas erwähnt. Die Bewertung geschieht wie folgt:

$$Vw = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n HF_{Baustoff} \quad (4.3)$$

wobei den einzelnen Bauteileigenschaften folgende Faktoren zugeordnet sind:

¹PEI steht für Graue Energie, und gibt somit Auskunft darüber, wie viel Energie für Ressourcengewinnung, Transport, Produktion, usw. während des Lebenszykluses eines Produktes aufgewandt werden muss

Tab. 4.5: Hauptfaktoren zur Berechnung der Kategorie Verwertung, [38]

Verwertungsweg	$HF_{Baustoff}$	
Stoffliche Verwertung (Wertstoffkreislauf)	Up- und Recycling	8
	Downcycling	7
Sonstige energetische Verwertung	Heizwert/PEI ≥ 1	5
	Heizwert/PEI < 1	2
Beseitigung	Deponie	0

4.1.2 Anwendungsschwierigkeiten

Wie bereits erwähnt, ist das Bewertungskonzept *End-of-Life* das einzige Bewertungsverfahren zur Beurteilung der Performance von Bauwerken im Bezug auf Abbruch und Recycling, das im Zuge der Recherche zu dieser Arbeit gefunden wurde. Es liegt jedoch nicht in vollständiger Form vor, was durch eigene Annahmen ergänzt werden musste. Dies konnte jedoch nur in Anlehnung an den bereits bekannten Teil des Bewertungskonzeptes geschehen. Daraus resultiert, dass folgende Bauteile nicht in die hier erarbeitete Gebäudebewertung mit einfließen:

- Einzelstützen
- Fenster
- Türen
- Leichtbauwände

Des weiteren wäre es mit den bekannten Daten nicht möglich, Dachkonstruktionen (mit Ausnahme von Flachdächern) zu bewerten. Dies ist vermutlich darauf zurück zu führen, dass diese Bauteile mit Ausnahme von Einzelstützen, Türen und Fenster als Staubschutz schon vor den eigentlichen Abbruchtätigkeiten rückgebaut werden.

4.1.2.1 Unsicherheiten in dieser Arbeit

Rückbau

Wie oben erwähnt, sind die in Tab. 4.1 gelb hinterlegten Faktoren für eine möglichst vollständige Bewertung des in Kap.4.2 dargestellten Bewertungsmodells notwendig, jedoch nicht bekannt. Sie beruhen auf eigenen Annahmen, und entsprechen dem Aufbau der bekannten Daten. Bei der *Art des Bauteils* wurden die Bauteilarten Decke und Dach ergänzt, jeweils in den beiden Ausführungsvarianten Massiv (Beton) und Holzmassiv. Die Höhe der Hauptfaktoren richtete sich dabei nach der Höhe der bekannten Werte. Die Höhe der Nebenfaktoren orientiert sich an *Massiv mit hinterlüfteter Bekleidung*. Wie man sieht ist keine höhere Bewertung möglich, als mit den bereits bekannten Daten, und somit eine Bewertung außerhalb der Bewertungsskala ausgeschlossen. Für die beiden weiteren Unterkategorien wurden die Hauptfaktoren um *Horizontal* erweitert, die Werte wurden jedoch übernommen und blieben somit gleich.

Trennung

Die Daten dieser Kategorie sind für eine Bewertung fast ausreichend bekannt, lediglich für keine Verbindung, wie es beispielsweise bei Kiesschüttungen, oder lose verlegten Mineralwollen der Fall ist. Es ist die Verbindung zwischen den Bauteilschichten zu bewerten, jedoch fließt jede Schicht in die Bewertung mit ein. Daher wird bei der Bewertung in dieser Arbeit die schlechtere Verbindung

jeder Bauteilschicht gewählt und für die Berechnung herangezogen. Des Weiteren ist die Anzahl der Verbindungsmittel/Klebeflächenanteil von Faktoren wie Windbelastung, Höhe des Bauwerks, Befestigungsabstände abhängig, hier wurden übliche Werte für die weitere Berechnung herangezogen. Lose verlegten Materialien wurden die Faktoren von mechanischen Befestigungen mit der geringsten Anzahl an Verbindungsmitteln, falls ein lose verlegtes Material in einer heterogenen Schicht auftritt, werden allen Teilen der Schicht die gleichen Verbindungsmiteleigenschaften zugeordnet.

Verwertung

Das größte Problem dieser Kategorie ist zu beurteilen, welchen Verwertungsweg die unterschiedlichen Materialien zugeführt werden, und wo sie nach dem Recyclingprozess wieder zu verorten sind. Dies sei kurz an den Beispielen Glaswolle und Beton erklärt:

- Für Glaswolle stehen technisch Wertstoffkreisläufe zur Verfügung. Das heißt, lose verlegte Glaswolle kann in reiner Form gesammelt und dem Recyclingprozess zugeführt werden, um neue Glaswolle daraus herzustellen. Im Gegensatz dazu wird in der Praxis zumeist alte Glaswolle deponiert.
- Aus Beton erzeugte RC-Baustoffe weisen in Abhängigkeit der Schadstoffbelastung unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten auf. Wo die im Recyclingprozess erzeugten Sekundärrohstoffe schlussendlich zum Einsatz kommen ist nur schwer zu eruieren.

Des Weiteren ist nicht klar definiert, wie andere stoffliche Verwertungen zu bewerten sind, oder was genau unter Up-, Re- und Downcycling verstanden wird. In dieser Arbeit wird der Zyklus Beton-zu-Beton und Dämmung-zu-Dämmung als Up- und Recycling verstanden. Der Einsatz von Betonabbruch als Schüttmaterial oder Künettenverfüllung wird als Downcycling verstanden. Da unterschiedliche Wertstoffkreisläufe technisch umsetzbar sind, jedoch nicht genutzt werden, wird einerseits eine Bewertung mit optimaler Verwertung (Materialien werden Wertstoffkreisläufen zugeführt) und andererseits eine Bewertung mit gängigen Verwertungswegen (siehe Beispiel Glaswolle oben) betrachtet.

4.1.2.2 Probleme in der Praxis

Die zwei für das Recyclingpotential maßgebenden, und in der Planungsphase mit den größten Unsicherheiten behaftete Kategorien sind in Abb. 4.2 dargestellt. Wobei in der Praxis die Fügetechnik häufig Einfluss auf den gewählten Verwertungsweg nimmt, da der nötige Aufwand zur Trennung unterschiedlicher Materialien ausschlaggebend ist, ob eine getrennte Sammlung stattfindet oder nicht. Ein hoher Aufwand bei der Trennung, hat hohen Personalaufwand für das Abbruchunternehmen zu bedeuten, was wiederum zu hohen Kosten führt, was der wirtschaftlichen Verhältnismäßigkeit gegenübersteht.

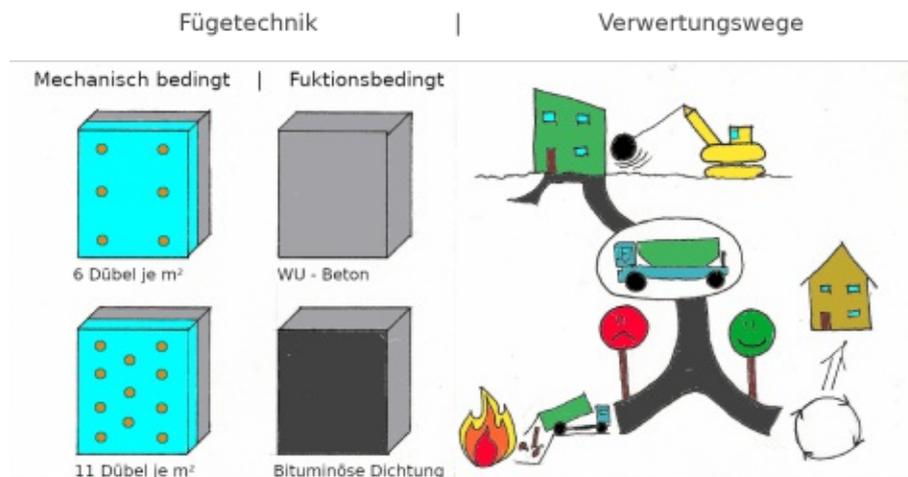


Abb. 4.2: Unsicherheiten

Für die Betrachtung, ob ein Bauwerk gute Recyclingeigenschaften aufweist, ist also eine sehr detaillierte Kenntnis über Schicht-Verbindungen, Anstriche und Verwertungsweg notwendig, was jedoch in der Planungsphase meist nicht bekannt ist. Selbst die Schichtanzahl eines Bauteils ist oft noch nicht definitiv bekannt. In dieser Arbeit wurde das Verbesserungspotential der Kategorie *Verwertung* untersucht. Da die Montagetechnik von vielen Faktoren abhängt, und sehr unterschiedlich gestaltet werden kann, wurde im Zuge dieser Arbeit auf eine Betrachtung der möglichen Potentiale der Kategorie *Trennung* verzichtet.

4.2 Bewertungsobjekt

Bei dem zu bewertenden Modell handelt es sich um ein unterkellertes Wohngebäude mit 6 oberirdischen Geschossen. Es wurde vom betreuenden Institut ein 3D-Modell zur Verfügung gestellt, welches im Zuge des Forschungsprojektes *BIMATERIAL* [21] verwendet wurde, und in Abb. 4.3 zu sehen ist. Die verbaute Grundstücksfläche beträgt $717,47 \text{ m}^2$ und die oberirdische Gebäudehöhe rund $717,74 \text{ m}$. Der Grundriss ist L-förmig gestaltet, wobei die äußeren Seiten der beiden Schenkel eine Länge von $35,9 \text{ m}$ und eine Tiefe von 12 m aufweisen.



Abb. 4.3: 3D- Darstellung des Untersuchungsobjektes,[20]

Das Gebäude wurde in Holzmassivbauweise mit Unterkellerung aus Beton konzipiert. Um die Ergebnisse der Bewertung, deren Ablauf in Kap. 4.1 vorgestellt wurde besser diskutieren zu können, und weil das Verfahren auf den Umgang mineralischer Baumaterialien ausgelegt ist, wird zusätzlich zu Variante Holz ein Betonvariante, mit in der Praxis üblichen Schichtaufbau.

4.2.1 Aufbauten

Für die Bewertung werden nur die oberirdischen, tragenden Bauteile herangezogen, mit Ausnahme der Stützen und auskragenden Balkonplatten. Deren Schichtaufbau wird im weiteren dargestellt. Die Bauteilbezeichnungen wurden aus [20] übernommen, die Schichtaufbauten (Variante Holz) stimmen nicht ganz überein, so wurde zum Beispiel Holzwolledämmung durch Glaswolle ersetzt. Die Materialbezeichnungen wurden nicht ident übernommen.

4.2.1.1 Außenwände - 01AW

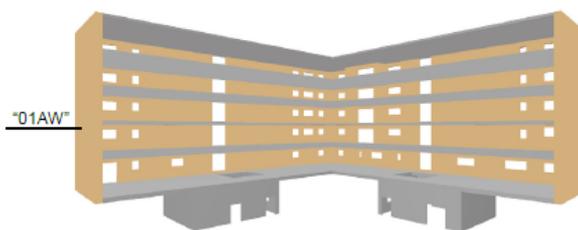


Abb. 4.4: Übersicht der Außenwände,[20]

Tab. 4.6: Schichtaufbau der Außenwände - Variante Holz, [15] (adaptiert)

Schicht	Schichtstärke [cm]	Material
1	2,4	Sperrholz
2	4,0	Holzlattung
3	2,2	Holzfaserdämmplatte
4	20	Glaswolle
4a	20	Holzlattung
5	9,5	Brettsperrholz
6	6	Holzlattung
6a	6	Steinwolle
7	2,5	Gipskartonplatte

Tab. 4.7: Schichtaufbau der Außenwände in den Obergeschoßen - Variante Beton

Schicht	Schichtstärke [cm]	Material
1	1,9	Silikatputz
2	27	EPS-F
3	20	Stahlbeton
4	0,3	Gipsspachtelung

Die Fläche dieses Bauteiltypes beträgt $1897,08 \text{ m}^2$. Dieser Typ bildet, wie in Abb. 4.4 zu sehen ist, alle Außenwände ab dem 1. Obergeschoss.

4.2.1.2 Außenwand - AW01-Kern

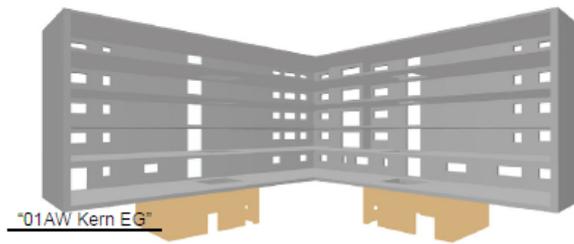


Abb. 4.5: Übersicht der Außenwände im Erdgeschoß,[20]

Tab. 4.8: Schichtaufbau der Kern-Außenwände - Variante Holz, [15] (adaptiert)

Schicht	Schichtstärke [cm]	Material
1	6,4	Kalkzementputz
2	2,2	Holzfaserdämmplatte
3	20	Holzlattung
3a	20	Glaswolle
4	12,8	Brettsper Holz
5	6	Holzlattung
5a	6	Steinwolle
6	2,5	Gipskartonplatte

Tab. 4.9: Schichtaufbau der Kern-Außenwände - Variante Beton

Schicht	Schichtstärke [cm]	Material
1	1,9	Silikatputz
2	27	EPS-F
3	20	Stahlbeton
4	0,3	Gipsspachtelung

Die Fläche dieses Bauteiltypes beträgt $282,37 \text{ m}^2$. Dieser Typ bildet, wie in Abb. 4.5 zu sehen ist, den massiven Treppenhaus-Kern im Erdgeschoss.

4.2.1.3 Flachdach

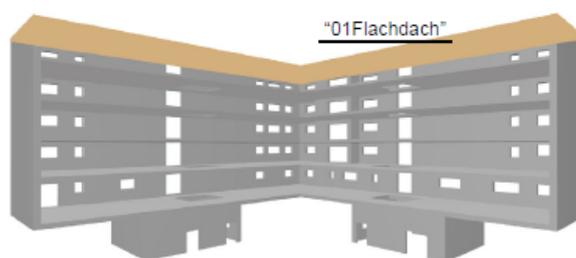


Abb. 4.6: Übersicht des Flachdaches,[20]

Tab. 4.10: Schichtaufbau des Flachdaches - Variante Holz, [15] (adaptiert)

Schicht	Schichtstärke [cm]	Material
1	5	Kiesschüttung
2	0,15	Trennvlies (PE)
3	0,15	Bitumendichtung
4	20	Steinwolle
5	0,15	Dichtungsfolie (PE)
6	26	Brettsperrholz
7	3	Holzlattung
7a	3	Steinwolle
8	1,25	Gipskartonplatte

Tab. 4.11: Schichtaufbau des Flachdaches - Variante Beton

Schicht	Schichtstärke [cm]	Material
1	6	Kiesschüttung
2	0,78	Polymerbitumen-Dichtung
3	0,16	Dampfdruckausgleich
4	28	EPS
5	0,14	Aluminium-Bitumendichtung
6	0,18	Dampfdruckausgleich
7	20	Stahlbeton
8	0,3	Gipsspachtelung

Die Fläche dieses Bauteiltypes beträgt $717,47\text{ m}^2$. Dieser Typ bildet, wie in Abb. 4.6 zu sehen ist, das Flachdach über die gesamte verbaute Fläche.

4.2.1.4 Decke gegen Außenluft

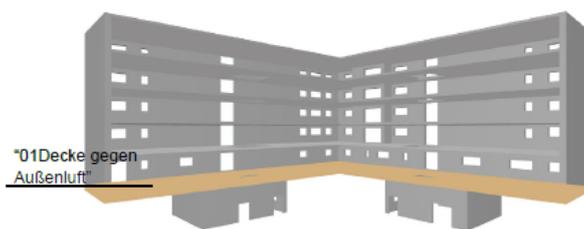


Abb. 4.7: Übersicht der Geschosdecke mit Kontakt zur Außenluft,[20]

Tab. 4.12: Schichtaufbau der Decke gegen Außenluft - Variante Holz, [15] (adaptiert)

Schicht	Schichtstärke [cm]	Material
1	1,5	Parkett (Holz)
2	3,5	Zementestrich
3	0,1	Bitumenpappe
4	3	Steinwolle (TDP)
5	6	Splittschüttung
6	0,15	Trennvlies (PE)
7	26	Brettsper Holz
8	0,15	Dichtungsfolie (PE)
9	20	Glaswolle
10	6	Kalkzementputz

Tab. 4.13: Schichtaufbau der Decke gegen Außenluft - Variante Beton

Schicht	Schichtstärke [cm]	Material
1	1	Parkett (Holz)
2	3,2	Holzspanplatte
3	8	Glaswolle
3a	8	Distanzbodenhalter
4	20	Stahlbeton
5	21	EPS
6	0,25	Silikatputz

Die Fläche dieses Bauteiltypes beträgt 681,79 m². Dieser Typ bildet, wie in Abb. 4.7 zu sehen ist, die Luft berührten Deckenteile über dem Erdgeschoss.

4.2.1.5 Geschoßdecke

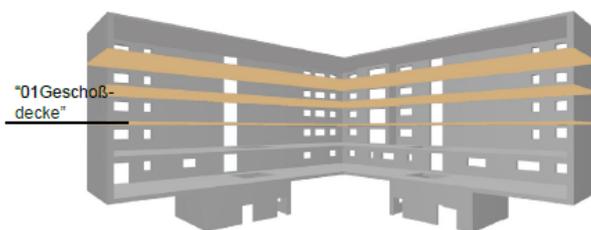


Abb. 4.8: Übersicht der Geschoßdecken (Decken ü. 2.-4.OG), [20]

Tab. 4.14: Schichtaufbau der Geschoßdecken - Variante Holz, [15] (adaptiert)

Schicht	Schichtstärke [cm]	Material
1	1,5	Parkett (Holz)
2	3,5	Zementestrich
3	0,1	Bitumenpappe
4	3	Steinwolle (TDP)
5	6	Splittschüttung
6	0,15	Trennvlies (PE)
7	26	Brettsper Holz
8	3	Holzlattung
8a	3	Steinwolle
9	1,25	Gipskartonplatte

Tab. 4.15: Schichtaufbau der Geschoßdecken - Variante Beton

Schicht	Schichtstärke [cm]	Material
1	1	Parkett (Holz)
2	3,2	Holzspanplatte
3	10	Glaswolle
3a	10	Distanzbodenhalter
4	20	Stahlbeton
5	10	Stahllattung
5a	10	Steinwolle
6	0,3	Gipsspachtelung

Die Fläche dieses Bauteiltypes beträgt 2001,96 m². Dieser Typ bildet, wie in Abb. 4.8 zu sehen ist, alle Geschosswischendecken, mit Ausnahme der über dem 1. Obergeschoss.

4.2.1.6 Geschoßdecke Büro

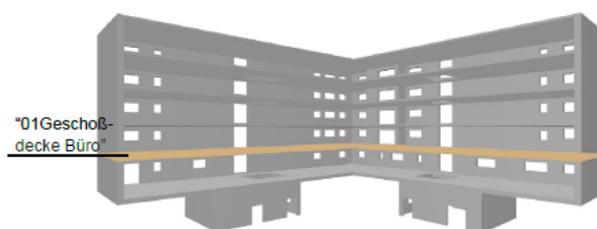


Abb. 4.9: Übersicht der Geschoßdecke über den Büros (Decke ü. 1.OG), [20]

Tab. 4.16: Schichtaufbau der Geschoßdecke-Büro - Variante Holz, [15] (adaptiert)

Schicht	Schichtstärke [cm]	Material
1	1,5	Parkett (Holz)
2	3,5	Zementestrich
3	0,1	Bitumenpappe
4	3	Steinwolle (TDP)
5	6	Splittschüttung
6	0,15	Trennvlies (PE)
7	26	Brettsperrholz
8	0,15	Dichtungsfolie (PE)
9	20	Glaswolle
10	1,25	Gipskarton

Tab. 4.17: Schichtaufbau der Geschoßdecke-Büro - Variante Beton

Schicht	Schichtstärke [cm]	Material
1	1	Parkett (Holz)
2	3,2	Holzspanplatte
3	10	Glaswolle
3a	10	Distanzbodenhalter
4	20	Stahlbeton
5	24	Stahllattung
5a	24	Steinwolle
6	0,3	Gipsspachtelung

Die Fläche dieses Bauteiltypes beträgt $681,79 \text{ m}^2$. Dieser Typ bildet, wie in Abb. 4.9 zu sehen ist, die Zwischengeschoßdecke über dem 1. Obergeschoss. Weitere bemessungsrelevante Gebäu-

dedaten, wie beispielsweise die Höhen der Bauteile, wurden in *ArchiCAD* gemessen und in Excel eingetragen.

4.2.1.7 Zusammenfassung der Materialien

Tabb.4.18 fasst die Materialien aller Aufbauten zusammen, und weist diesen Verwertungswege zu, diese entsprechen den in Kap. 3.1.3 aufgelisteten Verwertungen. Vorrausgesetzt wird, dass keine Verunreinigungen vorliegen und die Schadstoffkonzentrationen der Materialien unterhalb der Grenzwerte für eine Rückführung in Materialkreisläufe liegt. Die Möglichkeit der Wiederverwendung wurde lediglich bei Schichten berücksichtigt, deren Einzelelemente geringe Abmessungen haben.

Tab. 4.18: Verwendete Materialien und deren Verwertungswege/Verwertungsmöglichkeiten

Material	Verwertungsweg	
	üblich	möglich
Kiesschüttung	RC: Verfüllung, Dammkörper	-
Stahlbeton	DC: Künettenverfüllung, Drainageschicht	RC: Recyclingbeton
Kalkzementputz	Dep	DC: Schüttmaterial
Zementestrich	DC: Schüttmaterial; Dep	RC: Zementherstellung
Parkett	TV: HW/PEI > 1	WV; DC: Holzwerkstoffindustrie
Holzlattung	TV: HW/PEI > 1;	WV; DC: Holzwerkstoffindustrie
Sperrholz	TV: HW/PEI > 1;	WV; DC: Holzwerkstoffindustrie
Brettsperrholz	TV: HW/PEI > 1;	DC: Holzwerkstoffindustrie
Holzspanplatte	TV: HW/PEI > 1 (VG)	(RC: Spanplattenproduktion)
Distanzbodenhalter	RC: Materialkreislauf	Wiederverwendung
Steinwolle	Dep	(RC: Materialkreislauf)
Steinwolle (TDP)	Dep	
Glaswolle	Dep	(RC: Materialkreislauf)
Holzfaserdämmplatte	TV: HW/PEI > 1	RC: Materialkreislauf, DC: Kompostierung
EPS	TV: HW/PEI < 1 (VG)	RC: Materialkreislauf
Trennvlies (PE)	TV: HW/PEI < 1	(RC: Materialkreislauf)
Dichtungsfolie (PE)	TV: HW/PEI < 1	(RC: Materialkreislauf)
Dampfdruckausgleichsschicht	TV:HW/PEI < 1	-
Aluminium- Bitumendichtung	TV:HW/PEI < 1; Störstoff-Beton!	-
Bitumendichtung	TV:HW/PEI < 1; Störstoff-Beton!	-
Polymerbitumen- Dichtung	TV:HW/PEI < 1; Störstoff-Beton!	-
Bitumenpappe	TV:HW/PEI < 1; Störstoff-Beton!	-
Gipskartonplatte	Dep	RC: Materialkreislauf
Gipsspachtelung	Dep; Schadstoff-Beton!	-
Silikatputz	TV:HW/PEI > 1	-

Die in der Zusammenfassung der Verwertungswege verwendeten Abkürzungen stehen für:

<i>RC</i> :	<i>Recycling</i>	
<i>DC</i> :	<i>Downcycling</i>	
<i>TV</i> :	<i>Thermische Verwertung</i>	
<i>Dep</i> :	<i>Deponierung</i>	
<i>VG</i> :	<i>Verbrennungsgebot</i>	
<i>HW</i> :	<i>Heizwert</i>	
<i>PEI</i>	<i>Graue Energie</i>	(4.4)

Wobei unter TV aus abfallwirtschaftlicher Sicht sowohl eine thermische Verwertung, als auch eine thermische Beseitigung zu verstehen ist. Für die Bewertung der Materialien, welche einer thermischen Nutzung zugeführt werden, ist es notwendig das Verhältnis von Heizwert zu Grauer Energie zu kennen. Diese sind mitsamt ihres Verhältnisses in Tab. 4.19 dargestellt. Die Daten wurden [3, 4] entnommen, wobei für die Heizwerte auf Grund von fehlender Daten für alle Holzwerkstoffe derselbe Wert angenommen wurde, ebenso für bituminöse Dichtungen, bis auf Bitumenpappe. Für Silikatputz wurde der Wert der Kunstharze verwendet.

Tab. 4.19: Verhältnis von Heizwert und PEI ausgewählter Materialien

Material	Heizwert [MJ/kg]	PEI [MJ/kg]	HW/PEI
Parkett	20,9	19,1	1,09
Holzlattung	20,9	1,86	11,22
Sperrholz	20,9	15,6	1,34
Brettsperrholz	20,9	8,07	2,59
Holzspanplatte	16,9	12,7	1,33
Holzfaserdämmplatte	18	14,4	1,25
EPS	38,16	98,9	0,39
Trennvlies (PE)	3,96	84,7	0,05
Dichtungsfolie (PE)	3,96	105	0,04
Dampfdruckausgleich	3,96	35,1	0,11
Bitumendichtung	28,8	48,9	0,59
Aluminium-Bitumendichtung	28,8	51,2	0,56
Polymerbitumendichtung	28,8	41,6	0,69
Bitumenpappe	16,92	42,9	0,39
Silikatputz	42,1	11,4	3,69

Wie zu erkennen ist, ähneln sich die Werte und Verwertungswege der bituminösen-Dichtungsschichten, daher werden sie bei der Berechnung unter *Bitumendichtung* zusammengefasst.

4.2.2 Berechnungsbeispiel eines Bauteils

Der Berechnungsablauf wird anhand des Bauteils *Außenwand 01AW* gezeigt. Die Bewertung wird sowohl für die Variante Holz, als auch für die Variante Beton gezeigt. Eine vollständige Berechnung befindet sich im Anhang. Die im Anhang *Orange* hinterlegten Bereiche sind die Eingabefelder, in welche die Bauteilkennwerte eingetragen, und somit die zugehörigen Werte zugeordnet werden. Der Ausführungsart des Bauteils sind Kürzel vorangestellt, welche auf die Bauteilart hinweisen, dies war aus programmiertechnischen Problemen nötig, um eine eindeutige Zuordnung der Faktoren in Excel zu gewährleisten. Es fanden folgende Kürzel Verwendung: De - für Decke, Da - für Dach, und AW - für Außenwand.

4.2.2.1 Workflow der Berechnung

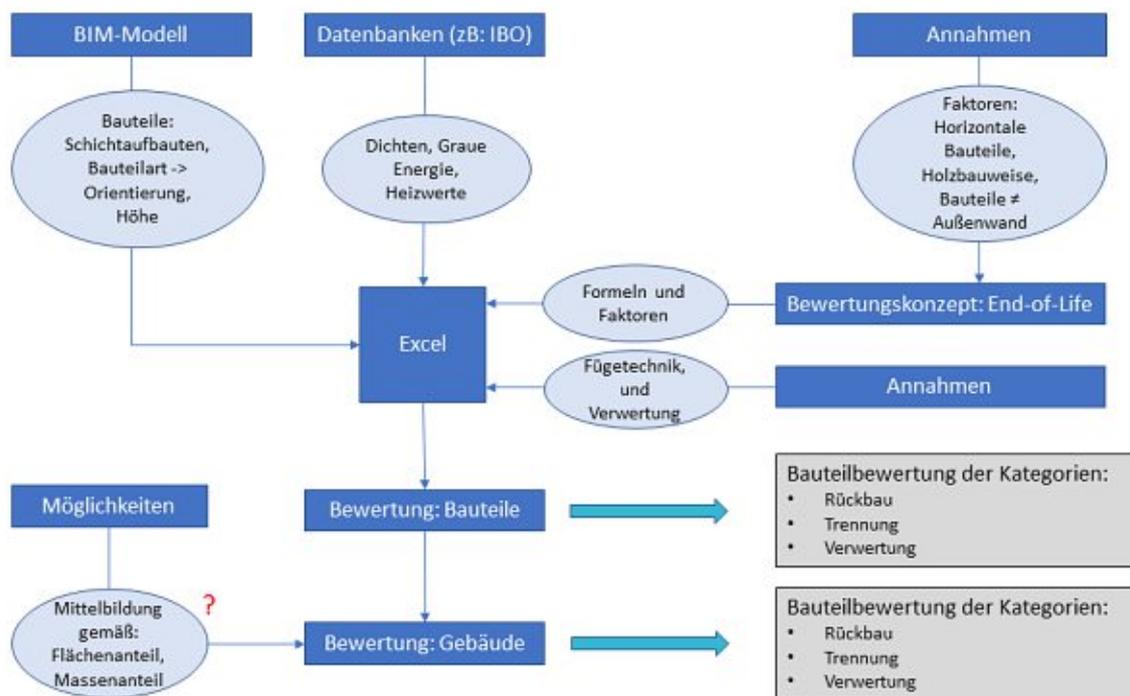


Abb. 4.10: Workflow - Manuelle Berechnung und BIM-gestützte Berechnung

4.2.2.2 Wand 01AW - Holzmassiv

Rückbau

Aus (4.1) und :

$$\begin{array}{lll}
 HF_{Art} = 1,3 & NF_{Art} = 1,7 & \text{Hinterlüftete Holzmassiv – Aussenwand} \\
 HF_{Dicke} = 3,42 & NF_{Dicke} = 1,2 & \text{Vertikales BT, } d \leq 24 \text{ cm} \\
 HF_{Lage} = 1,3 & NF_{Lage} = 1,2 & \text{Vertikales BT, } H < 10 \text{ m} \\
 HF_{Lage} = 1,3 & NF_{Lage} = 1,0 & \text{Vertikales BT, } H = 10 \text{ m} - -20 \text{ m} \quad (4.5)
 \end{array}$$

folgt:

$$Rb = (1,3 \cdot 1,7 + 3,42 \cdot 1,2 + 1,3 \cdot 1,2) \cdot \left(\frac{758,83}{1897,08}\right) + \\ + (1,3 \cdot 1,7 + 3,42 \cdot 1,2 + 1,3 \cdot 1,0) \cdot \left(\frac{1138,25}{1897,08}\right) = 7,72 \quad (4.6)$$

Wobei die unterschiedlichen Bewertungen aufgrund verschiedener Lagen im Bauwerk im Verhältnis der Flächen gewichtet wurden, was durch die beiden Brüche in den Klammern berücksichtigt wird.

Trennung

Aus (4.2) und :

$HF_n = 1,0$		7 Bauteilschichten	
$HF1_{Verbindung} = 1,79$	$NF1_{Verbindung} = 0,5$	<i>Mechchanisch – 8 Schrauben je m²</i>	
$HF1_{Anstrich} = 1,5$	$NF1_{Anstrich} = 1,0$	<i>Naturbelassen, keine Anstriche</i>	
$HF2_{Verbindung} = 1,79$	$NF2_{Verbindung} = 1,1$	<i>Mechchanisch – 6 Klammern je m²</i>	
$HF3_{Verbindung} = 1,79$	$NF3_{Verbindung} = 1,1$	<i>Mechchanisch – 6 Klammern je m²</i>	
$HF4_{Verbindung} = 1,79$	$NF3_{Verbindung} = 1,1$	<i>Mechchanisch – 6 Klammern je m²</i>	
$HF4a_{Verbindung} = 1,79$	$NF3_{Verbindung} = 1,1$	<i>Mechchanisch – 6 Klammern je m²</i>	
$HF5_{Verbindung} = 1,79$	$NF5_{Verbindung} = 0,5$	<i>Mechchanisch – 6 Klammern je m²</i>	
$HF6_{Verbindung} = 1,79$	$NF6_{Verbindung} = 0,5$	<i>Mechchanisch – 6 Klammern je m²</i>	
$HF6a_{Verbindung} = 1,79$	$NF6a_{Verbindung} = 0,5$	<i>Mechchanisch – 6 Klammern je m²</i>	
$HF7_{Verbindung} = 1,79$	$NF7_{Verbindung} = 0,5$	<i>Mechchanisch – 8 Schrauben je m²</i>	
$HF7_{Anstrich} = 1,5$	$NF7_{Anstrich} = 1,0$	<i>Naturbelassen, keine Anstriche</i> (4.7)	

folgt:

$$Tr = 1,0 \cdot \left(\frac{1,79 \cdot (0,5 + 1,1 + 1,1 + 1,1 + 1,1) + 2 \cdot \left(\frac{1,79 \cdot 1,1}{2} + \frac{1,79 \cdot 1,1}{2}\right) + 1,79 \cdot 0,5}{7} + \right. \\ \left. + 1,5 \cdot 1,0 + 0,75 \cdot 1,0 \right) = \\ = 3,34 \quad (4.8)$$

Wobei die beiden kleinen Brüche des ersten Termes, des Klammersausdruckes die heterogenen Schichten berücksichtigt, welchem die gleichen Eigenschaften zugewiesen wurden. Die Werte der Anstriche wurden vollständig aufgelistet, berechnungsrelevant sind jedoch lediglich die äußeren Schichten. Aus Holzschutzgründen weisen eventuell innen liegende Schichten ebenso Anstriche auf. Die äußeren Schichten weisen eine geringere Zahl an Verbindungsmitteln auf, als die innen liegenden. Dies ist bedingt durch die Art der Verbindungsmittel, welche bei den beiden Außenschichten kleiner ausfallen. Die Schichten 2–4 werden mit Klammern an der tragenden Schicht 5 montiert. Ebenso wird die Holzlattung an diese geschraubt, die Gipskartonplatte wiederum an der Lattung und die Steinwolle dazwischen lose verlegt.

Verwertung - gut

Aus (4.3) und :

$$\begin{array}{ll}
 HF1_{Vewertung} = 7 & DC : Sperrholz in Holzwerkstoffindustrie \\
 HF2_{Vewertung} = 7 & DC : Holzlattung in Holzwerkstoffindustrie \\
 HF3_{Vewertung} = 8 & RC : Holzfaserdämmplatte – Materialkreislauf \\
 HF4_{Vewertung} = 8 & RC : Holzlattung in Holzwerkstoffindustrie \\
 HF4a_{Vewertung} = 8 & RC : Glaswolle – Materialkreislauf \\
 HF5_{Vewertung} = 7 & DC : Brettsperrholz in Holzwerkstoffindustrie \\
 HF6_{Vewertung} = 7 & DC : Holzlattung in Holzwerkstoffindustrie \\
 HF6a_{Vewertung} = 8 & RC : Steinwolle – Materialkreislauf \\
 HF7_{Vewertung} = 7 & DC : Gipskartonplatte, mit Anstrich
 \end{array} \tag{4.9}$$

folgt:

$$Vw = \left(\frac{7 + 7 + 8 + 8 + 8 + 7 + 7 + 8 + 7}{9} \right) = 7,44 \tag{4.10}$$

Hierbei wurden die im Sinne des Bewertungskonzeptes besten Verwertungsmethoden berücksichtigt, auch wenn diese nur technisch möglich, jedoch nicht gängige Praxis sind. Im Anhang befindet sich ebenso eine Berechnung mit üblichen Verwertungswegen, beziehungsweise Materialflüsse die in der Praxis überwiegend Anwendung finden. Im Gegensatz zu *Bewertung - Verwertung* werden alle Materialien heterogener Schichten bewertet, daher ist die Schichtzahl hier 8 und nicht 7.

4.2.2.3 Wand 01AW - Betonmassiv

Rückbau

Aus (4.1) und :

$$\begin{array}{lll}
 HF_{Art} = 1,3 & NF_{Art} = 1,26 & \text{Massive Aussenwand mit WDVS} \\
 HF_{Dicke} = 3,42 & NF_{Dicke} = 1,2 & \text{Vertikales BT, } d \leq 24 \text{ cm} \\
 HF_{Lage} = 1,3 & NF_{Lage} = 1,2 & \text{Vertikales BT, } H < 10 \text{ m} \\
 HF_{Lage} = 1,3 & NF_{Lage} = 1,0 & \text{Vertikales BT, } H = 10 \text{ m} - -20 \text{ m}
 \end{array} \quad (4.11)$$

folgt:

$$\begin{aligned}
 Rb &= (1,3 \cdot 1,26 + 3,42 \cdot 1,2 + 1,3 \cdot 1,2) \cdot \left(\frac{758,83}{1897,08}\right) + \\
 &+ (1,3 \cdot 1,26 + 3,42 \cdot 1,2 + 1,3 \cdot 1,0) \cdot \left(\frac{1138,25}{1897,08}\right) = 7,15 \quad (4.12)
 \end{aligned}$$

Wobei die unterschiedlichen Bewertungen auf Grund von verschiedener Lagen im Bauwerk im Verhältnis der Flächen gewichtet wurden, was durch die beiden Brüche in den Klammern berücksichtigt wird.

Trennung

Aus (4.2) und :

$$\begin{array}{lll}
 HF_n = 1,07 & & 4 \text{ Bauteilschichten} \\
 \\
 HF1_{Verbindung} = 1,66 & NF1_{Verbindung} = 0,0 & \text{Gefügedicht, Klebefläche } 100 \% \\
 HF1_{Anstrich} = 0,75 & NF1_{Anstrich} = 1,0 & \text{Mineralischer Anstrich} \\
 \\
 HF2_{Verbindung} = 1,66 & NF2_{Verbindung} = 0,5 & \text{Gefügedicht, Klebefläche } 50 \% \\
 HF2_{Anstrich} = 1,5 & NF2_{Anstrich} = 1,0 & \text{keine Anstriche} \\
 \\
 HF3_{Verbindung} = 1,79 & NF3_{Verbindung} = 1,1 & \text{Mechchanisch, } 6\text{Klammern je m}^2 \\
 HF3_{Anstrich} = 1,5 & NF3_{Anstrich} = 1,0 & \text{keine Anstriche} \\
 \\
 HF4_{Verbindung} = 1,66 & NF3_{Verbindung} = 0 & \text{Gefügedicht, Klebefläche } 100 \% \\
 HF4_{Anstrich} = 0,75 & NF4_{Anstrich} = 1,0 & \text{Mineralischer Anstrich}
 \end{array} \quad (4.13)$$

folgt:

$$\begin{aligned}
 Tr &= 1,07 \cdot \left(\frac{1,66 \cdot 0 + 1,66 \cdot 0,5 + 1,79 \cdot 1,1 + 1,66 \cdot 0}{4} + 0,75 \cdot 1,0 + 0,75 \cdot 1,0 \right) = \\
 &= 2,35 \quad (4.14)
 \end{aligned}$$

Verwertung - gut

Aus (4.3) und :

$$\begin{array}{ll}
 HF1_{Verwertung} = 5 & TV : HW/PEI > 1 \\
 HF2_{Verwertung} = 8 & RC : EPS - Materialkreislauf \\
 HF3_{Verwertung} = 8 & RC : Körnung für Betonherstellung \\
 HF4_{Verwertung} = 0 & Deponierung
 \end{array} \quad (4.15)$$

folgt:

$$Vw = \left(\frac{5 + 8 + 8 + 0}{4} \right) = 5,25 \quad (4.16)$$

Hierbei wurden die im Sinne des Bewertungskonzeptes besten Verwertungsmethoden berücksichtigt, auch wenn diese nur technisch möglich, jedoch nicht gängige Praxis ist. Im Anhang befindet sich ebenso eine Berechnung mit üblichen Verwertungswegen, beziehungsweise Materialflüsse die in der Praxis überwiegend Anwendung finden. Im Gegensatz zu *Bewertung - Verwertung* werden alle Materialien heterogener Schichten bewertet, daher ist die Schichtzahl hier 8 und nicht 7.

4.2.2.4 Vergleich: Holz-Beton

Wie man sieht unterscheiden sich die Ergebnisse der Kategorie *Rückbau* am geringsten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass lediglich die Nebenfaktoren der Unterkategorie *Bauteilart* variieren, die Bauteildicke jedoch den größten Einfluss auf das Bewertungsergebnis hat. Den größten, prozentualen Unterschied gibt es bei *Trennung* was auf eine formschlüssige Füge-technik bei der Variante Beton zurückzuführen ist, was schlechter zu bewerten ist, als mechanische Verbindungen. So ist beispielsweise die gesamte Gipsspachtelung zu entfernen, bevor der darunterliegende Beton einer hochwertigen stofflichen Verwertung zugeführt werden kann. Bei der Kategorie *Verwertung* schneidet die, nach ökologischen Gesichtspunkten ausgelegte Holz-Variante deutlich besser ab, vor- ausgesetzt die Abruchmaterialien werden hochwertigen, stofflichen Verwertungswegen zugeführt. Im Falle schlechter Verwertungswege, performen die beiden Varianten Holz und Beton in etwa gleich. Das Potential der Holz-Variante ist jedoch deutlich höher, was darauf zurück zu führen ist, dass Holz als schlechten Verwertungsweg *Thermische Verwertung* zugeordnet wurde, wohingegen Beton noch immer einer *Stoffliche Verwertung* unterliegt (DC: z.B. Künettenverfüllung).

4.3 Bewertungsergebnisse

4.3.1 Bauteile

4.3.1.1 Außenwand - 01AW

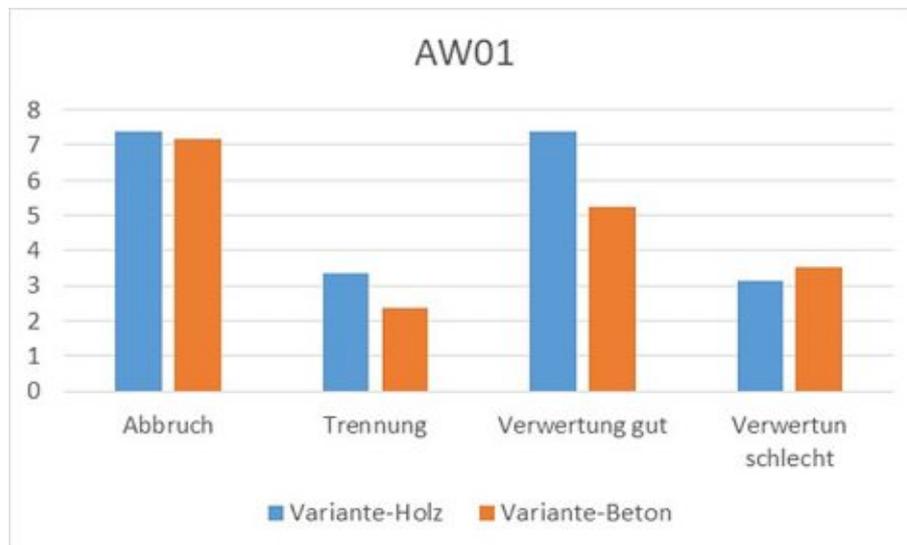


Abb. 4.11: Bewertung der Außenwand AW01

4.3.1.2 Außenwand - AW01-Kern

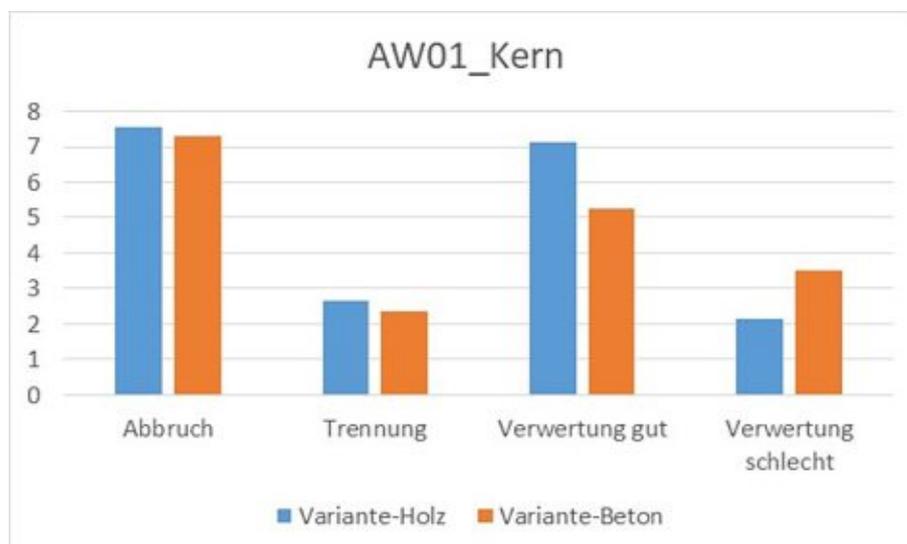


Abb. 4.12: Bewertung der Außenwand AW01

4.3.1.3 Flachdach

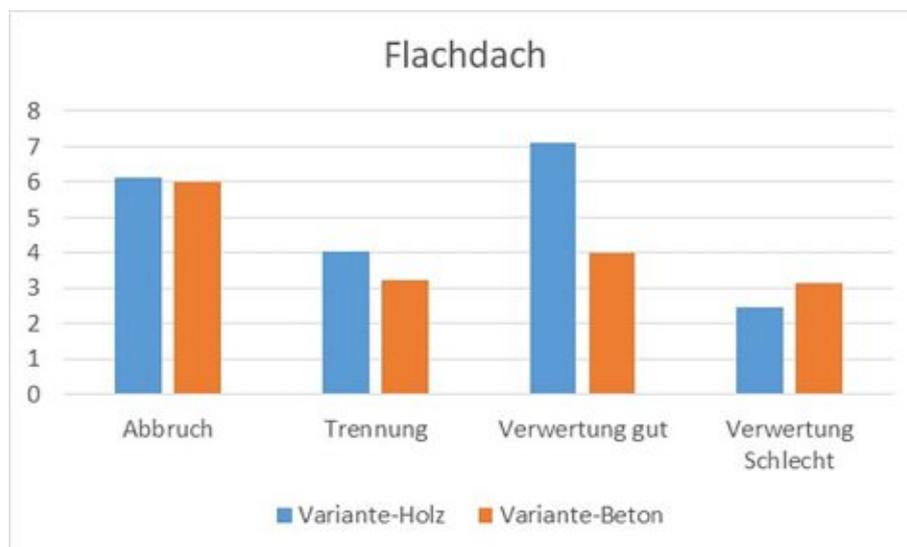


Abb. 4.13: Bewertung des Flachdaches

4.3.1.4 Decke gegen Außenluft

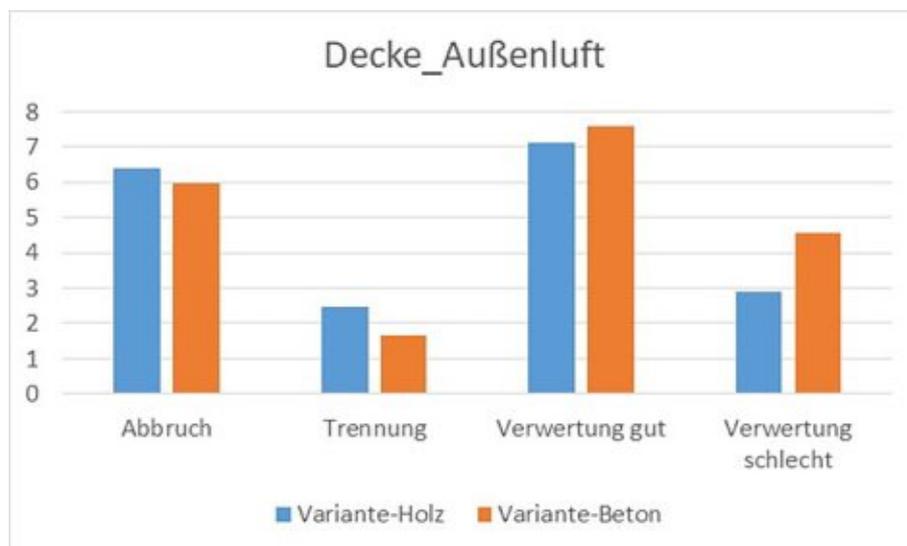


Abb. 4.14: Bewertung der Decke gegen die Außenluft

4.3.1.5 Geschoßdecke

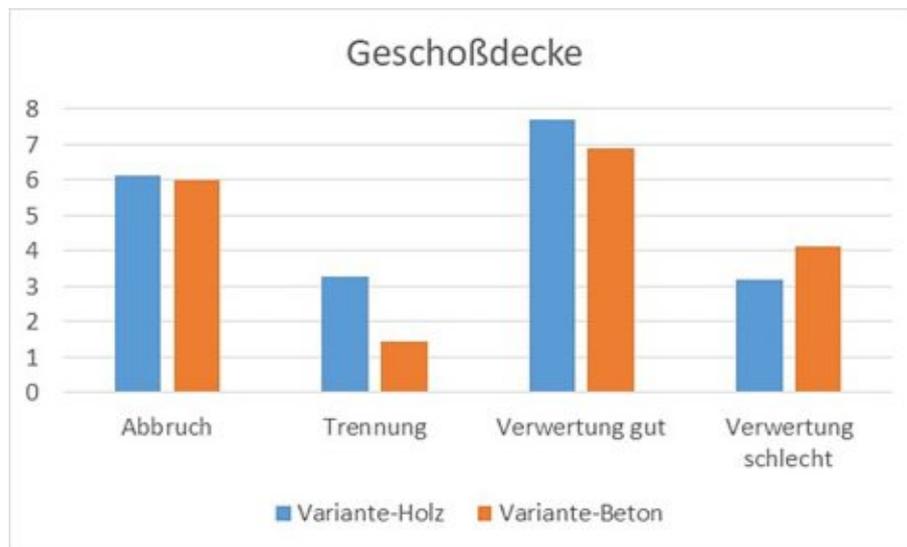


Abb. 4.15: Bewertung der Geschoßdecke

4.3.1.6 Geschoßdecke Büro

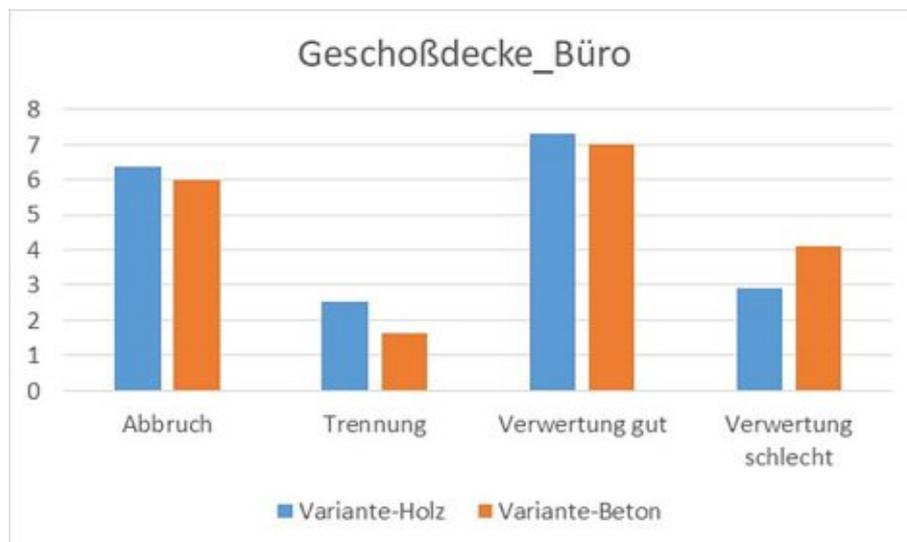


Abb. 4.16: Bewertung der Decke überhalb der Büros

4.3.2 Gebäude

Nun stellt sich die Frage, wie man nun ein gesamtes Bauwerk bewertet. Denkbare Möglichkeiten sind es nach den Massen der einzelnen Bauteile zu mitteln, oder nach den Bauteilflächen, was jedoch bei der Berücksichtigung von linienförmigen Bauteilen zu Problem führen würde. Eine weitere Möglichkeit ist eine gewöhnliche Mittelwertbildung, wobei hier einzelne Bauteile die Bewertung stark verzerren könnten.

4.3.2.1 Gebäudebewertung Bauteil-Mittelwert

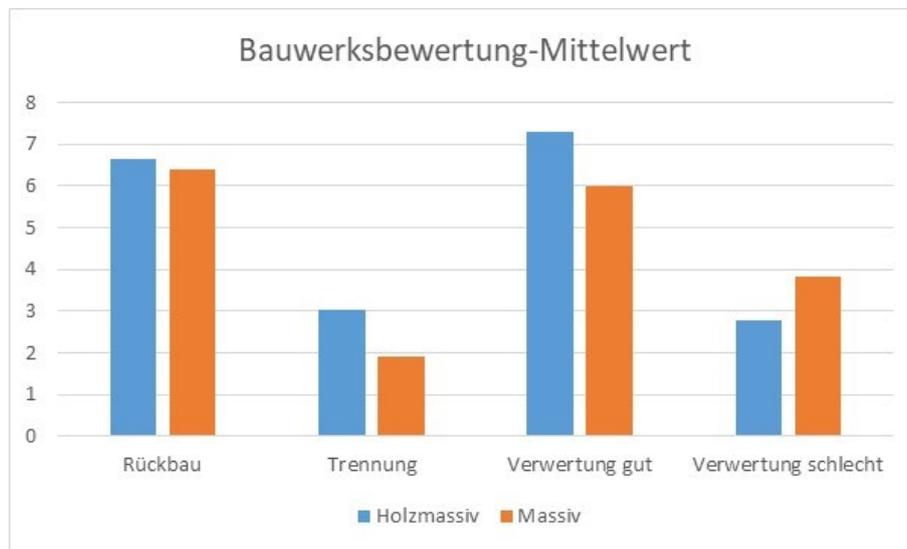


Abb. 4.17: Bewertung des gesamten Gebäudes, durch Mittelwertbildung der Bauteilergebnisse

4.3.2.2 Gebäudebewertung Flächenmittel

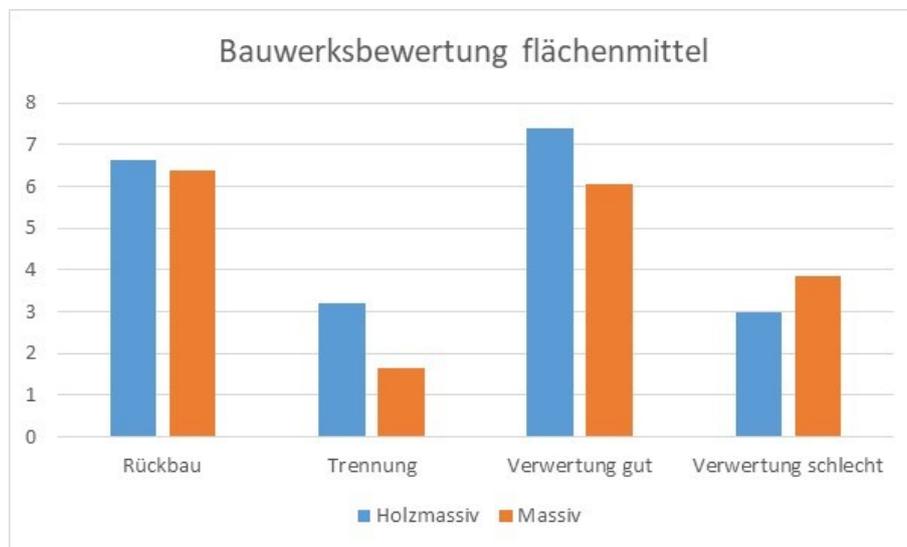


Abb. 4.18: Bewertung des gesamten Gebäudes, durch Flächen bezogene Mittelwertbildung der Bauteilergebnisse

4.3.2.3 Gebäudebewertung Massennittel

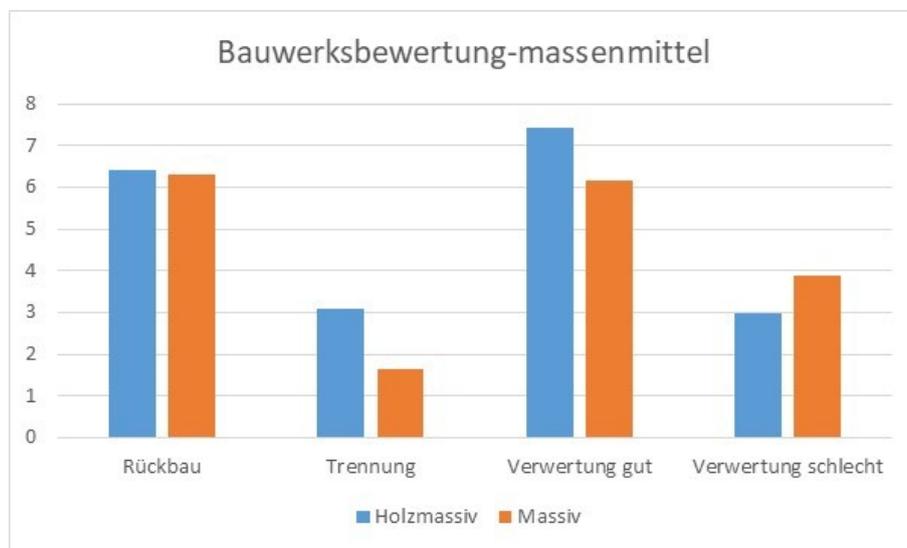


Abb. 4.19: Bewertung des gesamten Gebäudes, durch Massen bezogene Mittelwertbildung der Bauteilergebnisse

4.3.3 Expertengespräche zur Validierung der Ergebnisse

P1:

Allgemein wurde angemerkt, dass die beiden Kategorien des Bewertungskonzeptes *End-of-Life Rückbau* und *Trennung* zusammengefasst werden sollten, da eine getrennte Sammlung im Zuge des Rückbaues geschieht. Außerdem fehlt eine Berücksichtigung des tatsächlichen Rückbauablaufes. So ist es beispielsweise beim maschinellen Abbruch nicht relevant wie viele Verbindungsmittel verbaut sind. Ebenso sieht es bei Fraktionen die gemeinsam gesammelt werden dürfen, und beispielsweise der Fracht Baustellenabfälle zu zuordnen sind. Wie treffsicher die Bauteilbewertung ist, konnte nicht beurteilt werden. Der zu betreibende Aufwand um die Variante-Beton rückzubauen, wird jedoch geringer geschätzt als bei der Variante-Holz (Zumindest in logistischer Hinsicht). Dies liegt daran, dass einige Schichten gemeinsam einer Verwertung zugeführt werden, so wird beispielsweise bei *AW01* Dämmung und Silikatputz gemeinsam verbrannt, und der Beton mit Gipsanhaftung wird einer mineralischen Verwertungsanlage zugeführt. Der Vergleich mit Automobile wurde gezogen, in welchen im Laufe der Zeit die Materialdiversität stieg. Eine einheitliche Mittelung der Kategorien ist seiner Ansicht nach nicht möglich. Für die Kategorien *Rückbau* und *Trennung* scheint die Bildung des Flächenmittels am geeignetsten. Für die *Bewertung* das Massennittel.

P2:

Schätzt die Ergebnisse der Bewertung für realistisch ein, wobei im Zuge des Gespräches nur die Kategorien *Trennung* und *Verwertung* thematisiert wurden. Der Aufwand zur Trennung einzelner Bauteilschichten ist jedoch nicht nur von den Materialien abhängig, sondern auch von den einsetzbaren Verfahren, wie beispielsweise SStrippen"bei Silikatputzen (anschneiden und abziehen des Putzes samt Trägernetz, vergleichbar mit Wandtapeten) oder Gips von Beton in Verwertungsanlagen.

P3:

Hält die Bewertungsergebnisse für realistisch, befürchtet jedoch eine Redundanz einiger Faktoren bei der Betrachtung von *End-of-Life* mit anderen Gebäudeanalysen wie *LCA* oder *LCC*. So fließt in den Kategorien *Rückbau* und *Trennung* mit ein, welcher Aufwand betrieben werden muss, um ein Bauteil in Verwertbare Einzelteile zu zerlegen, was als Kosten und Energieaufwand in den zuvor genannten Verfahren schon einfließt. Wichtig für Recycling ist lediglich, ob eine für die materielle Verwertung getrennte Materialsammlung stattfindet, der nötige Aufwand beeinflusst lediglich ob dies durchgeführt wird, oder nicht. Laut Aussage dieser Expertin ist eine Betrachtung auf Bauteilebene ebenso anschaulich und einfach durchführbar, sowie als Entwurfskriterium sehr hilfreich, jedoch eine Bewertung auch auf Gebäudeebene unerlässlich. Als geeignetste Methode wird eine Wichtung in Abhängigkeit der Masse angesehen.

4.3.4 Zusammenfassung und Diskussion - Bauteil- und Gebäudeebene

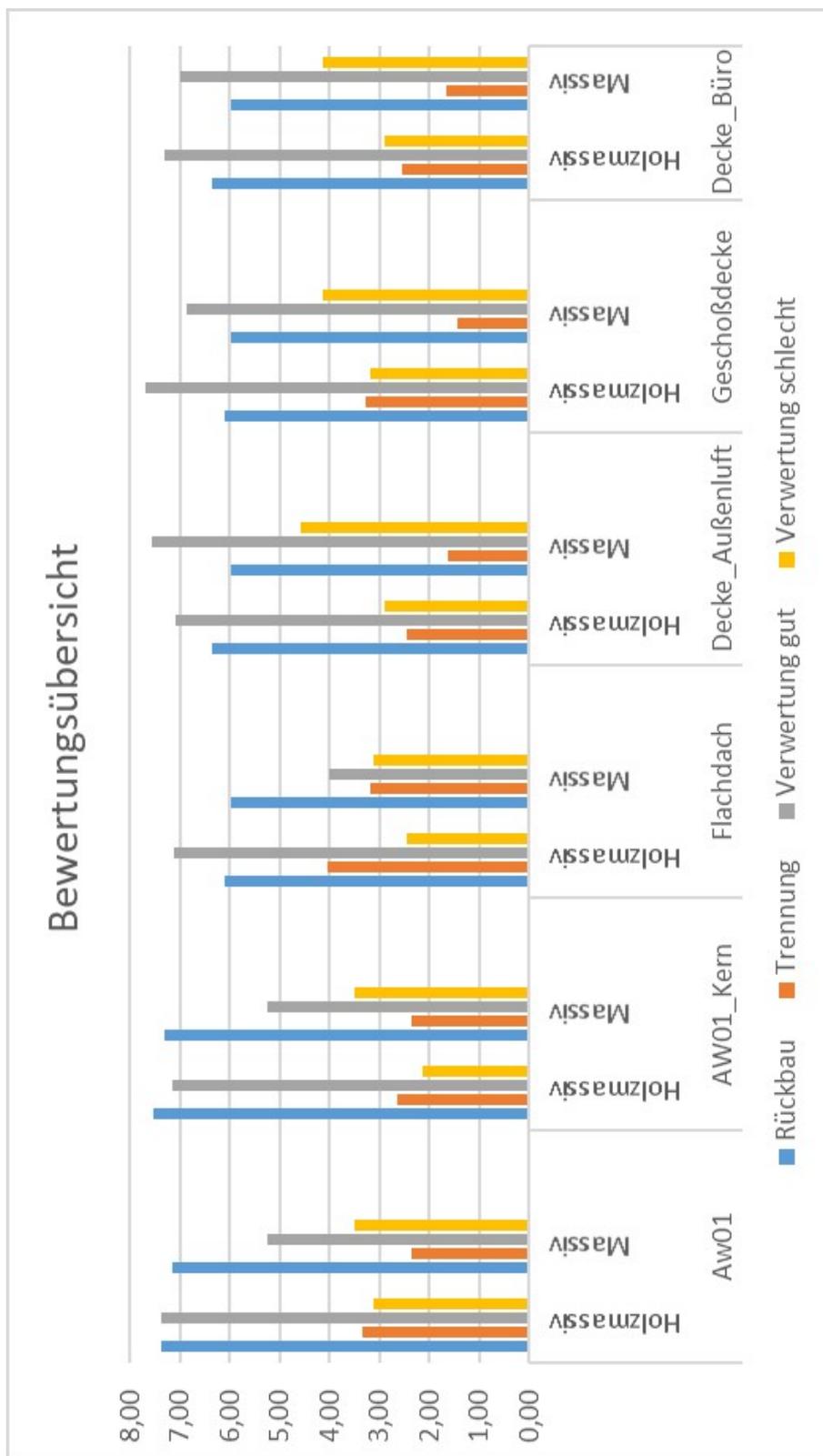


Abb. 4.20: Übersicht der Bewertungsergebnisse aller Bauteile

Rückbau

Hier ist kaum ein Unterschied zwischen Bewertungsergebnissen von Variante-Holz und Variante-Beton. Dies liegt möglicherweise daran, dass einige Faktoren selbst gewählt wurden, ist jedoch wahrscheinlicher auf den geringen Einfluss der Art des Bauteiles zurückzuführen. Die Bewertungsergebnisse liegen in etwa zwischen 7,5 und 6,0. alle Bauteile sind somit mit *sehr gut* oder *gut* zu bewerten. Dies liegt an der mittleren Bauhöhe, und der geringen Dicke, der tragenden Bauteilschichten.

Trennung

Wie schon in Kap. 4.2.2.3, sind die Bauteile in Holzbauweise besser zu bewerten, was auf eine *mechanische* Fügetechnik zurück zu führen ist. Die dennoch nur mittelmäßige Einstufung, ist auf die hohe Zahl der Bauteilschichten zurückzuführen, durch welche ein höher händischer Aufwand betrieben werden muss, um alle Verbindungsmittel zu lösen. Die schlechtere Bewertung der Variante-Beton, trotz geringerer Bauteilschichten (1 bis 4 Schichten weniger) liegt an den *gefügedichten* Verbindungen. Die beste Bewertung weist das Bauteil *Flachdach* auf, was darauf zurück zu führen ist, dass Schüttungen und lose verlegten Schichten die besten Faktoren (mechanische Verbindung - 4-6 Verbindungsmittel) zugewiesen wurden.

Verwertung

Auch bei der Kategorie *Verwertung* zeigt sich ein ähnliches Bild wie in Kap. 4.2.2.3. Die Materialien der Variante-Holz sind besser verwertbar als jene der Variante-Beton. Ebenso ist das Potential bei der Variante-Holz deutlich höher und die Bewertung bei schlechten Verwertungswegen, nicht so gut wie bei der Variante-Beton. Im Falle Schadstoff-belasteter Materialien würde diese jedoch anders aussehen, da Holz in Spezialanlagen verbrannt werden kann, wohingegen Beton einer Deponierung zugeführt werden muss (Vergleich: 5(thermisch) zu 0(Deponierung) Punkten).

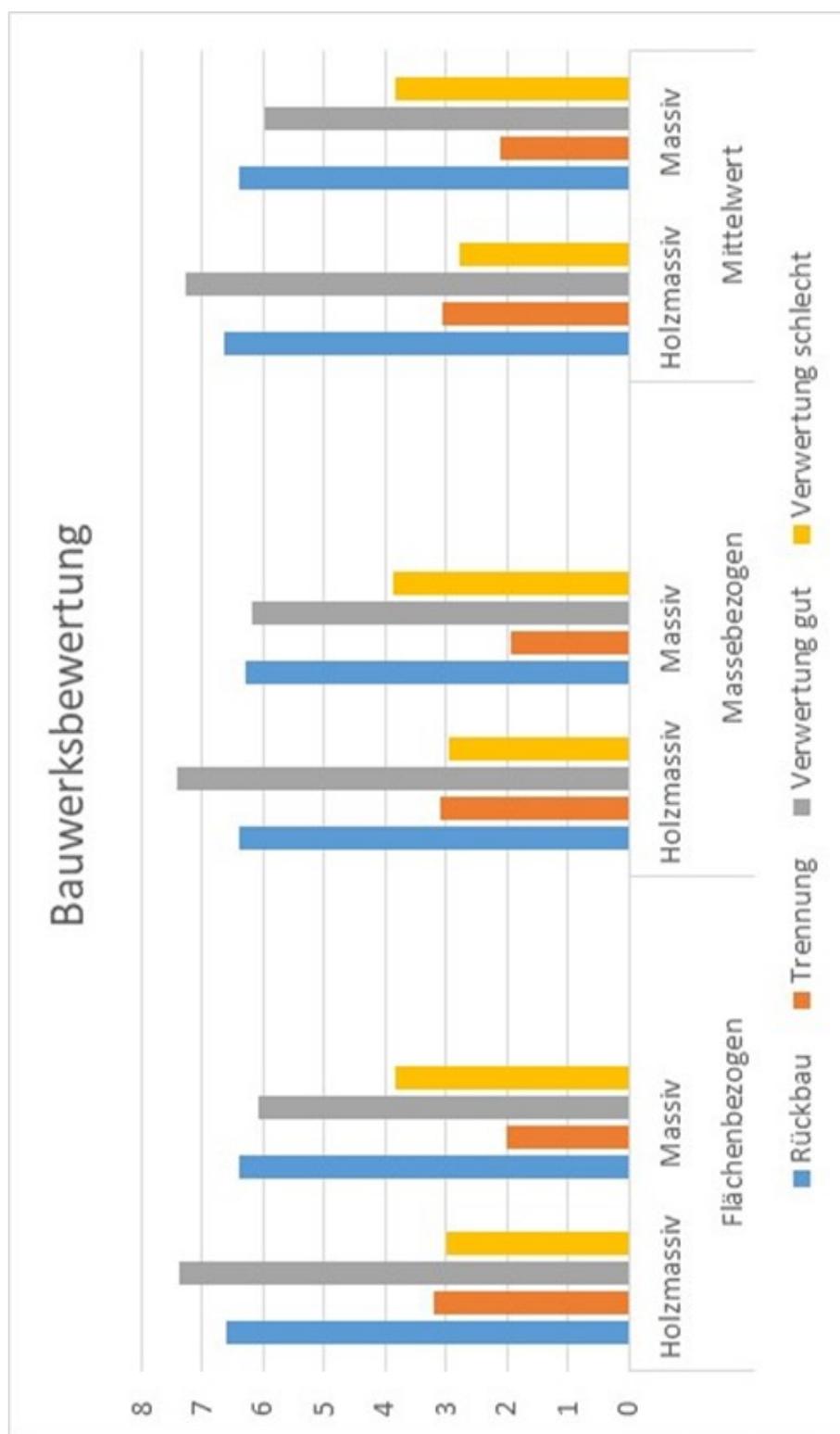


Abb. 4.21: Vergleich unterschiedlicher Methoden um von Bauteilbewertungen auf eine Gebäudebewertung schließen zu können

Sofern die Ergebnisse der Realität entsprechen, sollte Holzbau aufgrund geringerer Abfallmengen (siehe Anhang), besserer Trennbarkeit (*Trennung*) und bei Ausschöpfen der technisch

möglichen materiellen Verwertungswege, höherer Materialeffizienz (*Verwertung gut*) gefördert werden. Außerdem handelt es sich um einen nachwachsenden Rohstoff. Vergleicht man die Ergebnisse in dieser Arbeit, mit der Ökobilanzierung in [24], sieht man, dass auch in dieser Hinsicht die Holzbauweise zu bevorzugen ist (wobei die Konstruktionsarten in diesen beiden Arbeiten verschieden sind, und ein Vergleich nur bedingt möglich). Anzumerken ist jedoch, dass schon heute das in Österreich geschlagene Holz knapp nicht ausreicht, und daher ein erhöhter Einsatz des Baustoffes Holz eher durch Recycling nachhaltig realisierbar ist.

Kapitel 5

Schlussfolgerung

5.1 Erkenntnis aus empirischer Forschung

Um die in Kap. 3.2 aufgezeigten Potentiale ausschöpfen zu können, werden folgende Lösungsansätze vorgeschlagen:

5.1.1 Baumaterialebene

Schaffung eines Baumaterialkataloges, oder zumindest von Materialgruppen, mit denen Materialproduzenten Vorgaben und Richtwerte haben, wie in Zukunft Baumaterialien beschaffen sein sollen. Augenmerk sollte dabei besonders auf eine Wiederverwendung dieser Materialien gelegt werden. In diesem Zusammenhang wäre auch die Schaffung einheitlicher (genormter) Verbindungsmittel/Detailanschlüsse, bei denen nach Möglichkeit wenige, jedoch widerstandsfähige und leicht öffnen- und schließbare Verbindungen zur Anwendung kommen. Hierbei ist jedoch das Konfliktpotential der daraus resultierenden, erhöhten Lasteinleitung zu berücksichtigen. Betrachtet man die Abfallhierarchie gemäß [13], sollte jedoch verstärkt der Ansatz der Wiederverwendung fokussiert werden, wie dies schon in [39] der Fall ist. Hierzu bietet sich die Etablierung einer modularen Fertigteilmontagebauweise an, bei welcher die Anzahl der möglichen Geschosshöhen und Achsraster zwar limitiert wären, wodurch jedoch der Aufbereitungsprozess wegfällt, und so graue Energie im Zuge der Neuerrichtung eines Gebäudes eingespart werden kann [26]. Fraglich ist jedoch, wie eine solche Einschränkung bei Architekten und anderen im Bauwesen tätigen Personen aufgenommen wird.

5.1.2 Informationsebene

Um einen möglichst großen Informationsstand über das urbane Materiallager zu besitzen, sollte (zumindest bei Gebäuden ab einem gewissen Umfang) ein MGP verpflichtend zu erstellen sein, und zwar sowohl bei Neubauten, als auch bei Umbauarbeiten. Zusätzlich zu den vorhandenen Materialien, sollte in anlehnung an den Energieausweis, ein Abbruchausweis gesetzlich gefordert, beziehungsweise in den MGP integriert werden. Dies kann in Form der Integration des Bewertungssystems *End-of-Life* in den MGP erfolgen. Da die manuelle Bewertung jedoch ziemlich aufwändig ist, sollte ein digitales Werkzeug am Markt zur Verfügung stehen. Eine mögliche Umsetzung ist in Abb. 5.1 zu sehen.

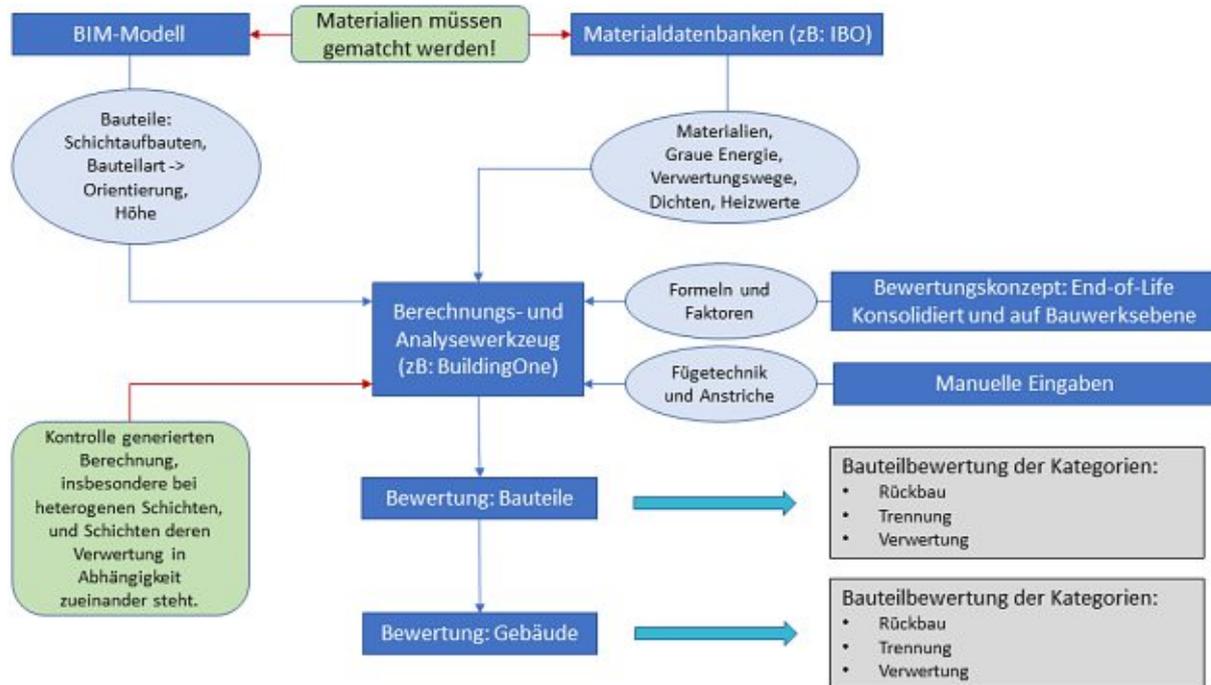


Abb. 5.1: Workflow - Manuelle Berechnung und BIM-gestützte Berechnung

5.1.2.1 Verwerternetzwerk - Produzentennetzwerk

Die Vermittlungsplattform auf [30] könnte sinnvoll erweitert werden, indem ein Netzwerk von Verwertungsanlagen erstellt wird, die in Echtzeit ihre bevorzugten Bauabfälle in eine Datenbank eingeben, diese gleicht den gewünschten Bedarf mit dem (im gewünschtem Zeitraum zur Verfügung stehenden) Angebot ab, und vermittelt automatisch. Bei Bauwerken, bei denen ein Abbruchkonzept erstellt wurde, sollten die vorhandenen Abfallmengen ausreichend bekannt. Hier könnten des weiteren Vermittlungsfaktoren, wie beispielsweise die Entfernung von Entstehungs- und Verwertungsort mit einfließen, um Emissionen auf Grund von Transport zu reduzieren.

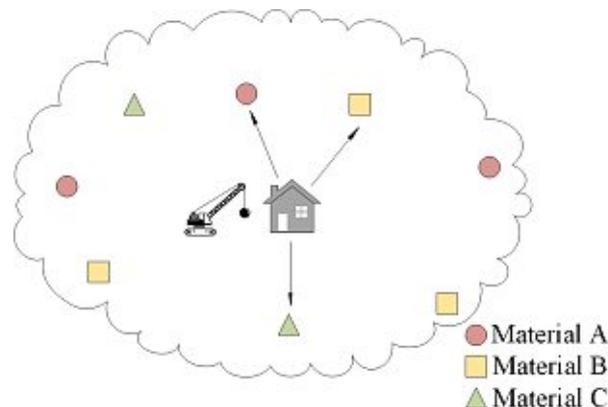


Abb. 5.2: Netzwerk von Recyclinganlagen

Wie in Kap. 3.1.2 gezeigt wurde wäre am ehesten noch in Ballungszentren in Bezug auf Baumaterialien autark werden. Eine räumliche Nähe dieser Verwerter zu Städten ist ratsam.

Laut [12] bestehen zur Zeit 54 thermische Behandlungsanlagen, welche auch zur Verbrennung von Bau- und Abbruchholz eingesetzt werden, 420 Anlagen für die Verwertung von mineralischen Bauabfällen, 4 Anlagen bei denen Altholz der Holzspanindustrie zugeführt wird, sowie 6 Anlagen zur Herstellung von technischen Gläsern, wie Mineralwolle und Schaumglas, und 17 für Altkunststoffe. Zusätzlich sollten Hersteller von Dämmmaterialien und im Bauwesen verwendeten Kunststoffen dazu angehalten werden, deren Produkte nach Ende der Nutzung wieder zurück zu nehmen. Fraglich ist jedoch, ob dies auf freiwilliger Basis umgesetzt wird.

5.1.3 Soziale Ebene

Daher sollte nicht nur bei Privatpersonen, sondern auch Unternehmen ein Bewusstsein durch informieren und aufzeigen von Möglichkeiten geschaffen werden. Durch Freiwilligkeit und Eigenengagement werden vermutlich nicht die schnellsten Erfolge erzielt. Wenn trotz Umsetzung von staatlichen Vorzeigeprojekten und gesellschaftlichem Verlangen nach mehr Recycling die gewünschten Erfolge nicht eintreten, muss man die Materialhersteller in die Produzentenverantwortung nehmen (was jedoch eher der *Institutionellen Ebene* zuzuordnen ist). Ebenso sollte das oben beschriebene System aus modularen, wieder verwendbaren Fertigteilen beworben werden, da zum Beispiel im Wohnbau die Raumhöhen oftmals nur zufolge Fußbodenaufbau variieren, und die Qualitäten eines solchen Gebäudes kaum maßgeblich beschnitten werden.

5.1.4 Institutionelle Ebene

5.1.4.1 Verhältnismäßigkeit eruieren

Um den Interpretationsspielraum zu reduzieren, und wirtschaftlich recycelbare Materialien auch tatsächlich einer Verwertung zuzuführen, sind Untersuchungen notwendig. In einem ersten Schritt kann man typische Schichtverbindungen und Materialien definieren, welche im weiteren, wie in Abb. 5.3 und Abb. 5.4 dargestellt, analysiert werden können.

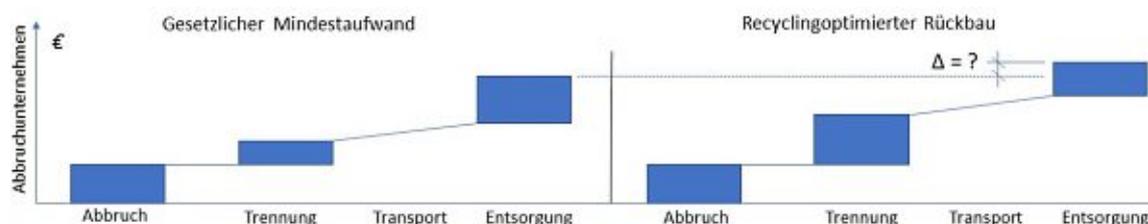


Abb. 5.3: Ermittlung der wirtschaftlich-technischen Verhältnismäßigkeit, aus Sicht eines Abbruchunternehmens

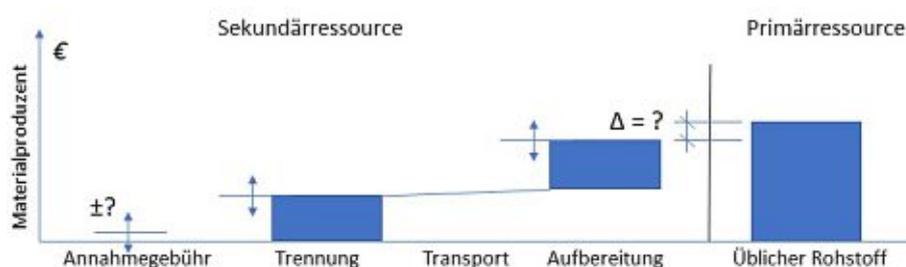


Abb. 5.4: Ermittlung der wirtschaftlich-technischen Verhältnismäßigkeit, aus Sicht eines Baumaterial-Herstellers

Im Gegensatz zu den meisten anderen Branchen, nimmt hier jedoch kein Unternehmen ein Altprodukt zurück und Verwertet es, sondern Rückbau und Verwertung obliegen unterschiedlichen Unternehmen. Daher ist es notwendig, sowohl die Sicht des Abbruchunternehmens, als auch des Baumaterialproduzenten zu beleuchten. Man vergleicht also einerseits die Kosten einer Materialtrennung, mit hochwertiger Verwertung, mit einer Trennung nach gesetzlichen Mindeststandards. In einem weiteren Schritt werden noch die gewonnenen Sekundärrohstoffe mit den Primärrohstoffen verglichen. Befinden sich diese Kosten in der selben Größenordnung, könnte die Verwertung als verhältnismäßig eingestuft werden. Dies scheint nicht nur aus ökologischen Gründen sinnvoll, sondern kann auch Volkswirtschaftliche Vorteile mit sich bringen, wie in [27] gezeigt wird. Auch wenn dies auf mineralische und organische Baumaterialien nicht direkt übertragbar ist. In Abhängigkeit von den wirtschaftlichen Kosten, kann im Anschluss definiert werden, bei welchen Materialien, in Abhängigkeit der Fügetechnik, eine Trennung zu technisch verwertbaren Materialien verhältnismäßig ist. Als Beispiel könnte man eine Betonkellerwand auflisten, welche mit einer bituminösen, PAK-haltigen Schicht behaftet ist. Die Dichtung wird im Idealfall abgetrennt, und einer Verwertung (thermisch) zugeführt. In der Praxis wird jedoch das ganze Bauteil deponiert.

5.1.4.2 Abbrucharchitekt - AbA

Die so geschaffenen Regeln, die den Abbruchaufwand bestimmen müssten selbstverständlich auch exekutiert werden. Dies bedingt jedoch die Schaffung eines Planungs- und Überwachungsorgans, welches in der Abbruchphase sozusagen das Pendant zu einem Architekten in der Planungsphase, beziehungsweise der örtlichen Bauaufsicht in der Ausführungsphase, jedoch sollten nicht die Interessen des Bauherrn, sondern einer staatlichen Institution vertreten werden. Dies könnte beispielsweise ein Ministerium wie das Österreichische Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus sein. Ausgeübt könnte diese Tätigkeit wie bisher von rückbaukundigen Personen werden, welche schon jetzt die Erstellung von Abbruchkonzepten, und von Schad- und Störstofferkundungen durchführen. Eine Liste solcher Personen ist auf der Homepage des Österreichischen Baustoff-Recycling Verband downloadbar [29]. Auch die schon heute bestehenden Probleme, wie die Beurteilung auf Wiederverwendbarkeit von Bauteilen durch den Bauherrn, sowie das nicht miteinbeziehen der Rückbaukonzeptersteller in den Abbruchprozess wären damit zu bewältigen. Laut [P2] ist die Umsetzung davon in naher Zukunft jedoch nicht sehr wahrscheinlich.

5.2 Erkenntnis zufolge Fallstudie und Expertengespräche

Das Bewertungsmodells versucht einige in der Literatur nachlesbare Kriterien für recyclingfreundliche Gebäude in die Bewertung mit einfließen zu lassen. Eine gute Übersicht solcher Konstruktionskriterien ist in [34] vorhanden. Folgende praxisrelevante Punkte werden mit dem Bewertungskonzept *End-of-Life* berücksichtigt, beziehungsweise dies zumindest versucht.

- Beim Bergen von Bauteilen zur Wiederverwendung ist die Fügetechnik maßgebend
- Geringe Anzahl von Bauteilschichten bedeutet geringe Materialdivergenz (zumindest auf Bauteilebene)
- Abfallhierarchie gemäß [13] durch Wertung der Verwertungswege
- Einsatz verwertbarer Materialien

Damit fließt in die Bewertung mit ein, dass eine Rückführung der Materialien immer auch vom hierfür nötigen Aufwand abhängt. Daher wird empfohlen, ein etwa gleich gutes Ergebnis in

allen drei Bewertungskategorien zu erzielen (Ausgenommen z.B. Hochhäuser, bei denen nach vorliegendem Konzept eine gute Bewertung der Kategorie *Rückbau* ausgeschlossen ist).

Die Experten mit denen die Validierungsgespräche geführt wurden, waren sich uneins darüber, ob die Ergebnisse der Bewertung eine realistische Abbildung der Realität darstellen. Aufgrund fehlenden Wissens über das Bewertungskonzeptes, und Komplexität des Themas wurden keine konkreten Aussagen getroffen, wo die Bewertung zutreffend ist und wo nicht. Einigkeit herrschte jedoch darüber, dass es sehr wünschenswert ist, einen Indikator zur *End-of-Life*-Performance eines Gebäudes schon in der Planungsphase besitzt. Jedoch darf nicht auf eine multimodale Betrachtungsweise verzichtet werden, wie beispielsweise eine Ökobilanzierung, und das weitere Gespräche mit Abbruchfirmen und Materialproduzenten ratsam wären, was vermutlich der Tatsache geschuldet ist, dass sich das Bewertungskonzept noch in der Validierungsphase befindet.

Adaptierungsfähige Punkte sind:

- Regelung der Bewertung auf Bauteilebene
- Von der Schichtanzahl hin zur Materialanzahl (auf Gebäudeebene ist die Materialdivergenz maßgebend)
- Geometrische Faktoren erweitern auf "Kompaktheit" des Gebäudes [P3, 34]
- Umgang mit inhomogenen Bauteilschichten regeln
- Berücksichtigung von miteinander verbundenen Bauteilschichten, die einer gemeinsamen Verwertung zugeführt werden [P1]
- Berücksichtigung der Recyclingquote

Des Weiteren sollten die Ergebnisse mit Abbruchunternehmen und Recyclingfirmen besprochen werden, insbesondere mit denen mineralischer Baustoff, Dämmungen und der Holzwerkstoffindustrie. Vergleicht man die Verfahren *End-of-Life* und *EI - Entsorgungsindikatoren*, stellt man fest, dass *EI* Ähnlichkeiten zur Kategorie *Verwertung* aufweist, es ist jedoch eine Gebäudebewertung möglich und die Recyclingquoten werden berücksichtigt (wenn auch nur geschätzt), jedoch wird der Aufwand, welcher dafür aufgewandt werden muss (Kategorie *Rückbau, Trennung*) nicht berücksichtigt. Dadurch ist es jedoch anwendungsfreundlicher, da Informationen a la "wie viele Dübel bekommt der m² Dämmung". Da die Bewertung als Nachhaltigkeitsindikator schon während der Planung dienen soll, und ein neues Werkzeug darstellt, ist es vermutlich ratsam, ein möglichst klares, transparentes und nutzerfreundliches Verfahren zum Einsatz kommt, was bei neuen Erkenntnissen erweitert und adaptiert wird. Sowohl mit [34], als auch mit [39], lässt sich die materielle Verwertung bewerten, sieht man dies als Recyclingfähigkeit an, und der Aufwand der zu betreiben ist um dies zu erreichen als Recyclingfreundlichkeit, könnte eine mögliche Bewertung wie in Abb. 5.5 aussehen.

Dies würde der Forderung von [P3] nach klarer Trennung unterschiedlicher Eigenschaften im Bezug auf Gebäudeverwertung. Die Materielle Verwertung kann dann als Nachhaltigkeit-Indikator in Gebäudebewertungen einfließen, und die Recyclingfreundlichkeit dient als Planungswerkzeug, und liefert so einen Indikator für den dafür zu betreibenden Aufwand, oder wie gut das *Design for Dissassembly* und in weiterer Folge *Design for Recycling* nach [26] ist.

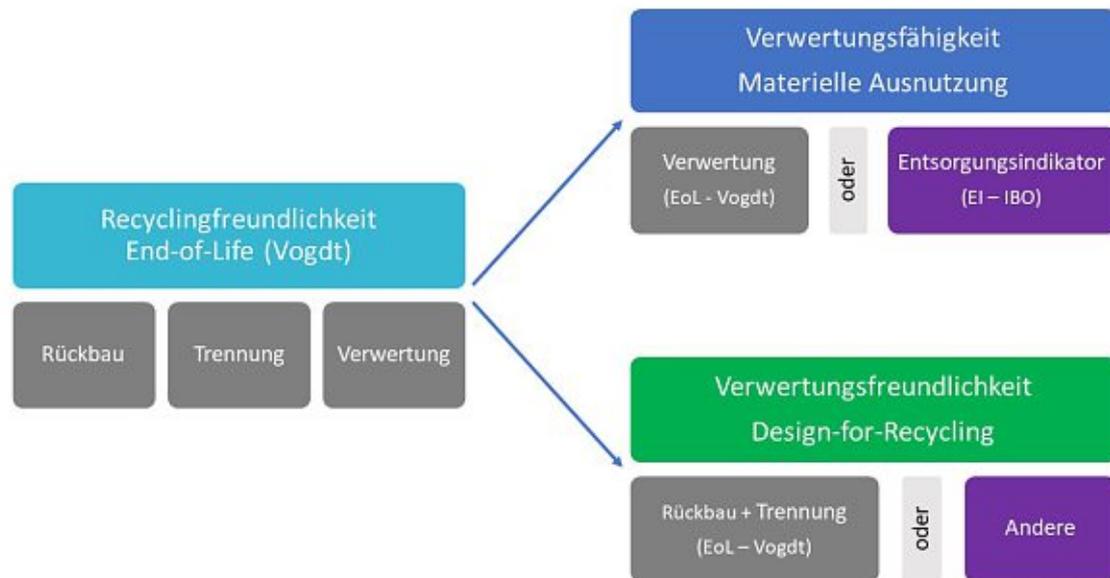


Abb. 5.5: Gebäudebewertung: Materielle Verwertung und

5.3 Zusammenfassung der Maßnahmen und Ausblick

Die nun erörterten Maßnahmen, werden nun auf Ebene der Bautechnik, und des Baubetriebes zusammengefasst.

- Baubetrieb
 - Planungswerkzeuge schaffen und nutzen
 - * EI - Entsorgungsindikatoren
 - * End-of-Life
 - Dokumentation der Materialzusammensetzung
 - * MGP
 - * RFDI
 - Bau-Materialkreisläufe schaffen
 - * Adaptierung RBB
 - * Rücknahmesystem bei Materialproduzenten
- Bautechnik
 - Recyclingfreundlich Planen und Bauen [34]
 - Entwicklung Wiederverwendbarer Systeme
 - * Modulare Fertigteilbauweise
 - * Montagesystem-neutrale Knotenverbindungsmitel

Um Recycling im Bauwesen zu leben, müssen also unterschiedliche Themenfelder aufeinander abgestimmt sein, und zusammen wirken. Die verschiedenen Gebiete bieten unterschiedliche

Möglichkeiten, und erst wenn diese zusammen wirken, kann ein Maximum an Material- und Energieeffizienz erreicht werden, wie in Abb. 5.6 zu sehen ist.

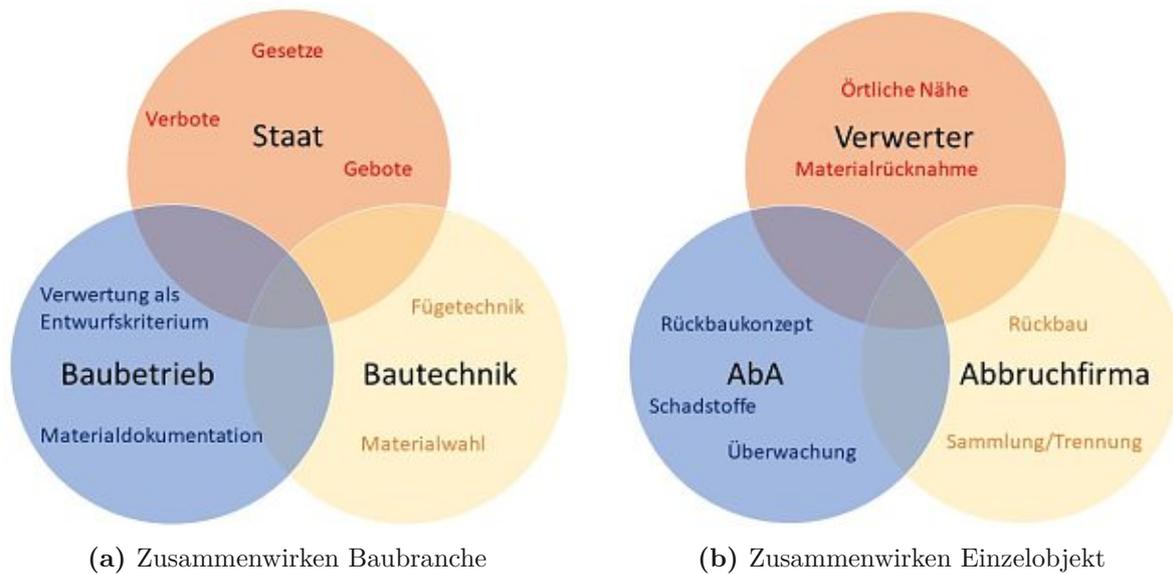


Abb. 5.6: Notwendiger Schulterschluss für eine materialeffiziente Bauindustrie

Literaturverzeichnis

- [1] Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau. *Monitoring-Bericht Bauabfälle*. 2004.
- [2] P. Baccini und P. H. Brunner. *Metabolism of the Anthroposphere: analysis, evaluation, design*. Bd. 2. MIT Press, 2012.
- [3] baubook. *Bauökologiosche Richtwerte*. 2018. URL: <https://www.baubook.info/zentrale/?SW=5%5C&LU=1823780568%5C&qJ=5%5C&LP=ms6pI%5C&lng=1> (Zugriff am 01. 11. 2018).
- [4] bauforumstahl e. V. *Heizwerte*. 2012. URL: <https://bauforumstahl.de> (Zugriff am 01. 11. 2018).
- [5] P. H. Brunner. „Urban mining a contribution to reindustrializing the city“. In: *Journal of Industrial Ecology* 15.3 (2011), S. 339–341.
- [6] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. *Änderungen der Recycling-Baustoffverordnung*. 2016.
- [7] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. *Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2006*. 2006.
- [8] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. *Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich - Recycling-Baustoffverordnung, Teil II*. 2015.
- [9] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. *Erläuterungen zur Recycling-Baustoffverordnung*. 2018.
- [10] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. *Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über das Recycling von Altholz in der Holzwerkstoffindustrie (RecyclingholzV) StF: BGBl. II Nr. 160/2012*. 2012.
- [11] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. *Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien (DVO 2008)*. 2008.
- [12] Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus. *Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2017, Teil 1*. 2017.
- [13] Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus. *Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002–BGBl)*. 2002.
- [14] M. Burkhardt, R. Bunge, J.-M. Stoll und S. Moebus. „100 % Recycling ist unbezahlbar und ökologisch unsinnig!“ In: *UMTEC-News* 2 (2015).
- [15] DataHolz. *Katalog bauphysikalisch und ökologisch geprüfter Holzbauteile: dataholz.eu*. 2018. URL: <https://www.dataholz.eu/> (Zugriff am 01. 01. 2018).
- [16] U. Dechantsreiter, A. Mettke, S. Asmus, S. Schmidt, P. Horst, F. Knappe, J. Reinhardt, S. Theis und J. J. Lau. *Instrumente zur Wiederverwendung von Bauteilen und hochwertigen Verwertung von Baustoffen*. 2015.
- [17] Die Hundertwasser gemeinnützige Privatstiftung Wien. *Hundertwasser*. 2018. URL: <http://hundertwasser.com/de/haeute/identitaet/54-der-maler-koenig/120-ich-bin-ein-koenig> (Zugriff am 24. 09. 2018).

- [18] Europäische Union. *Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: Den Kreislauf schließen – Ein Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaft*. COM (2015) 614 final, Brüssel 02.12. 2015. 2015.
- [19] H. Z. Harraz. *Non-metallic Mineral Deposits*. 2014. URL: <https://www.slideshare.net/hzharraz/nonmetallic-mineral-deposits> (Zugriff am 24.01.2019).
- [20] M. Honic. „Optimierte Nachverdichtung durch BIM und LCA-Tools“. Diplomarbeit. Technische Universität Wien, 2016.
- [21] M. Honic und I. Kovacic. *Stadt der Zukunft - BIMaterial*. 1018.
- [22] IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH. „EI – Entsorgungsindikator“. In: (2012).
- [23] *ISO 16000-32:2014: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 32: Untersuchung von Gebäuden auf Schadstoffe*. Wien: Austrian Standards, Okt. 2014.
- [24] T. Kloibhofer. „Ökologische Bilanzierung - Vergleich der Materialien Holz, Stahl & Stahlbeton anhand eines funktionalen Gebäudes unter den Kriterien der Ressourceneffizienz“. Diplomarbeit. Technische Universität Wien, 2016.
- [25] Kreislaufwirtschaft Bau. *Mineralische Bauabfälle Monitoring 2014*. 2014.
- [26] S. Markova und H. Rechberger. *Entwicklung eines Konzepts zur Förderung der Kreislaufwirtschaft im Bauwesen: Materieller Gebäudepass und Design for Recycling für das Bauwesen*. Forschungsber. Technische Universität Wien (TU Wien) Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, Fachbereich Abfallwirtschaft und Ressourcenmanagement, 2011. 164 S.
- [27] I. Meyer, M. Sommer und K. Kratena. „Volkswirtschaftliche Effekte durch Recycling ausgewählter Altstoffe und Abfälle“. In: *Recycling und Rohstoffe, Band 11*. Hrsg. von S. Thiel, E. Thome-Kozmiensky und D. Goldmann. Neuruppin: Thome-Kozmiensky Verlag GmbH, 2018, S. 49–63. ISBN: 978-3-944310-40-4.
- [28] *ÖNORM B 3151:2014 12 01: Rückbaumethode von Bauwerken als Standardabbruchmethode*. Wien: Austrian Standards, Dez. 2014.
- [29] Österreichischer Baustoff-Recycling Verband. *Rückbaukundige Personen*. 2018. URL: <http://brv.at/ruckbaukundige-personen/> (Zugriff am 01.11.2018).
- [30] Österreichischer Recycling-Börse Bau. *Österreichischer Recycling-Börse Bau*. 2018. URL: http://www.recycling.or.at/rbb/cake_rbb/ (Zugriff am 01.11.2018).
- [31] R. Pomberger, J. Adam, A. Aldrian, A. Curtis, K. Friedrich, L. Kranzinger, B. Küppers, K. E. Lorber, S. Möllnitz, S. Neuhold, T. Nigl, K. Pfandl, B. Rutrecht, R. Sarc, T. Sattler, T. Schwarz, P. Sedlazeck, S. Viczek, D. Vollprecht, T. Weißenbach und M. Wellacher. „Recy & DepoTech 2018: Vorträge-Konferenzband zur 14. Recy & DepoTech-Konferenz“. In: (2018).
- [32] pro:Holz. *Holz wird urban und gestaltet die Stadt von morgen*. 2018. URL: <http://www.proholz.at/holz-hochhaeuser/> (Zugriff am 26.09.2018).
- [33] H. Rechberger und D. Clement. „Urban Mining - städtebauliche Rohstoff-potenziale“. In: *Zukunftspotential Bauwirtschaft* (2011), S. 211–217.
- [34] A. Scharnhorst. „Recyclingfähig Konstruieren“. In: *IBOmagazin* 4/10 (2010), S. 4–9.

- [35] F. Sieler. „Die Ressource Sand im Kontext des globalen Wandels unter besonderer Berücksichtigung des Sandabbaus in Mecklenburg-Vorpommern“. Hausarbeit im Rahmen der Staatsprüfung für das Lehramt. Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Deutschland, 2018.
- [36] Stadt Wien. *Abfallkonzept für Baustellen*. 2018. URL: <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/abfall/baustellen.html> (Zugriff am 01.10.2018).
- [37] Umweltland Oberösterreich. *Leitfaden über den richtigen Umgang mit Baurestmassen*. 2006.
- [38] F. U. Vogdt. „Urban Mining - Leitfaden zur Vermeidung nicht recyclingfähiger Bauabfälle bei künftigen kommunalen Hochbauvorhaben“. In: (20. Jan. 2017). München, Deutschland, 2017.
- [39] F. U. Vogdt, R. K. Huber und C. Asam. *Das Forschungsprojekt "Plattenvereinigung"*. 2016.
- [40] Wirtschaftskammer Österreich, Geschäftsstelle Bau. *Baurestmassen-Verwertung und Entsorgung - Leitfaden zum richtigen Umgang mit Baurestmassen auf Baustellen*. 2017.

Kapitel 6

Anhang

6.1 Berechnung. End-of-Life

AW01-Holzmassivbau						
A	Bautsoffeinteilung	Dicke der Schicht [m]	Dichte IBO [kg/m³]	Flächenbez. Masse [kg/m²]	Flächenbez. Masse (Anteil) [kg/m²]	Masse [kg]
1	Sperrholz	0,024	440	10,56	10,56	20.033,16
2	Holzlattung	0,04	540	21,6	2,16	4.097,69
3	Holzfaserdämmplatte	0,022	250	5,5	5,5	10.433,94
4	10% Holzlattung+Konterlattung	0,2	540	108	10,8	20.488,46
4a	90% Glaswolle	0,2	20	4	3,6	6.829,49
5	Brettsperrholz	0,095	440	41,8	41,8	79.297,94
6	10% Holzlattung	0,06	540	32,4	3,24	6.146,54
6a	90% Steinwolle	0,06	33	1,98	1,782	3.380,60
7	Gipskartonplatte	0,025	850	21,25	21,25	40.312,95
I	Dicke des Bauteils	0,466				191.020,78

Fläche [m²] 1897,08 379,42 je Geschoß

Bewertung

Rückbau	HF	NF		
Bauteilart: Außenwand	1,3	AW_Holzmassiv mit h.	1,44	-> 1,87
Bauteildicke: Vertikal	3,42	d<=24cm	1,2	-> 4,10
Lage: Vertikal	1,3	<= 10m	1,2	-> 1,56
Vertikal	1,3	10-20m	1	-> 1,30
Vertikal	1,3	>20m	0	-> 0,00
Punkte				7,38

758,83m² Kontrolle:
1138,25m² Fläche =
0,00m² 1897,08m² OK
Nach Flächenanteilen gemittelt

Trennung	HF	NF	Schichtanzahl	
Schichten >=6	1		7	Schichtreihenfolge von außen nach innen
Verbindungsart Anzahl je m²/Flächenanteil				
Schicht 1				Sperrholz
Verbindung mechanische_Verbindungs	1,79	7-10	0,5 -> 0,13	
Anstrich Keiner	1,5	Keiner	1 -> 1,50	
Schicht 2				Holzlattung
Verbindung mechanische_Verbindungs	1,79	7-10	0,5 -> 0,13	
Schicht 3				Holzfaserdämmplatte
Verbindung mechanische_Verbindungs	1,79	>10	0 -> 0,00	
Schicht 4				Holzlattung+Konterlattung
Verbindung mechanische_Verbindungs	1,79	4-6	1,1 -> 0,14	
Schicht 4a				Glaswolle
Verbindung mechanische_Verbindungs	1,79	4-6	1,1 -> 0,14	
Schicht 5				Brettsperrholz
Verbindung mechanische_Verbindungs	1,79	4-6	1,1 -> 0,28	
Schicht 6				Holzlattung
Verbindung mechanische_Verbindungs	1,79	4-6	1,1 -> 0,14	
Schicht 6a				Steinwolle
Verbindung mechanische_Verbindungs	1,79	4-6	1,1 -> 0,14	
Schicht 7				Gipskartonplatte
Verbindung mechanische_Verbindungs	1,79	7-10	0,5 -> 0,13	
Anstrich mineralisch	0,75	Keiner	1 -> 0,75	
Punkte				3,34

Verwertung - gut		HF	Materialanzahl			
					9	
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Down-cycling	7	->	0,78	Sperrholz
Schicht2						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Down-cycling	7	->	0,78	Holzlattung
Schicht3						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	0,89	Holzfaserdämmplatte
Schicht3a						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	0,89	Holzlattung+Konterlattung
Schicht4						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	0,89	Glaswolle
Schicht5						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Down-cycling	7	->	0,78	Brettsperrholz
Schicht6						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Down-cycling	7	->	0,78	Holzlattung
Schicht6a						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	0,89	Steinwolle
Schicht7						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Down-cycling	7	->	0,78	Gipskartonplatte
Punkte					7,44	

Verwertung - schlecht		HF	Materialanzahl			
					9	
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5	->	0,56	Sperrholz
Schicht2						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5	->	0,56	Holzlattung
Schicht3						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5	->	0,56	Holzfaserdämmplatte
Schicht4						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5	->	0,56	Holzlattung+Konterlattung
Schicht4a						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Glaswolle
Schicht5						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5	->	0,56	Brettsperrholz
Schicht6						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5	->	0,56	Holzlattung
Schicht6a						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Steinwolle
Schicht7						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Gipskartonplatte
Punkte					3,33	

AW01-Betonmassivbau						
A	Baustoffeinteilung	Dicke der Schicht [m]	Dichte baubook [kg/m³]	Flächenbez. Masse [kg/m²]	Flächenbez. Masse (Anteil) [kg/m²]	Masse [kg]
1	Silikatputz	0,0019	1800	3,42	3,42	6.488,01
2	EPS	0,27	15,8	4,266	4,266	8.092,94
3	Stahlbeton	0,2	2300	460	460	872.656,80
4	Gipsspachtelung	0,003	1800	5,4	5,4	10.244,23
I	Dicke des Bauteils	0,4749				897.481,99

Fläche [m²]
1897,08

Bewertung

Rückbau		HF		NF		
Bauteilart:	Außenwand	1,3	AW_Massiv mit WDVS	1,26	->	1,64
Bauteildicke	Vertikal	3,42	h<=24cm	1,2	->	4,10
Lage	Vertikal	1,3	<= 10m	1,2	->	1,56
	Vertikal	1,3	10-20m	1	->	1,30
	Vertikal	1,3	>20m	0	-	0,00
Punkte						7,15

758,83m² Kontrolle:
1138,25m² Fläche =
0,00m² 1897,08m² OK
Nach Flächenanteilen gemittelt

Trennung		HF		NF		Schichtanzahl
Schichten		4	1,07			4
	Verbindungsart		Anzahl je m²/Flächenanteil			
Schicht 1						
Verbindung	Gefügedicht_Mörtel	1,66	100%	0	->	0,00
Anstrich	mineralisch	0,75	Keiner	1	->	0,80
Schicht 2						
Verbindung	Gefügedicht_Mörtel	1,66	>50	0,5	->	0,22
Schicht 3						
Verbindung	mechanische_Verbindungs	1,79	4-6	1,1	->	0,53
Schicht 4						
Verbindung	Gefügedicht_Mörtel	1,66	100%	0	->	0,00
Anstrich	mineralisch	0,75	Keiner	1	->	0,80
Punkte						2,35

Schichtreihenfolge
von außen nach innen

Silikatputz

EPS

Stahlbeton

Gipsspachtelung

Verwertung - gut		HF		Materialanzahl		
						4
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5	->	1,25	Silikatputz
Schicht2						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	2,00	EPS
Schicht3						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	2,00	Stahlbeton
Schicht4						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Gipsspachtelung
Punkte						5,25

Verwertung - schlecht		HF		Materialanzahl		
						4
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5	->	1,25	Silikatputz
Schicht2						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	<1	2	->	0,50	EPS
Schicht3						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Down-cycling	7	->	1,75	Stahlbeton
Schicht4						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Gipsspachtelung
Punkte						3,50

AW-Holzmassivbau_Kern_EG						
A	Bautsoffeinteilung	Dicke der Schicht	Dichte IBO [kg/m³]	Flächenbez. Masse	Flächenbez. Masse (Anteil)	Masse [kg]
1	Kalkzementputz	0,064	1800	115,2	115,2	32.529,02
2	Holzfaserdämmplatte	0,022	250	5,5	5,5	1.553,04
3	10% Holzlattung+Konterlattung	0,2	540	108	10,8	3.049,60
3a	90% Glaswolle	0,2	20	4	3,6	1.016,53
4	Brettsper Holz	0,128	440	56,32	56,32	15.903,08
5	10% Holzlattung	0,06	540	32,4	3,24	914,88
5a	90% Steinwolle	0,06	33	1,98	1,782	503,18
6	Gipskartonplatte	0,025	850	21,25	21,25	6.000,36
I	Dicke des Bauteils	0,499				61.469,69

Fläche [m²]
282,37

Bewertung

Rückbau		HF		NF		
Bauteilart:	Außenwand	1,3	AW_Holzmassiv mit h.	1,44	->	1,87
Bauteildicke	Vertikal	3,42	d<=24cm	1,2	->	4,10
Lage	Vertikal	1,3	<= 10m	1,2	->	1,56
	Vertikal	1,3	10-20m	1	->	1,30
	Vertikal	1,3	>20m	0	->	0,00
Punkte						7,54

282,37m² Kontrolle:
0,00m² Fläche =
0,00m² 282,37m² OK
Nach Flächenanteilen gemittelt

Trennung		HF		NF		Schichtanzahl		
Schichten	>=6	1				6	Schichtreihenfolge von außen nach innen	
Verbindungsart		Anzahl je m²/Flächenanteil						
Schicht 1								
Verbindung	Gefügedicht_Mörtel	1,66	100%	0	->	0,00	Kalkzementputz	
Anstrich	mineralisch	0,75	Keiner	1	->	0,75		
Schicht 2								
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	>10	0	->	0,00	Holzfaserdämmplatte	
Schicht 3								
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	4-6	1,1	->	0,16	Holzlattung+Konterlattung	
Schicht 3a								
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	4-6	1,1	->	0,16	Glaswolle	
Schicht 4								
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	4-6	1,1	->	0,33	Brettsper Holz	
Schicht 5								
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	4-6	1,1	->	0,16	Holzlattung	
Schicht 5a								
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	4-6	1,1	->	0,16	Steinwolle	
Schicht 6								
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	7-10	0,5	->	0,15	Gipskartonplatte	
Anstrich	mineralisch	0,75	Keiner	1	->	0,75		
Punkte						2,63		

Verwertung - gut		HF			Materialanzahl	
Schicht 1					8	
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Down-cyclin	7	->	0,88	Kalkzementputz
Schicht2						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5	->	0,63	Holzfaserdämmplatte
Schicht3						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	1,00	Holzlattung+Konterlattung
Schicht3						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	1,00	Glaswolle
Schicht4						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Down-cyclin	7	->	0,88	Brettsper Holz
Schicht5						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Down-cyclin	7	->	0,88	Holzlattung
Schicht5a						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	1,00	Steinwolle
Schicht6						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	1,00	Gipskartonplatte
Punkte					7,25	

Verwertung - schlecht		HF			Materialanzahl	
Schicht 1					8	
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Kalkzementputz
Schicht2						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5	->	0,63	Holzfaserdämmplatte
Schicht3						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5	->	0,63	Holzlattung+Konterlattung
Schicht3a						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Glaswolle
Schicht4						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5	->	0,63	Brettsper Holz
Schicht5						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5	->	0,63	Holzlattung
Schicht5a						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Steinwolle
Schicht6						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Gipskartonplatte
Punkte					2,50	

AW-Betonmassivbau_Kern_EG						
A	Bautsoffeinteilung	Dicke der Schicht	Dichte IBO [kg/m³]	Flächenbez. Masse	Flächenbez. Masse (Anteil)	Masse [kg]
1	Silikatputz	0,0019	1800	3,42	3,42	965,71
2	EPS	0,27	15,8	4,266	4,266	1.204,59
3	Stahlbeton	0,2	2300	460	460	129.890,20
4	Gipsspachtelung	0,003	1800	5,4	5,4	1.524,80
I	Dicke des Bauteils	0,4749				133.585,29

Fläche [m²]	282,37
-------------	--------

Bewertung

Rückbau		HF	NF		
Bauteilart:	Außenwand	1,3	AW_Massiv mit WDVS	1,26	-> 1,64
Bauteildicke	Vertikal	3,42	h<=24cm	1,2	-> 4,10
Lage	Vertikal	1,3	<= 10m	1,2	-> 1,56
	Vertikal	1,3	10-20m	1	-> 1,30
	Vertikal	1,3	>20m	0	-> 0,00
Punkte					7,30

282,37m² Kontrolle:
 0,00m² Fläche =
 0,00m² 282,37m² OK
 Nach Flächenanteilen gemittelt

Trennung		HF	NF	Schichtanzahl	
Schichten		4	1,07		4
Verbindungsart		Anzahl je m²/Flächenanteil			
Schicht 1					
Verbindung	Gefügedicht_Mörtel	1,66	100%	0	-> 0,00
Anstrich	mineralisch	0,75	Keiner	1	-> 0,80
Schicht 2					
Verbindung	Gefügedicht_Mörtel	1,66	>50	0,5	-> 0,22
Schicht 3					
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	4-6	1,1	-> 0,53
Schicht 4					
Verbindung	Gefügedicht_Mörtel	1,66	100%	0	-> 0,00
Anstrich	mineralisch	0,75	Keiner	1	-> 0,80
Punkte					2,35

Schichtreihenfolge von außen nach innen

- Silikatputz
- EPS
- Stahlbeton
- Gipsspachtelung

Verwertung - gut		HF	Materialanzahl			
Schicht 1					4	
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5	->	1,25	Silikatputz
Schicht2						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	2,00	EPS
Schicht3						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	2,00	Stahlbeton
Schicht4						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Gipsspachtelung
Punkte					5,25	

Verwertung - schlecht		HF	Materialanzahl			
Schicht 1					4	
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5	->	1,25	Silikatputz
Schicht2						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	<1	2	->	0,50	EPS
Schicht3						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Down-cycling	7	->	1,75	Stahlbeton
Schicht4						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Gipsspachtelung
Punkte					3,50	

Flachdach-Holzmassivbau						
A	Bautsoffeinteilung	Dicke der Schicht	Dichte IBO [kg/m³]	Flächenbez. Masse	Flächenbez. Masse (Anteil)	Masse [kg]
1	Kiesschüttung	0,05	1800	90	90	64.572,30
2	Trennvlies (PE)	0,0015	600	0,9	0,9	645,72
3	Bitumendichtung	0,0015	1050	1,575	1,575	1.130,02
4	Steinwolle	0,2	33	6,6	6,6	4.735,30
5	Dichtungsfolie (PE)	0,0015	1000	1,5	1,5	1.076,21
6	Brettsperrholz	0,26	440	114,4	114,4	82.078,57
7	Holzlattung	0,03	540	16,2	1,62	1.162,30
7a	Steinwolle	0,03	33	0,99	0,891	639,27
8	Gipskartonplatte	0,0125	850	10,625	10,625	7.623,12
I	Dicke des Bauteils	0,557				163.662,80

Fläche [m²]
717,47

Bewertung

Rückbau	HF	NF
Bauteilart: Dach	1,3	Da_Flachdach massiv 1,44 -> 1,87
Bauteildicke: Horizontal	3,42	h>24cm 0,86 -> 2,94
Lage: Horizontal	1,3	<= 10m 1,2 -> 1,56
	1,3	10-20m 1 -> 1,30
	1,3	>20m 0 -> 0,00
Punkte		6,11

0,00m² Kontrolle:
717,47m² Fläche =
0,00m² 717,47m² OK
Nach Flächenanteilen gemittelt

Trennung	HF	NF	Schichtanzahl
Schichten >=6	1		8
Verbindungsart Anzahl je m²/Flächenanteil			
Schicht 1			
Verbindung mechanische_Verbindungs	1,79	4-6 1,1 -> 0,25	Kiesschüttung
Anstrich Keiner	1,5	Keiner 1 -> 1,50	
Schicht 2			
Verbindung Gefügedicht_Kleber	1,66	<=50% 1,1 -> 0,23	Trennvlies (PE)
Schicht 3			
Verbindung Gefügedicht_Kleber	1,66	<=50% 1,1 -> 0,23	Bitumendichtung
Schicht 4			
Verbindung Gefügedicht_Kleber	1,66	<=50% 1,1 -> 0,23	Steinwolle
Schicht 5			
Verbindung Keine_Verbindungsmitel	1,79	0 1,1 -> 0,25	Dichtungsfolie (PE)
Schicht 6			
Verbindung mechanische_Verbindungs	1,79	4-6 1,1 -> 0,25	Brettsperrholz
Schicht 7			
Verbindung mechanische_Verbindungs	1,79	4-6 1,1 -> 0,12	Holzlattung
Schicht 7a			
Verbindung mechanische_Verbindungs	1,79	4-6 1,1 -> 0,12	Steinwolle
Schicht 8			
Verbindung mechanische_Verbindungs	1,79	7-10 0,5 -> 0,11	Gipskartonplatte
Anstrich mineralisch	0,75	Keiner 1 -> 0,75	
Punkte			4,03

Schichtreihenfolge von außen nach innen

Kiesschüttung

Trennvlies (PE)

Bitumendichtung

Steinwolle

Dichtungsfolie (PE)

Brettsperrholz

Holzlattung

Steinwolle

Gipskartonplatte

Verwertung - gut		HF			Materialanzahl	
Schicht 1					9	
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	0,89	Kiesschüttung
Schicht 2						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	0,89	Trennvlies (PE)
Schicht 3						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	<1	2	->	0,22	Bitumendichtung
Schicht 4						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	0,89	Steinwolle
Schicht 5						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	0,89	Dichtungsfolie (PE)
Schicht 6						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Down-cycling	7	->	0,78	Brettsperrholz
Schicht 7						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Down-cycling	7	->	0,78	Holzlattung
Schicht 7a						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	0,89	Steinwolle
Schicht 8						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	0,89	Gipskartonplatte
Punkte					7,11	

Verwertung - schlecht						
Schicht 1					9	
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	0,89	Kiesschüttung
Schicht 2						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	<1	2	->	0,22	Trennvlies (PE)
Schicht 3						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Bitumendichtung
Schicht 4						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Steinwolle
Schicht 5						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	<1	2	->	0,22	Dichtungsfolie (PE)
Schicht 6						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5	->	0,56	Brettsperrholz
Schicht 7						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5	->	0,56	Holzlattung
Schicht 7a						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Steinwolle
Schicht 8						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Gipskartonplatte
Punkte					2,44	

Flachdach-Betonmassivbau						
A	Bautsoffeinteilung	Dicke der Schicht	Dichte IBO [kg/m³]	Flächenbez. Masse	Flächenbez. Masse (Anteil)	Masse [kg]
1	Kiesschüttung	0,06	1800	108,00	108,00	77.486,76
2	Bitumendichtung	0,0078	1100	8,58	8,58	6.155,89
3	Dampfdruckausgleichsschicht	0,0016	980	1,57	1,57	1.124,99
4	EPS	0,28	19,5	5,46	5,46	3.917,39
5	Bitumendichtung	0,0014	1100	1,54	1,54	1.104,90
6	Dampfdruckausgleichsschicht	0,0018	980	1,76	1,76	1.265,62
7	Stahlbeton	0,2	2300	460,00	460,00	330.036,20
8	Gipsspachtelung	0,003	1300,00	3,90	3,90	2.798,13
	Dicke des Bauteils	0,5556				423.889,89

Fläche [m²]
717,47

Bewertung

Rückbau	HF	NF		
Bauteilart: Dach	1,3	Da_Flachdach massiv	1,44	-> 1,87
Bauteildicke: Horizontal	3,42	h<=24cm	1,2	-> 4,10
Lage: Horizontal	1,3	<= 10m	0	-> 0,00
Horizontal	1,3	10-20m	0	-> 0,00
Horizontal	1,3	>20m	0	-> 0,00
Punkte				5,98

0,00m² Kontrolle:
717,47m² Fläche =
0,00m² 717,47m² OK
Nach Flächenanteilen gemittelt

Trennung	HF	NF	Schichtanzahl
Schichten >=6	1		8
Verbindungsart Anzahl je m²/Flächenanteil			
Schicht 1			
Verbindung mechanische_Verbindungs	1,79	4-6	1,1 -> 0,25
Anstrich Keiner	1,5	Keiner	1 -> 1,50
Schicht 2			
Verbindung Gefügedicht_Kleber	1,66	100%	0 -> 0,00
Schicht 3			
Verbindung Gefügedicht_Kleber	1,66	<=50%	1,1 -> 0,23
Schicht 4			
Verbindung mechanische_Verbindungs	1,79	4-6	1,1 -> 0,25
Schicht 5			
Verbindung Gefügedicht_Kleber	1,66	100%	0 -> 0,00
Schicht 6			
Verbindung Gefügedicht_Kleber	1,66	<=50%	1,1 -> 0,23
Schicht 7			
Verbindung Gefügedicht_Mörtel	1,66	100%	0 -> 0,00
Schicht 8			
Verbindung Gefügedicht_Mörtel	1,66	100%	0 -> 0,00
Anstrich mineralisch	0,75	Keiner	1 -> 0,75
Punkte			3,20

Schichtreihenfolge von außen nach innen

- Kiesschüttung
- Bitumendichtung
- Dampfdruckausgleich
- EPS
- Bitumendichtung
- Dampfdruckausgleich
- Stahlbeton
- Gipsspachtelung

Verwertung - gut		HF			Materialanzahl	
Schicht 1					8	
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	1,00	Kiesschüttung
Schicht 2						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	<1	2	->	0,25	Bitumendichtung
Schicht 3						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	<1	2	->	0,25	Dampfdruckausgleich
Schicht 4						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	1,00	EPS
Schicht 5						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	<1	2	->	0,25	Bitumendichtung
Schicht 6						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	<1	2	->	0,25	Dampfdruckausgleich
Schicht 7						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	1,00	Stahlbeton
Schicht 78						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Gipsspachtelung
Punkte					4,00	

Verwertung - schlecht		HF			Materialanzahl	
Schicht 1					8	
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	1,00	Kiesschüttung
Schicht 2						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	<1	2	->	0,25	Bitumendichtung
Schicht 3						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	<1	2	->	0,25	Dampfdruckausgleich
Schicht 4						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	<1	2	->	0,25	EPS
Schicht 5						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	<1	2	->	0,25	Bitumendichtung
Schicht 6						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	<1	2	->	0,25	Dampfdruckausgleich
Schicht 7						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Down-cycling	7	->	0,88	Stahlbeton
Schicht 78						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Gipsspachtelung
Punkte					3,13	

Decke gegen Außenluft-Holzmassiv						
	Bautsoffteinteilung	Dicke der Schicht	Dichte IBO [kg/m³]	Flächenbez. Masse	Flächenbez. Masse (Anteil)	Masse [kg]
1	Massivparkett	0,015	745	11,175	11,175	7.619,00
2	Zementestrich	0,035	2000	70	70	47.725,30
3	Bitumendichtung	0,001	1100	1,1	1,1	749,97
4	Steinwolle	0,03	100	3	3	2.045,37
5	Kiesschüttung	0,06	1600	96	96	65.451,84
6	Trennvlies (PE)	0,0015	600	0,9	0,9	613,61
7	Brettsperrholz	0,26	440	114,4	114,4	77.996,78
8	Dichtungsfolie (PE)	0,0015	1000	1,5	1,5	1.022,69
9	Glaswolle	0,2	20	4	4	2.727,16
10	Kalkzementputz	0,06	1800	108	108	73.633,32
A	Dicke des Bauteils	0,6640				279.585,03

Fläche [m²]
681,79

Bewertung

Rückbau		HF	NF		
Bauteilart:	Decke	1,3	De_Holzmassiv	1,44	-> 1,87
Bauteildicke	Horizontal	3,42	h>24cm	0,86	-> 2,94
Lage	Horizontal	1,3	<= 10m	1,2	-> 1,56
	Horizontal	1,3	10-20m	1	-> 1,30
	Horizontal	1,3	>20m	0	-> 0,00
Punkte	6,37				

681,79m² Kontrolle:
0,00m² Fläche =
0,00m² 681,79m² OK
Nach Flächenanteilen gemittelt

Trennung		HF	NF	Schichtanzahl		
Schichten	>=6	1			10	Schichtreihenfolge von außen nach innen
Verbindungsart		Anzahl je m²/Flächenanteil				
Schicht 1						
Verbindung	Gefügedicht_Kleber	1,66	<=50%	1,1	-> 0,18	Massivparkett
Anstrich	organisch	0	Keiner	1	-> 0,00	
Schicht 2						
Verbindung	Gefügedicht_Mörtel	1,66	<=50%	1,1	-> 0,18	Zementestrich
Schicht 3						
Verbindung	Gefügedicht_Kleber	1,66	<=50%	1,1	-> 0,18	Bitumendichtung
Schicht 4						
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	4-6	1,1	-> 0,20	Steinwolle
Schicht 5						
Verbindung	Keine_Verbindungsmitel	1,79	0	1,1	-> 0,20	Kiesschüttung
Schicht 6						
Verbindung	Gefügedicht_Kleber	1,66	<=50%	1,1	-> 0,18	Trennvlies (PE)
Schicht 7						
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	4-6	1,1	-> 0,20	Brettsperrholz
Schicht 8						
Verbindung	Gefügedicht_Kleber	1,66	<=50%	1,1	-> 0,18	Dichtungsfolie (PE)
Schicht 9						
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	4-6	1,1	-> 0,20	Glaswolle
Schicht 10						
Verbindung	Gefügedicht_Mörtel	1,66	100%	0	-> 0,00	Kalkzementputz
Anstrich	mineralisch	0,75	Keiner	1	-> 0,75	
Punkte	2,45					

Verwertung - gut		HF			Materialanzahl	
Schicht 1					10	
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	0,80	Massivparkett
Schicht 2						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Down-cyclin	7	->	0,70	Zementestrich
Schicht 3						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	<1	2	->	0,20	Bitumendichtung
Schicht 4						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	0,80	Steinwolle
Schicht 5						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	0,80	Kiesschüttung
Schicht 6						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	0,80	Trennvlies (PE)
Schicht 7						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Down-cyclin	7	->	0,70	Brettsperrholz
Schicht 8						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	0,80	Dichtungsfolie (PE)
Schicht 9						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	0,80	Glaswolle
Schicht 10						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Down-cyclin	7	->	0,70	Kalkzementputz
Punkte					7,10	

Verwertung - schlecht		HF			Materialanzahl	
Schicht 1					10	
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5	->	0,50	Massivparkett
Schicht 2						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Down-cyclin	7	->	0,70	Zementestrich
Schicht 3						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Bitumendichtung
Schicht 4						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Steinwolle
Schicht 5						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	0,80	Kiesschüttung
Schicht 6						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	<1	2	->	0,20	Trennvlies (PE)
Schicht 7						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5	->	0,50	Brettsperrholz
Schicht 8						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	<1	2	->	0,20	Dichtungsfolie (PE)
Schicht 9						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Glaswolle
Schicht 10						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Kalkzementputz
Punkte					2,90	

Decke gegen Außenluft-Betonmassiv						
I	Bautsoffeinteilung	Dicke der Schicht	Dichte IBO [kg/m³]	Flächenbez. Masse	Flächenbez. Masse (Anteil)	Masse [kg]
1	Massivparkett	0,01	740	7,4	7,4	5045,25
2	Holzspanplatten	0,032	650	20,8	20,8	14181,23
3	Glaswolle	0,08	18	1,44	1,296	883,60
3a	Stahl-Distanzbodenhalter	0,08	7800	624	62,4	42543,70
4	Stahlbeton	0,2	2300	460	460	313623,40
5	EPS	0,21	15,8	3,318	3,318	2262,18
6	Silikatputz	0,0025	1800	4,5	4,5	3068,06
A	Dicke des Bauteils	0,6145				381.607,41

Fläche [m²]
681,79

Bewertung

Rückbau	HF	NF		
Bauteilart: Decke	1,3	De_Massiv	1,44	-> 1,87
Bauteildicke: Horizontal	3,42	h<=24cm	1,2	-> 4,10
Lage: Horizontal	1,3	<= 10m	0	-> 0,00
Horizontal	1,3	10-20m	0	-> 0,00
Horizontal	1,3	>20m	0	-> 0,00
Punkte				5,98

681,79m² Kontrolle:
0,00m² Fläche =
0,00m² 681,79m² OK
Nach Flächenanteilen gemittelt

Trennung	HF	NF	Schichtanzahl	
Schichten >=6	1		6	Schichtreihenfolge von außen nach innen
Verbindungsart		Anzahl je m²/Flächenanteil		
Schicht 1				
Verbindung	Gefügedicht_Kleber	1,66 <=50%	1,1	-> 0,30
Anstrich	organisch	0 Keiner	1	-> 0,00
Schicht 2				
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79 7-10	0,5	-> 0,15
Schicht 3				
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79 7-10	0,5	-> 0,07
Schicht 3a				
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79 7-10	0,5	-> 0,07
Schicht 4				
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79 7-10	0,5	-> 0,15
Schicht 5				
Verbindung	Gefügedicht_Mörtel	1,66 >50	0,5	-> 0,14
Schicht 6				
Verbindung	Gefügedicht_Mörtel	1,66 100%	0	-> 0,00
Anstrich	mineralisch	0,75 Keiner	1	-> 0,75
Punkte				1,64

- Massivparkett
- Holzspanplatten
- Glaswolle
- Stahl-Distanzbodenhalter
- Stahlbeton
- EPS
- Silikatputz

Verwertung - gut		HF	Materialanzahl			
Schicht 1					7	
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	1,14	Massivparkett
Schicht 2						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	1,14	Holzspanplatten
Schicht 3						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	1,14	Glaswolle
Schicht 3a						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	1,14	Stahl-Distanzbodenhalter
Schicht 4						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	1,14	Stahlbeton
Schicht 5						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	1,14	EPS
Schicht 6						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5	->	0,71	Silikatputz
Punkte					7,57	

Verwertung - schlecht		HF	Materialanzahl			
Schicht 1					7	
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5	->	0,71	Massivparkett
Schicht 2						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5	->	0,71	Holzspanplatten
Schicht 3						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Glaswolle
Schicht 3a						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	1,14	Stahl-Distanzbodenhalter
Schicht 4						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Down-cycling	7	->	1,00	Stahlbeton
Schicht 5						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	<1	2	->	0,29	EPS
Schicht 6						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5	->	0,71	Silikatputz
Punkte					4,57	

Geschoßdecke-Holzmassivbau						
0	Bautsofferteilung	Dicke der Schicht	Dichte IBO [kg/m³]	Flächenbez. Masse	Flächenbez. Masse (Anteil)	Masse [kg]
1	Massivparkett	0,015	745	11,175	11,175	22.371,90
2	Zementestrich	0,035	2000	70	70	140.137,20
3	Bitumendichtung	0,001	1100	1,1	1,1	2.202,16
4	Steinwolle	0,03	100	3	3	6.005,88
5	Kiesschüttung	0,06	1600	96	96	192.188,16
6	Trennvlies (PE)	0,0015	600	0,9	0,9	1.801,76
7	Brettsperrholz	0,26	440	114,4	114,4	229.024,22
8	Holzlattung	0,03	540	16,2	1,62	3.243,18
8a	Steinwolle	0,03	33	0,99	0,891	1.783,75
9	Gipskartonplatte	0,0125	850	10,625	10,625	21.270,83
U	Dicke des Bauteils	0,445				620.029,03

Fläche [m²] 2001,96

667,32 je Geschoß

für alle 3 Geschoßdecken berechnet

Bewertung

Rückbau		HF	NF		
Bauteilart:	Dach	1,3	Da_Flachdach massiv	1,44	-> 1,87
Bauteildicke	Horizontal	3,42	h>24cm	0,86	-> 2,94
Lage	Horizontal	1,3	<= 10m	1,2	-> 1,56
	Horizontal	1,3	10-20m	1	-> 1,30
	Horizontal	1,3	>20m	0	-> 0,00
Punkte					6,11

0,00m² Kontrolle:
2001,96m² Fläche =
0,00m² 2001,96m² OK
Nach Flächenanteilen gemittelt

Trennung		HF	NF	Schichtanzahl		
Schichten	>=6	1				9
Verbindungsart		Anzahl je m²/Flächenanteil				
Schicht 1						
Verbindung	Gefügedicht_Kleber	1,66	<=50%	1,1	->	0,20
Anstrich	mineralisch	0,75	Keiner	1	->	0,75
Schicht 2						
Verbindung	Gefügedicht_Mörtel	1,66	<=50%	1,1	->	0,20
Schicht 3						
Verbindung	Gefügedicht_Kleber	1,66	<=50%	1,1	->	0,20
Schicht 4						
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	4-6	1,1	->	0,22
Schicht 5						
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	4-6	1,1	->	0,22
Schicht 6						
Verbindung	Gefügedicht_Kleber	1,66	<=50%	1,1	->	0,20
Schicht 7						
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	4-6	1,1	->	0,22
Schicht 8						
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	4-6	1,1	->	0,11
Schicht 8a						
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	4-6	1,1	->	0,11
Schicht 9						
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	7-10	0,5	->	0,10
Anstrich	mineralisch	0,75	Keiner	1	->	0,75
Punkte						3,29

Schichtreihenfolge von außen nach innen

Massivparkett

Zementestrich

Bitumendichtung

Steinwolle

Kiesschüttung

Trennvlies (PE)

Brettsperrholz

Holzlattung

Steinwolle

Gipskartonplatte

Verwertung - gut		HF	Materialanzahl			
Schicht 1					10	
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	0,80	Massivparkett
Schicht 2						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Down-cyclin	7	->	0,70	Zementestrich
Schicht 3						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	0,80	Bitumendichtung
Schicht 4						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	0,80	Steinwolle
Schicht 5						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	0,80	Kiesschüttung
Schicht 6						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	0,80	Trennvlies (PE)
Schicht 7						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Down-cyclin	7	->	0,70	Brettsperrholz
Schicht 8						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Down-cyclin	7	->	0,70	Holzlattung
Schicht 8a						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	0,80	Steinwolle
Schicht 9						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	0,80	Gipskartonplatte
Punkte					7,70	

Verwertung - schlecht		HF	Materialanzahl			
Schicht 1					10	
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5	->	0,50	Massivparkett
Schicht 2						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Down-cyclin	7	->	0,70	Zementestrich
Schicht 3						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Bitumendichtung
Schicht 4						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Steinwolle
Schicht 5						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	0,80	Kiesschüttung
Schicht 6						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	<1	2	->	0,20	Trennvlies (PE)
Schicht 7						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5	->	0,50	Brettsperrholz
Schicht 8						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5	->	0,50	Holzlattung
Schicht 8a						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Steinwolle
Schicht 9						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Gipskartonplatte
Punkte					3,20	

Geschoßdecke-Betonmassiv						
I	Bautsoffeinteilung	Dicke der Schicht	Dichte IBO [kg/m³]	Flächenbez. Masse	Flächenbez. Masse (Anteil)	Masse [kg]
1	Massivparkett	0,01	740	7,4	7,4	14.814,50
2	Holzspanplatten	0,032	650	20,8	20,8	41.640,77
3	Glaswolle	0,1	18	1,8	0,162	324,32
3a	Stahl-Distanzbodenhalter	0,1	7800	780	78	156.152,88
4	Stahlbeton	0,2	2300	460	460	920.901,60
5	Stahl-Distanzbodenhalter	0,1	7800	780	78	156.152,88
5a	Steinwolle	0,1	33,00	3,3	2,97	5.945,82
6	Gipsspachtelung	0,003	850,00	2,55	2,55	5.105,00
A	Dicke des Bauteils	0,645				1.301.037,77

Fläche [m²]
2001,96

Bewertung

Rückbau	HF	NF		
Bauteilart:	Dach	1,3	Da_Flachdach massiv	1,44 -> 1,87
Bauteildicke	Horizontal	3,42	h<=24cm	1,2 -> 4,10
Lage	Horizontal	1,3	<= 10m	0 -> 0,00
	Horizontal	1,3	10-20m	0 -> 0,00
	Horizontal	1,3	>20m	0 -> 0,00
Punkte				5,98

500,49m² Kontrolle:
1501,47m² Fläche =
0,00m² 2001,96m² OK
Nach Flächenanteilen gemittelt

Trennung	HF	NF	Schichtanzahl	
Schichten	>=6	1		8
Verbindungsart		Anzahl je m²/Flächenanteil		
Schicht 1				
Verbindung	Gefügedicht_Kleber	1,66	<=50%	1,1 -> 0,23
Anstrich	organisch	0	Keiner	1 -> 0,00
Schicht 2				
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	7-10	0,5 -> 0,11
Schicht 3				
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	7-10	0,5 -> 0,06
Schicht 3a				
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	7-10	0,5 -> 0,06
Schicht 4				
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	7-10	0,5 -> 0,11
Schicht 5				
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	7-10	0,5 -> 0,06
Schicht 5a				
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	7-10	0,5 -> 0,06
Schicht 6				
Verbindung	Gefügedicht_Mörtel	1,66	100%	0 -> 0,00
Anstrich	mineralisch	0,75	Keiner	1 -> 0,75
Punkte				1,43

Schichtreihenfolge von außen nach innen

- Massivparkett
- Holzspanplatten
- Glaswolle
- Stahl-Distanzbodenhalter
- Stahlbeton
- Stahl-Distanzbodenhalter
- Steinwolle
- Gipsspachtelung

Verwertung - gut		HF	Materialanzahl			
Schicht 1					8	
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	1,00	Massivparkett
Schicht 2						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	1,00	Holzspanplatten
Schicht 3						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	1,00	Glaswolle
Schicht 3a						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	1,00	Stahl-Distanzbodenhalter
Schicht 4						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Down-cycling	7	->	0,88	Stahlbeton
Schicht 5						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	1,00	Stahl-Distanzbodenhalter
Schicht 5a						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	1,00	Steinwolle
Schicht 6						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Gipsspachtelung
Punkte					6,88	

Verwertung - schlecht		HF	Materialanzahl			
Schicht 1					8	
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5	->	0,63	Massivparkett
Schicht 2						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5	->	0,63	Holzspanplatten
Schicht 3						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Glaswolle
Schicht 3a						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	1,00	Stahl-Distanzbodenhalter
Schicht 4						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Down-cycling	7	->	0,88	Stahlbeton
Schicht 5						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8	->	1,00	Stahl-Distanzbodenhalter
Schicht 5a						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Steinwolle
Schicht 6						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0	->	0,00	Gipsspachtelung
Punkte					4,13	

Geschoßdecke_Büro-Holzmassivbau						
I	Bautsoffteinteilung	Dicke der Schicht	Dichte IBO [kg/m³]	Flächenbez. Masse	Flächenbez. Masse (Anteil)	Masse [kg]
1	Massivparkett	0,015	745	11,175	11,175	7.619,00
2	Zementbeton	0,035	2000	70	70	47.725,30
3	Bitumendichtung	0,001	1100	1,1	1,1	749,97
4	Steinwolle	0,03	100	3	3	2.045,37
5	Kiesschüttung	0,06	1600	96	96	65.451,84
6	Trennvlies (PE)	0,0015	600	0,9	0,9	613,61
7	Brettspertholz	0,26	440	114,4	114,4	77.996,78
8	Dichtung (PE)	0,0015	1000	1,5	1,5	1.022,69
9	Glaswolle	0,2	20	4	4	2.727,16
10	Gipskartonplatte	0,0125	850	10,625	10,625	7.244,02
U	Dicke des Bauteils	0,4165				213.195,73

Fläche [m²]
681,79

Bewertung

Rückbau	HF	NF
Bauteilart: Decke	1,3	De_Holzmassiv 1,44
Bauteildicke: Horizontal	3,42	h>24cm 0,86
Lage: Horizontal	1,3	<= 10m 1,2
	1,3	10-20m 1
	1,3	>20m 0
Punkte		6,37

681,79m² Kontrolle:
0,00m² Fläche =
0,00m² 681,79m² OK
Nach Flächenanteilen gemittelt

Trennung	HF	NF	Geschoßanzahl
Schichten >=6	1		10
Verbindungsart Anzahl je m²/Flächenanteil			
Schicht 1			
Verbindung Gefügedicht_Kleber	1,66	<=50%	1,1 -> 0,18
Anstrich organisch	0	Keiner	1 -> 0,00
Schicht 2			
Verbindung Gefügedicht_Mörtel	1,66	<=50%	1,1 -> 0,18
Schicht 3			
Verbindung Gefügedicht_Kleber	1,66	<=50%	1,1 -> 0,18
Schicht 4			
Verbindung mechanische_Verbindung	1,79	4-6	1,1 -> 0,20
Schicht 5			
Verbindung mechanische_Verbindung	1,79	4-6	1,1 -> 0,20
Schicht 6			
Verbindung Gefügedicht_Kleber	1,66	<=50%	1,1 -> 0,18
Schicht 7			
Verbindung mechanische_Verbindung	1,79	4-6	1,1 -> 0,20
Schicht 8			
Verbindung Gefügedicht_Kleber	1,66	<=50%	1,1 -> 0,18
Schicht 9			
Verbindung mechanische_Verbindung	1,79	4-6	1,1 -> 0,20
Schicht 10			
Verbindung mechanische_Verbindung	1,79	7-10	0,5 -> 0,09
Anstrich mineralisch	0,75	Keiner	1 -> 0,75
Punkte			2,54

Schichtreihenfolge von außen nach innen

Massivparkett

Zementbeton

Bitumendichtung

Steinwolle

Kiesschüttung

Trennvlies (PE)

Brettspertholz

Dichtung (PE)

Glaswolle

Gipskartonplatte

Verwertung - gut		HF			Materialanzahl	
Schicht 1					10	
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8		0,80	Massivparkett
Schicht 2						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8		0,80	Zementbeton
Schicht 3						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	<1	2		0,20	Bitumendichtung
Schicht 4						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8		0,80	Steinwolle
Schicht 5						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8		0,80	Kiesschüttung
Schicht 6						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8		0,80	Trennvlies (PE)
Schicht 7						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Down-cyclin	7		0,70	Brettsperrholz
Schicht 8						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8		0,80	Dichtung (PE)
Schicht 9						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8		0,80	Glaswolle
Schicht 10						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8		0,80	Gipskartonplatte
Punkte					7,30	

Verwertung - schlecht		HF			Materialanzahl	
Schicht 1					10	
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5		0,50	Massivparkett
Schicht 2						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Down-cyclin	7		0,70	Zementbeton
Schicht 3						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0		0,00	Bitumendichtung
Schicht 4						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0		0,00	Steinwolle
Schicht 5						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8		0,80	Kiesschüttung
Schicht 6						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	<1	2		0,20	Trennvlies (PE)
Schicht 7						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5		0,50	Brettsperrholz
Schicht 8						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	<1	2		0,20	Dichtung (PE)
Schicht 9						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0		0,00	Glaswolle
Schicht 10						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0		0,00	Gipskartonplatte
Punkte					2,90	

Geschoßdecke_Büro-Betonmassivbau				bei Errichtung		
I	Bautsoffeinteilung	Dicke der Schicht	Dichte IBO [kg/m³]	Flächenbez. Masse	Flächenbez. Masse (Anteil)	Masse [kg]
1	Massivparkett	0,01	740	7,4	7,4	5.045,25
1	Holzspanplatten	0,032	650	20,8	20,8	14.181,23
3	Glaswolle	0,1	18	1,8	0,162	110,45
3a	Stahl-Distanzbodenhalter	0,1	7800	780	78	53.179,62
4	Stahlbeton	0,2	2300	460	460	313.623,40
5	Stahl-Distanzbodenhalter	0,24	7800	1872	187,2	127.631,09
5a	Steinwolle	0,24	33	7,92	7,128	4.859,80
6	Gipsspachtelung	0,003	850	2,55	2,55	1.738,56
A	Dicke des Bauteils	0,585				520.369,40

Fläche [m²]
681,79

Bewertung

Rückbau	HF	NF			
Bauteilart:	Decke	1,3	De_Massiv	1,44	1,87
Bauteildicke	Horizontal	3,42	h<=24cm	1,2	4,10
Lage	Horizontal	1,3	<= 10m	0	0,00
	Horizontal	1,3	10-20m	0	0,00
	Horizontal	1,3	>20m	0	0,00
Punkte					5,98

681,79m² Kontrolle:
0,00m² Fläche =
0,00m² 681,79m² OK
Nach Flächenanteilen gemittelt

Trennung	HF	NF	Geschoßanzahl			
Schichten	>=6	1		6		
	Verbindungsart	Anzahl je m²/Flächenanteil		Schichtreihenfolge von außen nach innen		
Schicht 1						
Verbindung	Gefügedicht_Kleber	1,66	<=50%	1,1	0,30	Massivparkett
Anstrich	organisch	0	Keiner	1	0,00	
Schicht 2						
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	7-10	0,5	0,15	Holzspanplatten
Schicht 3						
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	7-10	0,5	0,07	Glaswolle
Schicht 3a						
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	7-10	0,5	0,07	Stahl-Distanzbodenhalter
Schicht 4						
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	7-10	0,5	0,15	Stahlbeton
Schicht 5						
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	7-10	0,5	0,07	Stahl-Distanzbodenhalter
Schicht 5a						
Verbindung	mechanische_Verbindung	1,79	7-10	0,5	0,07	Steinwolle
Schicht 6						
Verbindung	Gefügedicht_Mörtel	1,66	100%	0	0,00	Gipsspachtelung
Anstrich	mineralisch	0,75	Keiner	1	0,75	
Punkte					1,65	

Verwertung - gut		HF			Materialanzahl	
Schicht 1					8	
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8		1,00	Massivparkett
Schicht 2						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8		1,00	Holzspanplatten
Schicht 3						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8		1,00	Glaswolle
Schicht 3a						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8		1,00	Stahl-Distanzbodenhalter
Schicht 4						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8		1,00	Stahlbeton
Schicht 5						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8		1,00	Stahl-Distanzbodenhalter
Schicht 5a						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8		1,00	Steinwolle
Schicht 6						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0		0,00	Gipsspachtelung
Punkte					7,00	

Verwertung - schlecht		HF			Materialanzahl	
Schicht 1					8	
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5		0,63	Massivparkett
Schicht 2						
Verwertungsweg	Energetische_Verwertung	>1	5		0,63	Holzspanplatten
Schicht 3						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0		0,00	Glaswolle
Schicht 3a						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8		1,00	Stahl-Distanzbodenhalter
Schicht 4						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Down-cycling	7		0,88	Stahlbeton
Schicht 5						
Verwertungsweg	Stoffliche_Verwertung	Recycling	8		1,00	Stahl-Distanzbodenhalter
Schicht 5a						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0		0,00	Steinwolle
Schicht 6						
Verwertungsweg	Sonstiges	Deponierung	0		0,00	Gipsspachtelung
Punkte					4,13	