

Assessment of Buildings and Constructions (ABC) – Disposal

Maßzahlen für die Entsorgungseigenschaften von Gebäuden
und Konstruktionen für die Lebenszyklusbewertung

H. Mötzl, C. Pladerer et al.

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

12/2009

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>
oder unter:

Projektfabrik Waldhör
Währingerstraße 121/3, 1180 Wien
Email: versand@projektfabrik.at

Assessment of Buildings and Constructions (ABC) - Disposal

**Maßzahlen für die Entsorgungseigenschaften von Gebäuden und
Konstruktionen für die Lebenszyklusbewertung**

Projektleitung:
Mag^a. Hildegund Mötzl

**Österreichisches Institut für Baubiologie
und –ökologie (IBO)**

in Kooperation mit
Österreichisches Ökologie-Institut

Wien, 30.12.2009

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines beauftragten Projekts aus der Programmlinie *Haus der Zukunft* im Rahmen des Impulsprogramms *Nachhaltig Wirtschaften*, welches 1999 als mehrjähriges Forschungs- und Technologieprogramm vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie gestartet wurde.

Die Programmlinie Haus der Zukunft intendiert, konkrete Wege für innovatives Bauen zu entwickeln und einzuleiten. Aufbauend auf der solaren Niedrigenergiebauweise und dem Passivhaus-Konzept soll eine bessere Energieeffizienz, ein verstärkter Einsatz erneuerbarer Energieträger, nachwachsender und ökologischer Rohstoffe, sowie eine stärkere Berücksichtigung von Nutzungsaspekten und Nutzerakzeptanz bei vergleichbaren Kosten zu konventionellen Bauweisen erreicht werden. Damit werden für die Planung und Realisierung von Wohn- und Bürogebäuden richtungsweisende Schritte hinsichtlich ökoeffizientem Bauen und einer nachhaltigen Wirtschaftsweise in Österreich demonstriert.

Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt dank des überdurchschnittlichen Engagements und der übergreifenden Kooperationen der Auftragnehmer, des aktiven Einsatzes des begleitenden Schirmmanagements durch die Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik und der guten Kooperation mit der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft bei der Projektabwicklung über unseren Erwartungen und führt bereits jetzt zu konkreten Umsetzungsstrategien von modellhaften Pilotprojekten.

Das Impulsprogramm *Nachhaltig Wirtschaften* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert, aber auch elektronisch über das Internet unter der Webadresse <http://www.HAUSderZukunft.at> Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

1. ABC – Disposal

Assessment of Building and Construction (ABC) – Disposal

Maßzahlen für die Entsorgungseigenschaften von Gebäuden und Konstruktionen für die Lebenszyklusbewertung

Synopsis

Die Entsorgung von Baumaterialien am Ende des Lebenswegs von Gebäuden soll bereits in der Planung ökologisch bewertet werden. Dafür werden Massenbilanzen auf Basis von Rückbauszenarien erstellt. Die Bewertung erfolgt quantitativ und qualitativ. Die Ergebnisse sollen im Gebäudezertifizierungssystem TQB und auf Haus-der-Zukunft-Demonstrationsprojekten angewandt werden.

The ecological performance of building materials at the end of buildings' life cycle should be assessed already in the planning phase. For that reason mass balances are produced basing on demolition scenarios. The processes for disposal are assessed quantitatively and qualitatively. The results shall be adopted in the building assessment tool Total Quality Building and on demonstration projects of the programme Building of Tomorrow.

Projektleiterin

Mag. Hildegund Mötzl

Institut/Unternehmen

IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und –ökologie GmbH, Alserbachstraße 5/8, 1090 Wien, www.ibo.at

Projektpartner

OOI – Österreichisches Ökologie-Institut, DI Christian Pladerer, Seidengasse 13, 1070 Wien, www.ecology.at

Projektmitarbeiterinnen und -mitarbeiter:

Hildegund Mötzl (IBO)

Christian Pladerer (OOI)

Ulrich Aschenbrenner (OOI)

Markus Meissner (OOI)

Markus Wurm (IBO)

Thomas Zelger (IBO)

Experten aus der Entsorgungswirtschaft

DI Martin Car, BRV Österreichischer Baustoff-Recycling Verband, Karlsq. 5, 1040 Wien

Ing. Günter Gretzmacher, Oekotechna, Waldmühlgasse 31, 2380 Perchtoldsdorf

Ing. Thomas Cechovsky und Stefan Riepl, AVE-Zentrale, Wildpretstraße 25, 1110 Wien

Wien, Dezember 2009

2. Inhaltsverzeichnis

1. ABC – Disposal	6
2. Inhaltsverzeichnis.....	7
3. Kurzfassung	9
4. Abstract	10
5. Projektabriss	11
5.1 Ausgangssituation / Motivation	11
5.2 Inhalte und Zielsetzungen.....	11
5.2 Methodische Vorgehensweise	12
5.4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen	13
5.5 Ausblick.....	14
6. Ziele des Projekts.....	15
7. Aufbau des Endberichts	16
8. Einleitung	17
8.1 Abkürzungen und Begriffe	17
8.2 Allgemeine Einführung in die Thematik	19
8.3 Lösungsansätze im vorliegenden Projekt	25
9. Verwendete Methode und Daten	28
9.1 Ökobilanz	28
9.2 Daten	31
10. Ergebnisse des Projekts	33
10.1 Wissensbasis - Grundlagen für die Bewertung der Entsorgungseigenschaften ..	33
10.2 Methoden zur Bewertung der Entsorgungseigenschaften	33
10.3 Anwendung der Bewertungsmethode	40
11. Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen	54
11.1 Allgemeine Schlussfolgerungen	54
11.2 Schlussfolgerung in Bezug auf ursprüngliche Ziele und Inhalte.....	55
11.3 Schlussfolgerung in Bezug auf die Programmlinie Haus der Zukunft	57
12. Ausblick / Empfehlungen.....	60
12.1 Chancen und Schwierigkeiten bei der Realisierung.....	60
12.2 Weitere geplante Aktivitäten des Planungsteams	61
12.3 Empfehlung für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten	62
13. Literaturverzeichnis / Abbildungsverzeichnis / Tabellenverzeichnis	64
13.1 Literaturverzeichnis.....	64
13.2 Abbildungsverzeichnis.....	67
13.3 Tabellenverzeichnis.....	67

3. Kurzfassung

Mit 7,8 Mio. Tonnen bilden Abfälle aus dem Bauwesen einen sehr wesentlichen Anteil des österreichischen Gesamtabfallaufkommens (zweitgrößte Fraktion nach Bodenaushub, ca. 23 % des Gesamtabfallaufkommens ohne Bodenaushub, Bezugsjahr 2007).

Gerade diese Fraktion verfügt über ein sehr hohes Verwertungspotential, das bisher jedoch noch weitgehend ungenutzt ist. Gleichzeitig ist das Bauwesen jener Wirtschaftsbereich, der die größten Lager bildet und mit rund 40 Prozent den größten Materialinput erfordert.

Ziel von „ABC-Disposal“ ist die Entwicklung einer Methode zur systematischen Bewertung der Entsorgungseigenschaften von Gebäuden. Die Bewertungsmethode soll bereits in der Planungsphase eingesetzt werden und Eingang finden in:

- den OI3 Indikator
- ECOSOFT (Software zur Berechnung des OI3 Indikators auf Gebäudeebene)
- das Gebäudebewertungsinstrument Total Quality Building (TQB)
- den klima:aktiv Gebäudestandard für Dienstleistungsgebäude

Außerdem können die für die Bewertung benötigten Basisinformationen über das Gebäude (Massenbilanz auf Basis vorgegebener Rückbauszenarien) auch für den im Bundesabfallwirtschaftsplan geforderten Gebäudepass herangezogen werden.

Unter dem Begriff „Entsorgung“ werden in der vorliegenden Studie alle Behandlungsmöglichkeiten für Abbruchmaterialien (Wiederverwendung, stoffliche Verwertung, thermische Verwertung, Beseitigung) verstanden. Auf Grund der Zielsysteme beschränkt sich die Studie auf das Gebäude und die darin enthaltenen Baumaterialien sowie auf Neubauten.

Auf Basis der eingesetzten Baumaterialien und der Verbindungen zwischen den Baustoffschichten wurden Szenarien für den Rückbau, die dabei anfallenden Fraktionen und die daraus resultierenden Entsorgungswege und -prozesse erstellt. Die sich daraus ergebenden Massenbilanzen wurden quantitativ (mittels Ökobilanz) und qualitativ (mittels einer „Entsorgungsmatrix“) bewertet.

Als Ergebnisse liegen

- Ökobilanz-Indikatoren für die Entsorgung des Gebäudes und
- Qualitativ mit einer vierstufigen Werteskala bewertete Massenbilanzen für die anfallenden Abfallfraktionen

vor. Die Ergebnisse werden nach den Entsorgungswegen Deponierung, Verbrennung und Recycling aufgeschlüsselt.

Die Ergebnisse für die bewerteten Gebäude zeigen, dass

- die qualitative Bewertung vor allem durch die mineralischen Baurestmassen bestimmt wird, da diese – auch bei Gebäuden in Holzbauweise – mit Abstand die größten Massen darstellen.
- die Wirkindikatoren der Ökobilanzen, mit Ausnahme des Treibhauspotenzials, wenig sensitiv für die Entsorgungsprozesse sind und vor allem die thermische Verwertung von Baumaterialien abbilden, da diese mit Emissionen in die Atmosphäre verbunden ist.

4. Abstract

Every year close to 7,8 mio tons of construction waste must be handled in Austria. This amount represented in 2007 23% of the total national disposal (excluding ground excavation). Particularly this waste fraction has great recycling potential which is largely unused. Beside, building generates large material stores and affords the biggest material inputs of all economic sectors (40 %).

The aim of this study is to develop a method for the assessment of building's disposal properties. This method should be used in the early planning phase of building design, and applied for

- OI3 Indicator
- ECOSOFT (Software for the calculation of the OI3 Indicator)
- Total Quality Building certification
- klima:aktiv building standard for commercial buildings

Data of mass balances of buildings may also be used for building certificates, as demanded by the "Bundesabfallwirtschaftsplan".

In this study "disposal" defines all options for the treatment of construction waste (reuse, recycling, energetic utilization, disposal).

Based on the properties of construction materials and on how they are connected to each other, scenarios for dismantling, the resulting number of fractions and resulting disposal options and -processes are worked out. Corresponding mass balances are assessed both quantitatively (by life cycle assessments (LCA)) and qualitatively (by a value matrix).

Results are

- LCA-indicators for the disposal of buildings and
- Assessments of mass balances of the disposal fractions using a 4 level scale. Results are presented separately for disposal, combustion and recycling.

Results for the assessed buildings show that

- the qualitative assessment is dominated by mineral construction waste (due to huge amounts of this fraction, even in the case of wooden buildings)
- impact categories of the LCA are in general not sensitive to disposal processes, except the global warming potential which mainly reflects thermal utilization of construction materials.

5. Projektabriss

5.1 Ausgangssituation / Motivation

Das Bauwesen ist jener Wirtschaftsbereich, der die größten Lager bildet und der mit rund 40 Prozent des gesamten Materialaufwands den größten Materialinput erfordert. Entsprechend hoch ist auch der Materialoutput aus dem Bauwesen: Im Jahr 2007 betrug das Aufkommen von Abfällen aus dem Bauwesen rund 7,8 Millionen Tonnen (ohne Aushubmaterial). Das entspricht ca. 23 % des Gesamtabfallaufkommens (ohne Aushubmaterial).

Ein Großteil der Abfälle aus dem Bauwesen ist mineralischen Ursprungs. Gerade diese Fraktion verfügt jedoch über ein sehr hohes Verwertungspotential, das bis dato besonders im Hochbau noch weitgehend ungenutzt ist. Auf der anderen Seite fallen aber auch im Bauwesen Abfälle an, die nicht unproblematisch in der Handhabung sind. So können verschiedene Kunststoffe Schwermetalle oder Halogene enthalten, die aufwändige Maßnahmen in Abfallverbrennungsanlagen erfordern. Verbundmaterialien mit Metallen oder zwischen organischen und anorganischen Materialien sind selten recycelbar, sowohl auf Deponien als auch in Abfallverbrennungsanlagen problematisch oder müssen vor der Beseitigung aufwändig in ihre Bestandteile zerlegt werden.

5.2 Inhalte und Zielsetzungen

Unter dem Begriff „Entsorgung“ werden in der vorliegenden Studie sämtliche Behandlungsmöglichkeiten für Abbruchmaterialien (Wiederverwendung, stoffliche Verwertung, thermische Verwertung, Beseitigung) verstanden. Auf Grund der Zielsysteme beschränkt sich die Studie auf das Gebäude und die darin enthaltenen Baumaterialien. Das bedeutet, dass z.B. Haustechnikkomponenten, Nebengebäude oder Materialien der Landschaftsgestaltung nicht betrachtet werden.

Ziel des vorliegenden Projekts ist die Entwicklung einer Methode zur systematischen Bewertung der Entsorgungseigenschaften von Baumaterialien am Ende des Gebäudelebensweges. Auf Basis der eingesetzten Baumaterialien und der Verbindungen zwischen den Baustoffschichten sollen Szenarien für die entstehenden Fraktion und die daraus resultierenden Entsorgungswege und -prozesse gefunden werden, wobei eine möglichst hochwertige Entsorgung der Baumaterialien angestrebt wird.

Die Bewertungsmethode soll bereits in der Planungsphase eingesetzt werden und Eingang finden in:

- den OI3 Indikator
- ECOSOFT (Software zur Berechnung des OI3 Indikators auf Gebäudeebene)
- das Gebäudebewertungsinstrument Total Quality Building (TQB)
- den klima:aktiv Gebäudestandard für Dienstleistungsgebäude

Außerdem können die in ECOSOFT für TQB erstellten Basisinformationen über das Gebäude (Massenbilanz auf Basis von Entsorgungsszenarien) auch hinsichtlich des im Bundesabfallwirtschaftsplan geforderten Gebäudepasses dienen.

Durch die vorsorgliche Beschäftigung mit den Entsorgungseigenschaften eines Gebäudes soll Bewusstseinsbildung geschaffen werden, die in weiterer Folge wesentlich zur ökologischen Optimierung des geplanten Gebäudes beiträgt.

5.2 Methodische Vorgehensweise

Der Entwicklung der Bewertungsmethode ging eine umfassende Grundlagenrecherche über die Entsorgungseigenschaften und -praxis der relevanten Baumaterialien voraus.

Die Entsorgungsprozesse sollen mittels quantitativer und qualitativer Indikatoren abgebildet werden.

Für die quantitative Bewertung wird die Ökobilanz-Methode nach (CML 2001) herangezogen. Bei der Erarbeitung der Ökobilanz-Methode standen zwei Fragestellungen im Vordergrund:

- Wie gut bilden die bekannten Ökobilanz-Indikatoren die Entsorgungseigenschaften von Baumaterialien ab?
- Wie können die Umweltbelastungen bzw. -entlastungen aus der Entsorgungsphase zwischen Gebäude und Verwertungsprozess aufgeteilt werden (Allokation)?

Im Anschluss daran wurden Ökobilanzdaten zu Entsorgungsprozessen erhoben. Als wesentliche Quelle wurde ECOINVENT v 2.0 herangezogen. Die Prozesse wurden auf Vollständigkeit und ihre Anwendbarkeit auf österreichische Verhältnisse analysiert. Als Ergebnis liegt eine Excel-Tabelle mit Indikatorenwerten vor, welche die wesentlichen Entsorgungsprozesse für Baumaterialien abbildet. Die Tabelle wird zukünftig als eigenes Blatt in der ECOSOFT WBF Baustoffdatenbank angeführt.

Für die qualitative Bewertung wurde ein Bewertungsraster erarbeitet, das die Entsorgungseigenschaften von Fraktionen bewertet. Dabei wird das Verhalten der Baumaterialien auf den drei Entsorgungswegen Recycling, Verbrennung und Deponierung in vier Qualitätsstufen (1=ausgezeichnet bis 4=problematisch) unterteilt.

Als Messgröße wurde für beide Herangehensweisen die Masse festgelegt.

Die Bilanzierung der Baukonstruktionen und Gebäude erfolgt mit ECOSOFT V 3.4.2.

Mit diesen Grundlagen stellt sich die Vorgangsweise bei der Bewertung der Entsorgungseigenschaften des Gebäudes folgendermaßen dar:

1. Virtueller Rückbau: Erstellen der Massenbilanz des Gebäudes, aufgeschlüsselt nach den eingesetzten Baustoffen in Abhängigkeit ihrer Verbindung zu den angrenzenden Bauteilschichten (= ihrer Trennbarkeit)
2. Zuordnung von Entsorgungswegen zu den erhaltenen Baustofffraktionen.
3. Quantitative Bewertung (Ökobilanz)
4. Qualitative Bewertung („Entsorgungsmatrix“)

In einem rekursiven Prozess wurde die Methode auf ein Mustergebäude, das IBO-Einfamilienhaus, angewandt. Dabei wurden unterschiedliche Bauweisen und unterschiedliche Szenarien angesetzt. Plausibilitätskontrolle und Sensitivitätsanalyse führten zu Anpassung der Methode und Neuberechnung der Ergebnisse.

5.4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die im vorliegenden Projekt erarbeitete Bewertungsmethode liefert als Ergebnis Ökobilanz-Indikatoren und eine Entsorgungsmatrix getrennt nach Deponierung, Verbrennung und Recycling.

Aus der Anwendung der Ökobilanz auf Entsorgungsprozesse können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Aus praktischen Gründen musste die Cut-Off-Methode zur **Allokation** der Entsorgungsprozesse herangezogen werden (Kompatibilität mit den IBO-Referenzdaten für die Herstellung). Diese Methode zeigt aber deutliche Mängel in der Abbildung von Verwertungsprozessen. Insgesamt wurde festgestellt, dass die Ergebnisse hochgradig sensitiv auf die gewählte Allokationsmethode reagieren.
- Während die Stickoxid-, Schwefeldioxid- VOC- und weiteren Schadgase in der Rauchgasreinigung effizient ausgefiltert werden (und damit die Wirkbilanz-Indikatoren kaum belasten), passieren die **Kohlendioxidemissionen** ungefiltert die Müllverbrennungsanlage. Somit reagiert von allen betrachteten Wirkbilanzindikatoren das Treibhauspotenzial am sensitivsten auf die Müllverbrennung.
- Die anderen betrachteten **Wirkbilanz-Indikatoren** reagieren mit Ausnahme des Treibhauspotenzials nicht sensitiv auf die Entsorgungsprozesse. Die Deponierung zeigt sich lediglich durch die damit verbundenen Abbruch- und Transportprozesse. Die Müllverbrennung spiegelt sich im Überdüngungspotenzial wider, verursacht aber deutlich geringere Belastungen als die Herstellung der Gebäude. Recyclingprozesse werden durch die Cut-Off-Methode abgeschnitten und kommen dadurch nicht zum Tragen.

Für die Anwendung der qualitativen Bewertungsmethode am Beispiel „IBO-Einfamilienhaus“ kann folgende Schlussfolgerung gezogen werden:

- Die Masse als Messgröße hat zur Folge, dass leichte Materialien, v.a. Dämmstoffe, sehr geringen Einfluss auf die Ergebnisse haben.
- Das entscheidende Optimierungspotential liegt daher darin, dafür zu sorgen, dass die mineralischen Baurestmassen möglichst sauber und sortenrein zurückgewonnen und damit recycelt werden können. Dieses Ergebnis gilt auch für die Holzbauweise, da auch dort große Mengen an mineralischen Baustoffen im erdberührten Bereich eingesetzt werden.
- Dieses Ergebnis gilt zweifelsohne auch bei anderen Messgrößen und Systemgrenzen, könnte aber durch weitere Erkenntnisse bereichert werden, wenn
 - zusätzlich das Volumen als Bezugsgröße herangezogen wird,

- die Nutzungsdauern der Baustoffe und Instandsetzungszyklen berücksichtigt werden (Dämmstoffe haben z.B. eine kürzere Nutzungsdauer als die mineralische Trag-schicht und fallen daher häufiger im Gebäudelebenszyklus an).

5.5 Ausblick

Die Ergebnisse des Projekts sollen im Gebäudebewertungsprogramm Total Quality (TQB) und in der Gebäudedokumentation gem. Bundesabfallwirtschaftsplan Eingang finden. Die NutzerInnen können „Planungsbüros und ProjektträgerInnen“ sowie „Gesetzgebende Stellen und Behörden“ sein.

Schwierigkeiten bei der Anwendung liegen in der Komplexität der Fragestellung, wodurch es nicht möglich sein wird, ein einfaches Schema vorzugeben, das auf Knopfdruck eindeutige Ergebnisse liefert. Wir haben im Rahmen des Projekts versucht, möglichst klare Handlungsanweisungen zu geben, wie die Ergebnisse, die Ökobilanz und die Entsorgungsmatrix herbeizuführen sind. Das Projektteam wird weiterhin mit der Methode arbeiten und im Rahmen dessen die Beschreibung für das Procedere laufend verbessern.

Anders als bei der Ökobilanz der Gebäudeerrichtung, die eindeutig definiert werden kann, gibt es beim Abbruch unterschiedlichste Vorgangsweisen – vom geordneten Rückbau bis zum „Abbruch mit der Birne“ – so dass die unterschiedlichen Fraktionen, die ins Recycling, zur Verbrennung oder in die Deponierung wandern, sehr unterschiedlich aussehen können. Wir haben versucht, in den Sensitivitätsanalysen am Beispiel des IBO-Modellhauses und im Rahmen der methodischen Grundlagen-Kapitel wichtige Stellschrauben im System zu identifizieren und denken, dass die nächsten Jahre, in denen mit und an der Methode gearbeitet wird, Treffsicherheit und Anwenderfreundlichkeit erhöhen werden.

Die entwickelte qualitative Methode ist derzeit geeignet, unterschiedliche Maßnahmen an ein und demselben Gebäude abzubilden und zu bewerten. Für einen Vergleich unterschiedlicher Gebäuden fehlt entweder noch eine Normierung (z.B. prozentuelle Angaben) oder eine Bezugsgröße. Dazu soll die weitere, kontinuierliche Beschäftigung mit dem Thema führen.

Die Reaktionen, die wir im Rahmen unserer Workshops und Vorträge erhalten haben, zeigen uns, dass das Thema „Entsorgung von Gebäuden“ – nicht zuletzt durch die Einführung moderner Bauweisen – aktuell wie nie zuvor ist und auf großes Interesse stößt. Wir sind daher überzeugt, dass das Projekt und die Weiterarbeit mit den Ergebnissen einen wichtigen Beitrag zum ökologischen Bauen leisten kann.

6. Ziele des Projekts

Das Bauwesen ist jener Wirtschaftsbereich, der die größten Lager bildet und der mit rund 40 Prozent des gesamten Materialaufwands mit dem größten Materialinput verbunden ist. Entsprechend hoch ist auch der Materialoutput aus dem Bauwesen: Im Jahr 2007 betrug das Aufkommen von Abfällen aus dem Bauwesen rund 7,8 Millionen Tonnen. Das entspricht ca. 23 % des Gesamtabfallaufkommen (ohne Aushubmaterial).

Ein Großteil der Abfälle aus dem Bauwesen ist mineralischen Ursprungs. Gerade diese Fraktion verfügt über ein sehr hohes Verwertungspotential, das besonders im Hochbau noch weitgehend ungenutzt ist. Andererseits fallen auch im Bauwesen Abfälle an, die nicht unproblematisch sind. So enthalten verschiedene Kunststoffe Schwermetalle oder Halogene, die aufwändige Maßnahmen in Abfallverbrennungsanlagen erfordern. Verbundmaterialien mit Metallen oder zwischen organischen und anorganischen Materialien sind selten recycelbar, sowohl auf der Deponie als auch in der Abfallverbrennungsanlage problematisch oder müssen vor der Beseitigung aufwendig in ihre Bestandteile zerlegt werden.

Ziel des vorliegenden Projekts ist die Entwicklung einer Methode zur systematischen Bewertung der Entsorgungseigenschaften von Gebäuden. Auf Basis der eingesetzten Baumaterialien und der Verbindungen zwischen den Baustoffschichten sollen Szenarien für die entstehende Fraktion und die daraus resultierenden Entsorgungswege und -prozesse gefunden werden. Unter dem Begriff „Entsorgung“ werden in der vorliegenden Studie alle Behandlungsmöglichkeiten für Abbruchmaterialien (Wiederverwendung, stoffliche Verwertung, thermische Verwertung, Beseitigung) verstanden. Ziel ist es, eine möglichst hochwertige Entsorgung der Baumaterialien zu erreichen. Was darunter zu verstehen ist, soll mittels quantitativer und qualitativer Indikatoren abgebildet werden, wobei die Abfallhierarchie: Vermeidung vor Verwertung vor Beseitigung zu berücksichtigen ist.

Die Bewertungsmethode soll bereits in der Planungsphase eingesetzt werden und Eingang finden:

- in den OI3 Indikator
- in ECOSOFT
- in das Gebäudebewertungsinstrument Total Quality Building (TQB)
- in den klima:aktiv Gebäudestandard für Dienstleistungsgebäude

Außerdem können die in ECOSOFT für TQB erstellten Basisinformationen über das Gebäude (Massenbilanz auf Basis von Entsorgungsszenarien) auch als Basis für den im Bundesabfallwirtschaftsplan geforderten Gebäudepass dienen.

Mit Hilfe der vorsorglichen Beschäftigung mit den Entsorgungseigenschaften des Gebäudes soll ein Bewusstsein für die Fragestellung geschaffen werden, das in weiterer Folge zu einer Optimierung der geplanten Gebäudes führt.

7. Aufbau des Endberichts

Der Aufbau des Endberichts wurde von der Programmlinie „Haus der Zukunft“ vorgegeben und im vorliegenden Bericht nur in der Reihenfolge verändert.

Aus unserer Sicht muss ein Bericht mit den Zielen beginnen, weshalb wir dieses Kapitel an den Anfang – noch vor das vorliegende Kapitel, das sich ebenfalls weiter vorne als vorgeschlagen befindet – gestellt haben. Der weitere Bericht beginnt mit einer Einführung in die Thematik, beschreibt die wesentlichen Vorarbeiten zum Thema und die Lösungsansätze des vorliegenden Projekts (Kapitel „8. Einleitung“).

Im Kapitel „9. Verwendete Methoden und Daten“ werden die methodischen Grundlagen für die Bewertung der Entsorgungseigenschaften kurz dargelegt. Eine ausführlichere Darstellung der Ökobilanz-Methode befindet sich im Anhang A3.

Die Entwicklung einer Methode zur Bewertung der Entsorgungseigenschaften von Gebäuden ist ein wesentlicher Bestandteil der vorliegenden Studie. Das ist der Grund dafür, dass neben dem Kapitel 9 („Verwendete Methoden und Daten“) auch das Kapitel „10. Ergebnisse des Projekts“ ein Kapitel zu „Methoden“ enthält. Davor wird auf das erforderliche Basiswissen, das für die Bewertung der Entsorgungseigenschaften erforderlich ist, verwiesen. Die umfangreichen Detailergebnisse der Grundlagenrecherche sind im Anhang A1 „Entsorgungsprozesse“ und Anhang A2 „Entsorgungswege“ zu finden. Die wesentlichen Ergebnisse aus der Anwendung der Bewertungsmethode auf das IBO-Einfamilienhaus sind in Kap. 10.3 zusammengefasst. Detaillierter Angaben zum IBO-Einfamilienhaus und den angenommenen Szenarien enthält Anhang A4 „IBO-Einfamilienhaus“.

Die Schlussfolgerung (Kapitel 11) enthält die allgemeinen Schlussfolgerungen sowie die Analyse der Ergebnisse in Bezug auf die ursprünglich gesetzten Ziele und Inhalte und endet mit den Schlussfolgerungen in Bezug auf die Programmlinie „Haus der Zukunft“.

Der Bericht schließt mit einem Ausblick, mit welchen Chancen und Schwierigkeiten bei der Umsetzung der Projektergebnisse in der Gebäudebewertung zu rechnen ist. In diesem Kapitel wird außerdem eine Empfehlung für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten gegeben.

Da der verpflichtende Aufbau des Endberichts für das vorliegende Grundlagenprojekt nicht geeignet ist, sind wesentlichen Ergebnisse des Projekts in den Anhängen zu finden:

A1 Entsorgungsprozesse

A2 Entsorgungswege von Baumaterialien

A3 Ökobilanz – Methodische Grundlagen

A3 IBO-Einfamilienhaus – Detaillierte Beschreibung der Konstruktionen und Szenarien

8. Einleitung

8.1 Abkürzungen und Begriffe

8.1.1 Abkürzungen

AP	Versauerungspotenzial
BRM	Mineralische Baurestmassen
dep	Deponierung
EPS	Expandiertes Polystyrol
GWP	Treibhauspotenzial
M-%	Masseprozent
mva	Müllverbrennungsanlage
NEH	Niedrigenergiehaus
NP	Überdüngungspotenzial
ODP	Ozonabbaupotenzial
OI3	Ökologischer Kennwert basierend auf GWP, AP und PEI
PC	Post-Consumer
PE	Polyethylen
PEI	Primärenergieinhalt
PH	Passivhaus
PO	Polyolefin
PP	Polypropylen
POCP	Potenzial zur Bildung photochemischer Substanzen
rec	Recycling
TQB	Total Quality Building
V-%	Volumsprozent
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
XPS	Extrudiertes Polystyrol

8.1.2 Begriffe

Allokationsmethode: Zuordnung von Umweltbelastungen zu einzelnen Prozessen; umfasst in dieser Studie im weiteren Sinn angewandt auch die Methode der Systemerweiterung und die Festlegung der strukturellen Systemgrenzen.

Beseitigung: Zur Beseitigung zählen die Behandlung, Lagerung und Ablagerung (Deponierung) von Abfällen in Abfallbeseitigungsanlagen

Deponierung: Langfristige Ablagerung von Abfällen auf Anlagen oberhalb oder unterhalb der Erdoberfläche (Deponien)

Ecosoft WBF: Programm zur ökologischen Bewertung von Baukonstruktionen und Gebäuden auf Basis des Ökoindikators OI3. ECOSOFT WBF basiert auf der MS Office-Anwendung EXCEL und wurde vom IBO entwickelt.

ECOSOFT WBF Baustoffliste: Öffentliche Version der IBO Referenzdatenliste, welche für die Wohnbauförderungen in Salzburg, Vorarlberg und Niederösterreich gültig ist. Wird periodisch durch aktuelle Daten ersetzt.

Entsorgung umfasst gem. Abfallwirtschaftsgesetz (AWG, Österreich) die Beseitigung und Verwertung von Abfällen, wobei die Abgrenzung zwischen diesen beiden Begriffen in einer „Gesamtabwägung“ unter Berücksichtigung nachhaltiger und ökologischer Kriterien zu beurteilen ist.

IBO-Referenzdaten für Baumaterialien: umfassen derzeit mehr als 500 Baumaterialien (Referenzwerte), welche laufend aktualisiert und erweitert werden. Die Baustoffe sind stufenkumuliert bis zum Zeitpunkt „Produkt ab Werk“ bilanziert. Die Bilanzierung erfolgt mit dem Programm SimaPro unter Verwendung von CML2 Baseline 2001.

Lebenszyklusanalyse: Untersuchung der ökologischen Eigenschaften eines Produktes über den Lebenszyklus. Im Allgemeinen synonym zu Ökobilanz verwendet (englisch: Life Cycle Assessment).

Ökobilanz: Untersuchung der ökologischen Eigenschaften eines Produktes über den Lebenszyklus mit quantitativen Indikatoren.

OI3-Indikator: Ökologischer Indikator für das Gebäude bzw. für die thermische Gebäudehülle TGH, die sich jeweils zu einem Drittel gewichtet aus den drei normierten Indikatoren „Primärenergiebedarf nicht erneuerbar“, „Treibhauspotential“ und „Versäuerungspotential“ zusammensetzt. Der OI3 findet Anwendung in österreichischen Wohnbauförderungsprogrammen und in den Gebäudezertifizierungssystemen TQB und klima:aktiv Haus.

Passivhaus-Bauteilkatalog: Sammlung passivhausgeeigneter Konstruktion, Anschlüsse und Details inklusive ökologischer Bewertungen und Detaildarstellungen, baupraktischer Beschreibungen und bauphysikalischer Kennwerte. Wichtige Vorarbeit für die vorliegende Studie, erschienen bei Springer (IBO 2008).

PC-Abfälle: im Bauwesen handelt es sich dabei um Abfälle, die bereits einen Lebenszyklus im Bauwerk durchlaufen haben und bei Instandsetzungs- oder Abbrucharbeiten anfallen.

Recycling: Stoffliche Verwertung.

Total Quality Building: Qualitätszertifikat, das Gebäude sowohl nach der Nutzerfreundlichkeit als auch nach ökologischen und wirtschaftlichen Kriterien bewertet. Dazu zählen etwa die Umweltverträglichkeit der Baumaterialien, energetische Kennzahlen wie Heizwärme- und Heizenergiebedarf, der Wohnkomfort und die infrastrukturelle Anbindung. Die eingereichten Unterlagen werden vorerst nach Abschluss der Einreichplanung geprüft, nach Fertigstellung werden zusätzlich Messungen vorgenommen.

Verbrennung: Die Verbrennung von Abfällen in Feuerungsanlagen für Private, Gewerbe und Industrie, in Müllverbrennungsanlagen oder Entsorgungsbetrieben wird je nach „Gesamtab-

wägung“ als Verwertung (Verwertung von brennbaren Abfällen zur Gewinnung von Energie) oder Beseitigung (z.B. Hausmüll ohne Energiegewinnung) eingestuft.

Verwertung: umfasst die thermische und die stoffliche Verwertung.

8.2 Allgemeine Einführung in die Thematik

8.2.1 Ausgangsituation und Motivation

Im Bezugsjahr 2007 des aktuellen Bundesabfallwirtschaftsplans (BAWP 2008) fielen in Österreich rund 58 Millionen Tonnen Abfälle an (inklusive der rund 24,6 Millionen Tonnen Aushubmaterialien). Das Gesamtabfallaufkommen ist damit in den letzten Jahren wieder gestiegen: Die Daten im Bundesabfallwirtschaftsplan (2008) zeigen gegenüber dem Bundesabfallwirtschaftsplan 2006 (Bezugsjahr 2004) eine Zunahme um rund 4,0 Millionen Tonnen. Dabei ist anzumerken, dass sich dieses Gesamtaufkommen nicht nur aus primär angefallenen Abfällen zusammensetzt, sondern auch Sekundärabfälle hinzugerechnet werden, die aus der Behandlung von Primärabfällen resultieren (z.B. Schlacken und Aschen aus der Verbrennung von Restmüll und Sperrmüll, Rückstände aus der mechanischen und biotechnischen Abfallaufbereitung, Tiermehl und Tierfett aus der Behandlung von tierischen Nebenprodukten sowie Shredderabfälle). Das gesamte Aufkommen an **Primärabfällen beläuft sich in Österreich auf knapp 56 Millionen Tonnen.**

Das **Abfallaufkommen aus dem Bauwesen (Bauabfälle, Baurestmassen) inklusive Aushubmaterial** betrug in Österreich im Jahr 2007 rund **32,4 Tonnen, das sind 58% des Österreichischen Primärabfalls.** Tabelle 1 zeigt die aktuellen Abfalldaten im Detail.

Abfallaufkommen in Österreich 2007	in Tonnen
Abfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen	3.728.000
Grünabfälle	905.000
Marktabfälle (ohne biogene und VP-Abfälle)	20.000
Küchen- und Kantinenabfälle	98.000
Straßenkehricht	200.000
Kommunale Klärschlämme (Trockensubstanz)	273.000
Fäkalschlämme (Trockensubstanz)	364.000
Altstoffe aus Gewerbe und Industrie	2.284.000
Aushubmaterialien	24.586.000
Abfälle aus dem Bauwesen	7.763.000
Altfahrzeuge	150.000
Elektroaltgeräte	65.000
Holzabfälle ohne Verpackungen	5.627.000
Medizinische Abfälle	71.000
Tierische Nebenprodukte (ohne Küchen- und Kantinenabfälle)	595.000
Aschen und Schlacken aus der thermischen Abfallbehandlung und von Feuerungsanlagen	1.479.000
Weitere Abfälle: z. B. Abfälle mineral. Ursprungs, gefährliche A., sonstige feste Siedlungsabfälle inkl. ähnlicher Gewerbeabfälle, Kunststoffabfälle, Gummiabfälle, Shredderrückstände u. a.	9.727.000
Summe	57.935.000

Tabelle 1: Bundesweites Abfallkommen 2007 (BAWP 2008)

Das Aufkommen von **Abfällen aus dem Bauwesen ohne Aushubmaterial** betrug in Österreich im Jahr 2007 rund 7,8 Millionen Tonnen (2004 waren es 6,6 Millionen Tonnen). Dies entspricht ca. 23 % des Gesamtabfallaufkommens ohne Aushubmaterial. Das Aufkommen ist abhängig von der Entwicklung des Tief- und Hochbaus in Österreich. Die Abfälle aus diesen Vorhaben sind somit jährlich variabel und nicht exakt prognostizierbar.



Abbildung 1: Gemischte Baustellenabfälle in Wien (v.a. sperrige Bestandteile) (PLADERER et al, 2004)

Nicht nur in Österreich, auch europaweit stellen Baurestmassen und Baustellenabfälle den größten Abfallanteil dar. Gleichzeitig ist das Bauwesen jener Wirtschaftsbereich, der die größten Lager bildet und der mit rund 40 Prozent mit dem größten Materialinput verbunden ist. Ein Großteil der Abfälle aus dem Bauwesen sind mineralischen Ursprungs und können gut verwertet oder unproblematisch deponiert werden. Dennoch gibt es auch im Bauwesen Abfälle, die nicht unproblematisch sind. Einige Beispiele:

- Die Zunahme an verklebten Verbindungen erschwert die Trennung von Baustoffen und vermindert damit die Recycling-Chancen. Bei Verklebung von organischen und mineralischen Baustoffen kann auch die Beseitigung ein Problem werden (weder für die Abfallverbrennungsanlage noch für die Deponie geeignet).
- Verbundmaterialien mit Metallen wie Aluminium-Dampfsperren sind auf der Deponie und in der Abfallverbrennungsanlage problematisch und sollten vor der Beseitigung in ihre Bestandteile zerlegt werden.
- Viele Kunststoffe, auch in Form von Beschichtungen, enthalten Schwermetalle oder Halogene, die erhöhte Maßnahmen in Abfallverbrennungsanlagen wie Salzabscheider etc. erfordern.
- Dämmstoffe aus nachwachsenden oder synthetischen Rohstoffen können Flammschutzmittel oder andere Zusatzstoffe enthalten, die in die Asche eingebunden oder in Form von Gasen abgegeben werden. Dämmstoffe aus Mineralwolle können in Müllverbrennungsanlagen Fasern freisetzen, die zum Kurzschluss der Filter führen.
- Der Gipsverbrauch im Bauwesen steigt zur Zeit stark an. Gips ist chemisch Calciumsulfat, das in verschiedenen Hydratstufen in Bindung mit oder auch ohne Kristallwasser

vorliegen kann. Da Sulfate im Zuschlag die Betonqualität negativ beeinflussen, kann eine Erhöhung des Gipsanteils mit einer Einschränkung der Recyclingmöglichkeiten von Baurestmassen verbunden sein. Auf Deponien erfordern Gipsprodukte aufgrund der Sulfatauswaschungen besondere Maßnahmen.

Trotz dieser bekannten Tatsachen sind die Entsorgungseigenschaften von Gebäuden in Gebäudebewertungen meist von untergeordneter Bedeutung. Die Ursachen sind unserer Meinung nach in mindestens drei Spezifika des Bauens begründet:

- Die Prozessketten im Bauen sind komplexer als in „einfachen“ Produktsystemen. Das Erzeugnis des industriellen Fertigungsprozesses ist das Bauprodukt, aber erst das Gebäude stellt die Funktionseinheit für die ökologische Betrachtung dar.
- Die Individualität von Gebäude hat zur Folge, dass kein detailliertes, allgemein anwendbares Recyclingkonzept für Gebäude wie z.B. für Autos erstellt werden kann.
- Gebäude sind sehr langlebige Güter. Eine Bewertung der Entsorgungseigenschaften in der Planung erfordert daher entweder eine Übertragung der Gegenwart in oder Szenarien für eine ferne Zukunft (50 – 100 Jahre).

Im vorliegenden Projekt sollen sowohl qualitative als auch quantitative Lösungen für die Bewertung der Entsorgung von Gebäuden unter Berücksichtigung dieser spezifischen Herausforderungen des Bauwesens gefunden werden.

8.2.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema

Passivhaus-Bauteilkatalog (IBO 2008)

Die erste Auflage des ökologischen Bauteilkataloges (Ökologischer Bauteilkatalog, IBO, Springer) erschien 1999. Das große Interesse an einer Sammlung ökologischer Bewertungen und Detaildarstellungen, baupraktischer Beschreibungen und bauphysikalischer Kennwerte machten das Buch schnell zu einem konkurrenzlosen Klassiker.

In der vollständigen Neuauflage (Passivhaus-Bauteilkatalog, IBO, Springer 2008) wurden ausschließlich passivhausgeeignete Konstruktionen zusammengestellt. Neben Regelquerschnitten finden sich deshalb Anschlussdetails, denn nicht zuletzt von wärmebrückenfreien und luftdichten Anschlüssen hängt es ab, ob ein Gebäude die Passivhauskriterien tatsächlich erreicht oder nur "hochwärmegeklärt" ist. Wärmebrückenberechnungen und fallweise Feuchtesimulationen sichern die vorgeschlagenen Lösungen ab.

Jedes Bauteil wird in zwei Materialvarianten gezeigt, welche die Möglichkeiten aber auch die Grenzen ökologisch motivierter Materialwahl verdeutlichen.

Im Passivhaus-Bauteilkatalog wurde zusätzlich zu den ökologischen Kennwerten für die Herstellung - eine qualitative Methode für die Bewertung des Entsorgungspotentials entwickelt, die sich aus einer Bewertung der Entsorgungseigenschaften des Bauteils und der enthaltenen Baustoffe zusammensetzt. Zur Beurteilung herangezogen werden die Entsorgungswege Recycling, Verbrennung und Ablagerung. Beurteilt wird der aktuelle Entsorgungsweg einer Bauteilkomponente, der zum jetzigen Zeitpunkt überwiegend (mind. 80 %) beschritten wird und das Verwertungspotenzial, das bei Verbesserung der Rahmenbe-

dingungen bis zum angenommenen Zeitpunkt der Entsorgung des Bauprodukts aus wirtschaftlicher und technischer Sicht möglich wäre, auf einer Skala von 1 bis 5, wobei 1 das beste Ergebnis darstellt.

Durch das Verwertungspotential der Baustoffe wird die zu beseitigende Abfallmenge reduziert. Bei einem Verwertungspotential von 1 beträgt die verbleibende Abfallmenge 25 %, 50 % bei 2, usw. Die Abfallmenge von 125 % bei einer Einstufung in 5 ist so zu interpretieren, dass zusätzliches Material benötigt wird, um den Abfall zu entsorgen. Für die Berechnung der Entsorgungskennzahl auf Bauteilebene wird die Abfallmenge mit der Einstufung für den aktuellen Entsorgungsweg gewichtet. Zusätzlich gibt es Bonuspunkte für niedrige Fraktions- und Schichtzahl.

Die Methode befindet sich noch im Fluss, hat sich auch seit der Erstpublikation (Abfall 2003) bereits deutlich weiterentwickelt. Sie soll durch die in der vorliegenden Studie entwickelte Methode ersetzt werden.

OI3-Indikator und IBO-Referenzdatenliste

Der **OI3-Indikator** ist eine ökologische Kennzahl für das Gebäude bzw. für die thermische Gebäudehülle TGH, die sich aus den 3 Ökobilanz-Indikatoren Bedarf an nicht erneuerbaren Energieträgern („Primärenergiebedarf“), Beitrag zur Klimaveränderung („Treibhauspotential“) und Beitrag zur Versauerung („Versäuerungspotential“) zusammensetzt. Der Indikator findet Anwendung in österreichischen Wohnbauförderungsprogrammen und in den Gebäudezertifizierungssystemen TQB und klima:aktiv. Die für die Berechnung eingesetzten Materialkennwerte stammen aus der IBO-Referenzdatenliste für Baumaterialien.

Die IBO-Referenzdatenliste umfasst derzeit mehr als 500 Baumaterialien, welche laufend aktualisiert und erweitert werden. Die Wirkindikatoren – Beitrag zum Treibhauspotenzial, zur Versauerung, zum Photosmog und zur Eutrophierung – sowie der nicht erneuerbare und der erneuerbare Primärenergieinhalt sind stufenkumuliert für die ersten Lebensabschnitte von der Rohstoffgewinnung bis zur Herstellung des fertigen Produkts bilanziert. Die Umweltbelastungen durch die Entsorgung der Baustoffe sind bisher nicht berücksichtigt.

Ursprüngliches Ziel des vorliegenden Projekts war, die Indikatorenwerte für die Herstellung und die Entsorgung zu einem gemeinsamen Indikatorenwert zusammenzuführen. Im Laufe des Projekts zeigte sich aber, dass die Ökobilanzergebnisse für die Entsorgung von Baumaterialien äußerst sensitiv auf die zugrunde gelegte Methoden und Annahmen reagieren. Ein Vermischen der beiden Lebensphasen (Herstellung und Entsorgung) wird daher derzeit noch nicht als sinnvoll erachtet. Das Ziel der vorliegenden Studie wurde daher insofern geändert, als nun eine Ökobilanz der Entsorgungsprozesse durchgeführt werden soll und diese Ergebnisse als Basis für einen zusätzlichen Indikator unabhängig vom OI3-Indikator dienen können.

ECOSOFT

ECOSOFT WBF ist ein Programm zur ökologischen Bewertung von Baukonstruktionen und Gebäuden auf Basis des Ökoindikators OI3. ECOSOFT WBF basiert auf der MS Office-

Anwendung EXCEL und wurde vom IBO entwickelt. Die ECOSOFT WBF Baustoffliste beruht auf der IBO Referenzdatenliste für Baumaterialien, wird jedoch nur in längeren Zeitschnitten aktualisiert (ca. 1,5 bis 2 Jahre).

ECOSOFT mit der jeweils aktuellen IBO-Referenzdatenliste wird außerdem als Tool für die Erstellung der notwendigen Ökobilanzen in TQB herangezogen. In der vorliegenden Studie soll eine ECOSOFT-Version („ECOSOFT V.3.4.2“), welche auch die Entsorgungseigenschaften von Gebäuden bilanzieren kann, entwickelt werden.

Total Quality (TQ) und Total Quality Building (TQB)

Total Quality (TQ) ist ein Qualitätszertifikat, das Gebäude sowohl nach der Nutzerfreundlichkeit als auch nach ökologischen und wirtschaftlichen Kriterien bewertet. Dazu zählen etwa die Umweltverträglichkeit der Baumaterialien, energetische Kennzahlen wie Heizwärme- und Heizenergiebedarf, der Wohnkomfort und infrastrukturelle Anbindung. Die eingereichten Unterlagen werden vorerst nach Abschluss der Einreichplanung geprüft, nach Fertigstellung werden zusätzlich Messungen vorgenommen.

Die Entwicklung von TQ wurde 1998 gestartet. TQ ist wie zahlreiche andere Gebäudebewertungssysteme (z.B. LEED, BREEAM, HQE) auf die internationale Initiative Green Building Challenge¹ zurückzuführen. Es wurde in Folge im Rahmen nationaler Projekte weiterentwickelt und auf österreichische Gegebenheiten zugeschnitten. TQ verfolgte von Beginn an einen sehr umfassenden Ansatz der Qualitätssicherung im modernen Hochbau, der beim Projektstart beginnt und die Planung und Errichtung des Gebäudes begleitet. KäuferInnen und MieterInnen erhalten eine Entscheidungshilfe bei der Objektauswahl, während die ImmobilienhändlerInnen und BauträgerInnen das TQ-Zertifikat als Marketinginstrument einsetzen können. TQ wird gegenwärtig für die Evaluierung von Pilotbauten der Programmlinie "Haus der Zukunft" ebenso herangezogen wie für die freiwillige Qualitätssicherung von Wohn- und Bürobauten in Österreich. Das Bewertungstool wird laufend aktualisiert. Derzeit steht die Abstimmung und Harmonisierung mit dem IBO-ÖKOPASS vor dem Abschluss (Neuer Name: **Total Quality Building** - TQB).

Der **Bewertungsraaster** TQB wird sich aus 5 Oberkriterien (Standort/Ausstattung, technische Planungs- /Objektqualität, Energie/Versorgung, Gesundheit / Komfort sowie Baustoffe / Konstruktionen) zusammensetzen, die mit je 20% gleich gewichtet in das Gesamtergebnis einfließen. Die Gesamtbewertung soll auf einem 1000 Punkte-Schema beruhen. Die Gewichtungen der Einzelkriterien werden transparent dargestellt, der Beitrag der erzielten Einzelergebnisse zum Gesamtergebnis und das Optimierungspotenzial ist dadurch gut abschätzbar.

¹ Projekt „GREEN BUILDING CHALLENGE – Integrierte Gebäudebeurteilung“

Mitarbeit an der Entwicklung und Erprobung einer international akkordierten Bewertungssoftware zur ganzheitlichen Beurteilung von Gebäuden, Anpassung des internationalen Bewertungsrahmens auf österreichische Rahmenbedingungen, Erarbeitung eines Fallbeispiels, 1998 (Projektleitung: Kanzlei Dr. Bruck in Zusammenarbeit mit dem Österreichischen Ökologie-Institut)

Total Quality – ECOBUILDING: Optimierung von Gebäuden durch Total Quality Assessment: Leitfaden Total Quality im Hochbau, Studie im Auftrag des bmvit, bmwa, bmlfuw, Wien, August 2002 (Projektleitung: Österreichisches Ökologie-Institut)

Entsprechend internationalen Trends im Bereich der Gebäudebewertung und in Anlehnung an die österreichische Energieausweisklassifizierung wird in einem letzten Aggregations-schritt das Gesamtergebnis in eine Einstufung in die Klassen A++, A+, A, B, C, D, E, F, G umgerechnet werden (9-teilige Skala).

Die **Entsorgungseigenschaften** von Gebäuden wurden in TQ über Maßnahmenkataloge beschrieben („Qualitative“ Bewertung: z.B. Trennbarkeit von Baukonstruktionen). Das vorliegende Projekt ist dafür vorgesehen, die Grundlagen für die Bewertung der Kriterien E.3.1 „OI3 – ökologischer Index der Konstruktion“ und E.4.1 „Entsorgungsindikator“ bereitzustellen. Von den Experten der Entsorgungswirtschaft wird außerdem die niedrige Bepunktung des Einsatzes von Recyclingmaterialien als hinterfragenswert angesehen.

klima:aktiv Gebäudestandard

Der **klima:aktiv Gebäudestandard** zeichnet Dienstleistungsgebäude aus, die besonders hohe Anforderungen wie hohes Planungs- und Ausführungsniveau, niedrigen Energieverbrauch, hohe Arbeitsplatzqualität und hohen Komfort, ausgezeichnete Raumluftqualität und Schonung der Umwelt und des Klimas erfüllen.

Wir erhoffen uns, dass die Ergebnisse des vorliegenden Projekts auch Eingang in den klima:aktiv Gebäudestandard finden.

Bundesabfallwirtschaftsplan

Die wichtigste Grundlage für Abfallaufkommen und Daten zu Verwertungs- und Beseitigungsanlagen in Österreich bildet die Bestandsaufnahme des Bundes-Abfallwirtschaftsplan (BAWP). Das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft hat „zur Verwirklichung der Ziele und Grundsätze des Abfallwirtschaftsgesetzes 2002 (AWG 2002) [...] mindestens alle fünf Jahre einen Bundes-Abfallwirtschaftsplan (BAWP) zu erstellen und über das Internet zu veröffentlichen. Der Bundes-Abfallwirtschaftsplan gilt einerseits als Weißbuch der österreichischen Abfallwirtschaft und andererseits werden die gemeinschaftsrechtlich erforderlichen Programme (z.B. Verpackungen, Batterien) umgesetzt und in den Behandlungsgrundsätzen jener Stand der Technik beschrieben, welcher erforderlich ist, um Beeinträchtigungen der öffentlichen Interessen (§ 1 Abs. 3 AWG 2002) zu vermeiden.“ (BAWP 2006).

Im Bundesabfallwirtschaftsplan (BAWP 2006) wurde ein Maßnahmenbündel zur Vermeidung und Verwertung von Baurestmassen geschnürt. Als begleitende Maßnahme soll ein Gebäudepass die notwendigen Informationen zur optimalen, abfallarmen Bewirtschaftung über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes zur Verfügung stellen. Das vorliegende Projekt bereitet die im erweiterten TQB enthaltenen Daten nach den Anforderungen des BAWP auf, sodass TQB die Anforderungen des BAWP an eine Gebäudedokumentation erfüllt.

8.3 Lösungsansätze im vorliegenden Projekt

8.3.1 Fokus/Schwerpunkte der Arbeit

Der Fokus des Projekts liegt auf der Erarbeitung einer Methode zur Bewertung der Entsorgungseigenschaften im Gebäude. Dafür wurde das Projekt thematisch in folgende Arbeitsschritte unterteilt:

1. Erarbeiten der Grundlagen für die Bewertung der Entsorgungseigenschaften von Gebäuden
2. Erarbeiten der Methode zur Bewertung der Entsorgungseigenschaften von Gebäuden
3. Anwenden der Methode, Sensitivitätsanalyse, Plausibilitätskontrolle und allfällige Anpassungen

ad 1) Für die Bewertung der Entsorgungseigenschaften von Baumaterialien am Lebensende von Gebäuden muss zunächst der Stand der Technik bekannt sein. Im ersten Schritt wurden daher die Entsorgungsprozesse analysiert und die derzeitigen Entsorgungswege (Recycling, Verbrennung, Deponierung) der gängigen Baustoffe recherchiert.

ad 2) Die Entsorgungseigenschaften der Gebäude sollen mittels quantitativer und qualitativer Methoden bewertet werden. Für die quantitative Bewertung wird die Ökobilanz-Methode nach (CML 2001) herangezogen. Bei der Erarbeitung der Methode stehen zwei Fragestellungen im Vordergrund:

- Wie gut bilden die bekannten Ökobilanz-Indikatoren die Entsorgungseigenschaften von Baumaterialien ab?
- Wie können die Umweltbelastungen bzw. -entlastungen aus der Entsorgungsphase zwischen Gebäude und Verwertungsprozess aufgeteilt werden (Allokation)?

Im Anschluss daran wurden Ökobilanzdaten zu Entsorgungsprozessen erhoben. Als wesentliche Quelle wurde ECOINVENT v 2.0 herangezogen. Die Prozesse wurden auf Vollständigkeit und ihre Anwendbarkeit für österreichische Verhältnisse analysiert. Als Ergebnis soll eine Excel-Tabelle mit Indikatorwerten vorliegen, welche die wesentlichen Entsorgungsprozesse für Baumaterialien abbildet. Die Tabelle wird zukünftig als eigenes Blatt in der ECOSOFT WBF Baustoffdatenbank angeführt und kann somit innerhalb von ECOSOFT WBF zur Bilanzierung der Entsorgung von Baumaterialien eingesetzt werden.

Für die qualitative Bewertung wurde ein Bewertungsraster erstellt, das die Entsorgungseigenschaften von Fraktionen bewertet. Ausgangspunkt ist die im Rahmen des Passivhaus-Bauteilkatalogs (IBO 2008) erstellte Matrix, welche die Entsorgungseigenschaften getrennt nach Recycling, Verbrennung und Ablagerung mittels Schulnotensystem bewertet.

ad 3) In einem rekursiven Prozess wird die Methode auf ein Mustergebäude, das IBO-Einfamilienhaus, angewandt. Dabei werden unterschiedliche Bauweisen und unterschiedliche Szenarien angesetzt. Plausibilitätskontrolle und Sensitivitätsanalyse führen zu Anpassung der Methode und Neuberechnung der Ergebnisse.

8.3.2 Einpassung in die Programmlinie und Innovationsgehalt des Projekts

Die Ergebnisse von „ABC-Disposal“ können einen Beitrag zum Gesamtziel nachhaltiger Technologieentwicklung im Rahmen von „Haus der Zukunft“ liefern. Im Zentrum steht die Reduktion des Ressourcenverbrauchs durch Abfallvermeidung und die möglichst hochwertige Verwertung der im Gebäude eingesetzten Materialien nach dem Abbruch.

Eine nachhaltige Technologieentwicklung im Baubereich darf den Aspekt der Entsorgung nicht außer Acht lassen. Nur wenn es gelingt, Gebäude nicht nur energieeffizient, ressourcenschonend und benutzerfreundlich, sondern auch „entsorgungsfreundlich“ zu planen, kann über „nachhaltige“ Gebäude gesprochen werden.

Das vorliegende Projekt legt dafür den fundamentalen Schritt: die Formulierung von Bewertungskriterien und ihre Integration im Gebäudezertifizierungssystem.

8.3.3 Projektteam

Das Projektteam besteht aus den Organisationen

- Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie GmbH (IBO) und
- Österreichisches Ökologie-Institut (OOI) sowie

Das IBO wurde vertreten durch:

- Mag. Hildegund Mötzl
- Markus Wurm

sowie

- DI Philipp Boogman
- DI Dr Bernhard Lipp
- DI Thomas Zelger

als Konsulenten.

Das OOI wurde vertreten durch:

- DI Christian Pladerer
- DI Markus Meissner
- Ulrich Aschenbrenner

sowie

- Robert Lechner

als Konsulent.

Folgende Experten aus der Abfallwirtschaft erklärten sich freundlicherweise bereit, als Konsulenten unterstützend zu wirken:

- DI Martin Car, BRV Österreichischer Baustoff-Recycling Verband, Karlsg. 5, 1040 Wien
- Ing. Günter Gretzmacher, Oekotechna, Waldmühlgasse 31, 2380 Perchtoldsdorf
- Ing. Thomas Cechovsky und Stefan Riepl, AVE-Zentrale, Wildpretstraße 25, 1110 Wien

Das Projektteam setzt sich somit aus der verschiedensten Fachrichtungen zusammen, wobei Forschung, Beratung und Bewertung im Bereich ökologischer Optimierung von Gebäuden und Nachhaltigkeitsforschung im Vordergrund stehen. Damit können die Kompetenzen der Projektpartner gebündelt und Synergien genutzt werden und für die relevanten Fragestellungen des vorgeschlagenen Projekts zukunftsfähige Lösungen erarbeitet werden.

Die Projektinhalte werden im Rahmen von Befragungen und einem Workshop Expertinnen und Experten zur Diskussion gestellt und auf Praxistauglichkeit geprüft.

Die Aufteilung der Arbeitspakete innerhalb des Projektteams wird im Folgenden dargestellt:

Arbeitspaket	Organisation
Grundlagenrecherche „Entsorgungswege“	IBO
Grundlagenrecherche „Entsorgungsprozesse	OOI
Grundlagenrecherche „Allokation“	IBO
Grundlagenrecherche „Indikatoren“	OOI
Ableitung der Bewertungsmethode	IBO
Bereitstellung von Bewertungstools (ECOSOFT)	IBO
Probeweises Anwendung der Bewertungsmethode	IBO
Bewertung der Demonstrationsvorhaben	OOI
Beratung aus der Entsorgungspraxis	BRV, Ökotechna, AVE
Projektleitung, Administration und Berichte	Hildegund Mötzl (IBO)

9. Verwendete Methode und Daten

9.1 Ökobilanz

9.1.1 Einführung

Die Ökobilanz ist eine Methode zur quantitativen Bewertung² der mit einem Produkt verbundenen Umweltaspekte und produktspezifischen potenziellen Umweltwirkungen (EN ISO 14040). Die 4 Stufen einer Ökobilanz sind: Zieldefinition, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Auswertung der Ergebnisse hinsichtlich der Zielstellung der Studie.

Häufig in Ökobilanzen für Baustoffe anzutreffende Bewertungsindikatoren sind:

Indikator	Wirkung	Einheit
Primärenergieinhalt	Verbrauch an energetischen Ressourcen	MJ
Treibhauspotenzial	Beitrag zur globalen Erwärmung	kg CO ₂ -Äquivalent
Versauerungspotenzial	Versauerung	kg SO ₂ -Äquivalent
Photooxidantien-Bildungspotenzial	Bildung von Photooxidantien	kg Ethylen-Äquivalent
Ozonabbaupotenzial	Ausdünnung der stratosphärischen Ozonschicht	kg CFC-11-Äquivalent
Eutrophierungspotenzial	Überdüngung	kg PO ₄ ³⁻ -Äquivalent

Tabelle 2: Häufig gebrauchte Indikatoren in Ökobilanzen von Baustoffen

Weitere Details zur Ökobilanz siehe Anhang A3 „Ökobilanzen“.

Die Ökobilanz soll den gesamten Lebensweg eines Produkts umfassen. Für Baumaterialien werden dennoch häufig stufenkumulierte Ökobilanzmodule bis zur Bereitstellung des auslieferfertigen Produktes beim Produzenten erstellt. Grund dafür ist, dass die Baumaterialien nur Vorprodukte für das Endprodukt Gebäude darstellen. Erst auf Gebäudeebene kann der Lebenszyklus daher sinnvoll geschlossen werden.

9.1.2 Bilanzmodell der Studie

Allgemeine Zieldefinition

Ziel: Erarbeiten einer Methode zur Bewertung der Entsorgungseigenschaften von Baumaterialien am Lebensende von Gebäuden

Anwendung auf Beispiele (IBO-Einfamilienhaus, Haus-der-Zukunft-Demoprojekte)

Fördergeber: BMVIT, Programm „Haus-der Zukunft“

² Eine quantitative Methode ist eine Vorgehensweise zur numerischen Darstellung ökologischer Sachverhalte.

Zielgruppe: AssessorInnen, BauträgerInnen, PlanerInnen, PolitikerInnen

Anwendungsabsicht: Die Methode soll im Rahmen des umfassenden Gebäudezertifizierungssystems Total Quality Building als Bewertungskriterium herangezogen werden.

Methode: Ökobilanz und qualitative Bewertung (siehe Kap. 10.2)

Funktionseinheit bzw. Deklarationseinheit

Aus praktischen Überlegungen werden die Indikatorwerte in der Referenzdatenliste pro kg Bauprodukt angegeben³. Die selben Überlegungen gelten für die Entsorgungsprozesse.

Systemgrenzen

Die vorliegende Studie betrifft die Ökobilanz für

- die Herstellung von Gebäuden
- die Entsorgung von Gebäuden

Die Herstellung von Gebäuden ist nicht unmittelbarer Betrachtungsgegenstand der Studie, die Ökobilanz-Indikatoren für die Herstellung dienen als Referenzsystem für die Ergebnisse der Ökobilanz bei der Entsorgung. Die Systemgrenzen und methodischen Annahmen zu den IBO-Referenzdaten sind in (IBO 2009) ausführlich beschrieben und können unter http://www.ibo.at/documents/LCA_Methode_Referenzdaten_kurz_091009.pdf abgerufen werden.

Die Nutzungsphase und alle Transporte ab Werk bis zum Ende des Lebensweges werden in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt.

Die Systemgrenze umfasst das gesamte Gebäude. Nebengebäude oder Freiraumgestaltung werden nicht berücksichtigt.

Die Systemgrenze umfasst die Gesamtheit aller beim Abbruch stattfindenden Prozesse sowie alle Transporte zum Zwischenlager, zur Aufbereitungs- oder zur Beseitigungsanlage.

Die erweiterte Bilanzgrenze enthält auch den Verwertungsprozess selbst (siehe „Allokationmethode“).

Die bilanzierten Prozesse entsprechen dem heutigen Stand der Technik. Es werden alle vorgelagerten Prozesse ohne Rücksicht auf geografische Grenzen zurückverfolgt.

³ Der Schlussentwurf der prEN 15804 schreibt für Umweltdeklarationen von Bauprodukten 1 Tonne als Bezugseinheit für Massen vor, eine andere Bezugseinheit muss begründet werden. Begründung für Kilogramm: Der Bezug auf 1 t führt auf Baustoffebene zu unübersichtlich kleinen Zahlen mit mehreren Kommastellen. Auf Gebäudeebene kann die Umrechnung auf Tonnen einfach erfolgen.

9.1.3 Allokationsmethode

Im Rahmen der vorliegenden Studie erfolgte eine umfangreiche Literaturrecherche zum Stand der Normung und der Wissenschaft bezüglich Allokationen (siehe auch Anhang 3 „Ökobilanz – Methodische Grundlagen“).

Aus der Literatur wurden vom Projektteam weiterverfolgbare Allokationsmethoden identifiziert und auf das vorhandene Datenmaterial angewandt. Die Ergebnisse wurden in einem Stakeholder-Workshop präsentiert und diskutiert.

Erst durch die intensive Beschäftigung mit dem Thema „Allokation“ kam das Projektteam zur Erkenntnis, dass es im Rahmen der vorliegenden Studie nicht möglich, nicht sinnvoll und nicht norm-konform ist, eigene Allokationsregeln für die Entsorgungsphase aufzustellen. Abschnitt 4.3.4.2 von ISO 14044: „Im betrachteten System muss für ähnliche Inputs und Outputs eine einheitliche Allokation angewendet werden. Wird zum Beispiel eine Allokation für nutzbare Produkte durchgeführt, die das System verlassen, muss dieses Allokationsverfahren dem Allokationsverfahren für die dem System zugeführten Produkte gleichen.“

Diese Anweisung hätte bedeutet, dass wir die für die Entsorgungsphase am besten geeignete Allokationsmethode auch auf die Sachbilanzen der Herstellung von Baumaterialien anwenden hätten müssen. Um die Aufwendungen nicht überborden zu lassen, mussten deshalb in der vorliegenden Studie die in der IBO-Methode zur Bilanzierung der Referenzdaten für die Herstellung festgelegten Allokationsregeln übernommen werden (IBO 2009):

- Cut-Off-Methode: berücksichtigt keine Vor- oder Nachleben, vergibt also keine Gut-schriften für stoffliche und thermische Verwertung, Systemgrenze endet bei der Übergabe an das nächste Produktsystem (z.B. Zwischenlager für Metalle, Aufbereitungsanlage für Stahlbeton und Armierungsstahl)
- Closed-Loop-Verfahren für Metalle, wobei zwischen Recyclinganteil und Recyclingquote gemittelt wird

Bei der Bilanzierung der Herstellung bringt die Cut-Off-Methode Vorteile für den Einsatz von Recyclingmaterialien, da sie „gratis“ ans nächste Produktsystem übergeben und nicht durch Belastungen aus dem vorherigen Produktsystem beladen werden. Diese Vorteile wandeln sich am Ende der Lebensphase ins Gegenteil: Die „Produktion“ von Recyclingmaterialien wird nicht belohnt. Recycling erspart nur die Aufwendungen für die Beseitigung der Materialien, welche aber – wie die Ergebnisse zeigen werden – im Gesamtlebenszyklus ohnehin kaum zum Tragen kommen.

Weiters fordert ISO 14044 Abs 4.3.4.1, dass eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden muss, wenn mehrere alternative Allokationsverfahren zulässig erscheinen, um die Folgen des Abweichens vom ausgewählten Ansatz darzustellen. Diese Sensitivitätsanalyse wurde in der vorliegenden Studie am Beispiel der Altholzverbrennung durchgeführt. Das Ergebnis der Sensitivitätsanalyse: Die Ergebnisse reagieren hoch sensibel auf die gewählte Allokationsmethode. Die ISO 14044 gibt nun aber keine Hilfestellung, wie in einem solchen Fall vorzugehen ist. Weder gibt es eine „objektiv-richtige“ Herangehensweise, welche der

Allokationsmethoden ausgewählt werden soll, noch gibt die ISO Anweisungen, wie in einem solchen Fall mit den Ergebnissen umgegangen werden soll. Im Workshop kristallisierte sich die strikte Co-Produkt-Allokationsmethode als die akzeptabelste Methode heraus. Der Frage der Allokation muss in einem übergeordneten Projekt noch einmal nachgegangen werden, zwischenzeitlich muss trotz deren Mängel (siehe Anhang 3 „Ökobilanz“) die Cut-Off-Methode herangezogen werden.

Im CEN TC 350 wird derzeit intensiv über Allokationsverfahren diskutiert. Die Ergebnisse der Diskussion sind abzuwarten. Wir erwarten (bzw. erhoffen) uns vom CEN TC 350 mangels anerkannten Stands der Technik keine Festschreibung von Allokationsregeln in Form einer Norm. Eine Normierung im Sinne einer Entscheidung für eine bestimmte Allokationsregel würde aus unserer Sicht die Weiterentwicklung der Methode der Ökobilanz behindern. Technische Regeln über die unterschiedlichen Allokationsmethoden bzw. Hilfestellungen für die Herangehensweise bei der Auswahl von Allokationsmethoden wären aber durchaus hilfreich.

Zusammenfassend bedeutet die Anwendung der Cut-Off-Methode für die vorliegende Studie, dass in Übereinstimmung mit der ecoinvent 2000 Methode kein Bonus oder Belastungsausgleich für recyceltes Material gegeben wird (Frischknecht et al 2007). Es werden auch keine partiellen Allokationen der Belastungen durch den Recyclingprozess zwischen Primärprodukt und Sekundärprodukt gemacht. Statt dessen werden die Systemgrenzen vor dem Recyclingprozess gesetzt. Im System sind aber die Aufbereitungsanlage und die Entsorgung von nicht-recycelbaren Materialien enthalten. Abfall mit hohem Recyclinganteil werden somit um Belastungen aus der Beseitigung entlastet.

9.2 Daten

Basisdaten

Die Sachbilanzdaten für die Entsorgung von Baumaterialien des Gebäudes werden mit den Background-Datensätzen (Basisdaten) verknüpft. Dies kann mit Hilfe von LCA-Software wie z.B. SimaPro 7 erfolgen.

Für Transportsysteme, Energiesysteme, Baumaterialien kommen folgende Basisdaten zur Anwendung:

Prozess	Basisdatensatz	Bezugsquelle
Baumaterialien	IBO-Referenzdaten	www.ibo.at
Transportsysteme	ecoinvent-Transportprozesse nach (SPIELMANN et al. 2007)	www.ecoinvent.org
Energiesysteme	ecoinvent v 2.0 (FRISCHKNECHT et al. 2007)	www.ecoinvent.org
Entsorgungsprozesse	ecoinvent v 2.0 (FRISCHKNECHT et al. 2007)	www.ecoinvent.org

Tabelle 3: Quellen für Basisdaten in der Ökobilanz

Gebäudedaten

Die wesentlichen Angaben zu den Flächen und den geplanten Baukonstruktionen können in der Regel den Einreichplänen entnommen werden.

Die Bestimmung der Konstruktionflächen erfolgt nach den Vorgaben für den OI3-Indikator (Bruttoflächen wie bei der Energieausweisberechnung) Für Innenwände und geschosdecken werden die Nettoflächen herangezogen.

Daten zur Entsorgung von Baumaterialien und Rückbauszenarien

Die Datenerhebung zur Entsorgung der Baumaterialien erfolgt über mehrere Wege:

- Literaturrecherche
- Befragung von Herstellern
- Befragung von Entsorgungsunternehmen und -verbänden

10. Ergebnisse des Projekts

10.1 Wissensbasis - Grundlagen für die Bewertung der Entsorgungseigenschaften

Der Entwicklung der Bewertungsmethode ging eine umfassende Grundlagenrecherche voraus. Der wesentliche Teil umfasste die Recherche über die Entsorgungseigenschaften und -praxis aller relevanten Baumaterialien. Im Weiteren wurden die Entsorgungsprozesse und deren Ökobilanz näher untersucht. Die Ergebnisse sind in den Anhängen

- A1 Entsorgungsprozesse – Grundlagenrecherche
 - A2 Entsorgungswege der Baustoffe
- zu finden.

10.2 Methoden zur Bewertung der Entsorgungseigenschaften

10.2.1 Überblick

Im Folgenden wird die Herangehensweise für die qualitative und quantitative Bewertung der Entsorgungseigenschaften von Baumaterialien am Lebensende von Gebäuden ausführlich beschrieben.

Am Anfang der Diskussion stand die Wahl der Messgröße. In der engeren Auswahl standen Masse oder Volumen. Gemeinsam mit den Experten aus der Entsorgungspraxis wurde schlussendlich die Masse als Messgröße festgelegt. Dabei wurden die Vorteile (die Bewegung von Massen hat Einfluss auf viele ökologische Wirkungen, die Funktionseinheit der Entsorgungsprozesse in ecoinvent v2.0 ist die Masse) und die Nachteile (leichte Materialien wie Dämmstoffe oder sperrige Materialien nehmen ebenfalls beträchtlichen „Raum“ ein, werden aber über die Masse nicht entsprechend erfasst) abgewogen.

Unter Berücksichtigung der gefundenen Messgröße erfolgt die Bewertung der Entsorgungseigenschaften von Gebäuden in mehreren Schritten:

1. Erstellen der Massenbilanz des Gebäudes, aufgeschlüsselt nach den eingesetzten Baumaterialien in Abhängigkeit ihrer Verbindung zu den angrenzenden Bauteilschichten (= ihrer Trennbarkeit)
2. Zuordnung von Entsorgungswegen zu den erhaltenen Fraktionen
3. Quantitative Bewertung (Ökobilanz)
4. Qualitative Bewertung („Entsorgungsmatrix“)

Die Bilanzierung der Baukonstruktionen und Gebäude erfolgt mit ECOSOFT V 3.4.2 (ECOSOFT 3.4.2).

10.2.2 Erstellen der Massenbilanz

In ECOSOFT 3.4.2 wurde ein neues Feature programmiert, das per Menü-Auswahl (ECOSOFT / „Statistik Baustoffe in Gebäude“) ein Tabellenblatt mit einer Liste aller im Gebäude eingesetzter Baumaterialien erzeugt. Als Eigenschaften werden

- die Konstruktion, in der das jeweilige Baumaterial eingebaut ist,
 - die Masse pro m²,
 - die Fläche des jeweiligen Bauteils im Gebäude
 - die Masse des jeweiligen Baumaterials im Gebäude (=Masse/m² x Fläche in m²)
- automatisch in die Liste eingetragen.⁴

Konstruktion Baustoff		Masse (kg/m ²)	Fläche (m ²)	Masse ges (kg)
AWm05_g	Silikatputz	3,50	200	700,00
AWm05_g	Putzgrund (Silikat)	0,25	200	50,00
AWm05_g	Glasfaserarmierung	0,16	200	32,00
AWm05_g	Klebespachtel	8,00	200	1.600,00
AWm05_g	Dübel kompl. 38cm	0,05	200	10,00
AWm05_g	Polystyrol expandiert (EPS) -F	5,22	200	1.044,00
AWm05_g	Polystyrol expandiert (EPS) -F	0,18	200	36,00
AWm05_g	Klebespachtel	4,50	200	900,00
AWm05_g	Hochlochziegel	200,00	200	40.000,00
AWm05_g	Mörtel	20,00	200	4.000,00
AWm05_g	Kalkzementputz	27,00	200	5.400,00
DAm07_g	Kies	108,00	79	8.532,00
DAm07_g	Vlies (PP)	0,14	79	11,06
DAm07_g	Polystyrol extrudiert CO2-geschäumt (XPS)	6,84	79	540,36
DAm07_g	Polymerbitumen-Dichtungsbahn	8,60	79	679,40
DAm07_g	Polystyrol expandiert (EPS)-W25	4,75	79	375,25
DAm07_g	Polystyrol expandiert (EPS)-W25	0,25	79	19,75
DAm07_g	Normalbeton	460,00	79	36.340,00
DAm07_g	Armierungsstahl	16,00	79	1.264,00
DAm07_g	Gipsspachtel	4,80	79	379,20

usw usf.

Tabelle 4: Auszug aus einer automatisch in ECOSOFT V 3.4.2 erstellten Liste über alle im Gebäude eingesetzten Baumaterialien

Zu Beginn der Studie stand die Idee, dass nun die Entsorgungswege der Baumaterialien auf Basis statistischer Angaben festgelegt werden sollten (z.B. „durchschnittlich 68 % Recycling-rate für Baurestmassen, Rest geht in Deponie“). Bei der Anwendung der Methode auf das Musterhaus (siehe 10. 3) zeigte sich aber sehr rasch, dass Entsorgungsszenarien in Ab-

⁴ Manuell nachzubearbeiten sind Baumaterialien, welche in der IBO-Referenzdatenbank eine andere Deklarationseinheit als „kg“ haben, z.B. Dübel (Deklarationseinheit Stück).

hängigkeit von der konkreten Anwendung des Baumaterials zu treffen sind, um individuelle Entsorgungseigenschaften herauszuarbeiten.

Im nächsten Schritt werden die Bauteile daher virtuell rückgebaut. Dabei wird von einem geordneten Rückbau ausgegangen, da bei einem „Abbruch mit der Birne“ alle noch so engagierten Bemühungen in der Planung zunichte gemacht und ihren Sinn verlieren würden. Sortenrein trennbare Bauteilschichten werden also voneinander getrennt, bei nicht sortenrein lösbar verbundene Schichten werden Annahmen über die am benachbarten Bauteil verbleibenden Grenzschichten getroffen. Nicht trennbare Bauteile werden gemeinsam entsorgt. Es empfiehlt sich, in diesem Schritt möglichst aussagekräftige Bezeichnungen zu wählen. Unsere Bezeichnungssystematik ist z.B. die folgende:

- Bei sortenrein trennbaren Bauteilschichten entspricht der Name einfach dem des Baumaterials (in der Regel der Name in ECOSOFT). Wenn für die technische Anwendung spezifische Unterscheidungen aus entsorgungstechnischer Sicht unerheblich sind, verallgemeinern wir den ECOSOFT-Namen, um gemeinsame Fraktionen zu erhalten (z.B. „Glaswolle MW-W“ und „Glaswolle MW-T“ werden beide mit „Glaswolle“ bezeichnet).
- Nicht sortenrein lösbar verbundene Schichten: Der Name richtet sich nach dem Hauptbaustoff (deutlich größere Masse). In der Klammer danach wird die verunreinigende Grenzschicht angegeben. Nach einem Schrägstrich wird die jeweilige Unterfraktion angeführt.
- Bauteilschichten mit etwa gleich großer Masse, die nicht getrennt werden können bzw. von denen angenommen werden kann, dass sie nicht getrennt werden, werden unter einem Namen zusammengefasst (z.B. „Polystyrol-WDVS“). Die jeweilige Unterfraktion wird wieder nach dem Schrägstrich angeführt.

Die Zerlegung in Unterfraktionen dient nur als Datum für die weiteren Bewertungsschritte. Es wird angenommen, dass die gesamte Fraktion gemeinsam entsorgt wird.

Beispiel: Ein vermörtelter Hochlochziegel mit Wärmedämmverbundsystem (verklebt) wird in folgende Fraktionen und Unterfraktionen zerlegt:

Baustoff	Masse (kg)	Fraktion	Masse (kg)
Silikatputz	700	Polystyrol-WDVS / anorg	2.392
Putzgrund (Silikat)	50	Polystyrol-WDVS / organ	1.044
Glasfaserarmierung	32		
Klebspachtel	1.600		
Dübel kompl. 38cm	10		
Polystyrol expandiert (EPS) -F	1.044		
Polystyrol expandiert (EPS) -F	360	Ziegel (EPS) / organ	36
Klebspachtel	900	Ziegel (EPS) / anorg	10.300
Hochlochziegel	40.000	Ziegel (EPS) / Ziegel	40.000
Mörtel	4.000		
Kalkzementputz	5.400		

Tabelle 5: Unterfraktionen aus einem vermörtelten Ziegel mit Wärmedämmverbundsystem (verklebt). Die Unterfraktionen von Polystyrol-WDVS und Ziegel werden jeweils gemeinsam entsorgt, die Aufteilung in Unterfraktionen dient nur als Grundlage für die weiteren Bewertungsschritte.

10.2.3 Zuordnung der Entsorgungswege

Den auf diese Weise gewonnenen Fraktionen werden im nächsten Schritt Entsorgungswege zugeordnet. Die Entsorgungswege leiten sich aus den in der Grundlagenrecherche „Entsorgungswege für Baustoffe“ gewonnenen Erkenntnissen ab. Gemäß derzeitigem Diskussionsstandpunkt des CEN TC 350 ist dabei von „zum Zeitpunkt der Bewertung verfügbaren Prozesse und Techniken“ auszugehen.

Beispiel:

Fraktion	Weg	Masse (kg)
Polystyrol-WDVS / anorg	mva	2.392
Polystyrol-WDVS / organ	mva	1.044
Ziegel (EPS) / organ	dep	36
Ziegel (EPS) / anorg	dep	10.300
Ziegel (EPS) / Ziegel	dep	40.000

Tabelle 6: Zuordnung von Entsorgungswegen („Weg“) zu den Fraktionen (dep = Deponierung, mva = Müllverbrennung)

Für die Annahmen zur Deponierung werden folgende Annahmen getroffen:

- Aufgrund der Annahme des geordneten Rückbaus fallen organische und metallische Verunreinigungen nur als geringfügige Verunreinigungen von Baurestmassen an.
- In der Beurteilung der Entsorgungsqualitäten richtet sich nach den potenziellen Eigenschaften, nicht nach dem tatsächlichen Entsorgungsweg. Beispielsweise verursacht eine Massenabfalldeponie höhere Hintergrundbelastungen in der Ökobilanz als eine Baurestmassendeponie. Ein Baustoff, der auf Baurestmassendeponie entsorgt werden kann, aber aus irgendeinem Grund „zufällig“ auf einer Massenabfalldeponie entsorgt wird, wird daher in einer Ökobilanz mit höheren Belastungen beladen. Da es in der vorliegenden Studie um die Beurteilung der Entsorgungseigenschaften bei der Auswahl von Baumaterialien in der Planung geht, sollen aber die baustoffspezifischen Charakteristika zum Tragen kommen, nicht die Eigenschaften unterschiedlicher Entsorgungsanlagen.

Für die weiteren Bewertungsschritte ist es notwendig (für die qualitative Bewertung) bzw. sinnvoll (für die Ökobilanz), die Fraktionen nach den Entsorgungswegen Deponierung, Abfallverbrennung und Recycling zu ordnen. Dies geschieht am einfachsten, indem man in Excel eine Pivot-Tabelle über die Massen sortiert nach Entsorgungsweg und Fraktionen anlegt. Einen beispielhaften Ausschnitt daraus zeigt Tabelle 7:

Summe - Masse		
Art	Baustoff	Ergebnis
Deponierung	Beton (armiert Gips) / EPS	20
	Beton (armiert Gips) / Gips	1.138
	Beton (armiert) / Bitumen	679
	Beton (Fliesen PE) / Beton	7.900
	Gipskartonplatte (Flammschutz)	425
	Glaswolle	191
	Stahl niedriglegiert	4
	usw usf	

Tabelle 7: Ausschnitt aus der Pivot-Tabelle über die Fraktionen. Masse in kg

Ab hier trennen sich die Wege für die qualitative und quantitative Bewertung.

10.2.4 Ökobilanz (quantitative Bewertung) der Entsorgung

Den Fraktionen werden Entsorgungsprozesse aus der Liste mit vorhandenen Wirk-Indikatoren zugeordnet (Tabelle „Entsorgungsprozesse“ der Baustoff-Tabelle in ECOSOFT V 3.4.2).

Summe - Masse			
Art	Baustoff	Masse (kg)	Entsorgungsprozess
Deponierung	Beton (armiert Gips) / EPS	20	Verunreinigungen auf Deponie, über Sortieranlaget
	Beton (armiert Gips) / Gips	1.138	Verunreinigungen auf Deponie, über Sortieranlaget t
	Beton (armiert) / Bitumen	679	Verunreinigungen auf Deponie, über Sortieranlaget
	Beton (Fliesen PE) / Beton	7.900	BRM auf Deponie
	Gipskartonplatte	425	Gips auf Deponie
	Glaswolle	191	Mineralwolle auf Deponie
	Stahl niedriglegiert	4	Verunreinigungen auf Deponie, direk
	usw usf		

Tabelle 8: Den Fraktionen der Pivot-Tabelle (siehe Tabelle 7) werden Entsorgungsprozesse aus ECOSOFT V3.4.2 zugeordnet.

Über die Entsorgungsprozesse kann nun neuerlich eine Pivot-Tabelle erzeugt werden. Diese Pivot-Tabelle – die Massenbilanz über die einzelnen Entsorgungsprozesse – kann auch als erstes Bewertungsergebnis angesehen werden.

Diese Massenbilanz dient gleichzeitig als Sachbilanz für die Berechnung der Ökobilanz-Indikatoren. Die Bilanzierung kann über die Eingabe als eigene „Bauteil“-Blätter in ECOSOFT V 3.4.2 erfolgen. Gute Transparenz erhält man, wenn man ein eigenes Tabellenblatt für jeden Entsorgungsweg („Deponierung“, „Verbrennung“, „Recycling“) anlegt.

Entsorgungsweg	Fraktion	Masse (kg)
Deponierung	Beton (bewehrt) auf Deponie	64.414
	Beton auf Deponie	18.960
	BRM auf Deponie	66.315
	Verunreinigungen auf Deponie, direkt	4
	Verunreinigungen auf Deponie, über Sortieranlage	2.279
	Fensterglas auf Deponie	421
	Gips auf Deponie	1.563
	Glaswolle auf Deponie	191
Deponierung Ergebnis		154.146
Recycling	Aluminium zu Recycling	248
	Armierungsstahl zu Recycling	6.473
	Beton (bewehrt) zu Recycling	145.360
	Beton zu Recycling	7.900
	Kies zu Recycling	29.862
	Stahlblech, verzinkt zu Recycling	30
	Ziegel zu Recycling	9.139
Recycling Ergebnis		199.012
Verbrennung	Beschichtetes Holz in MVA	1.307
	Bitumenbahn in MVA	679
	Papier in MVA	12
	Polyolefin in MVA	37
	Polystyrol in MVA	2.615
	PS/WDVS anorg in MVA	2.392
	PS/WDVS organ in MVA	1.044
Verbrennung Ergebnis		8.087
Gesamtergebnis		361.244

Tabelle 9: Massenbilanz über die Entsorgungsprozesse am Beispiel eines Einfamilienhauses. Diese Tabelle ist ein erstes Bewertungsergebnis und dient gleichzeitig als Sachbilanz für die Berechnung der Ökobilanz-Indikatoren.

10.2.5 Qualitative Bewertung

Die qualitative Bewertung setzt wie die Ökobilanz bei der Pivot-Tabelle als Ergebnis des Schritts 10.2.3 „Zordnung der Entsorgungswege“ an (siehe Tabelle 7). Für die qualitative Bewertung müssen aber noch die Materialverluste beim Recycling berücksichtigt werden⁵.

Auf Basis der Grundlagenrecherchen „Entsorgungswege der Baustoffe“ (Anhang 2) und der Diskussion mit den Experten der Entsorgungswirtschaft werden folgende Annahmen für die Verlustraten angesetzt:

⁵ In den Ökobilanz-Indikatoren für die Entsorgungsprozesse sind diese bereits enthalten.

Baustoff	Kriterium	Verlustrate	Entsorgung der Verluste
Kies		5 %	Deponierung
Holz		5 %	Verbrennung
Asphalt		2 %	Deponierung
Beton	Aufbereitung in Sortieranlage	5 %	Deponierung
Sonstige min. Baurestmassen, sortenrein	Aufbereitung in Sortieranlage	10 %	Deponierung
Mineralische Baurestmassen mit Verunreinigung	Aufbereitung in Sortieranlagen	25 %	Deponierung
Armierungsstahl	Aufbereitung in Sortieranlage	5%	Deponierung
Metallprofile und -elemente		5%	Deponierung
Beschichtete Metallprofile		15%	Deponierung
Türklinken, dünne Bleche		15%	Deponierung
Federschienen		50%	Deponierung
Alu-Dampfsperren		50%	Deponierung
Nägels, Schrauben		50%	Deponierung
Nägels, Schrauben	Menge im Bauteil < 0,5 kg/m ²	100%	Deponierung

Tabelle 10: Materialverluste bei der Sammlung und Aufbereitung von Baustoffen für das Recycling

Die daraus resultierenden Materialverluste werden mit Ausnahme der Verluste aus der Holz-Wiedergewinnung und der Polystyrol-Aufbereitung der Deponierung zugeordnet.

Im nächsten Schritt werden die einzelnen um die Verlustraten korrigierten Fraktionen qualitativ bewertet. Die Bewertung erfolgt getrennt nach den Entsorgungswegen Recycling, Verbrennung und Deponierung. In der jeweiligen Kategorie werden die Eigenschaften in 4 Klassen unterteilt. Die Beurteilungskriterien zeigt Tabelle 11. Die Grundlagen für die Einstufung wurden in der Detailrecherche „Entsorgungswege von Baustoffen“ erarbeitet.

		1 Ausgezeichnet	2 Sehr gut	3 Mit Schwachstellen	4 Problematisch
1	Recycling	Wiederverwendung, -verwertung zu technisch gleichwertigem Sekundärprodukt oder -rohstoff	Recyclingmaterial wird mit geringem Aufwand sortenrein gewonnen und kann hochwertig verwertet werden.	Recyclingmaterial ist verunreinigt, kann mit höherem Aufwand rückgebaut und nach Aufbereitung verwertet werden	Downcycling
2	Verbrennung	Hoher Heizwert (> 11 MJ/kg), sortenrein, natürliche Metall- und Halogengehalte im ppm-Bereich	Hoher Heizwert, geringe Metall- oder Halogengehalte (< 1 M%)	Hoher Stickstoffgehalt oder geringer Heizwert, geringe Metall- oder Halogengehalte (< 1 M%)	Hoher Metall- oder Halogengehalt
3	Deponierung	Zur Ablagerung auf Inertabfalldeponie geeignete Abfälle	Mineralische Baurestmassen mit geringen Verunreinigungen, ausgenommen der in Klasse 3 und 4 eingeordneten Materialien	Baurestmassenqualität Anh. 2 Tab. 2, insbesondere gipshaltige, faserförmige oder mineralisierte organische Materialien sowie Materialien mit geringen nicht-mineralischen Bestandteilen	Organisch-Mineralischer Verbund, Metalle als Verunreinigungen von Baurestmassen

Tabelle 11: Beurteilungskriterien für die qualitative Einstufung beim Rückbau eines Gebäudes anfallenden Fraktionen

Beispiele für die Einstufung diverser Fraktionen zeigt die folgende Tabelle:

	Art	1 Ausgezeichnet	2 Sehr gut	3 Mit Schwachstellen	4 Problematisch
1	Recycling	Sortenreiner Beton, Metall, Pflastersteine, Kies, KVH, Leimbinder, Asphalt	Beton, Ziegel, Dachziegel, Kalksandstein	mit organischer Bestandteilen verunreinigter Beton und Ziegel	PVC-Fenster, Verbundmaterialien, z.B. EPS-Beton
2	Verbrennung	Unbehandelte Produkte aus Holz (Latten, Verschalungen)	Beschichtetes Holz, Polyethylen, EPS, ...	EPS-WDVS, Bitumenbahnen, Schafwolle, Polyurethan	Produkte aus Weich-PVC (Bodenbeläge, Folien, ...), Metalle
3	Deponierung	Glas, Keramik, Fliesen	Nicht recycelbarer Beton, Ziegel und Porenbeton; Mineralschaumplatte, Schaumglas, Perlite, Blähton, Blähglas	Glaswolle, Gipskarton/faserplatten, Gipsputz, auf Beton anhaftender Kunststoff, min. geb. Holzspan/ Holzwolle, Bitumen, Faserzement	Metalle, EPS-Beton, EPS-Schalsteine, Schalsteine mit organischem Dämmmaterial

Tabelle 12: Beispiel für die Einstufung der beim Rückbau eines Gebäudes anfallenden Fraktionen

Die qualitative Bewertung kann wiederum als Pivot-Tabelle dargestellt werden (Beispiel in Tabelle 13).

Summe - Masse	Klasse				Gesamtergebnis
Art	1	2	3	4	
Deponierung	210	42.740	123.691	369	167.010
Recycling	111.305	10.053	64.733		186.092
Verbrennung		3.991	4.151		8.142
Gesamtergebnis	111.515	56.784	192.576	369	361.244

Tabelle 13: Beispiel für die Ergebnis-Tabelle über die qualitative Einstufung der aus dem Rückbau eines Gebäudes anfallenden Fraktionen. Masse in kg

Als Orientierung für die Interpretation der Tabelle gilt:

- Die Abfallmenge sollte möglichst gering sein.
- Der Deponierungsanteil sollte möglichst gering sein.
- Der Recyclinganteil sollte möglichst hoch sein.
- Die Klassenbewertung sollte möglichst gut sein.

10.3 Anwendung der Bewertungsmethode

10.3.1 Vorgangsweise

Am Beispiel des IBO-Einfamilienhauses sollen die Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung („Entsorgungswege für Baustoffe“, „Entsorgungsprozesse“, „Allokation“) angewandt und daraus eine Methode zur Bewertung der Entsorgungseigenschaften von Gebäuden abgeleitet werden. Das Gebäude wird einmal in Leichtbauweise und einmal in Massivbauweise ausgeführt. Konstruktive Ausgangsvarianten sind jeweils Konstruktionen aus dem IBO-Passivhaus-Bauteilkatalog. Die Konstruktionen werden variiert, um die Auswirkung unterschiedlicher Baumaterialien auf die Bewertungsmethode zu prüfen.

10.3.2 Beschreibung des Gebäudes

Für die Ableitung der Methode wird ein Modellhaus, das IBO-Einfamilienhaus, herangezogen (MÖTZL et al, 2007). Das Gebäude besteht aus zwei Geschossen und einem Kellergeschoß (innerhalb der thermischen Gebäudehülle) mit einer Bruttogeschossfläche von 79 m² pro Etage.

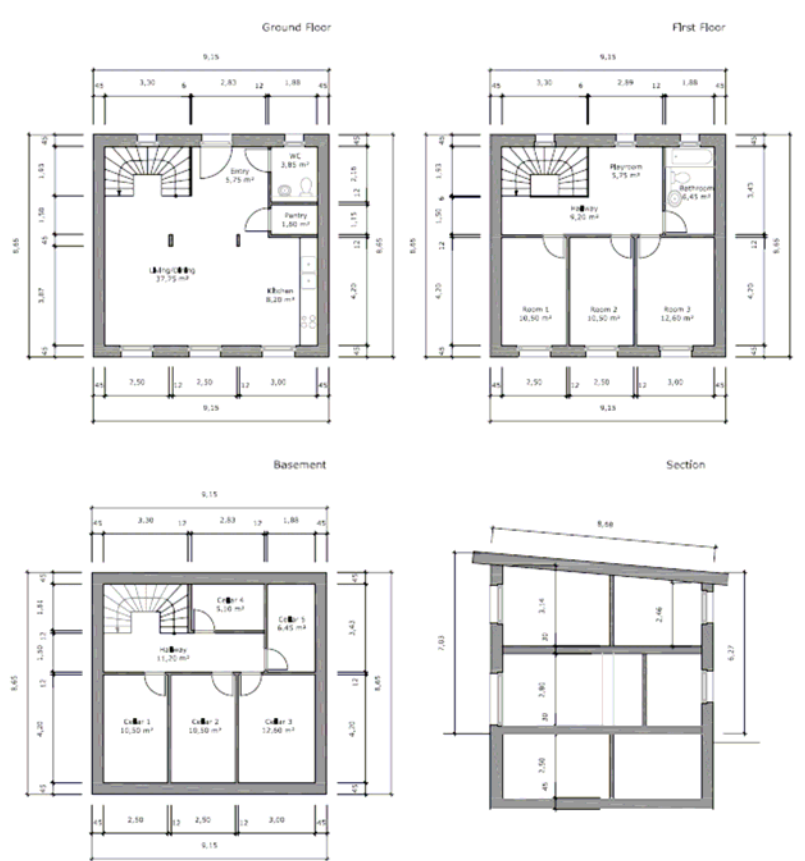


Abbildung 1: IBO-Modell-Einfamilienhaus - Grundrisse und Schnitt

Beschreibung	Wert
Geschoße	Kellergeschoß, Erdgeschoß, Dachgeschoß mit Pultdach
Anzahl Räume	4
Anzahl Bewohner	2.5
Abmessungen	Wert
Mittlere Raumhöhe (netto)	2.80 m
Bodenfläche	79,15 m ²
Dachfläche	79,42 m ²
Außenwände	200 m ²
Erdberührte Außenwände	106,8 m ²
Innenwände Typ 1	100 m ²
Innenwände Typ 2	20 m ²
Fenster	19,33 m ²
Formfaktor (Oberfläche/Volumen)	0.72 1/m

Tabelle 14: Kennwerte des IBO-Modell-Einfamilienhauses

Zur umfassenden Erprobung der Methode wird das Gebäude einmal in Holz- und einmal in Massivbauweise ausgeführt. Die detaillierten Aufbauten sind im Anhang A4 dargestellt. Die wesentlichen Charakteristika der Ausgangsvarianten in den beiden Bauweisen zeigt die folgende Tabelle:

Bauteil	Massivbauweise	Holzleichtbauweise
Fundament	Bodenplatte mit unterseitiger XPS-Dämmung	
Erdberührte Außenwände	Betonschalstein mit Kernbeton und XPS-Perimeterdämmung	
Außenwand	Ziegelwand mit Wärmedämmverbundsystem	Holzständerwand mit Holzverkleidung (außen) und Vorsatzschale (innen)
Flachdach	Stahlbeton mit Duodachaufbau	Sparrendach mit Umkehrdachaufbau
Geschossdecke	Stahlbetondecke mit Nassestrich	Tramdecke mit Nassestrich
Kellerdecke	Stahlbetondecke mit Nassestrich	
Innenwand Typ 1	Verputzte Ziegelwand	Metall-Einfachständerwand, doppelt beplankt
Innenwand Typ 2	Metall-Einfachständerwand, einfach beplankt	

Tabelle 15: Konstruktions-Ausgangsvariante für das IBO-Einfamilienhaus in Massiv- bzw. Holzleichtbauweise

10.3.3 Beschreibung der Szenarien

Die Szenarien zur Rückbau und Entsorgung sind bei den jeweiligen Konstruktionen detailliert im Anhang A4 unter „Annahmen zu Rückbau und Entsorgung“ dargelegt. Ausgangsbasis ist jeweils das Gebäude in Passivhaus-Bauweise („gängiger“ Aufbau von Konstruktionen aus dem Passivhaus-Bauteilkatalog (IBO 2008), allenfalls mit geringen Abänderungen zur Vereinfachung der Aussage, Kürzel „PH“) und die sich aus unserer Interpretation der Grundlagenrecherche ergebenden Entsorgungswege bei geordnetem Rückbau.

In der Massivbau-Ausgangsvariante wird von einem kontrollierten Rückbau verklebter Dämmungen (WDVS, Warmdach) vor Ort ausgegangen. Im Szenario 1 wird angenommen, dass die Dämmung erst in der Sortieranlage vom mineralischen Untergrund getrennt wird.

Die weiteren Szenarien gehen wieder von der Ausgangsbasis aus und stellen Varianten der Aufbauten dar. Die erste Variante sieht eine Reduktion der Wärmedämmung auf Niedrigenergiehausbauweise („NEH“) vor⁶. Bei den weiteren Varianten wird erforscht, ob und wie die Bewertungsmethoden diverse (ev. auch vermeintliche) ökologische Optimierungen abbilden („eco“).

Einen Überblick über die verschiedenen Szenarien zeigen Tabelle 16 und Tabelle 17.

⁶ Da es um eine prinzipielle Abklärung geht, wie sich Passivhaus- und Niedrigenergiehaus-Bauweise in ihren Entsorgungseigenschaften unterscheiden, haben wir es nicht als notwendig erachtet, die sich aus der Reduktion der Dämmdicke ergebenden Konstruktionen auf ihre bauphysikalische und bautechnische Eignung zu prüfen.

Massivbau	Basis PH	Basis NEH	Szenario 1	eco 1 / 2
Fundament	Basis	Basis	Basis	Basis
Erdberührte Außenwand	Basis	Basis	Basis	Basis
Außenwand	Basis Massiv	Basis Massiv	Szenario 1 Massiv	eco1/2 Massiv
Innenwand Typ 1	Basis Massiv	Basis Massiv	Basis Massiv	Basis Massiv
Innenwand Typ 2	Basis Typ 2	Basis Typ 2	Basis Typ 2	Basis Typ 2
Dach	Basis Massiv	Basis NEH Massiv	Szenario 1 Massiv	eco1 Massiv
Decken	Basis Massiv	Basis Massiv	Basis Massiv	eco1 Massiv

Tabelle 16: Überblick über die Szenarien und Aufbauvarianten für das IBO-Modell-Einfamilienhaus in Massivbauweise. Details siehe Anhang A4

„eco1“ und „eco2“ unterscheiden sich durch folgende Baumaterialien von der Ausgangsvariante (Basis PH):

- Außenwand: Wärmedämmverbundsystem mit Mineralschaumplatte (eco1), monolithische Wand aus hochporosiertem Hochlochziegel (eco2)
- Flachdach: EPDM-Dichtungsbahn wird lose verlegt, EPS- und XPS-Dämmung werden recyclet
- Geschoßdecken: Verklebtes Massivparkett wird durch schwimmend verlegten Mehrschichtparkett ersetzt.

Holzleichtbau	Basis PH	Basis NEH	eco 1
Fundament	Basis	Basis	Basis
Erdberührte Außenwand	Basis	Basis	Basis
Außenwand	Basis Leicht	Basis Leicht	eco1 Leicht
Innenwand Typ 1	Basis Leicht	Basis Leicht	eco1 Leicht
Innenwand Typ 2	Basis Typ 2	Basis Typ 2	eco1 Leicht
Dächer	Basis Leicht	Basis Leicht	eco1 Leicht
Geschoßdecke	Basis Leicht	Basis Leicht	eco1 Leicht
Kellerdecke	Basis Massiv	Basis Massiv	eco1 Massiv

Tabelle 17: Überblick über die Szenarien und Aufbauvarianten für das IBO-Modell-Einfamilienhaus in Holzleichtbauweise

„eco1“ unterscheidet sich durch folgende Baumaterialien von der Ausgangsvariante (Basis PH):

- Glaswolle-Dämmung wird durchgehend durch Holzfaser-Dämmung ersetzt
- Geschosdecken: Verklebtes Massivparkett wird durch schwimmend verlegten Mehrschichtparkett ersetzt.

10.3.4 Ergebnisse der Gebäudebewertung

Qualitative Bewertung

Die tabellarische Zusammenfassung und die grafische Darstellung der Ergebnisse aus der qualitativen Bewertung zeigen Tabelle 18 und Abbildung 2.

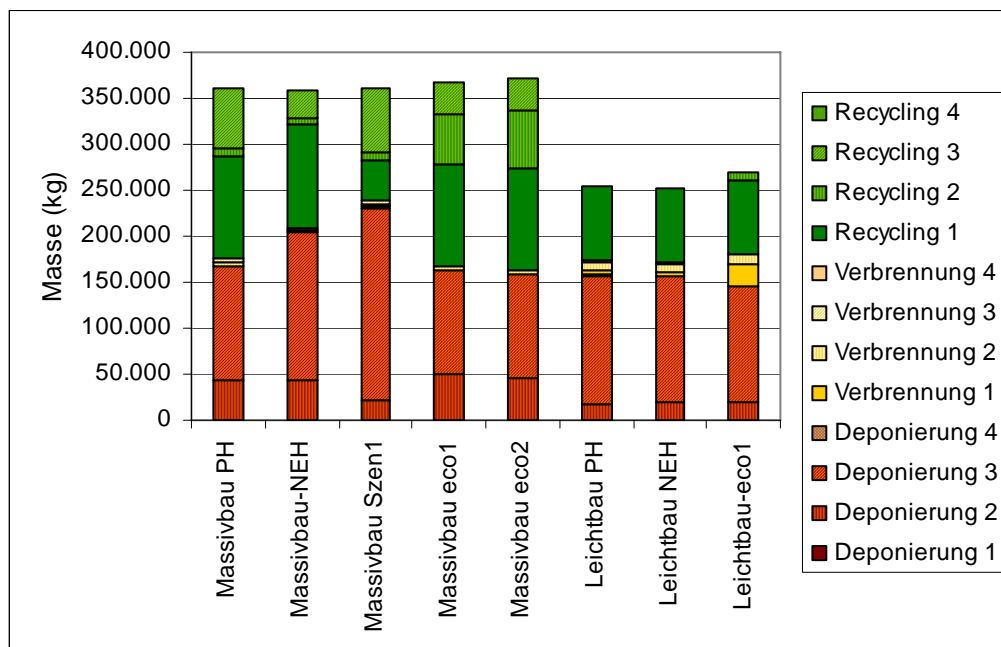


Abbildung 2: Grafische Darstellung der Ergebnisse aus der qualitativen Bewertung des IBO-Einfamilienhauses in unterschiedlichen Varianten.

	Massiv PH	Massiv NEH	Massiv Szen1	Massiv eco1	Massiv eco2	Leicht PH	Leicht NEH	Leicht eco1
Deponierung 1	210	137	210	210	210	210	137	210
Deponierung 2	42.740	42.751	20.623	48.794	44.542	17.506	19.718	20.153
Deponierung 3	123.691	160.710	210.498	113.935	113.935	139.429	136.715	125.357
Deponierung 4	369	369	369	369	369	1.064	532	532
Verbrennung 1	0	0	0	0	0	4.098	4.417	23.365
Verbrennung 2	3.991	2.889	3.932	3.224	3.205	10.183	9.087	9.805
Verbrennung 3	4.151	2.748	4.043	146	166	679	679	0
Verbrennung 4	0	0	0	0	0	16	16	0
Recycling 1	111.305	111.305	42.259	111.305	111.305	81.375	80.582	81.907
Recycling 2	10.053	8.225	10.053	53.918	62.918	67	67	8.323
Recycling 3	64.733	30.137	69.256	34.733	34.733	210	137	210
Recycling 4	0	0	0	0	0	0	0	0
Gesamtergebnis	361.244	359.271	361.244	366.635	371.383	254.838	252.087	269.862

Tabelle 18: Tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse aus der qualitativen Bewertung des IBO-Einfamilienhauses in unterschiedlichen Varianten.

Aus den Ergebnissen können folgende generelle Schlussfolgerungen für die Entsorgungseigenschaften des IBO-Einfamilienhauses gezogen werden:

- In Deponieklasse 1 fällt nur ein Teil des Fensterglases. Für alle anderen auf Inertabfalldeponie ablagerbaren Abfallfraktionen wird angenommen, dass diese recycelt werden.
- Aus der Massenbilanz und den Ergebnissen ist ersichtlich, dass auch im Holzleichtbau die massiven mineralischen Baumaterialien (Keller) massenmäßig den wesentlichen Bestandteil bilden.
- Die zu entsorgenden Mengen sind in Holzleichtbauweise geringer als in Massivbauweise.
- Die Mengen, die einer Deponierung zugeführt werden müssen, sind ebenfalls in Holzleichtbauweise geringer. In der Holzleichtbauweise fallen aber höhere Mengen an Materialien, welche in Deponierungsklasse 3 eingestuft werden, an (Gipsplatten und Mineralwolle).
- Die Recyclingmengen beim Holzbau sind geringer. Aus der Grafik ist aber ersichtlich, dass die Mengendifferenz der Differenz in den Abfallmengen entspricht.

Die Variation der Massivbauweise erbrachte folgende Veränderungen im Entsorgungverhalten des Gebäudes:

- Die Niedrigenergiehaus-Bauweise erhöht die Mengen, die deponiert werden müssen bzw. verringert die recycelbaren Materialien. Dieses Ergebnis ist auf die Annahme der unterschiedlichen Ausführung des Flachdachs (Duodach in der Passivhaus-, Umkehrdach in der Niedrigenergiehaus-Variante) zurückzuführen und nicht zwingend. Die unterschiedlichen Dämmdicken haben praktisch keine Auswirkung auf das Ergebnis, da die Masse als Messgröße eingesetzt wurde und die leichten Dämmungen daher praktisch keine Auswirkungen haben.
- Die Rückbauszenarien für verklebte Dämmungen (WDVS und Warmdach) beeinflussen die Ergebnisse wesentlich („Massiv Szen1“ versus „Massiv PH“). Werden die Dämmungen nicht rückgebaut, erhöht sich die deponierte Menge und die Deponieklasse verschlechtert sich.
- Die Varianten „eco1“ und „eco2“ profitieren erstens vom schwimmend verlegten Bodenbelag auf den Geschoßdecken, wodurch der Estrich recycelt werden kann⁷ und zweitens von der alternativen Ausführung der Außenwand, die eine höherwertige stoffliche Verwertung des Ziegels ermöglicht (Recyclingklasse 2). Die lose verlegte Dämmung zwischen den beiden Dämmschichten im Duodach, welche ein Recycling der Dämmmaterialien ermöglicht, wirkt sich aus dem schon mehrfach genannten Grund (fehlende Masse) nicht auf die Ergebnisse aus.

Die Variation der Holzleichtbauweise erbrachte folgende Ergebnisse:

- Passivhaus- und Niedrigenergiehaus-Bauweise unterscheiden sich kaum (geringe Masse der Dämmung).
- Der Ersatz der Glaswolle-Dämmung (Deponieklasse 3) durch Holzfaser-Dämmung (Verbrennungsklasse 1) verringert die Mengen an deponiertem Material, insgesamt steigt die Menge an zu entsorgenden Materialien, da die Holzfaser-Dämmplatten (160 kg/m^3) deutlich schwerer als die Glaswolle-Dämmung (16 bis max. 60 kg/m^3) sind.

⁷ Annahme: mit 50 % Wahrscheinlichkeit

Quantitative Bewertung (Ökobilanz)

Die folgenden Tabellen zeigen beispielhafte Detailergebnisse der Ökobilanzierung des IBO-Einfamilienhauses (jeweils die Ausgangsvariante der Massiv- und der Holzleichtbauweise). Die in Tabelle 19 und Tabelle 21 dargestellten Massenbilanzen der beim Rückbau anfallenden Fraktionen stellen gleichzeitig die Sachbilanz für die Eingabe in ECOSOFT zur Berechnung der Ökobilanz-Indikatorwerte dar.

Die ECOSOFT-Zusammenfassung für die Ökobilanz-Indikatoren aufgeschlüsselt in die einzelnen Bauteile und Entsorgungsprozesse zeigen die Tabelle 20 und Tabelle 22.

Entsorgungsweg	Fraktion	Masse (kg)
Deponierung	Beton (bewehrt) auf Deponie	36.340
	Beton auf Deponie	26.860
	BRM auf Deponie	82.829
	BRM auf Deponie / metall V.	4
	BRM auf Deponie / organ V.	2.223
	Fensterglas auf Deponie	210
	Gips auf Deponie	1.563
	Glaswolle auf Deponie	191
Deponierung Ergebnis		150.220
Recycling	Aluminium zu Recycling	248
	Armierungsstahl zu Recycling	6.473
	Beton (bewehrt) zu Recycling	109.020
	Beton zu Recycling	7.900
	Fensterglas zu Recycling	210
	Kies zu Recycling	29.862
	Stahlblech, verzinkt zu Recycling	30
	Ziegel zu Recycling	49.139
Recycling Ergebnis		202.882
Verbrennung	Beschichtetes Holz in MVA	1.059
	Bitumenbahn in MVA	679
	Holzrahmen in MVA	248
	Papier in MVA	12
	Polyolefin in MVA	37
	Polystyrol in MVA	3.715
	PS/WDVS anorgan in MVA	2.392
Verbrennung Ergebnis		8.142
Gesamtergebnis		361.244

Tabelle 19: Massenbilanz der Entsorgung des IBO-Einfamilienhauses in Massivbauweise für die Eingabe in ECOSOFT.

Pos.	Bauteil / Konstruktion	Länge / Fläche / Aushub	global warming (GWP100)	photochemical oxidation	acidification	eutrophication	PEI nicht erneuerbar	PEI erneuerbar
		m/m2/m3	kg CO2 eq.	kg C2H2	kg SO2 eq.	kg PO4-- eq	MJ	MJ
		766,00	80.051	158,64	298,2	44,9	1.194.461	85.058
1	AWm05_g	200,00	13.893	13,05	59,0	6,5	252.902	17.597
2	DAm07_g	79,42	8.923	10,77	41,7	5,2	183.736	3.687
3	GDm01_g	79,15	6.613	3,17	23,8	4,6	81.837	16.792
4	GDm01_g_2	79,15	6.613	3,17	23,8	4,6	81.837	16.792
5	EAb03_a1m_g	106,80	12.693	113,72	54,0	6,9	243.614	5.198
6	EFu05_g	79,15	10.893	8,80	46,4	6,3	194.571	7.145
7	IWm03_g	100,00	2.719	0,72	8,9	1,2	34.588	4.708
8	IWI01_g	20,00	212	0,14	1,1	0,2	4.505	513
9	HolzAlu110mm_Zweifachwärme	19,33	315	0,67	7,8	0,7	20.468	10.895
10	massiv_Deponierung	1,00	2.148	2,07	14	3	47.222	363
11	massiv_Verbrennung	1,00	12.532	0,21	1	2	1.558	35
12	massiv_Recycling	1,00	2.499	2,16	17	4	47.624	1.335

Tabelle 20: Übersicht über die Indikatorwerte für das IBO-Einfamilienhaus in Massivbauweise. Die Prozesse 1-9 umfassen die Herstellung der Bauteile, die Prozesse 10-12 die Entsorgung (AW = Außenwand, DA = Dach, GD = Geschoßdecken, EA = Erdberührte Außenwand, EF = Fundament, IW = Innenwand).

Art	Prozess	Masse (kg)
Deponierung	Beton (bewehrt) auf Deponie	36.340
	Beton auf Deponie	25.280
	BRM auf Deponie	72.527
	BRM auf Deponie / organ V.	2.223
	BRM auf Deponie, metall V.	203
	Fensterglas auf Deponie	210
	Gips auf Deponie	14.302
	Glaswolle auf Deponie	2.559
Deponierung Ergebnis		153.644
Recycling	Aluminium zu Recycling	248
	Armierungsstahl zu Recycling	3.945
	Beton (bewehrt) zu Recycling	36.340
	Beton zu Recycling	7.900
	Fensterglas zu Recycling	210
	Holz zu Recycling	7.789
	Kies zu Recycling	29.862
	Stahlblech, verzinkt zu Recycling	180
Stahlverbund zu Recycling	134	
Recycling Ergebnis		86.608
Verbrennung	Aluminium in MVA	16
	Beschichtetes Holz in MVA	1.307
	Bitumen in MVA	679
	Holz in MVA	4.098
	Holzwerkstoff in MVA	6.512
	Papier in MVA	12
	PO in MVA	58
PS in MVA	1.905	
Verbrennung Ergebnis		14.586
Gesamtergebnis		254.838

Tabelle 21: Massenbilanz der Entsorgung des IBO-Einfamilienhauses in Holzleichtbauweise für die Eingabe in ECOSOFT.

Pos.	Bauteil / Konstruktion	Fläche m ² /m ³	global				PEI nicht erneuerbar MJ	PEI erneuerbar MJ
			warming (GWP100) kg CO2 eq.	photochemi cal oxidation kg C2H2	acidification kg SO2 eq.	eutrophicati on kg PO4--- eq		
		766,00	49.787	147,61	282,43	48,78	1.008.975	457.463
1	AWI01_g	200,00	-10.966	7,62	55,67	9,52	143.730	239.647
3	DAI05_g	79,42	-960	5,53	29,62	3,58	133.487	75.553
3	GDI01_g_2	79,15	-1.595	3,43	31,90	6,06	83.362	96.454
4	GDm01_g	79,15	6.613	3,17	23,78	4,63	81.837	16.792
5	EAb03_a1m_g	106,80	12.693	113,72	53,97	6,87	243.614	5.198
6	EFu05_g	79,15	10.893	8,80	46,41	6,29	194.571	7.145
7	IWI04_g	100,00	1.574	0,92	7,54	1,19	33.545	4.429
8	IWI01_g	20,00	212	0,14	1,12	0,17	4.505	513
9	HolzAlu110mm_Zweifachwärme	19,33	315	0,67	7,78	0,69	20.468	10.895
10	Deponierung	1,00	2.186	2,11	13,92	2,94	48.132	370
11	Verbrennung	1,00	27.815	0,63	3,86	5,38	3.612	66
12	Recycling	1,00	1.008	0,87	6,87	1,46	18.112	402

Tabelle 22: Übersicht über die Indikatorwerte für das IBO-Einfamilienhaus in Holzleichtbauweise. Die Prozesse 1-9 umfassen die Herstellung der Bauteile, die Prozesse 10-12 die Entsorgung (AW = Außenwand, DA = Dach, GD = Geschoßdecken, EA = Erdberührte Außenwand, EF = Fundament, IW = Innenwand).

Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse im Indikator „Bildung photochemischer Oxidantien“ (POCP) für die Herstellung und Entsorgung des IBO-Einfamilienhauses in den unterschiedlichen Varianten. Die Belastungen werden klar durch die Herstellung dominiert.

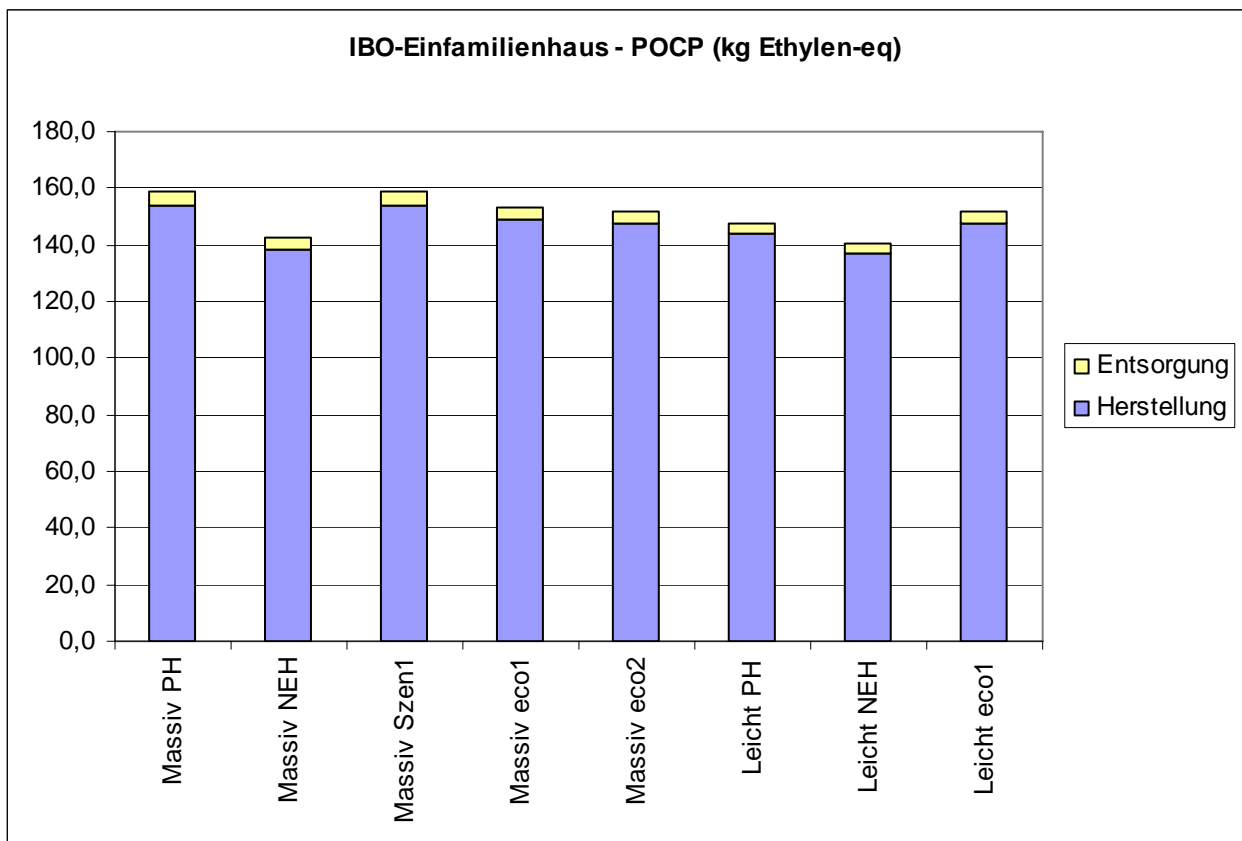


Abbildung 3: Photosmog-Werte (POCP) für die Herstellung und Entsorgung des IBO-Einfamilienhauses.

Die Ergebnisse für den Beitrag zur Versauerung (AP) sind in Abbildung 4 zusammengefasst. Die Ergebnisse sind ähnlich eindeutig wie für die POCP-Werte: Die Belastungen werden vorwiegend durch die Herstellung verursacht.

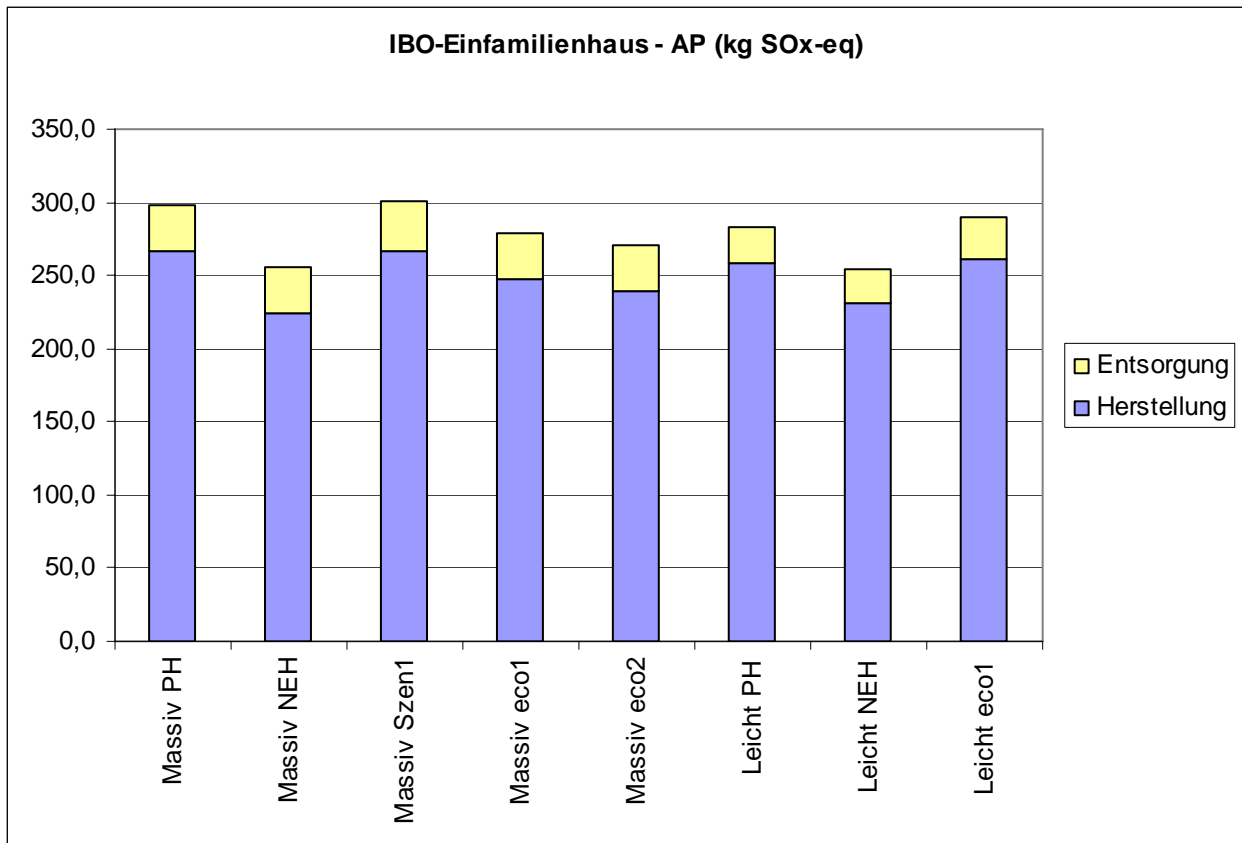


Abbildung 4: Versauerungswerte (AP) für die Herstellung und Entsorgung des IBO-Einfamilienhauses

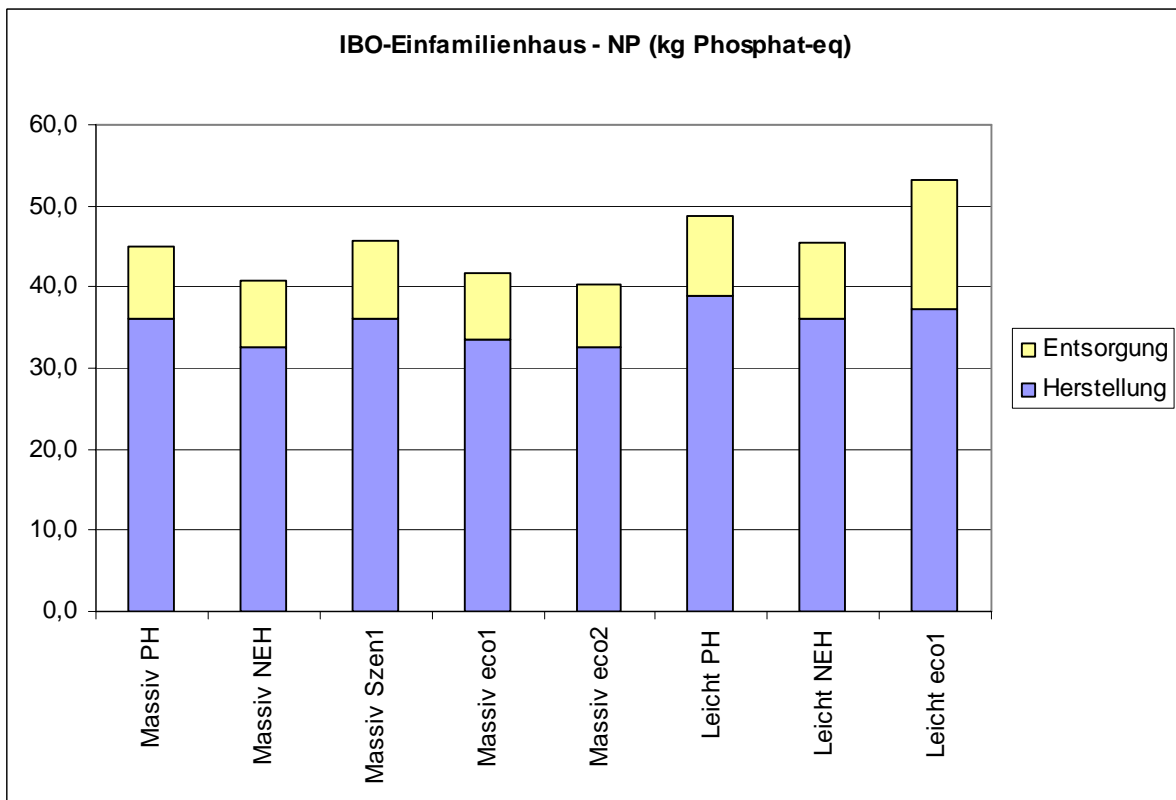


Abbildung 5: Überdüngungswerte (NP) für die Herstellung und Entsorgung des IBO-Einfamilienhauses.

Zur Eutrophierung (Abbildung 5) trägt unter den Entsorgungsprozessen vor allem die Verbrennung bei, weshalb die Belastungen bei der „Leicht eco1“-Variante (Holzfaser statt Glaswolle-Dämmung) doppelt so hoch wie bei den anderen Varianten liegen (Abbildung 5). Dass die Verbrennung einer äquivalenten Menge an Holz in Industriefeuerungen eine höhere Belastung verursachen würde (13,5 statt 11,9 kg PO₄³⁻-eq) und dass bei der (unproblematischen) Verbrennung von Holzfaserdämmplatten (keine Zusatzstoffe, daher wie Holz verbrennbar) auch verwertbare Energie gewonnen wird, kommt in Ökobilanzen nach der Cut-Off-Methode nicht zum Tragen.

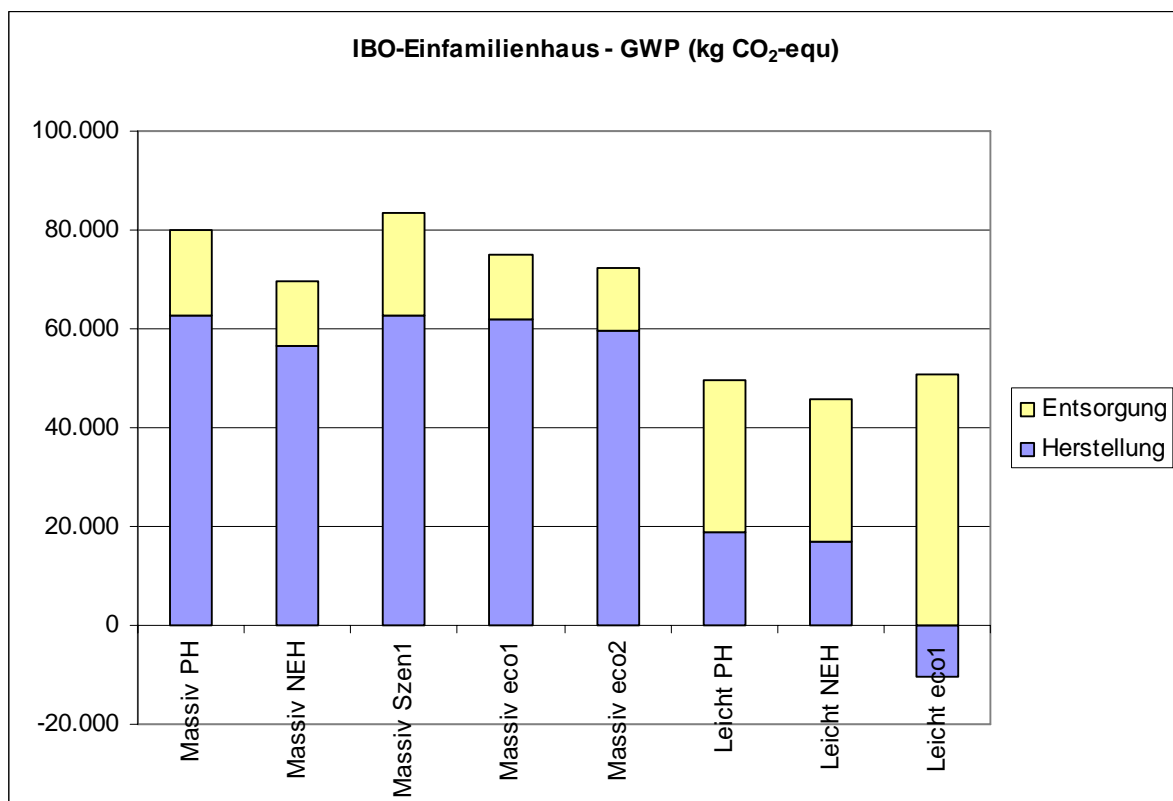


Abbildung 6: Beitrag zum Treibhauseffekt (GWP) für die Herstellung und Entsorgung des IBO-Einfamilienhauses.

Die Ergebnisse für den Beitrag zum Treibhauseffekt (GWP) sind in Abbildung 6 dargestellt. In diesem Fall dominiert die Entsorgungsphase in der Holzleichtbauweise und zeigt auch nicht vernachlässigbare Beiträge in der Massivbauweise. Die Ursachen dafür sind in folgende:

- Im Treibhauspotenzial für die Herstellung ist bei Baumaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen eine Gutschrift für die Aufnahme von CO₂ während des Wachstums der Rohstoffe enthalten. Bei der Verbrennung wird dieses biogene CO₂ freigesetzt. Die Cut-Off-Methode ordnet diese CO₂-Emissionen ausschließlich dem Gebäude zu (Diskussion siehe auch Anhang A3 „Ökobilanzen“, Kap. Allokationsmethode).
- Der Beitrag zum Treibhauspotenzial beim Gebäude in Massivhausbauweise ist zum Großteil durch die Verbrennung von Polystyrol verursacht. Laut ecoinvent verursacht die Verbrennung von 1 kg Polystyrol 3,3 kg CO₂-Emissionen.

- Wie schon bei der Überdüngung zeigt sich, dass die Erhöhung der zur Verbrennung gelangenden Abfallmengen zu einer Verschlechterung in der Wirkbilanz führt. Deshalb schneidet die „eco 1“-Variante am (vermeintlich) schlechtesten von allen Holzleichtbauweisen ab.

Die „Einseitigkeit“ der Wirkbilanz bezüglich Verbrennungsprozessen soll noch durch folgendes Beispiel unterstrichen werden: Verglichen werden die Belastungen in den betrachteten Wirkindikatoren für die Entsorgung einer Holzwolle-Leichtbauplatte und einer unbehandelten Fichtenholzverschalung, jeweils 2 cm dick und 1 m² Fläche. Die Holzwolle-Leichtbauplatte wird auf Baurestmassendeponie entsorgt, da das enthaltende Holz mineralisiert ist und daher keinen Wert für die thermische Verwertung mehr hat. Die unbehandelte Fichtenholzverschalung wird in einer Abfallverbrennungsanlage entsorgt. Da sie völlig unbelastet ist, könnte sie auch wie Brennholz in einer Industrieanlage thermisch verwertet werden, in diesem Fall würden die Ergebnisse aber noch negativer für die Holzverschalung ausfallen. Wie Tabelle 23 zeigt, schneidet die Entsorgung des unbehandelten Holzes in der Ökobilanz viel schlechter ab, einfach aufgrund der Tatsache, dass es verbrannt wird. Die Holzwolle-Leichtbauplatte wird zur CO₂-Senke über den gesamten Lebenszyklus und darüber hinaus, da das während des Wachstums aufgenommenen CO₂ nicht freigesetzt wird.

	GWP 100 (kg CO2 eq.)	POCP (kg C2H2)	AP (kg SO2 eq.)	NP (kg PO4⁻⁻⁻ eq)
Entsorgung Holzwolle-Leichtbauplatte (Dicke 2 cm) / m ²	0,12	0,00012	0,00075	0,00016
Entsorgung Holz, unbehandelt (Dicke 2 cm) / m ²	16,58	0,00043	0,00251	0,00328

Tabelle 23: Wirkbilanz-Ergebnisse für die Entsorgung von 1 m² Holzwolle-Leichtbauplatten und 1 m² unbehandeltes Holz (je 2 cm dick) im Vergleich.

Bei den Ergebnissen in den Wirkindikatoren kommt außerdem noch zu tragen, dass die Emissionen aus Baumaterialien, die sich nicht inert auf Deponien verhalten wie Gipse, Metalle, organische Baumaterialien und Verbundmaterialien mit löslichen Bestandteilen in den Entsorgungsprozessen nach ecoinvent 2.0, nicht enthalten sind.

Zum Abschluss noch ein Blick auf den Primärenergieinhalt der Herstellung und der Entsorgung des IBO-Einfamilienhauses (Abbildung 7 und Abbildung 8)

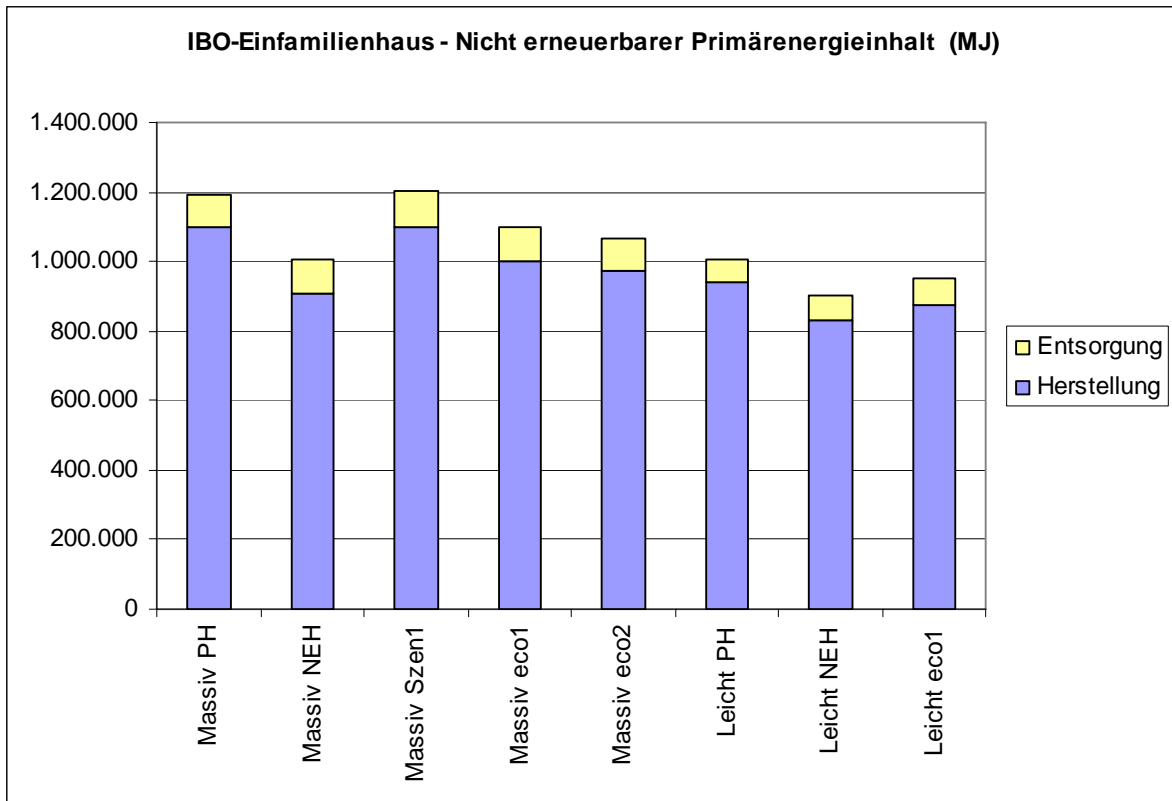


Abbildung 7: Nicht erneuerbarer Primärenergieinhalt (PEI ne) in MJ für die Herstellung und Entsorgung des IBO-Einfamilienhauses.

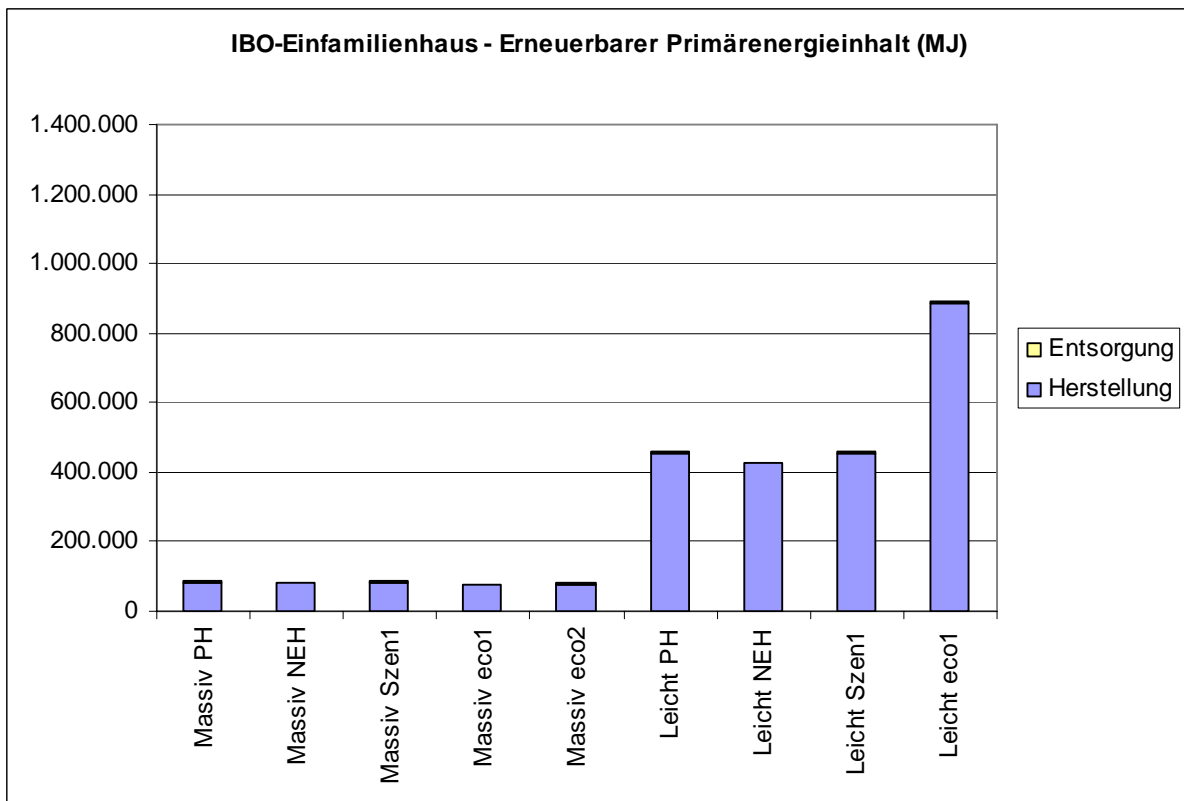


Abbildung 8: Erneuerbarer Primärenergieinhalt (PEI e) in MJ für die Herstellung und Entsorgung des IBO-Einfamilienhauses.

Der Bedarf an nicht erneuerbaren Energieträgern für die Entsorgungsprozesse ist sehr gering, der Bedarf an erneuerbaren verschwindend. Ein Blick auf die Detaillerggebnisse für die Entsorgungsprozesse zeigt, dass v.a. die Deponierung und das Recycling – resultierend aus dem Abbruch und dem Transport der großen Massen – einen Beitrag leisten.

Einen differenzierten Blick auf den Energieinhalt erlaubt Tabelle 24.

	Nicht erneuerbarer Primärenergieinhalt			Erneuerbarer Primärenergieinhalt		
	PEI gesamt ne	Prozess-energie ne	Feedstock ne	PEI gesamt e	Prozess-energie e	Feedstock e
Massiv_PH	1.194.461	1.030.804	163.657	85.058	62.633	22.425
Massiv_NEH	1.004.694	927.497	77.197	82.930	60.504	22.425
Massiv_Szen1	1.202.359	1.045.392	156.967	84.689	62.264	22.425
Massiv_eco1	1.097.812	1.025.381	72.431	78.131	57.063	21.069
Massiv_eco2	1.067.196	994.766	72.431	79.489	58.420	21.069
Leicht_PH	1.008.975	916.887	92.088	457.463	254.674	202.788
Leicht_NEH	902.309	838.493	63.816	426.099	223.311	202.788
Leicht_eco1	948.831	850.689	98.141	888.994	413.756	475.239

Tabelle 24: Auschlüsselung des Primärenergieinhalts für die Entsorgung und Herstellung des IBO-Einfamilienhauses in (verbrauchte) Prozessenergie und (verwertbare) gespeicherte Energie.

Der Primärenergieinhalt (in Tabelle 24 „PEI gesamt ne“) der IBO-Referenzdaten für die Herstellung der Baumaterialien enthält außer der Prozessenergie noch den Feedstock. Der Feedstock ist die in Rohstoffen gespeicherte Energie, die bei der Entsorgung zurückgewonnen werden kann. In der Cut-Off-Methode verbleibt diese Energie beim Baustoff, da die Verwertungsprozesse abgeschnitten werden. Wird ein Baumaterial energetisch verwertet, kann diese Energie bei anderer Betrachtungsweise (siehe Kapitel Allokationsmethoden) aber ganz oder teilweise auf das nächste Produktsystem übertragen werden. Aus Tabelle 24 ist ersichtlich, dass bei der Variante „Leicht eco1“ mehr als 50 % des gesamten Inhalts an erneuerbarer Primärenergie in Form von verwertbarer Energie vorliegen.

11. Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

11.1 Allgemeine Schlussfolgerungen

Auch wenn die Ökobilanzdaten eine andere Schlussfolgerung nahe legen könnten, sind wir nach wie vor davon überzeugt, dass die Entsorgung eine wichtige Rolle in der Lebenszyklusbetrachtung von Gebäuden spielt. Wir sehen die fehlende Sensitivität der Wirkindikatoren vor allem methodisch, nicht inhaltlich begründet.

Für die Anwendung der Ökobilanz auf Entsorgungsprozesse ziehen wir folgende Schlussfolgerungen:

- Während die Stickoxid-, Schwefeldioxid- VOC- und weiteren Schadgase in der Rauchgasreinigung effizient ausgefiltert werden (und damit die Wirkbilanz-Indikatoren kaum belasten), passieren die Kohlendioxidemissionen ungefiltert die Müllverbrennungsanlage. Somit reagiert von allen betrachteten Wirkindikatoren bei der Cut-Off-Methode lediglich das Treibhauspotenzial sensitiv auf die Müllverbrennung.
- Die weiteren betrachteten Ökobilanz-Indikatoren reagieren nicht sensitiv auf die Entsorgungsprozesse. Die Deponierung zeigt sich lediglich durch die damit verbundenen Abbruch- und Transportprozesse. Die Müllverbrennung spiegelt sich im Überdüngungspotenzial wider, verursacht aber deutlich geringere Belastungen als die Herstellung der Gebäude. Recyclingprozesse werden durch die Cut-Off-Methode abgeschnitten.
- Der Primärenergieinhalt der IBO-Referenzdaten für die Herstellung der Baumaterialien enthält außer der Prozessenergie noch den Feedstock. Da dieser Feedstock bei der thermischen Verwertung noch genutzt werden kann, sollte der Primärenergieinhalt in „Prozessenergie = in Herstellungsprozessen verbrauchte Energie“ und „Feedstock = in Rohstoffen gebundene Energie“ aufgeschlüsselt werden. In diese Richtung zielen auch die derzeitigen Indikatorenlisten des CEN TC 350.
- Die Sensitivitätsanalyse für die Allokationsmethoden wurde aus vorgenannten Gründen am Indikator „Treibhauspotenzial“ durchgeführt. Es zeigte sich, dass die Indikatoren hochgradig sensitiv auf die gewählte Allokationsmethode reagieren.
- Die Datenqualität der vorliegenden Sachbilanzdaten für Entsorgungsprozesse kann noch nicht als ausreichend angesehen werden, um Ökobilanzen für Gebäude mit ausreichender Genauigkeit zu berechnen. Es fehlen Daten für die Emissionen aus Gips, Metallen, organischen Bestandteilen bei der Ablagerung auf Deponien, die spezifischen Output-Daten der Müllverbrennungsanlagen für wichtige Baumaterialien sind nicht immer plausibel
- Insgesamt kann mit dem derzeitigen Daten- und Kenntnisstand festgestellt werden, dass es für die meisten Indikatoren vergleichsweise unerheblich ist, ob in der Ökobilanz die Entsorgungsprozesse mitberücksichtigt werden oder nicht. Dies gilt umso mehr, sollte nicht die Cut-Off-Methode, sondern eine Allokationsmethode angewandt werden, welche die Energiegewinnung bei der Abfallverbrennung zum Ansatz bringt. In diesem Fall

reduzieren sich auch die Beiträge aus der Verbrennung für die Gebäudebilanzierung. Nur die Substitutionsmethode würde einen deutlichen Einfluss zeigen, weil brennbare Materialien eine Gutschrift für die substituierte Energie erhalten.

Für die Anwendung der qualitativen Bewertungsmethode auf das IBO-Einfamilienhaus kann folgende Schlussfolgerung gezogen werden:

- Nicht nur weil in Entsorgungsprozessen mit Massen als Deklarationseinheit gerechnet wird, sondern auch weil die Masse eine wichtige physikalische Größe in Bezug auf das Umweltprofil eines Produktes ist, wurde auch für die qualitative Bewertung des Gebäudes die Masse als Messgröße herangezogen. Dies hat zur Folge, dass leichte Materialien, v.a. Dämmstoffe, sehr geringen Einfluss auf die Ergebnisse haben.
- Das entscheidende Optimierungspotential liegt darin, dafür zu sorgen, dass die mineralischen Baurestmassen möglichst sauber und sortenrein zurückgewonnen werden und damit recycelt werden können. Dieses Ergebnis gilt auch für die Holzbauweise, da auch dort große Mengen an mineralischen Baustoffen im erdberührten Bereich eingesetzt werden.
- Dieses Ergebnis ist zweifelsohne auch bei anderen Messgrößen und Systemgrenzen gültig, könnte aber durch weitere Erkenntnisse bereichert werden, wenn
 - zusätzlich das Volumen als Bezugsgröße herangezogen werden würde.
 - die Nutzungsdauern der Baustoffe und Instandsetzungszyklen berücksichtigt werden würden (Dämmstoffe haben z.B. eine kürzere Nutzungsdauer als die mineralische Tragschicht und fallen daher häufiger im Gebäudelebenszyklus an

11.2 Schlussfolgerung in Bezug auf ursprüngliche Ziele und Inhalte

Folgende Projektergebnisse wurden ursprünglich im Projektantrag als Ergebnisse genannt:

- 1 Erweiterung des OI3-Indikators um die Umweltbelastungen aus der Entsorgung von Baustoffen: Im vorliegenden Projekt werden für alle Baustoffe Entsorgungsszenarien definiert und nach den festgelegten Allokationsmethoden bilanziert. Der OI3 wird auf Basis der berechneten Gebäude neu skaliert und bildet ab sofort den gesamten Lebenszyklus von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung ab
- 2 Erweiterung des Gebäudezertifizierungsprogramm Total Quality Building (TQB) um eine Maßzahl für die Entsorgungseigenschaften des Gebäudes
- 3 Automatisierte Erstellung einer Gebäudedokumentation gem. Bundesabfallwirtschaftsplan aus Total Quality Building (TQB)
- 4 Bewertung der Haus-der-Zukunft-Demonstrationsprojekte auf ihre Entsorgungseigenschaften
- 5 Einbringen der Ergebnisse in CEN TC 350 „Sustainability of construction works“. Im Zwischenbericht wurde das Ziel folgendermaßen geändert: Das Projektteam ist in den Arbeitsgruppen und der österreichischen Spiegelgruppe des CEN TC 350 vertreten und möchte die neuesten Erkenntnisse aus der Normungsarbeit für das vorliegende Projekt nutzen.

Diese Ziele wurden folgendermaßen umgesetzt:

- 1 Für alle Baustoffe der IBO-Referenzdatenliste wurden Entsorgungsszenarien definiert. Es wurde eine Allokationsmethode festgelegt – unter der Macht des Faktischen nicht die aus unserer Sicht geeignetste, sondern die Cut-Off-Methode (siehe Kap. Allokation). Wir erachten es aber aus den in den „Allgemeinen Schlussfolgerungen“ angeführten Gründen mit derzeitigem Stand nicht als sinnvoll, die Belastungen aus der Herstellung und der Entsorgung in einer Kennzahl zu aggregieren.
- 2 Total Quality Building (TQB) kann auf Basis der Ergebnisse des vorliegenden Projekts um eine Maßzahl für die Entsorgungseigenschaften des Gebäudes erweitert werden. Dabei ist aus unserer Sicht folgendes zu beachten
 - Die Ökobilanz der Entsorgungsprozesse als Bewertungsparameter heranzuziehen, erscheint uns wie schon früher angeführt als verfrüht. Die Indikatorwerte aus der Entsorgung könnten aber bis zum Vorliegen des entgeltigen CEN TC 350 Standards als Informationsparameter ausgegeben werden, um der Anforderung an die Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklusses genüge zu tun.
 - Die in der vorliegenden Studie erarbeitete qualitative Bewertungsmethode ergibt derzeit ein sehr transparentes Bild über die anfallenden Abfallmengen und deren qualitativen Einstufung. Die Methode kann unterstützend bei der Optimierung der Entsorgungseigenschaften von Gebäuden eingesetzt werden. Ausständig ist noch die Überführung in eine Bewertungsmethode, die in TQB eingesetzt werden kann. Das Projektteam plant, dazu im Februar einen Termin mit den Akteuren der Österreichischen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (ÖGNB), dem TQB-Träger, abzuhalten.
- 3 Als Ergebnis des Projekts liegt ein ECOSOFT-Tool⁸ vor, das eine automatisierte Dokumentation der im Gebäude eingesetzten Baumaterialien mit der Masse als Messgröße erstellt. Dies entspricht aus unserer Sicht der im Bundesabfallwirtschaftsplan geforderten Gebäudedokumentation hinsichtlich der eingesetzten Baumaterialien.
- 4 Haus-der-Zukunft-Demonstrationsprojekte wurden nach der entwickelten Methode auf ihre Entsorgungseigenschaften bewertet.
- 5 Wie schon früher erwähnt, wurde erst jetzt – gegen Ende der Normungsarbeit – die Fragestellung der richtigen Allokationsmethode virulent. Es können daher im vorliegenden Projekt keine Ergebnisse aus dem CEN TC 350 genutzt werden. Die Autorin des vorliegenden Endberichts ist Mitglied der Working Groups WG 1 und WG 3 und wird die Erkenntnisse aus dem vorliegenden Projekt eine Stellungnahme in den derzeit laufenden Diskussionen einbringen.

⁸ Ökobilanzierungs-Tool für TQB

11.3 Schlussfolgerung in Bezug auf die Programmlinie Haus der Zukunft

11.3.1 Einpassung in die Programmlinie

Im vorliegenden Projekt wurden eine Reihe von Ergebnissen aus dem Haus-der-Zukunft-Programm verwertet, u.a.:

- Die Ergebnisse aus dem „**Passivhaus-Bauteilkatalog**“ (IBO 2008) wurden überarbeitet und für die Anwendung auf Gebäudeebene geeignet gemacht.
- Das Gebäudezertifizierungssystem **Total Quality Building (TQB)** wird um eine Maßzahl für die Entsorgbarkeit des Gebäudes ergänzt.
- Die **Haus-der-Zukunft-Demonstrationsprojekte (Neubauten)** wurden nach der erarbeiteten Methode bewertet.

Bisher wurde in der Programmlinie „Haus der Zukunft“ der Schwerpunkt auf Energieeffizienz und die Herkunft der Rohstoffe gelegt. So wird z.B. das „Haus der Zukunft“ auf der homepage (<http://www.hausderzukunft.at/about/index.htm>, abgerufen am 26.12.2009, 18:52) folgendermaßen definiert:

„Unter "Haus der Zukunft" sind Neubauten und sanierte Altbauten zu verstehen, die im Vergleich zur derzeitigen Bau- und Sanierungspraxis in Österreich folgende Kriterien erfüllen:

- erhöhte Energieeffizienz hinsichtlich des gesamten Lebenszyklus
- verstärkter Einsatz erneuerbarer Energieträger, insb. Solarenergie
- erhöhte Nutzung nachwachsender Rohstoffe und effizienter Materialeinsatz
- vermehrte Berücksichtigung von Service- und Nutzungsaspekten für die BenutzerInnen von Wohn- und Bürogebäuden
- vergleichbare Kosten gemessen an herkömmlichen Bauweisen.“

Wir hoffen, dass wir mit dem vorliegenden Projekt zeigen konnten, dass auch die Entsorgung von Gebäuden einen wesentlichen Einfluss auf die Gesamt-Performance eines Gebäudes hat, und einen Impuls für die stärkere Berücksichtigung von Entsorgungsfragen im Rahmen von "Haus der Zukunft" Demoprojekten gegeben haben.

11.3.2 Detailangaben in Bezug auf die Ziele der Programmlinie

Die Ergebnisse können einen Beitrag zum Gesamtziel nachhaltiger Technologieentwicklung im Rahmen von „Haus der Zukunft“ liefern. Im Zentrum steht die Reduktion des Ressourcenverbrauchs durch die möglichst hochwertige Verwertung der im Gebäude eingesetzten Materialien nach dem Abbruch.

Eine nachhaltige Technologieentwicklung im Baubereich darf den Aspekt der Entsorgung nicht außer Acht lassen. Nur wenn es gelingt, Gebäude nicht nur energieeffizient, ressourcenschonend und benutzerfreundlich, sondern auch „entsorgungsfreundlich“ zu planen, kann über „nachhaltige“ Gebäude gesprochen werden.

Das vorliegende Projekt legt dafür den fundamentalen Schritt: die Formulierung von Bewertungskriterien und ihre Integration in Gebäudezertifizierungssysteme. Mit der vorliegenden Methode soll die potenzielle Entsorgung von Gebäuden bereits in der Planungsphase Berücksichtigung finden. Die erarbeiteten Methoden sollen standardmäßig im Gebäudezertifizierungsprogramm TQB angewandt werden und damit in weiterer Folge zu einer Verbesserung der Entsorgungseigenschaften von Gebäuden beitragen.

Der Beitrag zu den sieben Leitprinzipien der Programmlinie wird im Folgenden kurz dargestellt:

- Das Prinzip der Dienstleistungs-, Service- und Nutzenorientierung (1. Leitprinzip) ist hier nicht zutreffend, da es im Projekt nicht um Produkt- oder Objektentwicklung ging.
- Das Prinzip der Nutzung erneuerbarer Ressourcen (2. Leitprinzip) – interpretiert als auch auf in technischen Zyklen erneuerbare Ressourcen – ist ein zentrales Prinzip des vorliegenden Projekts. Gebäude sollen hinsichtlich ihrer Recyclingfähigkeit bewertet und optimiert werden, um den Einsatz nicht-erneuerbarer Ressourcen durch im technischen Kreislauf erneuerte Ressourcen zu ersetzen.
- Das Effizienzprinzip (3. Prinzip) ist das grundlegende Prinzip der Ökobilanz, eine der beiden methodischen Grundlagen der vorliegenden Studie. Materialeffizienz ist eine der zentralen Voraussetzungen, um in der im vorliegenden Projekt erarbeiteten Methode gut abschneiden zu können. Die Kosteneffizienz spielte im vorliegenden Projekt dagegen (noch) keine Rolle (siehe auch 12.3 Empfehlung für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeit).
- Das Prinzip der Rezyklierungsfähigkeit (4. Leitprinzip) ist das zentrale Prinzip der vorliegenden Studie.
- Das Prinzip der Einpassung, Flexibilität, Adaptionfähigkeit und Lernfähigkeit (5. Leitprinzip) war nicht Inhalt der vorliegenden Studie, steht aber mit dem gewählten Thema in engem Zusammenhang (siehe auch 12.3 Empfehlung für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeit).
- Das Prinzip der Fehlertoleranz und Risikovorsorge (6. Leitprinzip) wird im vorliegenden Projekt insofern berücksichtigt, als Baumaterialien möglichst geringe Schadstoffe enthalten sollen, die bei Abbruch und Entsorgung zu einer Belastung der Menschen und der Umwelt führen oder die Recyclierbarkeit herabsetzen.
- Das Prinzip der Sicherung von Arbeit, Einkommen und Lebensqualität (7. Leitprinzip) wird vor allem durch die Abbruchmethode und die anschließende Aufbereitungsart berührt. Der geordnete Rückbau eines Gebäudes ist arbeitsintensiver und kann im Gegensatz zum „Niederreißen“ von Gebäuden als eine befriedigendere, weil sinnvollere und zukunftsorientiertere Arbeit angesehen werden. Durch Schadstofferkundung und die Herstellung möglichst sortenreiner Fraktionen wird sichergestellt, dass die Menschen, die bei Rückbau, Aufbereitung und Beseitigung beschäftigt sind, möglichst wenig mit Schadstoffen belastet werden.

Im Kontext zur nachhaltigen Bewirtschaftung von Baurestmassen stehen die zwei europäischen Prinzipien der Entsorgungswirtschaft "Prinzip der Nähe" und "Prinzip der Autarkie". Daher sind für die Länder aber auch für Regionen und Gemeinden die Ergebnisse

des vorgeschlagenen Projekts von großer Bedeutung, um nachhaltige Wege in der Bauwirtschaft - von der Planung bis zur Entsorgung der Gebäude - einschlagen zu können.

Die **Zielgruppe** des vorliegenden Projekts sind „Entsorgungsunternehmen“, „Planungsbüros und Projektträger“ sowie „Gesetzgebende Stellen und Behörden“.

Die Gruppe der „Entsorgungsunternehmen“ war im Projekt durch folgende Konsulenten vertreten:

- DI Martin Car, BRV Österreichischer Baustoff-Recycling Verband, Karlsg. 5, 1040 Wien
- Ing. Günter Gretzmacher, Oekotechna, Waldmühlgasse 31, 2380 Perchtoldsdorf
- Ing. Thomas Cechovsky und Stefan Riepl, AVE-Zentrale, Wildpretstraße 25, 1110 Wien

Die Experten aus der Entsorgungswirtschaft waren für uns zentrale Ansprechpartner bei der Entwicklung der Bewertungsmethode. In drei intensiven Treffen mit den Partnern, eines zu Beginn des Projekts, eines in der Endphase der Methodenentwicklung und eines nach Vorliegen der Ergebnisse, wurden die wesentlichen Weichen gestellt.

Aus der Gruppe der „Planungsbüros und Projektträger“ profitieren die Träger von Haus-der-Zukunft-Demonstrationsprojekten von einer entsorgungstechnischen Bewertung ihrer Objekte. Sie waren zwar nicht direkt ins Projektteam eingebunden, eine ausgewählte Gruppe wurde aber zum Workshop eingeladen und wird nun laufend in den Diskussionsprozess zur Verwertung der Projektergebnisse eingebunden (z.B. IBO-Werkstattgespräch).

Zu den betroffenen „Gesetzgebende Stellen und Behörden“ zählen z.B. das BMLFUW („Lebensministerium“) als Herausgeber des Bundesabfallwirtschaftsplans und Träger des klima:aktiv Haus und die Wohnbauförderstellen als Nutzer des OI3-Indikators. Die weitergehende Einbindung dieser Stellen in die vorliegende Grundlagenforschung wäre noch zu früh gewesen, VertreterInnen des Lebensministerium, des Umweltbundesamtes sowie der Stadt Wien (MA 25, MA 22) waren aber zum Workshop eingeladen und haben auch sehr engagiert daran teilgenommen. Die gesetzgebenden Stellen und Behörden sollen eine zentrale Rolle bei der weiteren Verwertung der Ergebnisse einnehmen.

Die Umsetzungs-Potenziale für die Projektergebnisse sind hoch, da sie standardmäßig im Gebäudebewertungsinstrument Total Quality Building (TQB) eingesetzt werden. Das Marktpotenzial entspricht somit mindestens jenem von TQB oder ist sogar höher, da die Methode auch unabhängig von TQB eingesetzt werden kann. Des Weiteren erhoffen wir uns, dass die Methode auch in klima:aktiv-Dienstleistungsgebäuden Eingang und somit noch weitere Verbreitung findet.

Der Anwendung für Demonstrationsvorhaben steht nichts im Wege. Derzeit erfolgt eine erste Anwendung im Rahmen des Haus-der-Zukunft-Plus Projekts „Erweiterung der Druckerei Gugler“.

12. Ausblick / Empfehlungen

12.1 Chancen und Schwierigkeiten bei der Realisierung

Die Ergebnisse des Projekts sollen im Gebäudebewertungsprogramm Total Quality (TQB) und in der Gebäudedokumentation gem. Bundesabfallwirtschaftsplan Eingang finden. Die NutzerInnen können „Planungsbüros und ProjektträgerInnen“ sowie „Gesetzgebende Stellen und Behörden“ sein.

Die Chance bei der Realisierung des vorliegenden Projekts besteht darin, dass die Anwendung der Bewertungsmethode dazu führt, dass sich die NutzerInnen mit den Entsorgungseigenschaften ihrer Gebäude auseinandersetzen und dass dies in Folge auch zu einer Verbesserung der ökologischen Performance der Gebäude führt. Mit zunehmender Professionalisierung der Methode und der Anwendungstools besteht ev. auch die Möglichkeit, dass sie Eingang in die Wohnbauförderungen findet.

Die Schwierigkeiten liegen in der Komplexität der Fragestellung, wodurch es schwierig wird, ein einfaches Schema vorzugeben, das auf Knopfdruck eindeutige Ergebnisse liefert. Wir haben im Rahmen des Projekts versucht, möglichst klare Handlungsanweisungen zu geben, wie die Ergebnisse, Ökobilanz und Entsorgungsmatrix, herbeizuführen sind. Dennoch wird es oft schwierig sein, die vorgeschlagene Methode 1:1 umzusetzen, da wir nicht alles bis ins letzte Detail beschreiben können und so die Lösung für manche Fragestellungen sicher offen geblieben ist. Das Projektteam wird weiterhin mit der Methode arbeiten und im Rahmen dessen die Beschreibung für das Procedere laufend verbessern.

Anders als bei der Ökobilanz der Gebäudeerrichtung, die eindeutig definiert werden kann, gibt es beim Abbruch unterschiedlichste Vorgangsweisen – vom geordneten Rückbau bis zum „Abbruch mit der Birne“. Somit können die Ergebnisse, nämlich die unterschiedlichen Fraktionen, die ins Recycling, zur Verbrennung oder in die Deponierung wandern, sehr unterschiedlich aussehen. Wir haben versucht, in den Sensitivitätsanalysen am Beispiel des IBO-Modellhauses und im Rahmen der methodischen Grundlagen-Kapitel wichtige Stellschrauben im System zu identifizieren und denken, dass die nächsten Jahre, in denen mit und an der Methode gearbeitet wird, die Treffsicherheit und die Anwenderfreundlichkeit erhöhen werden.

Die entwickelte qualitative Methode ist derzeit geeignet, unterschiedliche Maßnahmen an ein und demselben Gebäude abzubilden und zu bewerten. Für einen Vergleich unterschiedlicher Gebäude fehlt noch entweder eine Normierung (z.B. prozentuelle Angaben) oder eine Bezugsgröße. Dazu soll die weitere, kontinuierliche Beschäftigung mit dem Thema führen.

Die im vorliegenden Projekt erarbeitete Bewertungsmethode liefert als Ergebnis eine Entsorgungsmatrix und Ökobilanz-Indikatoren getrennt nach Deponierung, Verbrennung und Recycling. Diese Ergebnisse dienen als Basis für weitere Aggregationen zur Umsetzung in den Gebäudebewertungsinstrumenten. Es wurden auch entsprechende Vorschläge erarbeitet, die in Folge mit den NutzerInnen diskutiert und adaptiert werden müssen. Erst in

dieser aggregierten Form werden die Ergebnisse als Bewertungskriterium in den Gebäudezertifizierungsinstrumenten Eingang finden können.

Die Reaktionen, die wir im Rahmen unserer Workshops und Vorträge erhalten haben, zeigen uns, dass das Thema „Entsorgung von Gebäuden“ – nicht zuletzt durch die Einführung moderner Bauweisen – aktuell wie nie zuvor ist und auf großes Interesse stößt. Wir sind daher überzeugt, dass das Projekt und die Weiterarbeit mit den Ergebnissen einen wichtigen Beitrag zum ökologischen Bauen leisten kann.

12.2 Weitere geplante Aktivitäten des Planungsteams

Das Projektteam wird das wesentliche Ergebnisse des Projekts, eine Bewertungsmethode für die Entsorgungseigenschaften von Gebäuden, in seine permanente Arbeit aufnehmen und sich laufend um die Dissemination der Projektergebnisse kümmern. Die nächsten geplanten Aktivitäten sind im Folgenden dargestellt.

12.2.1 Öffentliche Verbreitung der Ergebnisse

Präsentation im Rahmen des IBO-Kongresses „BauZ – Sanieren oder Abreißen“ am 18./19.2.2010 und Positionierung weiterer Themen u.a.:

- Hildegund Mötzl (IBO): Sanieren und Abriss als Teil des Gebäudelebens – Ökologische Betrachtungen
- Martin Car (BRV): Normgerechter Abbruch: Der Rückbau
- Martin Scheibengraf (MA 22): Schadstofferkundung und Abfallwirtschaftskonzept
- Zeljko Vocinkic (Prajo): Aufbereitung von Ziegelsplitt

Präsentation im Rahmen einer Haus-der-Zukunft-Veranstaltung (nach Wunsch)

In folgende Schulungen sollen die Ergebnisse integriert werden

- green academy
- „Bauökologie“-Seminar (2 Wochenstunden) an der Kunstuniversität Linz
- klima:aktiv-Haus (wenn vom BMLFUW gewünscht)

Die Thematik und der Lösungsansatz der vorliegenden Studie sollen außerdem in Form von Artikeln verbreitet werden. Fixiert ist ein Artikel im ibo-Magazin 2010 und die Publikation auf der ibo-Homepage.

Die Betreuung des „Informationsknotens ökologisches Bauen“ durch das Österreichische Ökologie-Institut gewährleistet zusätzlich den direkten und umfassenden Transfer relevanter HdZ-Ergebnisse in das und aus dem Projekt.

In einem der IBO-Werkstattgespräche 2010 (Termin steht noch nicht fest) sollen die Projektergebnisse präsentiert und diskutiert werden. Dazu werden auch alle TeilnehmerInnen aus dem Stakeholder-Workshop nochmals eingeladen.

12.2.2 Umsetzung in der Gebäudebewertung

Wie schon erwähnt wurde ECOSOFT um ein Feature zur Erstellung von Massenbilanzen ergänzt. Das neue Tool wird derzeit noch geprüft und Anfang 2010 der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.

In der IBO-Referenzdatenliste werden die Entsorgungsprozesse ergänzt und publiziert. Der Primärenergieinhalt wird in Prozessenergie und Feedstock aufgeschlüsselt. Mit diesen beiden Tools stehen gemeinsam mit dem vorliegenden Bericht – die wesentlichen Grundlagen zur Bewertung der Entsorgung von Baumaterialien am Lebensende von Gebäuden zur Verfügung.

Das Projektteam strebt im Februar einen Termin mit den Akteuren der Österreichischen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (ÖGNB), dem TQB-Träger, an, bei dem die Ergebnisse der vorliegenden Studie vorgestellt werden und verschiedene Möglichkeiten zur Integration in TQB diskutiert werden sollen.

Die Ergebnisse des Projekts sollen den Proponenten des Bundesabfallwirtschaftsplan (Umweltministerium und Umweltbundesamt) vorgestellt werden. Es soll diskutiert werden, inwieweit die entwickelte Gebäudedokumentation im Rahmen des BAWP genutzt werden kann.

Die Methode soll in Zukunft standardmäßig im Rahmen der Gebäudebewertungen nach Total Quality Building angewandt werden.

Außerdem soll die Methode nicht nur für die Bewertung, sondern auch für die Optimierung von Gebäuden eingesetzt werden. Als Pilotprojekt dient dafür die vom Haus-der-Zukunft-Plus-Programm als Leitprojekt geförderte Erweiterung der Druckerei Gugler in Melk. Weitere Projekte sollen sukzessive folgen.

12.3 Empfehlung für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten

Im Rahmen des bereits im vorigen Kapitel angesprochenen Haus-der-Zukunft-Plus Leitprojekts „Gugler“ finden Grundlagenstudien statt, die das vorliegende Projekt um weitere wesentliche Bestandteile zur Optimierung der Recyclierbarkeit von Gebäuden ergänzen:

- Subprojekt 2: Bauen mit recycros – Grundlagen für die Erhöhung der stofflichen Kreislaufschließung im Bauwesen ebenso wie die Erhöhung des Einsatzes von Recyclingstoffen (recycros). Stoffkreisläufe im Bauwesen, heute schon verfügbare recycros, Kriterienkatalog, Produktrecherche und Bewertung der Produkte; neue Wege im Einsatz von recycros.
- Subprojekt 3: Recyclingfähig Konstruieren – Grundlagen und konkrete Vorschläge für Hochbaukonstruktionen, die durch ihre Konstruktionsweise und ihren Aufbau in höchstem Maß recycelbar sind. Ein Katalog mit Grundlagen zum recyclingfähigen Konstruieren mit besonderem Augenmerk auf stoffreinen Füge- und Verbindungstechniken sowie Konstruktionsvorschlägen samt ökologischer und bauphysikalischer Kennwerte sowie Kostenvergleichen wird erstellt.

Des Weiteren sind aus unserer Sicht noch folgende weitergehende Grundlagenforschungen zu empfehlen:

- Bisher wurden Haustechnikkomponenten, Nebengebäude oder Materialien der Landschaftsgestaltung vernachlässigt. Diese sollten ebenfalls auf ihre Entsorgungseigenschaften untersucht werden.
- Baustellenabfälle haben im Vergleich zum Abbruch des Gebäudes den Vorteil, dass sie zum Großteil sortereinrein gewonnen werden können, der Nachteil liegt in den geringeren Mengen. Zudem spielt der Aushub eine wichtige Rolle. Es stellt sich die Frage, inwieweit die vorliegenden Bewertungsmethoden dennoch auch auf die Phase der Gebäudeerrichtung angewandt werden können.
- Bisher wurde die Instandsetzung vernachlässigt, bei der ebenfalls Abbruchmaterialien, wenn auch in geringeren Mengen, anfallen. Baumaterialien sollten auch hinsichtlich ihrem Verhalten bei der Instandsetzung optimiert werden. Dies betrifft auch das Leitprinzip der „Einpassung, Flexibilität, Adaptionfähigkeit und Lernfähigkeit“, das in der vorliegenden Studie bisher unberücksichtigt blieb.
- Eine wichtige Messgröße für die Entsorgungseigenschaften von Baumaterialien sind die Entsorgungskosten. Es wäre sehr aufschlussreich, diese in weiterführenden Studien in Beziehung zu den ökologischen Messgrößen zu stellen.
- In Folge der Aktivitäten des CEN TC 350 ist absehbar, dass in Zukunft die Ökobilanz eine wichtigere Rolle bei der ökologischen Bewertung von Gebäuden spielen wird. Um dafür gerüstet zu sein, ist es notwendig, möglichst breit abgestimmte Allokationsmethoden über den Lebenszyklus zu finden.

Zur Optimierung von Gebäuden hinsichtlich ihrer Entsorgungseigenschaften würden wir folgende Grundlagen noch als hilfreich ansehen.

- Planungsleitfaden für die Optimierung von Gebäuden hinsichtlich ihrer Entsorgungseigenschaften
- Zusammenarbeit mit Herstellern zur Optimierung von Baumaterialien hinsichtlich ihrer Entsorgungseigenschaften

13. Literaturverzeichnis / Abbildungsverzeichnis / Tabellenverzeichnis

13.1 Literaturverzeichnis

BAWP (Hrsg): Österreichischer Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2006. Lebensministerium (Hrsg.)

BAWP 2008 aktualisiertes Kapitel „Abfälle aus dem Bauwesen“ des Österreichischer Bundes-Abfallwirtschaftsplans 2006, 07.04.2009, Lebensministerium VI/3

CML - Centre of Environmental Science, Leiden University (Guinée, M.; Heijungs, R.; Huppes, G.; Kleijn, R.; de Koning, A.; van Oers, L.; Wegener Seeswijk, A.; Suh, S.; de Haes, U.); School of Systems Engineering, Policy Analysis and Management, Delft University of Technology (Bruijn, H.); Fuels and Raw Materials Bureau (von Duin, R.); Interfaculty Department of Environmental Science, University of Amsterdam (Huijbregts, M.): Life Cycle assessment: An operational guide to the ISO standards. Final Report, May 2001.

DEPONIEVERORDNUNG (DepVo) 2008, 39. Verordnung des BMLFUW übe Deponien, ausgegeben am 30. Jänner 2008 Teil II

ECOINVENT: Frischknecht, R., Niels Jungbluth, (Editors), ESU-services ; Uster; Hans-Jörg Althaus; Gabor Doka; Roberto Dones; Roland Hischier; Stefanie Hellweg; Sébastien Hunbert; Manuele Margni; Thomas Nemecek; Michael Spielmann.: Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods, Data v1.1, Dübendorf, May 2004

ECOSOFT 3.4.2: Programm zur ökologischen Bewertung von Baukonstruktionen und Gebäuden auf Basis des Ökoindikators OI3. IBO. Bestellen von ECOSOFT und weitere Informationen unter <http://www.ibo.at/de/ecosoft.htm>. Achtung aktuelle Version 3.4.2 ist derzeit noch nicht veröffentlicht.

FECHNER Johannes (17&4), MÖTZL Hildegund (IBO), UNZEITIG Ulla (IBO): Abfallvermeidung im Bausektor. Im Rahmen der INITIATIVE „Abfallvermeidung in Wien“ der Stadt Wien, unterstützt von der Wiener Umweltstadträtin. Dez. 2003

FRISCHKNECHT R. et al.: Overview and Methodology. Final report ecoinvent v2.0 No. 1, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Duebendorf, CH. 2007

FRISCHKNECHT R., JUNGBLUTH N. Allocation applied on Co-Production Processes in Large LCI Process Network Databases. *In proceedings from: International Workshop on Quality of LCI Data*, Forschungszentrum Karlsruhe, <http://www.lci-network.de/lci-quality>. 2003

IBO (Hrsg.): Passivhaus-Bauteilkatalog - Ökologisch bewertete Konstruktionen / Details for Passive-Houses. Gefördert durch „Haus der Zukunft“. Springer, Wien 2008

IBO-Referenzdatenbank – Wesentliche methodische Annahmen. Boogman Philipp, Mötzl Hildegund. Version 2.2, Stand Juli 2007, mit redaktionellen Überarbeitungen am 9.10.2009, URL: http://www.ibo.at/documents/LCA_Methode_Referenzdaten_kurz_091009.pdf

ISO 14040: ÖN EN ISO 14040 Environmental management – Life cycle impact assessment – Principles and framework. Oktober 2006

ISO 14044: DIN EN ISO 14044 Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen. Oktober 2006

ISO/DIS 21930 Building Construction – Sustainability in building construction – Environmental declaration of building products (DIS 21930, Draft 16, working document N 468, sept 20, 2006)

JLCA (The International Journal of Life Cycle Assessment). Editor-In-Chief: Walter Klöpffer. Associated Journal of UNEP/SETAC Life Cycle Initiative. Springer ecomed. Ab 2005

JUNGMEIER, G.; WERNER, F; JARNEHAMMAR, A; HOHENTHAL, C; RICHTER, K: Allocation in LCA of Wood-based Products; Part I Methodology. Int. J. LCA 7 (5), Landsberg 2002 (a)

JUNGMEIER, G.; WERNER, F; JARNEHAMMAR, A; HOHENTHAL, C; RICHTER, K: Allocation in LCA of Wood-based Products; Part II Examples. Int. J. LCA 7 (6), Landsberg 2002 (b)

MÖTZL Hildegund: Entsorgungseigenschaften von Baustoffen und Bauteilen in der Sanierung. In: AEE Intec (Hrsg.): ökosan'07 – 2. internationale Tagung zum Thema "Hochwertige energetische Sanierung von großvolumigen Gebäuden", Weiz 2007

MÖTZL Hildegund et al: Model house for the use in Type III environmental declarations on Building products (EPD). Project N° 1008-EPD-2006. IBO im Auftrag des ON Verbraucherrats. 27.12.2007

MÖTZL Hildegund, FELLNER Maria, PLADERER Christian, MEISSNER Markus, ASCHENBRENNER Ulrich: Building as feedstocks for tomorrow – Life cycle assessment of buildings and constructions (LCA-BC). In: Fona Forschung für Nachhaltigkeit (Hrsg.): 12th European Roundtable on Sustainable Consumption and Production (erscp2008), Berlin 2008

Netzwerk Lebenszyklusdaten, Arbeitskreis Methodik (NETZWERK LZD-1): AP 6 Allokation. Projektbericht im Rahmen des Forschungsvorhabens FKZ 01 RN 0401 im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Forschungszentrum Karlsruhe Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse – Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme (Hrsg). PE International. Leinfelden-Echterdingen Karlsruhe, Juni 2007

Netzwerk Lebenszyklusdaten, Universität Stuttgart (NETZWERK LZD-2): Analyse bestehender methodischer Ansätze zur Berücksichtigung des Recyclings von Metallen im Rahmen der Ökobilanz. Netzwerk Lebenszyklusdaten - Arbeitskreis Metallische Rohstoffe. Projektbericht im Rahmen des Forschungsvorhabens FKZ 01 RN 0401 im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Forschungszentrum Karlsruhe Institut für

Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse – Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme (Hrsg). Leinfelden-Echterdingen-Karlsruhe – Oktober 2007

Netzwerk Lebenszyklusdaten, Universität Bremen (NETZWERK LZD-3): Kupferzyklen Deutschland. Netzwerk Lebenszyklusdaten - Arbeitskreis Metallische Rohstoffe. Projektbericht im Rahmen des Forschungsvorhabens FKZ 01 RN 0401 im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Forschungszentrum Karlsruhe Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse – Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme (Hrsg). Bremen Karlsruhe - Oktober 2007

ÖN B 3801 Holzschutz im Hochbau - Grundlagen und Begriffsbestimmungen

PLADERER, C.; GANGLBERGER, E.; FUNDER, B.; ROISER-BEZAN, G.; PROCHASKA, M.; RABER, G.; LORBER, K.E.; SCHEIBENGRAF, M.; OLIVA, J; GRETZMACHER, G.: Vermeidung von Baustellenabfällen in Wien. Im Auftrag der Magistratsabteilung 48 Wien. Endbericht 2004 (auch downloadbar unter: <http://www.abfallvermeidungwien.at/>)

prEN 15804 Sustainability of construction works – Environmental Product Declarations - Product category rules (Ausgabe für Enquiry 2008-06-01) und Diskussionsstand 11/2009

prEN15643-2 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Ganzheitliche Bewertung der Qualität von Gebäuden – Teil 2: Rahmenbedingungen für die Bewertung der Umweltqualität (Ausg 2009-04-01)

prEN 15978 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bestimmung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode (Working draft N079)

RICHTER Klaus :Altholzverwertung als Teil des Produktlebenszyklus. SAH-Bulletin 5,10 –15, 2000

RICHTER Klaus: LCA - reuse/recycle. Cost Action E13: Wood Adhesion and Glued Products. State of the Art-Report. Brussels/Luxembourg p. 161-189. 2001

SPRINGER (Druck und Verlag): Bewertung ökologischer Lebensläufe von Zeitungen und Zeitschriften. Ein Projekt der Unternehmen AXEL SPRINGER VERLAG AG, STORA (Forst, Zellstoff, Papier), CANFOR (Forst, Zellstoff). Wissenschaftliche Beratung: INFRAS, Zürich. Kurzfassung der Studie, 1998

TOTAL QUALITY (TQ) - Planung und Bewertung von Gebäuden. Im Auftrag von BMVIT, BMWA und BM für Umwelt, Jugend und Familie. Projektdauer: 1999–2005. Aktuelle Informationen zur TQ-Gebäudebewertung sind erhältlich unter www.argeTQ.at

TOTAL-QUALITY-BEWERTUNG (TQ) - Begleituntersuchung der innovativen Bauprojekte, gemeinsam mit ARGE Erneuerbare Energie (AEE Intec) und Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie (IBO) im Auftrag von BMVIT/ Programmlinie Haus der Zukunft, 2004–2007

WERNER, Frank: Interdependencies between LC-modelling and the use of LCA in product design-related decision situations with special emphasis on the influence of cognitive models and values on the modelling of reuse & recycling and other end-of-life options. Dissertation. ETH Zürich 2002-1

WERNER Frank: Treatment of aluminium recycling in LCA, Development and Evaluation of the Value-Corrected Substitution Procedure Applied to Window Frames, commissioned by EAA, EMPA Duebendorf 2002-2

WERNER Frank, ALTHAUS Hans-Jörg, RICHTER Klaus, SCHOLZ Roland W.: Post-Consumer Waste Wood in Attributive Product LCA. Context specific evaluation of allocation procedures in a functionalistic conception of LCA. Wood and Other Renewable Resources (Subject Editor: Jörg Schweinle). In: ecomed publishers: Int J LCA 12 (3) 160 – 172 (2007)

ZWIENER Gerd, MÖTZL Hildegund.: Ökologisches Baustofflexikon (3. Aufl.) Heidelberg: C.F. Müller 2006

13.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: IBO-Modell-Einfamilienhaus - Grundrisse und Schnitt	41
Abbildung 2: Grafische Darstellung der Ergebnisse aus der qualitativen Bewertung des IBO-Einfamilienhauses in unterschiedlichen Varianten.....	44
Abbildung 3: Photosmog-Werte (POCP) für die Herstellung und Entsorgung des IBO-Einfamilienhauses.....	48
Abbildung 4: Versauerungswerte (AP) für die Herstellung und Entsorgung des IBO-Einfamilienhauses	49
Abbildung 5: Überdüngungswerte (NP) für die Herstellung und Entsorgung des IBO-Einfamilienhauses.....	49
Abbildung 6: Beitrag zum Treibhauseffekt (GWP) für die Herstellung und Entsorgung des IBO-Einfamilienhauses.....	50
Abbildung 7: Nicht erneuerbarer Primärenergieinhalt (PEI ne) in MJ für die Herstellung und Entsorgung des IBO-Einfamilienhauses.	52
Abbildung 8: Erneuerbarer Primärenergieinhalt (PEI e) in MJ für die Herstellung und Entsorgung des IBO-Einfamilienhauses.	52

13.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bundesweites Abfallkommen 2007 (BAWP 2008)	19
Tabelle 2: Häufig gebrauchte Indikatoren in Ökobilanzen von Baustoffen.....	28
Tabelle 3: Quellen für Basisdaten in der Ökobilanz	31
Tabelle 4: Auszug aus einer automatisch in ECOSOFT V 3.4.2 erstellten Liste über alle im Gebäude eingesetzten Baumaterialien	34
Tabelle 5: Unterfraktionen aus einem vermörtelten Ziegel mit Wärmedämmverbundsystem (verklebt). Die Unterfraktionen von Polystyrol-WDVS und Ziegel werden jeweils gemeinsam entsorgt, die Aufteilung in Unterfraktionen dient nur als Grundlage für die weiteren Bewertungsschritte.	35
Tabelle 6: Zuordnung von Entsorgungswegen („Weg“) zu den Fraktionen (dep = Deponierung, mva = Müllverbrennung).....	36
Tabelle 7: Ausschnitt aus der Pivot-Tabelle über die Fraktionen. Masse in kg.....	37

Tabelle 8: Den Fraktionen der Pivot-Tabelle (siehe Tabelle 7) werden Entsorgungsprozesse aus ECOSOFT V3.4.2 zugeordnet.....	37
Tabelle 9: Massenbilanz über die Entsorgungsprozesse am Beispiel eines Einfamilienhauses. Diese Tabelle ist ein erstes Bewertungsergebnis und dient gleichzeitig als Sachbilanz für die Berechnung der Ökobilanz-Indikatoren.....	38
Tabelle 10: Materialverluste bei der Sammlung und Aufbereitung von Baustoffen für das Recycling.....	39
Tabelle 11: Beurteilungskriterien für die qualitative Einstufung beim Rückbau eines Gebäudes anfallenden Fraktionen.....	39
Tabelle 12: Beispiel für die Einstufung der beim Rückbau eines Gebäudes anfallenden Fraktionen.....	40
Tabelle 13: Beispiel für die Ergebnis-Tabelle über die qualitative Einstufung der aus dem Rückbau eines Gebäudes anfallenden Fraktionen. Masse in kg.....	40
Tabelle 14: Kennwerte des IBO-Modell-Einfamilienhauses.....	41
Tabelle 15: Konstruktions-Ausgangsvariante für das IBO-Einfamilienhaus in Massiv- bzw. Holzleichtbauweise.....	42
Tabelle 16: Überblick über die Szenarien und Aufbauvarianten für das IBO-Modell-Einfamilienhaus in Massivbauweise. Details siehe Anhang A4.....	43
Tabelle 17: Überblick über die Szenarien und Aufbauvarianten für das IBO-Modell-Einfamilienhaus in Holzleichtbauweise.....	43
Tabelle 18: Tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse aus der qualitativen Bewertung des IBO- Einfamilienhauses in unterschiedlichen Varianten.....	44
Tabelle 19: Massenbilanz der Entsorgung des IBO-Einfamilienhauses in Massivbauweise für die Eingabe in ECOSOFT.....	46
Tabelle 20: Übersicht über die Indikatorwerte für das IBO-Einfamilienhaus in Massivbauweise. Die Prozesse 1-9 umfassen die Herstellung der Bauteile, die Prozesse 10-12 die Entsorgung (AW = Außenwand, DA = Dach, GD = Geschoßdecken, EA = Erdberührte Außenwand, EF = Fundament, IW = Innenwand).....	47
Tabelle 21: Massenbilanz der Entsorgung des IBO-Einfamilienhauses in Holzleichtbauweise für die Eingabe in ECOSOFT.....	47
Tabelle 22: Übersicht über die Indikatorwerte für das IBO-Einfamilienhaus in Holzleichtbauweise. Die Prozesse 1-9 umfassen die Herstellung der Bauteile, die Prozesse 10-12 die Entsorgung (AW = Außenwand, DA = Dach, GD = Geschoßdecken, EA = Erdberührte Außenwand, EF = Fundament, IW = Innenwand).....	48
Tabelle 23: Wirkbilanz-Ergebnisse für die Entsorgung von 1 m ² Holzwolle-Leichtbauplatten und 1 m ² unbehandeltes Holz (je 2 cm dick) im Vergleich.....	51
Tabelle 24: Ausschlüsselung des Primärenergieinhalts für die Entsorgung und Herstellung des IBO-Einfamilienhauses in (verbrauchte) Prozessenergie und (verwertbare) gespeicherte Energie.....	53