

# **Ermittlung der durch die Wiederverwendung von gebrauchten Bauteilen realisierbaren Energieeinsparpotenziale und CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenziale**

**Endbericht**

Freiburg, den 01.12.2003

**Projektleitung:**  
Dr. rer. nat. Dietlinde Quack

**Öko-Institut e.V.**  
Geschäftsstelle Freiburg  
Postfach 6226  
D-79038 Freiburg  
Tel.: 0761-4 52 95-0

Büro Darmstadt  
Elisabethenstraße 55-57  
D-64283 Darmstadt  
Tel.: 06151-8191-0

Büro Berlin  
Novalisstraße 10  
D-10115 Berlin  
Tel.: 030-28 04 86 80

**Im Auftrag der Altbauteile Bremen e.V.**

## Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Einführung - Überblick zum Bericht.....</b>	<b>3</b>
<b>2 Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens.....</b>	<b>4</b>
2.1 Ziel der Studie und Gründe für die Durchführung .....	4
2.2 Untersuchte Systeme .....	4
2.3 Funktionen der betrachteten Bauteilsysteme und Festlegung der funktionellen Einheit.....	6
2.4 Systemgrenzen .....	8
2.5 Anforderungen an Daten und Datenqualität.....	10
2.6 Kritische Prüfung .....	11
<b>3 Methodisches Vorgehen und Datengrundlagen.....</b>	<b>12</b>
3.1 Sachbilanz.....	12
3.1.1 Datengrundlagen .....	12
3.1.1.1 Allgemeine Datengrundlagen.....	12
3.1.1.2 Spezifische Datengrundlagen zu den Bauteilen .....	15
3.1.1.3 Spezifische Datengrundlagen zur Bilanzierung der Nachketten .....	16
3.1.2 Allokationsverfahren .....	16
3.1.3 Berechnungsverfahren und Bilanznetze.....	17
3.2 Wirkungsabschätzung .....	17
3.3 Auswertung und Einschränkungen in der Belastbarkeit der Ergebnisse .....	19
<b>4 Auswertung .....</b>	<b>20</b>
4.1 Gesamtergebnis .....	20
4.1.3 Vergleich von Referenz- und Alternativszenario - Einsparpotenziale .....	21
4.2 Darstellung der Ergebnisse nach Bauteilgruppen und Phasen .....	22

4.2.1	Bauteilgruppe Wände/Decken/Dächer .....	22
4.2.2	Bauteilgruppe Türen/Tore .....	24
4.2.3	Bauteilgruppe Fenster.....	25
4.2.4	Bauteilgruppe Sanitär .....	26
4.2.5	Bauteilgruppe Böden .....	28
4.2.6	Bauteilgruppe Treppen/Lifte.....	29
4.2.7	Bauteilgruppe Heizung/Lüftung/Klima .....	30
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen und Empfehlungen .....</b>	<b>31</b>
<b>6</b>	<b>Literatur und Quellen .....</b>	<b>35</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>37</b>
	Anhang I: Herstellung Bauteile .....	38
	Anhang II: Abriss und Rückbau .....	39
	Anhang III: Aufarbeitung Bauteile .....	40
	Anhang IV: Aufbereitung für Verwertung .....	41
	Anhang V: Gutschrift aus Verwertung .....	42
	Anhang VI: Entsorgung .....	44
	Anhang VII: Referenzszenario.....	45
	Anhang VIII: Alternativszenario .....	46
	Anhang IX: Einsparpotenzial absolut durch Wiederverwendung.....	47
	Anhang X: Einsparpotenzial relativ durch Wiederverwendung.....	48

## Zusammenfassung

Im Februar 2003 wurde in Bremen die Bauteilbörse eröffnet. Sie wurde initiiert durch den Altbauteile Bremen e.V. und finanziell unterstützt durch den Energiekonsens Bremen. Die vorliegende Untersuchung des Öko-Instituts e.V. wurde im April 2003 beauftragt.

Ziel der Untersuchung war es zu ermitteln, welche konkreten Energieeinsparungen mit der Wiederverwendung gebrauchter Bauteile verbunden sind. Parallel dazu sollte auch das Reduktionspotenzial für CO<sub>2</sub>-Emissionen<sup>1</sup> ermittelt werden.

Die Untersuchung lehnt sich im Vorgehen an die Methode der Ökobilanz an. Dies bedeutet, dass prinzipiell der gesamte Lebensweg der betrachteten Produkte in die Untersuchung einbezogen wird. Allerdings wurden abweichend vom Vorgehen nach ISO 14040ff. nur zwei Wirkungskategorien betrachtet: Primärenergiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen. Eine umfassende Bewertung der ökologischen Auswirkungen ist deshalb auf der Basis dieser Studie nicht möglich. Hierzu wären ergänzende Analysen notwendig, die beispielsweise den Flächenverbrauch einbeziehen oder Effekte durch Versauerung und toxische Substanzen.

Analysiert wurden Bauteile aus sechs verschiedenen Bauteilgruppen: Wände/Decken/Dächer; Türen/Tore; Fenster; Sanitär; Böden und Treppen/Lifte. Die Auswahl der insgesamt 19 untersuchten Bauteile erfolgte entsprechend ihrer Bedeutung für die Bauteilbörse. Ausgewählt wurden solche Bauteile, die nach den bisherigen Erfahrungen im Betrieb der Bauteilbörse besonders häufig angeboten und nachgefragt werden. Für jedes dieser Bauteile wurde eine durchschnittliche Materialzusammensetzung bestimmt, die dann der Modellierung zugrunde gelegt wurde. Festgelegt wurde außerdem, welche durchschnittliche Restlebensdauer die wiederverwendeten Bauteile aufweisen. Hierzu konnte auf die bisherigen Erfahrungen der Bauteilbörse zurückgegriffen werden. Es erwies sich als begründet anzunehmen, dass die wiederverwendeten Bauteile eine Restlebensdauer von der Hälfte der Lebensdauer eines neuen Bauteils haben.

Im Rahmen der Untersuchung wurden zwei Szenarien verglichen: das Referenzszenario, in dem davon ausgegangen wird, dass keine Wiederverwendung stattfindet, wurde verglichen mit dem Alternativszenario, in dem eine Wiederverwendung gebrauchter Bauteile angenommen wird. Es wurden Gutschriften erteilt, sofern innerhalb der Szenarien Produkte entstanden, die andere Produkte außerhalb des Systems substituieren können. Relevant ist dies im Falle einer Verwertung (z.B. Substitution von Primäreisen durch Eisenschrott im Referenzszenario) und im Falle der Substitution eines neuen Bauteils durch ein wiederverwendetes gebrauchtes Bauteil (Alternativszenario). Die funktionelle Einheit wurde in

---

<sup>1</sup> Der Begriff CO<sub>2</sub>-Emissionen wird zusammenfassend für alle berücksichtigten klimarelevanten Emissionen verwendet; diese werden in Form von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten zusammengefasst.

Abhängigkeit von den betrachteten Bauteilgruppen und Einzelbauteilen festgelegt als die Bereitstellung von einer bestimmten Menge Bauteil, z.B. 1 m<sup>2</sup> Fensterfläche oder 1 kg Sanitärkeramik für zwei Lebenszyklen. Dabei war der zweite Lebenszyklus um die Hälfte kürzer als der erste.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse der hier vorliegenden Studie, dass die Wiederverwendung gebrauchter Bauteile im Baubereich unter Berücksichtigung der getroffenen Festlegungen erhebliche Energieeinsparpotenziale und CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale aufweist. Die Einsparpotenziale liegen für die überwiegende Mehrheit der Bauteile bei 60 % und darüber, bezieht man wie in dieser Studie festgelegt die Gutschriften für Verwertung und Substitution Neuteil in die Rechnung ein. Aber selbst ohne den Einbezug von Gutschriften betragen die Einsparpotenziale noch zwischen 20 und 35 %.

Fenster haben einen Anteil von ca. 10 % am Gesamtumsatz gebrauchter Bauteiler in der Bauteilbörse. In der bisherigen Betriebszeit der Bauteilbörse wurden 144 m<sup>2</sup> Fenster wiederverwendet, dies entspricht 101 Standardfenstern. Die damit erzielten Einsparungen liegen in der Höhe von 164 GJ Primärenergie und 5,3 Tonnen CO<sub>2</sub>. Zum Vergleich: Ein mit durchschnittlich 1,5 Personen besetzter PKW benötigt die gleiche Energiemenge um 75.000 km zurückzulegen bzw. emittiert auf 30.000 km die gleiche Menge CO<sub>2</sub> wie durch die Wiederverwendung der Fenster eingespart wurde.

Vor diesem Hintergrund ist unbedingt für eine Beibehaltung und Ausweitung der Wiederverwendung von Bauteilen zu plädieren. Darüber hinaus lassen sich hinsichtlich einer optimierten Wiederverwendung folgende Empfehlungen aussprechen. Eine Wiederverwendung sollte dann mit besonderer Priorität verfolgt werden, wenn

- *Bauteile eine lange Restlebensdauer aufweisen:* Je länger die durchschnittliche Restlebensdauer der wiederverwendeten Bauteile ist, desto höher ist das Reduktionspotenzial durch eine Wiederverwendung.
- *Bauteile für die Herstellung einen besonders hohen Energiebedarf und hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen erfordern:* Das absolute Reduktionspotenzial erhöht sich, wenn der Energiebedarf und die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die mit der Herstellung eines neuen Bauteils verbunden sind, besonders hoch sind.
- *Bauteile der Bauteilbörse in größeren Mengen zur Verfügung stehen und einen entsprechenden Absatz finden:* Das Reduktionspotenzial durch eine Wiederverwendung setzt sich aus dem Einzelbeitrag, den ein Bauteil leistet, und dem Mengenaufkommen des jeweiligen Bauteils zusammen. Daher sollten auch solche Bauteile einbezogen werden, deren Einzelbeitrag relativ gering ist, die sich aber durch ein großes Angebot und eine große Nachfrage auszeichnen.

Weiterer Forschungsbedarf besteht vor allem

- *zur Entwicklung von Kriterien zur Ermittlung der Restlebensdauer,*

- *zur Erweiterung des Rechenmoduls und Integration in Homepage,*
- *zum Transportaufwand Wiederverwendung und Lagerung Bauteile und*
- *zum Einbezug von Kostenaspekten – Ermittlung von Ökoeffizienz-Kriterien.*

Zusätzlich zum Endbericht wird ein Rechenmodul in Excel vorgelegt, das es ermöglicht, die Einsparpotenziale in Abhängigkeit von Art und Anzahl der umgesetzten Bauteilen individuell zu berechnen. Die Basis dafür stellen die 19 Bauteile dar, die im Rahmen der vorliegenden Studie untersucht wurden.

## **1 Einführung - Überblick zum Bericht**

Der Alt-Bauteile Bremen e.V. führt seit dem 1. November 2002 ein Projekt mit dem Titel „Aufbau eines Netzwerkes zur Bauteile-Wiederverwertung“ durch. Das auf zwei Jahre angelegte Projekt hat zum Ziel, sowohl in Fachkreisen als auch in der breiten Öffentlichkeit die Akzeptanz für gebrauchte Bauteile zu erhöhen und deren Wiederverwendung zu fördern.

Im Rahmen eines Unterauftrags sollte geklärt werden, inwiefern die Wiederverwendung von gebrauchten Bauteilen zur Einsparung von Primärenergie sowie zur Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen beitragen kann.

Hierzu hat am 14. Januar 2003 ein Vorgespräch zwischen Karin Strohmeier und Ute Dechantsreiter (beide Alt-Bauteile Bremen e.V.) sowie Dr. Dietlinde Quack (Öko-Institut e.V.) stattgefunden, und am 16. April 2003 wurde der entsprechende Unterauftrag an das Öko-Institut e.V. erteilt.

Der Endbericht wird hiermit vorgelegt.

Der Bericht ist folgendermaßen aufgebaut:

In Kapitel 2 wird der Untersuchungsrahmen der Studie beschrieben; hierzu gehört z.B. die Abgrenzung der untersuchten Systeme und die Anforderung an Daten und Datenqualität.

In Kapitel 3 wird das methodische Vorgehen erläutert und dargestellt, welche Datengrundlagen in der Studie verwendet wurden. Insbesondere wird auch aufgezeigt, wie die Rechenmodalitäten für die Ermittlung der Einsparpotenziale aussehen.

In Kapitel 4 werden die Ergebnisse dargestellt und diskutiert. Dabei wird sowohl auf das Gesamtergebnis als auch detaillierter auf die Einzelergebnisse zu den Bauteilen eingegangen.

Im abschließenden Kapitel 5 werden Schlussfolgerungen gezogen und Empfehlungen formuliert. Der begrenzte Rahmen der Studie bewirkte zwangsläufig, dass einige Fragen offen geblieben sind. Ein besonderer Punkt ist vor diesem Hintergrund auftragsgemäß das Aufzeigen von Forschungsbedarf.

## **2 Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens**

Bei diesem Bestandteil einer Ökobilanz erfolgen auf der Grundlage einer expliziten Zieldefinition u.a. eine Beschreibung der untersuchten Systeme, die Festlegung der funktionellen Einheit als Vergleichsgrundlage, die Festlegung der Systemgrenzen sowie die Formulierung von Anforderungen an Art, Umfang und Qualität der erforderlichen Daten.

### **2.1 Ziel der Studie und Gründe für die Durchführung**

Ziel der vorliegenden Studie war es zu ermitteln, welche konkreten Energieeinsparungen mit der Wieder- und Weiterverwendung gebrauchter Bauteile verbunden sind. Parallel dazu soll auch das Reduktionspotenzial für CO<sub>2</sub>-Emissionen<sup>2</sup> ermittelt werden. Im folgenden wird für beide Wirkungskategorien vereinfachend der Begriff „Reduktionspotenziale“ verwendet.

Im einzelnen bestanden zwei Unterziele:

1. Entwicklung einer generellen Berechnungsgrundlage für die Reduktionspotenziale.
2. Ermittlung der Reduktionspotenziale von – für die Bauteilbörse Bremen - beispielhaften Bauteilgruppen resp. Bauteilen.

### **2.2 Untersuchte Systeme**

Im Rahmen der Studie wurden für die sechs Bauteilgruppen Wände/Decken/Dächer; Türen/Tore; Fenster; Sanitär; Böden und Treppen/Lifte zwei verschiedene Systeme ohne bzw. mit Wiederverwendung gebrauchter Bauteile untersucht und verglichen. Grundlage der Auswahl dieser Bauteilgruppen und der spezifischen Bauteile war die praktische Erfahrung, die die Bauteilbörse Bremen bezüglich Angebot und Nachfrage von gebrauchten Bauteilen bislang sammeln konnte. Es liegt in der Natur einer Bauteilbörse, dass die Bauteile die angeboten und nachgefragt werden, sehr unterschiedlich, letztlich Unikate, sind, auch wenn man sie formal dem gleichen Bauteiltyp zuordnen kann. Ziel war es, in der Untersuchung solche Bauteile zu bilanzieren, die einen großen Umsatz haben. Gleichzeitig war es erforderlich die Bauteile so zu definieren, dass sie möglichst einem durchschnittlichen Bauteil des jeweiligen Typs entsprechen (z.B. Durchschnittswert von 10 typischen Haustüren).

Die Systeme umfassen jeweils zwei Lebenszyklen der betrachteten Bauteile (vgl. Abb. 1): den ersten Lebenszyklus mit Herstellung und Abriss/Rückbau, sowie den zweiten Lebenszyklus bis zum Einbau. Hintergrund dieser Festlegung ist die Überlegung, dass sich die Bauteilbörse an der Schnittstelle dieser beiden Lebenszyklen befindet, sozusagen am Ent-

---

<sup>2</sup> Der Begriff CO<sub>2</sub>-Emissionen wird zusammenfassend für alle berücksichtigten klimarelevanten Emissionen verwendet; diese werden in Form von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten zusammengefasst werden.

scheidungspunkt, ob ein Bauteil ausgebaut und wiederverwendet wird (Angebotsseite aus Sicht der Bauteilbörse) bzw. ob ein gebrauchtes Bauteil eingebaut wird (Nachfrageseite aus Sicht der Bauteilbörse). Referenz ist jeweils der Abriss und der Einbau eines neuen Bauteils.

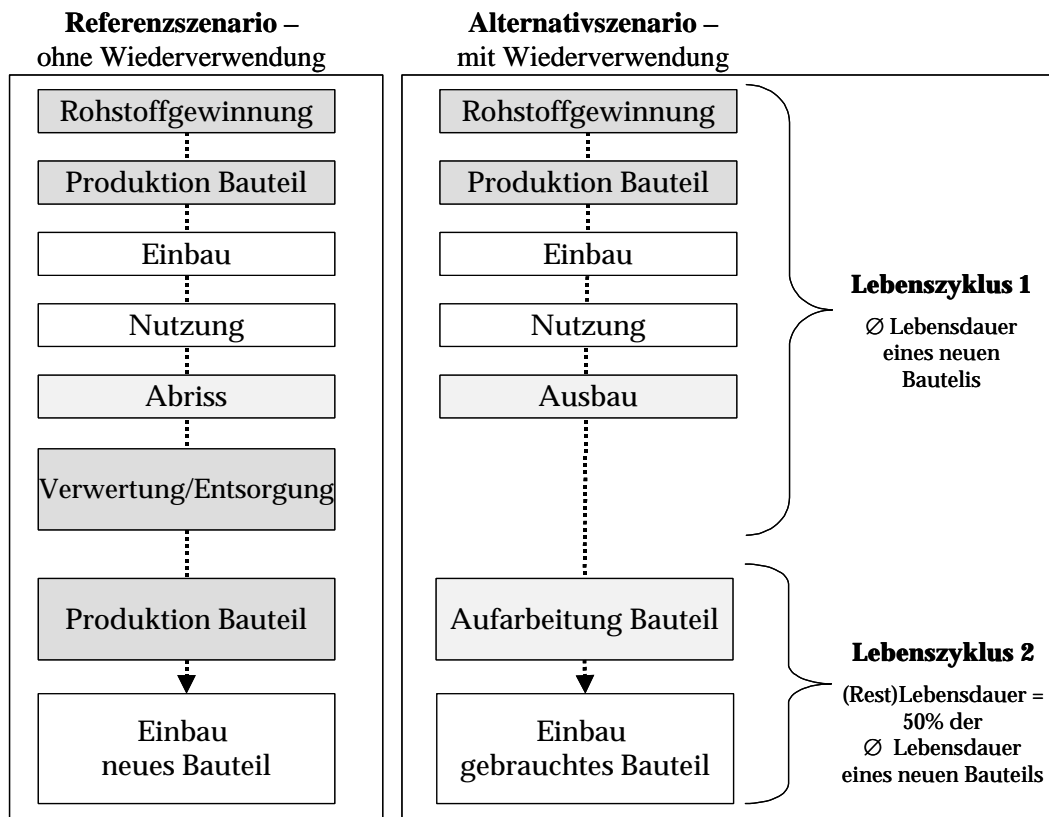


Abb. 1: Überblick über die beiden betrachteten Systeme Referenzszenario und Alternativszenario.

Gebrauchte Bauteile verfügen über eine geringere Restlebensdauer als neue Bauteile. Diese Restlebensdauer kann je nach konkretem Bauteil sehr unterschiedlich sein: neuwertige (gebrauchte) Bauteile gehören ebenso zum Angebot der Bauteilbörse wie gebrauchte Bauteile mit deutlich geringerer Restlebensdauer. Die Bestimmung der Restlebensdauer eines gebrauchten Bauteils ist schwierig, da verschiedene z.T. schwer bestimmbare Parameter wie Alter und Qualität, aber auch der vorgesehene Verwendungszweck des zukünftigen Nutzers eine wesentliche Rolle spielen. Letztlich kann es sich nur um einen Schätzwert handeln. Nicht zuletzt aufgrund der noch geringen Laufzeit der Bauteilbörse konnten der Untersuchung keine statistisch abgesicherten Durchschnittsdaten zu den geschätzten Restlebensdauern der Bauteile zugrundegelegt werden. Ohnehin ist mit kurzfristigen Schwankungen zu rechnen, wenn beispielsweise bestimmte Objekte zum Rückbau anstehen und daraus größere Mengen Bauteile einer bestimmten Alters- und Qualitätsklasse in die Bauteilbörse fließen. Im Rahmen der Untersuchung wurde vor diesem Hintergrund folgende vereinfachende Annahme getroffen: Aufgrund der reduzierten Lebensdauer des gebrauchten Bauteils wurde für den zweiten Lebenszyklus eine um die Hälfte reduzierte Restlebensdauer



angenommen. Dies entspricht auch der aktuellen Selbsteinschätzung des Altbauteile Bremen e.V..

Im Referenzszenario wurde angenommen, dass keine Wiederverwendung erfolgt, das entsprechende Bauteil also nach dem Abriss zu einem bestimmten, ortsüblichen Anteil verwertet bzw. entsorgt wird. Entsprechend erfolgt der Einbau eines neuen Bauteils. Aus Symmetriegründen gegenüber dem Alternativszenario wird nur der Aufwand für ein halbes Bauteil – entsprechend einer gegenüber einem neuen Bauteil um die Hälfte reduzierten Restlebensdauer - angerechnet. Für die Verwertung werden Gutschriften erteilt. Diese umfassen Gutschriften für die Substitution von Materialien sowie für die ausgekoppelte elektrische Energie im Falle der Müllverbrennung von Altholz und Kunststoffen.

Im Alternativszenario wird von der Wiederverwendung der gebrauchten Bauteile ausgegangen. Die Bilanz umfasst entsprechend die Herstellung und den Ausbau der Bauteile; darüber hinaus wird aber auch die Aufarbeitung sowie der Wiedereinsatz berücksichtigt. Aufgrund des Substitutionseffekts wird eine Gutschrift für ein halbes Bauteil erteilt.

Auf das ursprünglich vorgesehene Alternativszenario II, welches die Weiterverwendung eines gebrauchten Bauteils für einen vom ursprünglichen Einsatzbereich unterschiedlichen Zweck dargestellt hätte, wurde angesichts geringer Praxisrelevanz verzichtet. Es erwies sich allenfalls im Bereich der Fenster – Einsatz statt in Wohngebäuden in entsprechenden Nebengebäuden – und der Haustüren – Einsatz als Neben- statt als Haupteingangstür – als interessant. Der Unterschied zu Alternativszenario I wäre allerdings nur geringfügig.

### **2.3 Funktionen der betrachteten Bauteilsysteme und Festlegung der funktionellen Einheit**

Eine funktionelle Einheit ist dann eine geeignete Vergleichseinheit, wenn für die zu vergleichenden Varianten, hier also Bauteile mit und ohne Wiederverwendung die gleiche Funktion resp. der gleiche Nutzen beschrieben werden kann und geeignete Daten zur Hinterlegung zur Verfügung stehen. In der vorliegenden Untersuchung wurde die Funktion in Abhängigkeit von den betrachteten Bauteilgruppen und Einzelbauteilen festgelegt als die **Bereitstellung von einer Einheit Bauteil, z.B. 1 m<sup>2</sup> Fensterfläche oder 1 kg Sanitärkeramik, für zwei Lebenszyklen**. Der zweite Lebenszyklus ist dabei aus den in Kapitel 2.4 erläuterten Gründen nur halb so lang wie der erste Lebenszyklus. Die funktionellen Einheiten entsprechen einem konkreten praktischen Nutzen z.B. 1 m<sup>2</sup> Fenster. Im Sanitärbereich sind die Produkte allerdings so unterschiedlich, dass die funktionelle Einheit als ein Kilogramm Material festgelegt wurde, auf dessen Basis konkrete Produkte dann berechnet werden können (z.B. eine Badewanne entspricht 68,5 kg Sanitärermail). Etwaige Unterschiede hinsichtlich der Qualität der Verarbeitung der Bauteile wurden nicht berücksichtigt, diese würden aber vor allem hinsichtlich der Restlebensdauer eines konkreten Bauteils eine Rolle spielen.

Die der Bilanz zugrundegelegten Referenzflüsse entsprechen den jeweils für die Bereitstellung einer Einheit Bauteil erforderlichen Material- und Energieflüsse.

In der nachstehenden Tabelle sind die funktionellen Einheiten für die 19 untersuchten Bauteile in sechs Bauteilgruppen dargestellt.

Tab. 1: Überblick über die funktionellen Einheiten, die für die untersuchten Bauteile zugrunde gelegt wurden.

Bauteilgruppe	Bauteil	Fkt. Einheit	Beschreibung
Wände/Decken/Dächer	Falzziegel Beton	1 m <sup>2</sup>	45 kg Betondachstein
	Falzziegel Ton	1 m <sup>2</sup>	45 kg Tonziegel
	Eiche, sägerau	1 m <sup>3</sup>	780 kg Schnittholz; 15% Feuchte
	Nadelholz, sägerau	1 m <sup>3</sup>	495 kg Schnittholz; 15% Feuchte
Türen/Tore	Zimmertür, Plattenwerkstoff	1 Tür	1,6 m <sup>2</sup> Zimmertür: 17 kg Spanplatte Trockenbereich
	Zimmertür, Vollholzrahmen	1 Tür	1,77 m <sup>2</sup> Zimmertür: 23,87 kg Kiefernholz; 1,11 kg Fensterglas; 2,03 kg Sperrholz
	Haustür, Vollholzrahmen	1 Tür	2,15 m <sup>2</sup> Haustür: 38,77 kg Hartholz; 2,56 Fensterglas
Fenster	Isolierfenster, Holzrahmen	1 m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup> Standardfenster mit Holzrahmen
	Isolierfenster, Kunststoffrahmen	1 m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup> Standardfenster mit PVC-Rahmen
Sanitär	Sanitärkeramik (z.B. Waschbecken, Toiletten)	1 kg	1 kg Sanitärkeramik
	Sanitärobjekte aus Stahlemail (z.B. Badewannen)	1 kg	1 kg Sanitärobjekt aus Stahlemail (basierend auf einer Badewanne von 68,5 kg)
	Sanitäracryl (z.B. Dusch- und Badewannen)	1 kg	1 kg Sanitäracryl
Böden	Steinzeug Fliesen	1 m <sup>2</sup>	15 kg Steinzeug Fliesen
	Parkettboden, Hartholz	1 m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup> Stabparkett (Referenzfluss: 11,88 kg)
	Dielenboden, Massivholzdiele Nadelholz	1 m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup> Massivholzdielenboden (Referenzfluss: 11,01 kg)
Treppen/Lifte	Holztreppe	1 m	1 m Höhenüberbrückung (= 0,082 m <sup>3</sup> Buche; 0,071 m <sup>3</sup> Kiefer)
	Metalltreppe	1 m	1 m Höhenüberbrückung (= 0,06 m <sup>3</sup> Buche; 30,36 kg Stahlprofil)
Heizung/Lüftung/Klima	Röhren-Radiator	1 m <sup>2</sup>	66 kg Stahlrohr (zweisäulig)
	Flach-Radiator	1 m <sup>2</sup>	42 kg Stahlblech (zweilagig)

## 2.4 Systemgrenzen

Mit der Festlegung der Systemgrenzen wird bestimmt, welche Module in der Ökobilanz enthalten sind. Module wiederum stellen diejenigen Teile der untersuchten Systeme dar, für die zur Erstellung der Ökobilanz Daten gesammelt werden.

Grundsätzlich besteht bei der Durchführung von Ökobilanzen der Anspruch, dass der gesamte Lebensweg der untersuchten Systeme von der Rohstoffgewinnung bis zur Behandlung von Abfällen bilanziert wird. Aus Gründen der praktischen Durchführbarkeit sowie aus Zeit- und Ressourcen Gründen müssen jedoch Vereinfachungen getroffen und Systemgrenzen bestimmt werden. Nachstehend wird das konkrete Vorgehen in dieser Studie im Einzelnen dargestellt und begründet:

- Das sogenannte "Capital Equipment" (z.B. die Anlagen zur Gewinnung von Rohstoffen, zur Herstellung von Baustoffen, zur Energiebereitstellung) wird generell nicht erfasst; dies entspricht der gängigen Praxis in vielen bislang durchgeführten Ökobilanzen.
- Bestandteile der Bauteile, die bezogen auf die o.a. Referenzflüsse mengenmäßig einen Anteil von 2,5 % unterschreiten, werden im Hinblick auf die stofflichen und energetischen Vorketten nicht weiter bilanziell verfolgt.
- Zur methodischen Vereinfachung wird in der hier vorliegenden Untersuchung der Lebensweg eines Bauteils von der Herstellung bis zur Entsorgung bzw. Aufarbeitung und dem Wieder- bzw. Neueinsatz betrachtet (vgl. Abbildung 1). Nicht berücksichtigt wurde der Aufwand für Einbau und Nutzung (Ausnahme aufgrund der Datengrundlage: Fenster und Holzfußböden). Zum Einbau liegen keine belastbaren Daten vor; zudem kann festgestellt werden, dass beim Aufwand für den Einbau kein grundsätzlicher Unterschied zwischen Neuteil und wiederverwendetem Bauteil bestehen sollte. Die Nutzung wurde nicht berücksichtigt, da auch hier davon ausgegangen werden kann, dass kein Unterschied zwischen den beiden Alternativen besteht. Zum anderen ist die Zuordnung eines spezifischen Aufwandes für ein bestimmtes Bauteil während der Nutzungsphase problematisch, solange die Einbausituation unklar ist, d.h. solange beispielsweise kein entsprechendes Gebäude definiert ist, in das das Bauteil eingebaut wird. Da die Bauteilbörse als Verkäufer resp. als Vermittler von Verkäufen auftritt, hat sie i.d.R. keinen Zugang zu dieser Information. Aufgrund der in aggregierter Form zur Verfügung stehenden Daten zu Holzfußböden und zu Fenstern musste für diese Bauteiltypen eine Ausnahme gemacht werden. In diesen Datensätzen sind durchschnittliche Aufwendungen während der Nutzungszeit enthalten.
- Die Phasen Abriss und Ausbau können aufgrund fehlender Daten in erster Näherung nur pauschal berücksichtigt werden. Angesetzt wird hier die Herangehensweise von Pohlmann 2002, der 5 % der Herstellungsaufwendungen für den Abriss bzw. den

Ausbau veranschlagt. Der Ausbau von Bauteilen, die für eine Wiederverwertung vorgesehen sind, ist – das zeigen nicht zuletzt die praktischen Erfahrungen der Bauteilbörse - wesentlich aufwändiger als ein Abriss. Der Aufwand zeigt sich allerdings weniger in besonders energieaufwändigen oder umweltbelastenden Prozessen als vielmehr im erhöhten Arbeitsaufwand. Insofern ist bezogen auf den Primärenergiebedarf und die CO<sub>2</sub>-Emissionen mit vernachlässigbaren Unterschieden zwischen Abriss und Ausbau zu rechnen. In welchen Fällen es möglich ist, den Mehraufwand für den Ausbau zu leisten, ist vielmehr eine wirtschaftliche Frage. Aus diesem Grund würde es sich anbieten, eine Ökoeffizienzanalyse durchzuführen, d.h. gleichermaßen ökologische als auch wirtschaftliche Aspekte in eine Folgeuntersuchung einzubeziehen.

- Die Aufarbeitung gebrauchter Bauteile konnte mangels geeigneter Daten nur für wenige Bauteile berücksichtigt werden (Holzfenster und Holzfußböden). Da auf der anderen Seite auch keine Daten zur Oberflächenbehandlung z.B. von Türen vorlagen, kann von einer gewissen Symmetrie der beiden verglichenen Szenarien ausgegangen werden. Unterschiede bestehen sicherlich im Bezug auf die bei der Wiederverwendung gebrauchter Bauteile etwaig notwendigen Reinigungsvorgänge. Die Umweltrelevanz diese Reinigungsprozesse wird allerdings als gering eingeschätzt.

Aus den oben dargelegten Systemgrenzen leiten sich die nachfolgend dargestellten Berechnungsmodalitäten für die Bilanzierung der beiden Szenarien ab. Aufsummiert wird jeweils der Primärenergiebedarf bzw. die entstehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen für die aufgeführten Prozessschritte; jeweils abgezogen werden die aus Verwertung bzw. Substitution Neuteil abgeleiteten Gutschriften.

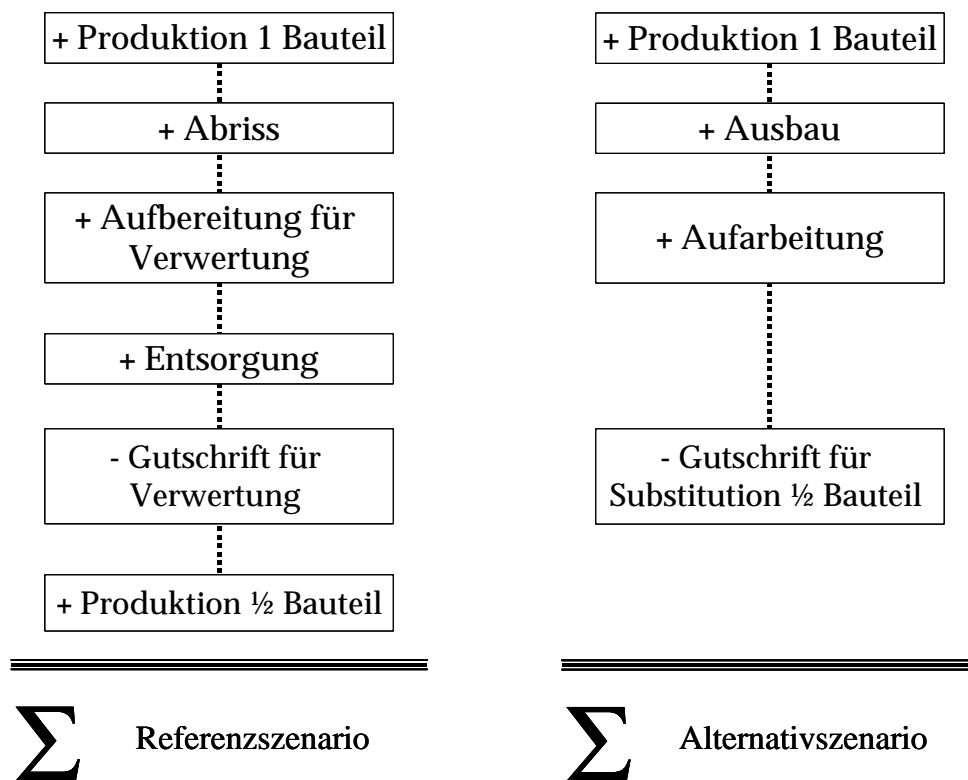


Abb. 2: Überblick über die Vorgehensweise bei der Berechnung des Referenz- und des Alternativszenarios.

## 2.5 Anforderungen an Daten und Datenqualität

Mit den Anforderungen an Daten und Datenqualität werden in allgemeiner Form die Merkmale der Daten festgelegt, die für die Durchführung der Ökobilanz benötigt werden. Nachstehend werden die in dieser Studie zugrunde gelegten Anforderungen zusammenfassend dargestellt:

### Zeitbezogener Erfassungsbereich

In dieser Studie sollten die einbezogenen Daten den aktuellen Stand der Technik sowie die derzeitigen energie- und abfallwirtschaftlichen Rahmenbedingungen abbilden. Dies betrifft z.B. den zugrundegelegten Kraftwerksmix für die Bereitstellung elektrischer Energie und den Anteil an ausgekoppelter elektrischer Energie bei Müllverbrennungsanlagen.

### Geographischer Erfassungsbereich

Für die Energiebereitstellung sowie Herstellungs- und Entsorgungs- und Verwertungsprozesse wurden deutsche und mitteleuropäische Daten zugrunde gelegt. Hinsichtlich der Verwertungsraten wurden Bremen-spezifische Daten zugrunde gelegt, da Verwertung und Entsorgung in der Praxis regional im Bundesland Bremen ablaufen.

## **Technologischer Erfassungsbereich**

Es wurden repräsentative Daten aktuellen Datums verwendet, die den aktuellen technologischen Stand darstellen.

## **Datenkategorien**

Grundsätzlich wurden in dieser Studie ausschließlich stoffliche Flussgrößen sowie energetische Inputgrößen quantitativ erfasst und bilanziert, d.h. berücksichtigt wurden

- der Verbrauch an energetischen Ressourcen und
- klimarelevante atmosphärische Emissionen.

Diese Vorgehensweise entspricht - aufgrund der fokussierten Fragestellung und Zielsetzung der Studie und der Einschränkung der betrachteten Wirkungskategorien - eingeschränkt dem derzeitigen Praxisstand bei der Durchführung von Ökobilanzen.

## **2.6 Kritische Prüfung**

DIN EN ISO 14040 sieht für Ökobilanzen, bei denen Vergleiche von Systemen vorgenommen werden und Aussagen hieraus zur Veröffentlichung vorgesehen sind, verbindlich eine sogenannte „Kritische Prüfung“ (in Fachkreisen wird hierfür überwiegend der englischsprachige Ausdruck „Critical Review“ verwandt) vor. Damit sollten insbesondere die vor einigen Jahren zu verzeichnenden Trends unterbunden werden, auf der Grundlage von nicht abgesicherten Ökobilanzen werbewirksame Aussagen über Umweltvorteile von Produkten zu veröffentlichen. Nach den Anforderungen der Norm müssen Ökobilanzen mit zu veröffentlichenden vergleichenden Aussagen verbindlich geprüft werden; dabei ist (von drei möglichen) das weitestgehende und aufwändigste Prüfverfahren anzuwenden<sup>3</sup>.

Aus Zeit- und Ressourcengründen wurde kein externes kritisches Prüfverfahren durchgeführt wurde. Ersatzweise wurde die vorliegende Studie allerdings intern im Hinblick auf das methodische Vorgehen und die verwendeten Daten sowie das Datenmanagement begleitet und geprüft.

---

<sup>3</sup> Dieses ist dadurch charakterisiert, dass vom Auftraggeber der Ökobilanz ein externer, unabhängiger Sachverständiger ausgewählt wird, der als Vorsitzender eines Prüfungsausschusses wirkt. Der Vorsitzende wählt auf der Grundlage des Ziels, des Untersuchungsrahmens und des für die kritische Begleitung zur Verfügung stehenden finanziellen Rahmens weitere, unabhängige Sachverständige aus.

### **3 Methodisches Vorgehen und Datengrundlagen**

#### **3.1 Sachbilanz**

##### **3.1.1 Datengrundlagen**

Grundsätzlich kann bei den Datengrundlagen einer Ökobilanz zwischen allgemeinen und spezifisch ermittelten Daten unterschieden werden: Unter allgemeinen Daten werden Mittelwerte zum Energie- und Rohstoffverbrauch und zu Emissionen verstanden, das heißt Zahlenwerte, die den mittleren Stand der Technik eines bestimmten Produktionsprozesses repräsentieren. Spezifisch ermittelte Daten beschreiben hingegen die Verhältnisse an einem bestimmten Produktionsstandort. Je nach dem realisierten Stand der Technik (Effizienz von Schadstoffabscheidung oder ähnliches) können spezifisch ermittelte Daten erheblich (nach oben und unten) von allgemeinen Daten abweichen.

Bei der hier durchzuführenden orientierenden Analyse wurden sowohl allgemeine als auch spezifisch ermittelte Daten zugrunde gelegt. Das konkrete Vorgehen wird in den folgenden Abschnitten näher beschrieben.

##### **3.1.1.1 Allgemeine Datengrundlagen**

Für die Bereitstellung von Rohstoffen und die Herstellung von Grundstoffen, für die Bilanzierung der Energiebereitstellung und Verwertungsprozesse sowie für die Abfallbehandlung wurden allgemeine Daten aus Verbandsveröffentlichungen, Literaturangaben oder Datenbanken herangezogen. Hier wäre eine Erhebung spezifischer Daten, abgesehen vom damit verbundenen Aufwand, kaum sinnvoll, da diese Prozesse aufgrund der komplexen und verzweigten Produktionsstruktur nicht einzelnen Unternehmen zugeordnet werden können und die Abnehmer-/Lieferantenbeziehungen auf diesen Stufen häufig wechseln. Tabelle 2 bietet einen Überblick über die verwendeten Daten; die konkrete Zuordnung zu Bauteilen und Phasen ist im Anhang detailliert dargestellt.

**Prozesse zur Energiebereitstellung** wurden auf der Basis vorhandener Bilanzmodule der Ökobilanz-Software Umberto 4.1 2003 berechnet (vgl. nachfolgende Tabelle). Diese Module basieren wiederum auf anerkannten Grundlagendaten aus GEMIS 4.1 2002 und Frischknecht et al. 1996.

Tab. 2: Datengrundlagen der Sachbilanz: allgemeine Daten zur Energiebereitstellung zu Herstellungs-, Entsorgungs- und Verwertungsprozessen

Bereich	Modul/Teilbilanz	Quellen	Bemerkungen
Energiebereitstellung	Stromnetz BRD	Umberto 4.1 2003	Durchschnittsdaten zur Strombereitstellung in Deutschland
	Energie thermisch	GEMIS 4.1 2002	Industriekessel Erdgas mit Vorkette
Herstellungsprozesse	Betondachstein	GEMIS 4.1 2002	Herstellung von Betondachsteinen auf der Basis von Herstellerangaben aus 1997
	Tonziegel	GEMIS 4.1 2002	Herstellung von Tonziegeln auf der Basis von Herstellerangaben aus 1997
	Schnittholz Fichte	GEMIS 4.1 2002	Herstellung Schnittholz, zugrundegelegt wurde ein durchschnittlicher Mix für die Trocknung
	Spanplatte	Frühwald et al.2000	Durchschnittsdaten zur Herstellung von Spanplatten für den Trockenbereich
	Flachglas	GEMIS 4.1 2002	Durchschnittsdaten für die Flachglasherstellung
	Fichte, Hobelware	GEMIS 4.1 2002	Durchschnittsdaten für die Herstellung von Hobelware, Fichte.
	Sperrholz	GEMIS 4.1 2002	Durchschnittsdaten für die Herstellung von Sperrholz
	Isolierfenster, Holzrahmen	Eyerer 2000	Durchschnittsdaten für die Herstellung von Fenstern in Standardgröße
	Isolierfenster, PVC-Rahmen	Eyerer 2000	Durchschnittsdaten für die Herstellung von Fenstern in Standardgröße
	Sanitärkeramik	Rentz et al. 2001 und GEMIS 4.1	Erste Abschätzung aufgrund des Energiebedarfs für Trocknung und Brennen; wird verknüpft mit Daten zur Bereitstellung thermischer Energie.
	Stahlemail	Fellinger und Püls-Schlesinger 2001 und GEMIS 4.1	Herstellung von Stahlemail auf der Basis von Herstellerangaben; Datensatz wird verknüpft mit Daten zur Herstellung von Stahlblech.
	Stahl	GEMIS 4.1 2002	Durchschnittliche Stahlherstellung in Deutschland: 25 % Elektrostahl und 75 % Oxigenstahl
	Sanitäracryl	APME 1997	Herstellung Polymethylmethacrylat. Eine etwaige rückseitige Glasfaser-Polyester-Verstärkung wurde nicht berücksichtigt.
	Stahlblech	GEMIS 4.1 2002	Durchschnittsdaten für die Herstellung von Stahlblech
	Stahlstab	GEMIS 4.1 2002	Durchschnittsdaten für die Herstellung von Stahlstäben
	Steinzeug-Fliesen	Fellinger und Püls-Schlesinger 2001	Herstellung von Steinzeug-Fliesen auf der Basis von Herstellerangaben
	Parkettboden	Nebel 2003	Durchschnittsdaten für die Herstellung von Stabparkett
Dielenboden	Nebel 2003	Durchschnittsdaten für die Herstellung von Massivholz-Dielenboden	
Kalkstein	Umberto 4.1 2003	Gewinnung des Kalksteins aus dem Steinbruch: Abbau und Aufbereitung des Gesteins	



Bereich	Modul/Teilbilanz	Quellen	Bemerkungen
<b>Entsorgungsprozesse</b>	Abriss/Rückbau	Pohlmann 2002	Erste grobe Abschätzung zum Aufwand von Abriss bzw. Rückbau (5 % des Herstellungsaufwandes)
	Hausmülldeponie	Umberto 4.1 2003	Durchschnittsdaten zu den Umweltauswirkungen einer Hausmülldeponie
<b>Verwertungsprozesse</b>	Stationäre Sortieranlage	Doka 2000	Energiebedarf für eine stationäre Sortieranlage
	Baumaschine	Umberto 4.1 2003	Betrieb einer durchschnittlichen Baumaschine
	Müllverbrennung	Umberto 4.1 2003	Thermische Verwertung von z.B. Altholz mit Auskoppelung der gewonnenen elektrischen Energie

**Aufwand für Abriss/Rückbau:** Mangels verfügbarer Daten erfolgte in Anlehnung an Pohlmann (2002) folgende Festlegung: Annahme 5 % der Herstellungsenergie und der CO<sub>2</sub>-Emissionen sind für den Abriss bzw. den Rückbau erforderlich.

**Aufwand Aufarbeitung:** Der Aufwand zur Aufarbeitung lässt sich ebenfalls nicht allgemein abschätzen, da die durch Altbauteile Bremen e.V. verkauften Bauteile sehr unterschiedlich sind und auch wenn es sich prinzipiell um gleiche Bauteile handelt in ihren Eigenschaften nicht einheitlich sein können. Hier musste im Rahmen der Studie – auch aufgrund der unzureichenden Datenlage z.B. zur Oberflächenbehandlung eine pragmatische Festlegung getroffen werden: Es wurde angenommen, dass die Oberflächenbehandlung des neuen mit der des aufgearbeiteten Bauteils gleichgesetzt werden kann. In der Folge ergibt sich aus der Vernachlässigung des Aspekts Oberflächenbehandlung kein Unterschied zwischen einem neuen und einem aufgearbeiteten Bauteil. In der Folge ergibt sich bei diesem Vorgehen kein Nachteil für die Ergebnisse, das ermittelte Einsparpotenzial bleibt unbeeinflusst.

### **Lebensdauer der untersuchten Bauteile**

Die Einschätzung der Lebensdauer erfolgte anhand des Leitfadens Nachhaltiges Bauen des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung 2001 (BBR 2001) und für den Sanitärbereich anhand von Krampen o.J.<sup>4</sup>. Da es im Rahmen der vorliegenden Studie nicht möglich ist, eine allgemeine Aussage zu den Restlebensdauern der gebrauchten Bauteile zu treffen, die in der Bauteilbörse Bremen zum Verkauf angeboten werden, wurde in einer ersten Abschätzung als Restlebensdauer die halbe in der Literatur als für neue Bauteile üblich angesehene Lebensdauer angesetzt.

---

<sup>4</sup> [http://www.agrn.de/agrn\\_texte/energie/graueenergie/graueenergie\\_inhalt.htm](http://www.agrn.de/agrn_texte/energie/graueenergie/graueenergie_inhalt.htm) abgerufen im August 2003.

Tab. 3: Überblick über die Lebensdauer der neuen und Restlebensdauern der gebrauchten untersuchten Bauteile (Quelle: BBR 2001 und Krampen o.J.)

Bauteilgruppe	Bauteil	Lebensdauer Bauteil neu	Lebensdauer Bauteil wiederverwendet
Wände/Decken/Dächer	Falzziegel Beton	50	25
	Falzziegel Ton	50	25
	Eiche, sägerau	20	10
	Nadelholz, sägerau	20	10
Türen/Tore	Zimmertür, Plattenwerkstoff	55	27
	Zimmertür, Vollholzrahmen	70	35
	Haustür, Vollholzrahmen	40	20
Fenster	Isolierfenster, Holzrahmen	40	20
	Isolierfenster, Kunststoffrahmen	50	25
Sanitär	Sanitärkeramik	40	20
	Sanitärobjekte aus Stahlemail	40	20
	Sanitäracryl	40	20
Böden	Steinzeug Fliesen	60	30
	Parkettboden, Hartholz	60	30
	Dielenboden, Massivholzdiele Nadelholz	40	20
Treppen/Lifte	Holztreppe	75	37
	Metalltreppe	90	45
Heizung/Lüftung/Klima	Röhren-Radiator	25	12
	Flach-Radiator	25	12

Diese Angaben dienen als Orientierungsgröße. Für die im Rahmen der Studie erfolgten Berechnungen ist nur relevant, dass die Restlebensdauer eines gebrauchten Bauteils im Durchschnitt der halben Lebensdauer eines Neuteils entspricht. Die konkreten Daten zur Lebensdauer sind nicht in die Rechnung eingeflossen, da keine Berechnung der jährlichen Umweltauswirkungen erfolgte. Es handelt sich bei diesem Vorgehen um eine erste Abschätzung der durchschnittlichen Restlebensdauer. Sie kann für ein spezifisches Bauteil in der Bauteilbörse erheblich nach oben oder unten abweichen (Konsequenzen siehe Kapitel 5). Die getroffene Annahme, dass die durchschnittliche Restlebensdauer eines wiederverwendeten Bauteils der halben Lebensdauer eines neuen Bauteils entspricht, konnte durch die praktischen Erfahrungen des Altbauteile Bremen e.V. in 2003 (Februar bis November) bestätigt werden.

### 3.1.1.2 Spezifische Datengrundlagen zu den Bauteilen

Die Definition der Bauteile (Materialzusammensetzung) erfolgte in Abstimmung mit dem Altbauteile Bremen e.V. auf Basis der praktischen Erfahrungen im Betrieb der Bauteilbörse.

Eine Übersicht über die festgelegten Größen findet sich in Kapitel 2.3. Für die Herstellung der Treppen wurden die von der Altbauteile Bremen e.V. bereitgestellten Angaben zum Bearbeitungsaufwand (Maschinenstunden; Leistungsaufnahme der Maschinen) zugrunde gelegt.

### 3.1.1.3 Spezifische Datengrundlagen zur Bilanzierung der Nachketten

Die Verwertungsquote im Bundesland Bremen für Baustellenabfälle und Bauschutt wurde *gab o.J.* entnommen. Die Angaben beziehen sich auf das Jahr 1994; die Verwertungsquote beträgt 85 % (Baustellenabfälle) bzw. 82 % (Bauschutt). Für das Referenzszenario wurde diese Verwertungsquote zugrundegelegt; für die übrigen 15 % bzw. 18 % der Baustellenabfälle bzw. des Bauschutts wurde die Entsorgung über eine Hausmülldeponie angenommen. Letztere Festlegung gründet sich auf die Annahme, dass der nur sehr geringe Anteil an nicht verwerteten Bauabfällen (Bauschutt und Baustellenabfällen) nicht spezifisch z.B. auf einer Bauschuttdeponie entsorgt, sondern tendenziell unsachgemäß auf eine Hausmülldeponie verbracht wird. Zudem liegen keine Daten zu entsprechenden Deponietypen vor.

### 3.1.2 Allokationsverfahren

Unter Allokation werden bei der Durchführung von Ökobilanzen Zuordnungsverfahren verstanden, die dann erforderlich sind, wenn bei den betrachteten Systemen mehrere verwertbare Produkte erzeugt werden bzw. wenn in betrachtete Teilprozesse Stoff- und Energieströme von anderen, nicht betrachteten Systemen einfließen. In der vorliegenden Studie wurde wie folgt vorgegangen:

- **Literaturdaten.** Bei einigen der aus anderen Studien übernommenen Datensätze sind bereits Allokationen vorgenommen worden. Diese werden hier nicht explizit aufgeführt, sondern können den betreffenden Quellen entnommen werden (z.B. Frühwald et al. 2000, Umberto 4.1).
- **Gutschriften.** Das analysierte System umfasst sowohl den ersten Lebenszyklus eines Bauteils als auch einen potenziellen, um die Hälfte kürzeren zweiten Lebenszyklus. Bei der Berechnung werden sowohl im Referenz- als auch im Alternativszenario beide Lebenszyklen dem jeweiligen Bauteil zugerechnet; der zweite Lebenszyklus aufgrund seines geringeren Umfangs allerdings nur zur Hälfte. Das wiederverwendete Bauteil ist deshalb bei Eintritt in den zweiten Lebenszyklus schon vorbelastet. Gutschriften werden für die Verwertung erteilt (Referenzszenario) bzw. für die Substitution eines (halben) Neuteils (Alternativszenario). Eine genaue Zuordnung der Gutschriften für die Verwertung findet sich in Anhang V.

### 3.1.3 Berechnungsverfahren und Bilanznetze

Zur Berechnung der Sachbilanz werden die in den vorangegangenen Abschnitten dargestellten Module und Teilbilanzen entsprechend den jeweiligen Produktlinien zu Bilanznetzen verknüpft und anschließend unter Berücksichtigung der festgelegten funktionellen Einheit berechnet. In diesen Bilanznetzen (siehe nachfolgende Abbildung für Schrottreycling) sind die Module bzw. Teilbilanzen als quadratische Zeichenelemente und die Verknüpfungen zwischen diesen Modulen als gelb umrandete Kreise dargestellt. Entnahmen (etwa von Rohstoffen) aus der Umwelt werden in den Netzen als grün gekennzeichnete Kreise, Abgaben an die Umwelt (in der Regel Emissionen) als rot gekennzeichnete Kreise abgebildet.

Dieses Bilanzierungsmodell ermöglicht Ergebnisdarstellungen der Sachbilanzen, die über globale Input/Output-Tabellen hinausgehen: so können die Ergebnisse auch nach Modulen bzw. Teilbilanzen, aber auch nach „Sammelstellen“ (z.B. alle Rohstoffe) aufgesplittet werden.

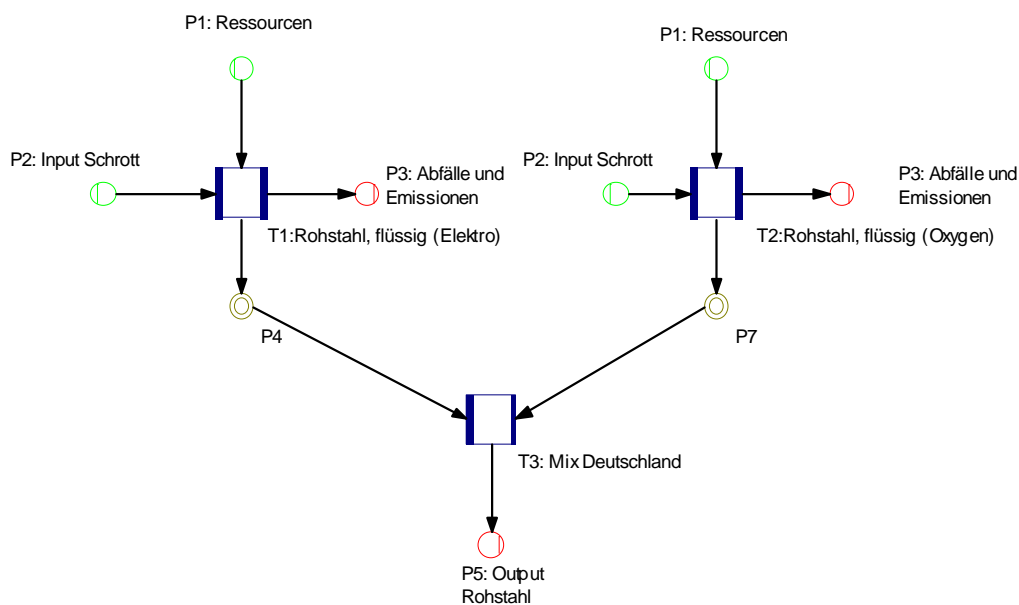


Abb. 3: Bilanznetz Schrottreycling

## 3.2 Wirkungsabschätzung

Stellt die Sachbilanz die Zusammenstellung der Stoff- und Energieströme dar, so geht es im nächsten Schritt darum, auf dieser Datenbasis die Quantifizierung und Charakterisierung der Umweltauswirkungen durchzuführen. Konkret werden dabei die Sachbilanzdaten zu Wirkungskategorien zugeordnet und charakterisiert (zum Beispiel Kohlendioxid und Methan zur Wirkungskategorie Treibhauseffekt) und - soweit beim derzeitigen Stand der Wissenschaft möglich - wirkungsbezogen zusammengefasst (d.h. zum Beispiel, dass alle

klimarelevanten Gase wie u.a. Kohlendioxid und Methan gewichtet nach dem stoffspezifischen Wirkungspotenzial zum Indikator Treibhauspotenzial zusammengefasst werden).

Aufgrund der eingeschränkten Fragestellung und Zielsetzung der Studie wurde der Fokus auf die beiden Wirkungskategorien Primärenergiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen gelegt. Diese basieren nicht zuletzt auf der Erkenntnis, dass im Bereich Bauen und Wohnen energetische Aspekte und - damit eng verknüpft - CO<sub>2</sub>-Emissionen eine sehr hohe Relevanz besitzen (vgl. z.B. Quack 2001). Entsprechend können aber aufgrund der Ergebnisse keine Aussagen über etwaige andere Effekte wie beispielsweise Flächenverbrauch (z.B. durch die Lagerhaltung), Versauerung oder Toxizität getroffen werden. Hierzu wären weitere Studien nötig.

Für die vorliegende Fragestellung werden ausschließlich die Wirkungskategorien Primärenergiebedarf und Treibhauspotenzial in die Untersuchung einbezogen (s.u.).

### **Primärenergiebedarf**

Der Primärenergiebedarf ist eine Maßzahl für den gesamten Aufwand an Energieressourcen (Primärenergien) zur Bereitstellung eines Produkts oder einer Dienstleistung inklusiv der jeweils erforderlichen Vor- und Nachketten.

### **Treibhauspotenzial**

Schadstoffe, die zur zusätzlichen Erwärmung der Erdatmosphäre beitragen können, wurden unter Berücksichtigung ihres Treibhauspotenzials bilanziert, das die Schadwirkung des Einzelstoffes relativ zu Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) kennzeichnet. Als Indikator für die Emission an treibhausrelevanten Gasen wird das Gesamt-Treibhauspotenzial in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten angegeben. Die mengenmäßig bedeutendsten treibhausrelevanten Schadstoffe sind hierbei Kohlendioxid, Methan und Distickstoffmonoxid. Daneben wurden weitere treibhausrelevante Schadstoffe in die Bilanzierung aufgenommen.

Der potentielle Treibhauseffekt (Global Warming Potential, GWP) einer Substanz wird danach bestimmt, wie hoch ihr Treibhauseffekt im Verhältnis zu demjenigen von CO<sub>2</sub> ist. Ein Kilogramm CO<sub>2</sub> hat dabei ein Treibhauspotenzial von einem Kilogramm CO<sub>2</sub>-Äquivalent.

Tab. 4: Gewichtungsfaktoren zur Berechnung des Treibhauspotenzials (Zeithorizont: 100 Jahre).

	<b>Gewichtungsfaktor</b>
<b>Treibhauspotenzial</b>	
Kohlendioxid, fossil	1
Methan	21
Distickstoffmonoxid	310
Perfluormethan	4.500
Perfluorethan	110

### 3.3 Auswertung und Einschränkungen in der Belastbarkeit der Ergebnisse

Innerhalb dieser Phase werden allgemein die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung unter Berücksichtigung des Ziels und Untersuchungsrahmens zusammengefasst. In dieser Studie werden die Ergebnisse dieser Auswertung im nachfolgenden Kapitel vorgelegt, wobei hier auch fallbezogen auf die Tragfähigkeit der Aussagen in Abhängigkeit der methodischen Herangehensweise und der Datengrundlagen eingegangen wird.

Unabhängig davon kann hier festgehalten werden, dass die für die durchgeführte Studie zugrunde gelegte Datenbasis insgesamt zweckmäßig und ausreichend ist. Der mögliche Einfluss von Unsicherheiten - zu nennen sind hier v.a. die Aufwendungen für die Aufarbeitung und die durchschnittliche Restlebensdauer wiederverwendeter Bauteile - wurde durch Beitrags- und Sensitivitätsanalysen überprüft und bei den Schlussfolgerungen und Empfehlungen berücksichtigt.

Die Datenqualität kann beim derzeitigen Stand der Wissenschaft und Technik bei Ökobilanzen nicht eindeutig im Sinne von Standardabweichungen oder ähnlichen Kennzahlen ausgedrückt werden. In Anbetracht der getroffenen Vereinfachungen und der zur Verfügung stehenden Datenbasis kann davon ausgegangen werden, dass bei den bilanzierten Ergebnissen beim Primärenergie- und den CO<sub>2</sub>-Emissionen Unterschiede ab ca. 10 %, bei den als signifikant angesehen werden können.

Daneben müssen bei der Interpretation der Ergebnisse noch nachstehende, spezifische Punkte berücksichtigt werden:

- Die Ergebnisse gelten für die dargelegten Rahmenbedingungen und Annahmen. Bei einer Anwendung auf andere Situationen muss vorher überprüft werden, inwiefern eine Übertragbarkeit gegeben ist. Wesentliche Kriterien hierfür sind die Ähnlichkeit der Bauteile (z.B. hinsichtlich Materialzusammensetzung) und die Festlegungen hinsichtlich der Restlebensdauer der zu betrachtenden Bauteile.
- Aufgrund der lückenhaften Datenlage für die Prozessschritte Abriss, Rückbau und Aufbereitung muss hier noch von erheblichen Unsicherheiten ausgegangen werden. Insbesondere ist unklar, ob sich die Aufwendungen für den Abriss signifikant von denen eines geordneten Rückbaus unterscheiden. Beim geordneten oder kontrollierten Rückbau werden alle nicht-mineralischen Baustoffe (i.d.R. außer Stahlträgern und Deckenbalken) vor dem Abriss eines Gebäudes entfernt. Der Ausbau erfolgt zu großen Teilen in Handarbeit. Beim Abriss werden lediglich wie gesetzlich vorgeschrieben Bausonderabfälle ausgebaut. Anschließend erfolgt in beiden Fällen der mechanische Abriss z.B. mit Greifbaggern oder Abrissbirne.

- Im Falle der Aufarbeitung liegen in der Mehrheit der Bauteile keine Daten vor. Dies liegt zum einen daran, dass noch zu wenig Praxiserfahrungen aus dem Betrieb der Bauteilbörse vorhanden sind, um Aussagen zu durchschnittlichen Aufwendungen treffen zu können. Zum anderen fehlt es aber auch an entsprechenden Grundlagendaten z.B. zur Oberflächenbehandlung (Schleifen, Streichen etc.).
- Die Bauteile werden aufgrund der Datenlage teilweise durch Daten von anderen, vergleichbaren Bauteilen referenziert (z.B. Kiefern Schnittholz durch Fichtenschnittholz), diese Zuordnung ist in den Tabellen des Anhangs jeweils detailliert dargestellt. Es kann davon ausgegangen werden, dass die sich daraus ergebenden Unterschiede vernachlässigbar sind.

## **4 Auswertung**

Die Auswertung umfasst zunächst die Gegenüberstellung der beiden untersuchten Szenarien. In Kapitel 4.2 wird genauer auf die Ergebnisse innerhalb der einzelnen Bauteilgruppen eingegangen. Die Ergebnisse sind in Anhang I bis X tabellarisch aufgeführt. Die Zahlenwerte sind in der Regel bis zur zweiten Kommastelle dargestellt. Es soll an dieser Stelle aber betont werden, dass aufgrund der vorhandenen Datenunsicherheiten die Werte mit einem Fehlerbalken von ca.  $\pm 10\%$  betrachtet werden müssen.

### **4.1 Gesamtergebnis**

In Tabelle 5 sind die Gesamtergebnisse aller betrachteten Bauteile für das Referenz- und das Alternativszenario dargestellt. Es fällt auf, dass die Ergebnisse für das Referenzszenario durchweg höher – ungefähr doppelt so hoch - liegen als für das Alternativszenario. Aufgrund der unterschiedlichen funktionellen Einheiten – z.B. 1 m<sup>3</sup> Schnittholz, 1 kg Sanitärkeramik – sagen die Gesamtergebnisse im Vergleich zwischen den Bauteilen relativ wenig aus. Interessant sind sie allerdings in Verbindung mit der in der Bauteilbörse jeweils umgesetzten Menge (siehe Kapitel 4.1.3). Der Vergleich von Bauteilen innerhalb einer Bauteilgruppe ist demgegenüber in den meisten Fällen möglich, da hierbei i.d.R. vergleichbare Einheiten vorliegen. Aus diesem Grund wird in Kapitel 4.2 detailliert auf die einzelnen Bauteilgruppen eingegangen.

Die Gutschriften für die Verwertung (Referenzszenario) sowie für die Substitution eines neuen Bauteils (Alternativszenario) sind in den unten dargestellten Werten jeweils enthalten. Im Rahmen von Kapitel 4.2 wird auch kurz darauf eingegangen, wie die Ergebnisse ohne die Erteilung von Gutschriften aussehen würden.

Tab. 5: Gesamtergebnis für das Referenz- und das Alternativszenario aller untersuchten Bauteile für Primärenergie und CO<sub>2</sub>-Emissionen (funktionelle Einheit: 1 Bauteil)

Funktionelle Einheit	Bauteil	Referenzszenario		Alternativszenario	
		Primärenergie-bedarf [MJ]	CO <sub>2</sub> -Emissionen [kg CO <sub>2</sub> -Äquivalente]	Primärenergie-bedarf [MJ]	CO <sub>2</sub> - Emissionen [kg CO <sub>2</sub> -Äquivalente]
1 m <sup>2</sup>	Falzziegel Beton	105,16	17,48	37,30	6,21
1 m <sup>2</sup>	Falzziegel Ton	324,73	34,38	115,21	12,21
1 m <sup>3</sup>	Eiche, sägerau	11.501,07	1.555,67	5.187,85	576,92
1 m <sup>3</sup>	Nadelholz, sägerau	7.298,76	987,26	3.292,29	366,12
1 Tür	Zimmertür, Plattenwerkstoff (Spanplatte, Trockenbereich)	76,01	14,92	51,10	5,84
1 Tür	Zimmertür, Vollholzrahmen	230,32	12,92	118,46	5,41
1 Tür	Haustür, Vollholzrahmen	243,92	17,02	141,53	7,28
1 m <sup>2</sup>	Isolierfenster, Holzrahmen	1.866,43	58,00	737,15	24,20
1 m <sup>2</sup>	Isolierfenster, Kunststoffrahmen	2.070,45	120,04	756,36	44,41
1 kg	Sanitärkeramik	13,93	0,81	4,94	0,29
1 kg	Sanitärobjekte aus Stahlemail	41,14	2,79	16,64	1,22
1 kg	Sanitäracryl	164,46	10,41	64,19	4,05
1 m <sup>2</sup>	Steinzeug Fliesen	301,33	19,75	106,92	7,01
1 m <sup>2</sup>	Parkettboden, Hartholz	657,74	60,31	276,58	24,45
1 m <sup>2</sup>	Dielenboden, Nadelholz	259,77	23,34	114,80	10,30
1 m	Holztreppe	3.010,79	293,20	1.208,98	107,20
1 m	Metalltreppe	2.879,15	236,17	1.150,05	92,20
1 m <sup>2</sup>	Röhren-Radiator	2.852,74	283,40	1.147,06	115,57
1 m <sup>2</sup>	Flach-Radiator	1.582,42	108,47	647,29	48,02

#### 4.1.3 Vergleich von Referenz- und Alternativszenario - Einsparpotenziale

Das absolute Einsparpotenzial wird jeweils für ein bestimmtes Bauteil berechnet aus den Aufwendungen für das Referenzszenario abzüglich der Aufwendungen für das Alternativszenario. Das relative Einsparpotenzial bezieht sich auf den Anteil, der durch die Wiederverwendung eingespart werden kann; als Referenzgröße dienen die Aufwendungen für das Referenzszenario.



Das relative Einsparpotenzial unterscheidet sich im Ergebnis aufgrund der festgelegten Berechnungsmodalitäten nur unwesentlich zwischen den verschiedenen Bauteilen. Es bewegt sich zwischen 60 und 65 %. Abweichend davon liegt das relative Einsparpotenzial für die Bauteilgruppe Türen/Tore mit 33 bis 55 % darunter. Einberechnet sind hierbei die Gutschriften für die Verwertung (Referenzszenario) und für die Substitution eines neuen Bauteils (Alternativszenario).

Die absoluten Einsparpotenziale unterscheiden sich aufgrund der unterschiedlichen funktionellen Einheiten der Bauteile demgegenüber aber ganz erheblich. In Anhang IX sind die Einsparpotenziale sowohl für den Primärenergiebedarf als auch für die CO<sub>2</sub>-Emissionen dargestellt.

Auf der Basis der bisherigen Umsätze der Bauteilbörse wurde eine erste Bilanz gezogen und mit Hilfe eines Excel-Moduls berechnet, wie viel Primärenergie und wie viel CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Betrieb der Bauteilbörse im Bezug auf die Bauteilgruppe Fenster bislang gegenüber dem Referenzszenario eingespart werden konnten.

Die Bauteilbörse Bremen hat bislang 133,15 m<sup>2</sup> Holz- und 10,43 m<sup>2</sup> Kunststofffenster umgesetzt. Dies entspricht einer Einsparung von 5,3 Tonnen CO<sub>2</sub> und 164 GJ Primärenergie und damit 31 % bzw. 75 % der jährlichen Auswirkungen eines bundesdeutschen Durchschnittshaushalts. Ein deutscher Durchschnittshaushalt hat einen jährlichen Primärenergiebedarf von 220 GJ und verursacht 17 Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen, bezieht man die jeweiligen Vorketten für die Bereitstellung von Produkten, Energie etc. mit ein (vgl. Quack 2003).

## **4.2 Darstellung der Ergebnisse nach Bauteilgruppen und Phasen**

Nachfolgend sind die Ergebnisse für den Primärenergiebedarf der einzelnen Bauteile geordnet nach Bauteilgruppen und Lebenswegphasen dargestellt. Auf die detaillierte Darstellung der CO<sub>2</sub>-Emissionen wurde an dieser Stelle aufgrund der weitgehenden Parallelität der CO<sub>2</sub>-Emissionen zum Primärenergiebedarf und wegen der größeren Übersichtlichkeit des Berichtes verzichtet. Die entsprechenden Daten zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen befinden sich aber im Anhang. Das Einsparpotenzial ist jeweils für beide Wirkungskategorien dargestellt.

### **4.2.1 Bauteilgruppe Wände/Decken/Dächer**

Die Ergebnisse für Bauteilgruppe Wände/Decken/Dächer sind in den Tabellen 6 bis 8 dargestellt.

Es fällt auf, dass sich die beiden Bauteile Dachdeckung – Falzziegel Beton und Falzziegel Ton – im Primärenergiebedarf für die Herstellung erheblich unterscheiden. Die Falzziegel

Beton benötigen nur etwa ein Drittel der Primärenergie, die die Tonziegel in der Herstellung brauchen. Dieser Unterschied dominiert letztlich das Endergebnis für beide Szenarien (siehe Tabellen 6 und 7). Die übrigen Phasen, d.h. Abriss, Aufbereitung für Verwertung und Entsorgung spielen daneben nur eine untergeordnete Rolle, ebenso wie die Gutschrift für die Verwertung. Die Gutschrift für die Substitution eines neuen Bauteils trägt demgegenüber wesentlich zu dem vergleichsweise niedrigen Ergebnis des Alternativszenarios bei. Würden in beiden Szenarien keine Gutschriften erteilt, läge das Einsparpotenzial durch die Wiederverwendung gebrauchter Bauteile immer noch bei 34 %.

Tab. 6: Primärenergiebedarf der Bauteile der Bauteilgruppe Wände/Decken/Dächer für das Referenzszenario (in MJ; funktionelle Einheit: 1 Bauteil)

Funktionelle Einheit	Bauteil	Referenzszenario	Herstellung neu (1 Bauteil)	Abriss	Aufbereitung f. Verwertung	Gutschrift f. Verwertung	Entsorgung	Herstellung neu (½ Bauteil)
1 m <sup>2</sup>	Falzziegel Beton	105,16	67,82	3,39	1,15	1,97	0,86	33,91
1 m <sup>2</sup>	Falzziegel Ton	324,73	209,48	10,47	1,15	1,97	0,86	104,74
1 m <sup>3</sup>	Eiche, sägerau	11.501,07	9.432,46	471,62	20,68	3.149,25	9,33	4.716,23
1 m <sup>3</sup>	Nadelholz, sägerau	7.298,76	5.985,99	299,30	13,12	1.998,56	5,92	2.992,99

Die Ergebnisse für die Bauteile Eiche, sägerau und Nadelholz, sägerau unterscheiden sich insofern von den beiden Bauteilen der Dachdeckung als sie im Referenzszenario aufgrund der guten thermischen Verwertbarkeit relativ hohe Gutschriften für die Verwertung (ca. ein Drittel der Herstellungsaufwendungen) beinhalten. Entsprechend fallen die Einsparpotenziale durch die Wiederverwendung 10 % geringer aus (55 statt 65 %). Ohne Gutschriften liegt das Einsparpotenzial durch die Wiederverwendung bei 32 %.

Tab. 7: Primärenergiebedarf der Bauteile der Bauteilgruppe Wände/ Decken/ Dächer für das Alternativszenario (in MJ; funktionelle Einheit: 1 Bauteil)

Funktionelle Einheit	Bauteil	Alternativszenario	Herstellung neu (1 Bauteil)	Rückbau	Aufarbeitung	Gutschrift für Substitution (½ Bauteil)
1 m <sup>2</sup>	Falzziegel Beton	37,30	67,82	3,39	k.A.	33,91
1 m <sup>2</sup>	Falzziegel Ton	115,21	209,48	10,47	k.A.	104,74
1 m <sup>3</sup>	Eiche, sägerau	5.187,85	9.432,46	471,62	k.A.	4.716,23
1 m <sup>3</sup>	Nadelholz, sägerau	3.292,29	5.985,99	299,30	k.A.	2.992,99

Betrachtet man die absoluten Einsparpotenziale (vgl. Tabelle 8), so wird deutlich, dass durch die Wiederverwendung aufwändiger herzustellender Bauteile größere absolute

Umweltvorteile erreicht werden können, im Zweifel also eher die Tonziegel als die Betonziegel wiederverwendet werden sollten. Diese Erkenntnis ist – unter Vorbehalt erheblicher Aufarbeitungsaufwendungen und etwaiger Qualitätseinbußen (d.h. einer auftretenden Funktionseinbuße oder verringerten Restlebensdauer) – auch auf andere Bauteile übertragbar.

Tab. 8: Überblick über die Einsparpotenziale innerhalb der Bauteilgruppe Wände/Decken/Dächer

Funktionelle Einheit	Bauteil	Primärenergiebedarf		CO <sub>2</sub> -Emissionen	
		Einsparpotenzial, absolut [MJ]	Einsparpotenzial, relativ in Prozent	Einsparpotenzial absolut [kg CO <sub>2</sub> -Äquivalente]	Einsparpotenzial, relativ in Prozent
1 m <sup>2</sup>	Falzziegel Beton	67,86	64,53%	11,27	64,47%
1 m <sup>2</sup>	Falzziegel Ton	209,52	64,52%	22,17	64,49%
1 m <sup>3</sup>	Eiche, sägerau	6313,22	54,89%	978,75	62,92%
1 m <sup>3</sup>	Nadelholz, sägerau	4006,47	54,89%	621,14	62,92%

#### 4.2.2 Bauteilgruppe Türen/Tore

Die Ergebnisse dieser Bauteilgruppe zeigen eine ganz ähnliche prinzipielle Zusammensetzung wie die Schnitthölzer der vorigen Bauteilgruppe (z.B. relativ hohe Gutschriften für die Verwertung). Unterschiede bestehen vor allem für die Bauteile Zimmertür, Vollholzrahmen und Haustür, Vollholzrahmen, die beide einen Anteil Fensterglas besitzen. Aufgrund der geringeren Aufwendungen zur Herstellung der Zimmertür, Plattenwerkstoff fällt das absolute Einsparpotenzial für dieses Bauteil geringer aus.

Tab. 9: Primärenergiebedarf der Bauteile der Bauteilgruppe Türen/Tore für das Referenzszenario (in MJ; funktionelle Einheit: 1 Bauteil)

Funktionelle Einheit	Bauteil	Referenzszenario	Herstellung neu (1 Bauteil)	Abriss Rückbau	Aufbereitung f. Verwertung	Gutschrift a. Verwertung	Entsorgung	Herstellung neu (½ Bauteil)
1 Tür	Zimmertür, Plattenwerkstoff	76,01	92,90	4,65	0,45	68,64	0,20	46,45
1 Tür	Zimmertür, Vollholzrahmen	230,32	215,39	10,77	0,72	104,57	0,32	107,70
1 Tür	Haustür, Vollholzrahmen	243,92	257,33	12,87	1,10	156,53	0,49	128,67

Tab. 10: Primärenergiebedarf der Bauteile der Bauteilgruppe Türe/Tore für das Alternativszenario (in MJ; funktionelle Einheit: 1 Bauteil)

Funktionelle Einheit	Bauteil	Alternativ-szenario	Herstellung neu (1 Bauteil)	Rückbau	Aufarbeitung	Gutschrift für Substitution (½ Bauteil)
1 Tür	Zimmertür, Plattenwerkstoff	51,10	92,90	4,65	k.A.	46,45
1 Tür	Zimmertür, Vollholzrahmen	118,46	215,39	10,77	k.A.	107,70
1 Tür	Haustür, Vollholzrahmen	141,53	257,33	12,87	k.A.	128,67

Insgesamt fällt auf, dass das Einsparpotenzial für die Bauteilgruppe Türen/Tore hinsichtlich des Primärenergiebedarfs mit 33 bis 49 % relativ gering ausfällt, während sie für die CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Größenordnung 57 bis 61 % im Bereich der anderen Bauteile liegen.

Tab. 11: Überblick über die Einsparpotenziale innerhalb der Bauteilgruppe Türe/Tore

Funktionelle Einheit	Bauteil	Primärenergiebedarf		CO <sub>2</sub> -Emissionen	
		Einsparpotenzial, absolut [MJ]	Einsparpotenzial, relativ in Prozent	Einsparpotenzial absolut [kg CO <sub>2</sub> -Äquivalente]	Einsparpotenzial, relativ in Prozent
1 Tür	Zimmertür, Plattenwerkstoff	24,91	32,77%	9,08	60,86%
1 Tür	Zimmertür, Vollholzrahmen	111,86	48,57%	7,51	58,13%
1 Tür	Haustür, Vollholzrahmen	102,39	41,98%	9,74	57,23%

#### 4.2.3 Bauteilgruppe Fenster

Auch innerhalb der Bauteilgruppe Fenster ist die Relevanz der Herstellung dominierend (vgl. Tabellen 12 bis 14). Die übrigen Phasen sind sowohl für das Referenz- und als auch für das Alternativszenario vergleichsweise unbedeutend. Hinsichtlich der absoluten Ergebnisse zum Primärenergiebedarf unterscheiden sich die beiden Bauteile nicht wesentlich. Etwas anders sieht es für die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus. Grund hierfür ist die Vergleichsweise hohe Gutschrift im Falle des Holzfensters.

Tab. 12: Primärenergiebedarf der Bauteile der Bauteilgruppe Fenster für das Referenzszenario (in MJ; funktionelle Einheit: 1 Bauteil)

Funktionelle Einheit	Bauteil	Referenzszenario	Herstellung neu (1 Bauteil)	Abriss	Aufbereitung f. Verwertung	Gutschrift a. Verwertung	Entsorgung	Herstellung neu (½ Bauteil)
1 m <sup>2</sup>	Isolierfenster, Holzrahmen	1.866,43	1.251,37	62,57	0,83	74,40	0,37	625,69
1 m <sup>2</sup>	Isolierfenster, Kunststoffrahmen	2.070,45	1.375,19	68,76	1,07	62,65	0,48	687,60

Tab. 13: Primärenergiebedarf der Bauteile der Bauteilgruppe Fenster für das Alternativszenario (in MJ; funktionelle Einheit: 1 Bauteil)

Funktionelle Einheit	Bauteil	Alternativszenario	Herstellung neu (1 Bauteil)	Rückbau	Aufarbeitung	Gutschrift für Substitution (½ Bauteil)
1 m <sup>2</sup>	Isolierfenster, Holzrahmen	737,15	1.251,37	62,57	48,89	625,69
1 m <sup>2</sup>	Isolierfenster, Kunststoffrahmen	756,36	1.375,19	68,76	k.A.	687,60

Das Einsparpotenzial unterscheidet sich demgegenüber nur geringfügig zwischen den beiden betrachteten Wirkungskategorien sowie den untersuchten Bauteilen.

Tab. 14: Überblick über die Einsparpotenziale innerhalb der Bauteilgruppe Fenster

Funktionelle Einheit	Bauteil	Primärenergiebedarf		CO <sub>2</sub> -Emissionen	
		Einsparpotenzial, absolut [MJ]	Einsparpotenzial, relativ in Prozent	Einsparpotenzial absolut [kg CO <sub>2</sub> -Äquivalente]	Einsparpotenzial, relativ in Prozent
1 m <sup>2</sup>	Isolierfenster, Holzrahmen	1129,28	60,50%	33,8	58,28%
1 m <sup>2</sup>	Isolierfenster, Kunststoffrahmen	1314,09	63,47%	75,63	63,00%

#### 4.2.4 Bauteilgruppe Sanitär

Die Ergebnisse sind in den Tabellen 15 bis 17 dargestellt. Innerhalb der Bauteilgruppe Sanitär ist keine unmittelbare Vergleichbarkeit der drei Bauteile – in der angegebenen funktionellen Einheit 1 kg - gegeben. Aufgrund der unterschiedlichen Dichten der Materialien (z.B. hat Polymethylmethacrylat eine Dichte von 1,19 g/cm<sup>3</sup> gegenüber Stahl mit einer Dichte von 7,87 g/cm<sup>3</sup>) und der eingesetzten Materialstärken sind die Gewichte der letztlich zu betrachtenden Produkte (Badewannen, Duschtassen, Waschbecken etc.) unterschiedlich. Über das absolute Einsparpotenzial lassen sich deshalb an dieser Stelle keine sinnvollen Aussagen im Zusammenhang mit Produkten treffen. Erst in Kombination mit entsprechenden

Mengenangaben wäre dies möglich. Insgesamt zeigen die Ergebnisse aber, dass die Wiederverwendung gegenüber der Verwertung und dem Einsatz eines neuen Bauteils die gleichen prinzipiellen Vorteile aufweist wie für die anderen untersuchten Bauteile. Das Einsparpotenzial beträgt zwischen 56 und 65 % einschließlich Gutschriften. Ohne Gutschriften für Verwertung und Substitution für ein neues Bauteil liegt das Einsparpotenzial immer noch bei 23 bis 32 %.

Tab. 15: Primärenergiebedarf der Bauteile der Bauteilgruppe Sanitär für das Referenzszenario (in MJ; funktionelle Einheit: 1 Bauteil)

Funktionelle Einheit	Bauteil	Referenzszenario	Herstellung neu (1 Bauteil)	Abriss Rückbau	Aufbereitung f. Verwertung	Gutschrift a. Verwertung	Entsorgung	Herstellung neu (½ Bauteil)
1 kg	Sanitärkeramik	<b>13,93</b>	8,99	0,45	0,03	0,04	0,01	4,50
1 kg	Sanitärobjekte aus Stahlemail	<b>41,14</b>	30,26	1,51	0,03	5,79	0,01	15,13
1 kg	Sanitäracryl	<b>164,46</b>	116,70	5,84	0,03	16,47	0,01	58,35

Tab. 16: Primärenergiebedarf der Bauteile der Bauteilgruppe Wände/Decken/Dächer für das Alternativszenario (in MJ; funktionelle Einheit: 1 Bauteil)

Funktionelle Einheit	Bauteil	Alternativszenario	Herstellung neu (1 Bauteil)	Rückbau	Aufarbeitung	Gutschrift für Substitution (½ Bauteil)
1 kg	Sanitärkeramik	4,94	8,99	0,45	k.A.	4,50
1 kg	Sanitärobjekte aus Stahlemail	16,64	30,26	1,51	k.A.	15,13
1 kg	Sanitäracryl	64,19	116,70	5,84	k.A.	58,35

Tab. 17: Überblick über die Einsparpotenziale innerhalb der Bauteilgruppe Sanitär

Funktionelle Einheit	Bauteil	Primärenergiebedarf		CO <sub>2</sub> -Emissionen	
		Einsparpotenzial absolut [MJ]	Einsparpotenzial, relativ in Prozent	Einsparpotenzial absolut [kg CO <sub>2</sub> -Äquivalente]	Einsparpotenzial, relativ in Prozent
1 kg	Sanitärkeramik	8,99	64,54%	0,52	64,20%
1 kg	Sanitärobjekte aus Stahlemail	24,5	59,55%	1,57	56,27%
1 kg	Sanitäracryl	100,27	60,97%	6,36	61,10%

#### 4.2.5 Bauteilgruppe Böden

Die Bauteile der Bauteilgruppe Böden unterscheiden sich einerseits hinsichtlich der absoluten Aufwendungen für die Herstellung, andererseits aber auch bezüglich der erteilten Gutschriften für die Verwertung. So ist die Gutschrift für die Verwertung der Steinzeug-Fliesen vernachlässigbar gering, während sie für Parkett- und Dielenböden immerhin 7 bis 17 % der Herstellungsaufwendungen beträgt. Dies schlägt sich unmittelbar im Einsparpotenzial nieder, dass entsprechend für die Steinzeugfliesen mit knapp 65 % höher als das der beiden Holzfußböden mit 56 bis 59 % ist. Einschränkend ist anzumerken, dass die zur Verfügung stehenden Daten für die beiden Holzfußböden vergleichsweise detailliert waren und auch Aufwendungen während der Nutzung einbezogen sind.

Tab. 18: Primärenergiebedarf der Bauteile der Bauteilgruppe Böden für das Referenzszenario (in MJ; funktionelle Einheit: 1 Bauteil)

Funktionelle Einheit	Bauteil	Referenzszenario	Herstellung neu (1 Bauteil)	Abriss Rückbau	Aufbereitung f. Verwertung	Gutschrift a. Verwertung	Entsorgung	Herstellung neu (½ Bauteil)
1 m <sup>2</sup>	Steinzeug Fliesen	<b>301,33</b>	194,40	9,72	0,38	0,66	0,29	97,20
1 m <sup>2</sup>	Parkettboden, Hartholz	<b>657,74</b>	455,00	22,75	0,31	47,97	0,14	227,50
1 m <sup>2</sup>	Dielenboden, Massivholzdiele Nadelholz	<b>259,77</b>	196,00	9,80	0,29	44,45	0,13	98,00

Tab. 19: Primärenergiebedarf der Bauteile der Bauteilgruppe Böden für das Alternativszenario (in MJ; funktionelle Einheit: 1 Bauteil)

Funktionelle Einheit	Bauteil	Alternativszenario	Herstellung neu (1 Bauteil)	Rückbau	Aufarbeitung	Gutschrift für Substitution (½ Bauteil)
1 m <sup>2</sup>	Steinzeug Fliesen	106,92	194,40	9,72	k.A.	97,20
1 m <sup>2</sup>	Parkettboden, Hartholz	276,58	455,00	22,75	26,33	227,50
1 m <sup>2</sup>	Dielenboden, Massivholzdiele Nadelholz	114,80	196,00	9,80	7,00	98,00

Tab. 20: Überblick über die Einsparpotenziale innerhalb der Bauteilgruppe Böden

Funktionelle Einheit	Bauteil	Primärenergiebedarf		CO <sub>2</sub> -Emissionen	
		Einsparpotenzial absolut [MJ]	Einsparpotenzial, relativ in Prozent	Einsparpotenzial absolut [kg CO <sub>2</sub> -Äquivalente]	Einsparpotenzial, relativ in Prozent
1 m <sup>2</sup>	Steinzeug Fliesen	194,41	64,52%	12,74	64,51%
1 m <sup>2</sup>	Parkettboden, Hartholz	381,16	57,95%	35,86	59,46%
1 m <sup>2</sup>	Dielenboden, Massivholzdiele Nadelholz	144,97	55,81%	13,04	55,87%

#### 4.2.6 Bauteilgruppe Treppen/Lifte

Die beiden innerhalb der Bauteilgruppe Treppen/Lifte betrachteten Bauteile Holztreppe und Metalltreppe weisen ein sehr ähnliches Profil auf, sowohl was die Beiträge der einzelnen Phasen und die jeweils erteilten Gutschriften anbelangt als auch die Gesamtergebnisse der beiden Szenarien (vgl. Tabellen 21 bis 23). Die Beiträge von Aufbereitung für Verwertung und Entsorgung sind vernachlässigbar gering; zur Aufarbeitung liegen keine Daten vor. Abriss und Rückbau haben definitionsgemäß einen Anteil von 5 % an den Herstellungsaufwendungen.

Tab. 21: Primärenergiebedarf der Bauteile der Bauteilgruppe Treppen/Lifte für das Referenzszenario (in MJ; funktionelle Einheit: 1 Bauteil)

Funktionelle Einheit	Bauteil	Referenzszenario	Herstellung neu (1 Bauteil)	Abriss	Aufbereitung f. Verwertung	Gutschrift a. Verwertung	Entsorgung	Herstellung neu (½ Bauteil)
1 m	Holztreppe	<b>3.010,79</b>	2.198,14	109,91	2,63	400,14	1,19	1.099,07
1 m	Metalltreppe	<b>2.879,15</b>	2.091,00	104,55	2,05	364,87	0,92	1.045,50

Tab. 22: Primärenergiebedarf der Bauteile der Bauteilgruppe Treppen/Lifte für das Alternativszenario (in MJ; funktionelle Einheit: 1 Bauteil)

Funktionelle Einheit	Bauteil	Alternativszenario	Herstellung neu (1 Bauteil)	Rückbau	Aufarbeitung	Gutschrift für Substitution (½ Bauteil)
1 m	Holztreppe	<b>1.208,98</b>	2.198,14	109,91	k.A.	1.099,07
1 m	Metalltreppe	<b>1.150,05</b>	2.091,00	104,55	k.A.	1.045,50



Die Einsparpotenziale betragen zwischen 60 und 63 %. Auch ohne den Einbezug von Gutschriften betragen sie noch zwischen 23 und 24 %.

Tab. 23: Überblick über die Einsparpotenziale innerhalb der Bauteilgruppe Treppen/Lifte

Funktionelle Einheit	Bauteil	Primärenergiebedarf		CO <sub>2</sub> -Emissionen	
		Einsparpotenzial absolut [MJ]	Einsparpotenzial, relativ in Prozent	Einsparpotenzial absolut [kg CO <sub>2</sub> -Äquivalente]	Einsparpotenzial, relativ in Prozent
1 m	Holztreppe	1801,81	59,85%	186	63,44%
1 m	Metalltreppe	1729,1	60,06%	143,97	60,96%

#### 4.2.7 Bauteilgruppe Heizung/Lüftung/Klima

Aufgrund der unterschiedlichen pro Quadratmeter eingesetzten Materialmengen bei nahezu gleichem Material (Stahlblech versus Stahlrohr) ergeben sich die innerhalb der Bauteilgruppe Heizung/Lüftung/Klima erkennbaren Unterschiede der absoluten Ergebnisse (vgl. Tabellen 24 bis 26). Demgegenüber sind die relativen Einsparpotenziale nahezu identisch: sie betragen für beide Bauteile 56 bis 60 %.

Tab. 24: Primärenergiebedarf der Bauteile der Bauteilgruppe Heizung/Lüftung/Klima für das Referenzszenario (in MJ; funktionelle Einheit: 1 Bauteil)

Funktionelle Einheit	Bauteil	Referenzszenario	Herstellung neu (1 Bauteil)	Abriss	Aufbereitung f. Verwertung	Gutschrift a. Verwertung	Entsorgung	Herstellung neu (1/2 Bauteil)
1 m <sup>2</sup>	Röhren-Radiator	<b>2.852,74</b>	2.085,57	104,28	1,75	382,43	0,79	1.042,79
1 m <sup>2</sup>	Flach-Radiator	<b>1.582,42</b>	1.176,88	58,84	1,11	243,37	0,50	588,44

Tab. 25: Primärenergiebedarf der Bauteile der Bauteilgruppe Heizung/Lüftung/Klima für das Alternativszenario (in MJ; funktionelle Einheit: 1 Bauteil)

Funktionelle Einheit	Bauteil	Alternativszenario	Herstellung neu (1 Bauteil)	Rückbau	Aufarbeitung	Gutschrift für Substitution ½ Bauteil
1 m <sup>2</sup>	Röhren-Radiator	<b>1.147,06</b>	2.085,57	104,28	k.A.	1.042,79
1 m <sup>2</sup>	Flach-Radiator	<b>647,29</b>	1.176,88	58,84	k.A.	588,44

Tab. 26: Überblick über die Einsparpotenziale innerhalb der Bauteilgruppe Heizung/Lüftung/Klima

Funktionelle Einheit	Bauteil	Primärenergiebedarf		CO <sub>2</sub> -Emissionen	
		Einsparpotenzial absolut [MJ]	Einsparpotenzial, relativ in Prozent	Einsparpotenzial absolut [kg CO <sub>2</sub> -Äquivalente]	Einsparpotenzial, relativ in Prozent
1 m <sup>2</sup>	Röhren-Radiator	1705,68	59,79%	167,83	59,22%
1 m <sup>2</sup>	Flach-Radiator	935,13	59,09%	60,45	55,73%

## 5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse der hier vorliegenden Studie, dass die Wiederverwendung gebrauchter Bauteile im Baubereich unter Berücksichtigung der getroffenen Festlegungen erhebliche Energieeinsparpotenziale und CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale aufweist. Die Einsparpotenziale liegen für die überwiegende Mehrheit der Bauteile bei 60 % und darüber, bezieht man wie in dieser Studie festgelegt die Gutschriften für Verwertung und Substitution Neuteil in die Rechnung ein. Aber selbst ohne den Einbezug von Gutschriften betragen die Einsparpotenziale noch zwischen 20 und 35 %. Vor diesem Hintergrund ist unbedingt für eine Beibehaltung und Ausweitung der Wiederverwendung von Bauteilen zu plädieren.

Darüber hinaus lassen sich hinsichtlich einer optimierten Wiederverwendung folgende Empfehlungen aussprechen:

### ***Wiederverwendete Bauteile sollten eine möglichst lange Restlebensdauer aufweisen***

Kritisch für den Vergleich von Referenzszenario und Alternativszenario ist einerseits die zu erwartende Restlebensdauer der wiederverwendeten Bauteile andererseits auch die Art der jeweils zugerechneten Gutschriften. Die Restlebensdauer wurde in der vorliegenden Studie pauschal auf die Hälfte der Lebensdauer eines neuen Bauteils festgelegt. Dies entspricht der Einschätzung der Altbauteile Bremen e.V. aus den bisherigen Erfahrungen der Bauteilbörse sowie zusätzlich auch langjährigen Vorerfahrungen in diesem Bereich. In der längeren Praxis der Bauteilbörse könnte sich hier allerdings eine Gewichtung herausstellen; z.B. dass vergleichsweise viele Bauteile praktisch neuwertig sind und damit von einer erheblich längeren Restlebensdauer ausgegangen werden kann. Dies würde den Vorteil der Wiederverwendung verstärken. Umgekehrt würde es zu einer relativen Verschlechterung für die Wiederverwendung kommen, wenn überwiegend Bauteile mit einer erheblich kürzeren Restlebensdauer umgesetzt würden. Beispielhaft ist dies in der Abbildung 4 für die Bauteile Falzziegel, Ton und Nadelholz, sägerau und den Primärenergiebedarf dargestellt. Für das Bauteil Falzziegel, Ton besteht bei 25 % Restlebensdauer immerhin noch ein Einsparpotenzial von 40 %. Für das Bauteil Nadelholz, sägerau liegt es bei der gleichen

Restlebensdauer demgegenüber nur noch bei weniger als 10 %. Aufgrund der relativ hohen Gutschrift für die Verwertung von Holz wird das Einsparpotenzial bei 10 % Restlebensdauer und darunter sogar negativ; es entsteht also ein Mehraufwand in Folge der Wiederverwendung.

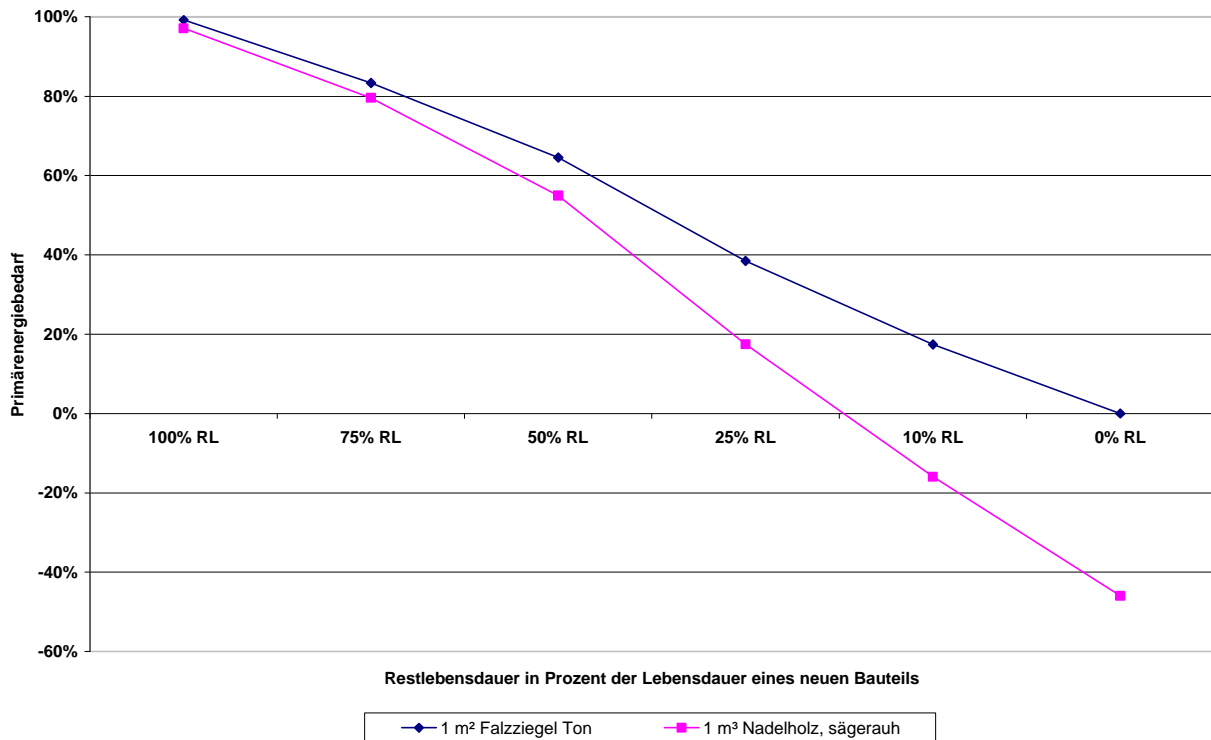


Abb. 4: Einsparpotenzial durch Wiederverwendung in Abhängigkeit von der Restlebensdauer des wiederverwendeten Bauteils, dargestellt als prozentualer Anteil der Lebensdauer eines neuen Bauteils (z.B. 10 % RL). Gutschriften wurden jeweils erteilt für das verwertete Bauteil (Referenzszenario) und anteilig das substituierte neue Bauteil (Alternativszenario). Dargestellt ist der Primärenergiebedarf.

**Bauteile, deren Herstellung mit besonders hohem Energiebedarf und hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen verbunden ist, sollten mit besonderer Priorität wiederverwendet werden**

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass das Einsparpotenzial in den meisten Fällen unmittelbar mit dem Herstellungsaufwand zusammenhängt; je größer der Herstellungsaufwand umso größer ist auch das Einsparpotenzial. Abweichungen bestehen bei Bauteilen mit besonders hohen Gutschriften für die Verwertung (z.B. Holz). Aus diesem Grund sollte der Fokus im Zweifel auf Bauteilen mit besonders hohem Herstellungsaufwand liegen.

**Weiterer Forschungsbedarf**

Wie schon in Kapitel 3.3 dargestellt, wurden im Rahmen der vorliegenden Studie verschiedene Abschätzungen und Vereinfachungen vorgenommen. Der Grund dafür lag zum

einen im begrenzten finanziellen und zeitlichen Rahmen der Studie, nicht zuletzt aber auch in fehlendem Datenmaterial. Im einzelnen besteht deshalb Forschungsbedarf zu:

### **Entwicklung von Kriterien zur Ermittlung der Restlebensdauer**

Da sich die Restlebensdauer wiederverwendeter Bauteile für die Ermittlung des Einsparpotenzials als kritische Größe erwiesen hat, sollte hier noch eine genauere Erhebung von Daten zu den in der Bauteilbörse umgesetzten Bauteile erfolgen. Besteht beispielsweise eine Gewichtung bestimmter Restlebensdauerklassen? Insbesondere wäre es interessant, ein objektives Kriterienraster für einzelne Bauteile zu entwickeln, so dass Aussagen zur Restlebensdauer konkreter Bauteile getroffen werden können. Dies hätte auch für (potenzielle) KundInnen Vorteile, auch wenn es nicht notwendigerweise in eine entsprechende Garantieaussage münden muss. Wichtig wären solche Kriterien nicht zuletzt aber auch für die konkrete Entscheidung vor Ort in einem Abbruchobjekt, ob sich der Ausbau eines bestimmten Bauteils auch aus Umweltgesichtspunkten lohnt oder nicht.

### **Erweiterung des Rechenmoduls und Integration in Homepage**

Die Analyse der Bauteile ist bislang auf 19 Einzelbauteile beschränkt. Der Betrieb der Bauteilbörse wird zeigen, inwiefern die Erweiterung dieses Bauteile-Sets notwendig und sinnvoll ist, um die typischerweise umgesetzten Bauteile abzudecken. Zusätzlich dazu sollte geprüft werden, inwiefern eine Erweiterung der einbezogenen Wirkungskategorien sinnvoll ist. Interessant wäre insbesondere die Integration des Rechenmoduls in die Homepage der Bauteilbörse, um so potenziellen Kunden die konkreten Konsequenzen ihrer Handlung - Einbau eines neuen oder eines gebrauchten Bauteils - im Bezug auf Primärenergiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen aufzuzeigen.

### **Transportaufwand Wiederverwendung und Lagerung Bauteile**

Die Transportaufwendungen für die fertigen Produkte (Antransport Baumarkt/Händler, Transportwege Bauteilbörse) sind bislang nicht in den Berechnungen enthalten. Da Ergebnisse aus anderen Studien z.T. auf die Umweltrelevanz von Transporten hinweisen, besteht hier Prüfbedarf, ob im Falle einer Wiederverwendung die mit der Bauteilbörse verbundenen Transporte ins Gewicht fallen. Denkbar wäre einerseits, dass sie in einer ähnlichen Größenordnung wie die Belieferung und Transporte bei neuen Bauteilen liegen; hier also zumindest kein Unterschied zwischen den untersuchten Szenarien besteht. Stärker ins Gewicht fallen dürfte allerdings ein bundesweiter Verkauf von Bauteilen aus Bremen über die Bauteilbörse. Demgegenüber positiv würde sich ein stark regional gehaltener Handel mit gebrauchten Bauteilen auswirken. Letzteres entspricht der aktuellen Praxis. Auch bei einer bundesweiten Ausweitung der Bauteilbörse wird vom Altbauteile Bremen e.V. damit gerechnet, dass zwar die Internetbörse bundesweite Präsenz hätte, der konkrete Handel der Bauteile aber dennoch regional bleiben würde. Methodisch würde man diese Frage angehen, indem man KundInnen und LieferantInnen der Bauteilbörse zu den von ihnen

zurückgelegten Transportwegen befragt. Hierbei spielt es sicher auch eine Rolle, wer als handelnder Akteur auftritt (z.B. Handwerker, Privatpersonen) und welches die typischen Einkaufsorte sind. Anzuschließen wäre hierbei noch die Frage, inwiefern gebrauchte Bauteile in die bestehenden Distributionsschienen implementiert werden könnten (z.B. Baumärkte). Zu untersuchen wäre darüber hinaus, inwiefern der Bauteilbörse ein erhöhter Lageraufwand zuzurechnen ist. Zu erheben wären hierbei Daten zur typischen Verweildauer von verschiedenen Bauteilen im Lager.

### **Einbezug von Kostenaspekten – Ermittlung von Ökoeffizienz-Kriterien**

Aufgrund der aufwändigen Gewinnung der wiederzuverwendenden Bauteile liegt es nahe, Umweltaspekte mit Kostenaspekten zu verknüpfen und sich darauf zu konzentrieren, wie ein Optimum für beide Aspekte erreicht werden kann. Forschungsfragen wären entsprechend: Für welche Bauteile lohnt sich ein Ausbau sowohl ökologisch als auch ökonomisch – auf welche Bauteile sollte sich die Bauteilbörse entsprechend fokussieren? Welches sind die entscheidenden ökonomischen Rahmenbedingungen (z.B. rechtlicher Rahmen für den Abbruch von Gebäuden) und wo bestehen Ansätze, die die Wiederverwendung fördern würden? Welche Geschäftsmodelle eignen sich in Deutschland für eine Bauteilbörse (z.B. internationaler Vergleich; Integration in bestehende Distributionskanäle)?

### **Aufwendungen für Rückbau und Abriss**

Innerhalb der Studie wurde mit einem für Abriss und Rückbau gleichen Aufwand von 5 % der Herstellungsaufwendungen gerechnet. Dies ist eine in der Literatur gängige Vorgehensweise (vgl. Pohlmann 2002), die allerdings selbstredend nur eine Näherung darstellen kann. Insbesondere bleibt die Frage unbeantwortet, inwiefern sich der Abriss und der Rückbau in den Aufwendungen unterscheiden und wie eine Allokation der Aufwendungen auf einzelne Bauteile vorgenommen werden kann. Entsprechend sollte hier die Erhebung spezifischer Daten erfolgen.

### **Aufwendungen für die Aufarbeitung**

Die Aufarbeitung der Bauteile konnte aufgrund der schlechten Datenlage nur sehr lückenhaft berücksichtigt werden. Prinzipiell gilt, dass die Vorteile der Wiederverwendung sich vermindern je größer der Aufarbeitungsaufwand ist. Allerdings stehen sie in Relation zur Restlebensdauer, so dass eine erhebliche Verlängerung der Restlebensdauer einen damit verbundenen erhöhten Aufarbeitungsaufwand durchaus rechtfertigen kann. Wichtig wäre in diesem Zusammenhang die Erhebung von Daten zu den in der Bauteilbörse umgesetzten Bauteilen. Die Erhebung der tatsächlich durchgeführten Aufarbeitung dürfte in der Praxis schwierig sein, da sie außerhalb der Bauteilbörse durchgeführt werden würde. Insofern könnte die Frage allenfalls lauten: Wie hoch wird der Aufarbeitungsaufwand von den MitarbeiterInnen und KundInnen der Bauteilbörse jeweils eingeschätzt?

## 6 Literatur und Quellen

- APME 1997 Association of Plastics Manufacturers in Europe; Eco-profiles of the European plastics industry. Report 14: Polymethyl Methacrylate. European Centre für Plastics in the Environment - PWMI (Hrsg.). Brüssel 1997
- Armstein + Walthert 1998 Armstein + Walthert Ingenieure AG Zürich. Umweltrelevanz der Haustechnik – eine Entscheidungsgrundlage. Untersuchung im Rahmen des IEA BC3 Annex 31: Energy Related Environmental Impacts of Buildings. Mit Unterstützung des Bundesamtes für Energie. Zürich. 1998
- BBR 2001 Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.). Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. Bonn. 2001
- Betz et al. 2002 Betz, M.; Coen, D.; Deimling, S.; Kreißig, J.. Thermische Verwertung von Holzprodukten. Inputabhängige Modellierung der End-of-Life-Prozesse von Holz. PE Europe. Leinfelden-Echterdingen. 2002
- Doka 2000 Doka, Gabor. Ökoinventar der Entsorgungsprozesse von Baumaterialien – Grundlagen zur Integration der Entsorgung in Ökobilanzen von Gebäuden. Untersuchung im Rahmen des IEA BC3 Annex 31: Energy Related Environmental Impacts of Buildings. Mit Unterstützung des Bundesamtes für Energie. Zürich. 2000
- Ecobilan 1993 Ecobilan Company. European Ecolabel. Results of the extension phase. The life cycle analysis of eleven indoors decorative paints. Volume 5. Carried out for the ministry of environment. Paris 1993
- Eyerer und Reinhardt 2000 Eyerer, P.; Reinhardt, H.W.. Ökologische Bilanzierung von Baustoffen und Gebäuden – Wege zu einer ganzheitlichen Bilanzierung. Birkhäuser Verlag. Basel. 2000
- Fellinger und Püls-Schlesinger 2001 Fellinger, R.; Püls-Schlesinger, S.. Ökobilanz zur Renovation und Reparatur keramischer Oberflächen im Sanitärbereich. Endbericht. Im Auftrag des Magistrats der Stadt Wien MA 22 Umweltschutz und Miracle Management Consulting GmbH. Wien 2001
- Frischknecht et al. 1996 Frischknecht, R.; Bollens, U.; Bossart, S.; Ciot, M.; Ciseri, L.; Doka, D.; Hischer, R.; Martin, A.; Dones, R.; Gantner, U.; Ökoinventare für Energiesysteme. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. 3. Auflage. Bern 1996
- Frühwald et al. 2000 Frühwald, A.; Scharai-Rad, M.; Hasch, J.. Ökologische Bewertung von Holzwerkstoffen – Schlussbericht März 2000. Ergänzt in den Bereichen Spanplattenrecycling und OSB-Bilanzen. Hamburg 2000
- Frühwald und Pohlmann 2001 Frühwald, A.; Pohlmann, C.M.. Holz Rohstoff der Zukunft nachhaltig verfügbar und umweltgerecht. Informationsdienst Holz der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung. München. 2001
- gab o.J. gab – Ingenieurbüro für Planung, Beratung und Öffentlichkeitsarbeit GmbH. Verminderung von Bauabfällen. Im Auftrag der Aachener Stiftung Kathy Beuys. Aachen. O.J.
- GEMIS 4.1 2002 Software Gesamt-Emissionsmodell Integrierter Systeme (GEMIS), Version 4.01, Stand 2002

- Jenseit et al. 1999 Jenseit, W.; Lützkendorf, T.; Eiermann, O. Der kumulierte Energieaufwand (KEA) im Baubereich. Arbeitspapier im Rahmen des UBA-F&E-Vorhabens Nr. 104 01 123: Erarbeitung von Basisdaten zum Energieaufwand und der Umweltbelastung von energieintensiven Produkten und Dienstleistungen für Ökobilanzen und Öko-Audits. Öko-Institut e.V.. Darmstadt/Karlsruhe/Weimar. 1999
- Knoblauch 1991 Knoblauch, H. (Hrsg); begr. Von Wilhelm Scholz. Baustoffkenntnis. 12. Neubearb. und erweiterte Auflage. Werner Verlag. Düsseldorf. 1991
- KWTB 2001 Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau. Monitoring-Bericht Bauabfälle (Folgebericht, Teil 2 – Erhebung: 1998). Berlin/Düsseldorf/Duisburg. 2001
- Nebel 2003 Nebel, B.. Ökobilanzierung von Holzfußböden. Eine repräsentative Studie nach ISO 14040-43 für die deutsche Holzfußbodenindustrie. Herbert Utz Verlag. München. 2003
- Nebel et al. 2002 Nebel, B.; Wegener, G.; Zimmer, B.. Ökobilanzierung Holzfußböden. Herausgegeben von Holzforschung München – HFM Technische Universität München. Herbert Utz Verlag GmbH. München. 2. überarbeitete Auflage. 2002
- Pohlmann 2002 Pohlmann, C.M.. Ökologische Betrachtung für den Hausbau – ganzheitliche Energie- und Kohlendioxidbilanzen für zwei verschiedene Holzhauskonstruktionen. Dissertation an der Universität Hamburg. Hamburg. 2002
- Quack 2003 Quack, D.. Material Flow Analysis of average Households in Germany – Starting Point for the Project EcoTopTen. Anlässlich des Workshops "Quo vadis MFA - Material Flow Analyses where do we go? Issues, Trends and Perspectives of Research for Sustainable Resource Use" am 9. und 10. Oktober 2003 in Wuppertal
- Quack 2001 Quack, D.. 2001. Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden - eine Ökobilanz. Demonstrationsprojekt: Niedrigenergiehäuser Heidenheim. Dissertation an der RWTH Aachen. Werkstattreihe Nr. 126. Freiburg: Öko-Institut e.V.
- Rentz et al. 2001 Rentz, O.; Schmittinger, A.; Jochum, R.; Schultmann, F.. Exemplarische Untersuchung der praktischen Umsetzung des integrierten Umweltschutzes in der Keramischen Industrie unter Beachtung der IVU-Richtlinie und der Erstellung von BVT-Merkblättern. Forschungsprojekt 298 94 313/07. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Karlsruhe. 2001
- Speckels 2001 Speckels, L.. Ökologischer Vergleich verschiedener Verwertungs- und Entsorgungswege für Altholz. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Band 205. Wiedebusch Verlag. Hamburg. 2001
- Statistisches Bundesamt 2003 Statistisches Bundesamt Deutschland. Daten zum Abfallaufkommen. Abgerufen von <http://www.destatist.de> im August 2003.
- UBA 1998 Umweltbundesamt (Hrsg.). Produktökobilanzen und ihre Anwendungsmöglichkeiten im Baubereich. Band 2: Anhänge für Berichtsbände 1-3. Texte 70/98. Berlin. 1998
- Umberto 4.1 2003 Modulbibliothek zur Ökobilanzsoftware Umberto, Version 4.1, Stand 2003

## **Anhang**



## Anhang I: Herstellung Bauteile

Bauteil	funktionelle Einheit	Primärenergie [MJ/fkt. Einheit]	CO <sub>2</sub> -Äquivalente [kg/fkt. Einheit]	Literaturquelle
Falzziegel Beton	1 m <sup>2</sup>	67,82	11,30	GEMIS 4.01 (Betondachstein; Herstellerangaben 1997)
Falzziegel Ton	1 m <sup>2</sup>	209,48	22,20	GEMIS 4.01 (Tonziegel; Herstellerangaben 1997)
Eiche, sägerau	1 m <sup>3</sup>	9.432,46	1.048,94	GEMIS 4.1 (Schnittholz Fichte, Mix Trocknung)
Nadelholz, sägerau	1 m <sup>3</sup>	5.985,99	665,68	GEMIS 4.1 (Schnittholz Fichte, Mix Trocknung)
Zimmertür, Plattenwerkstoff	1 Tür	92,90	10,61	Frühwald et al. 2000
Zimmertür, Vollholzrahmen	1 Tür	215,39	9,84	GEMIS 4.1 (Flachglas, Fichte Hobelware, Sperrholz)
Haustür, Vollholzrahmen	1 Tür	257,33	13,23	GEMIS 4.1 (Flachglas, Fichte Hobelware)
Isolierfenster, Holzrahmen	1 m <sup>2</sup>	1.251,37	40,60	Eyerer et al. 2000 (Holzfenster); GEMIS 4.01: 31,2 kg/m <sup>2</sup> .
Isolierfenster, Kunststoffrahmen	1 m <sup>2</sup>	1.375,19	80,75	Eyerer et al. 2000 (PVC-Fenster); GEMIS 4.01: 40,4 kg/m <sup>2</sup> .
Sanitärkeramik	1 kg	8,99	0,52	Erste Abschätzung aufgrund des Energiebedarfs für Trocknung und Brennen. Rentz et al. 2001 (Trocknung und Brennvorgang) und Gemis 4.01 (Bereitstellung Energie thermisch; Industriekessel Erdgas m.V.)
Sanitärobjekte aus Stahlemail	1 kg	30,26	2,21	Fellinger und Püls-Schlesinger 2001 (Herstellerspezifische Daten) sowie GEMIS 4.01 (Stahlblech Mix D)
Sanitäracryl	1 kg	116,70	7,37	Umberto 4.1 (APME 1997)
Steinzeug Fliesen	1 m <sup>2</sup>	194,40	12,75	Fellinger und Püls-Schlesinger 2001 (Herstellerspezifische Daten)
Parkettboden, Hartholz	1 m <sup>2</sup>	455,00	39,60	Nebel 2003
Dielenboden, Massivholzdiele Nadelholz	1 m <sup>2</sup>	196,00	15,70	Nebel 2003
Holzterrasse	1 m	2.198,14	194,92	GEMIS 4.1 (Schnittholz Fichte, Mix Trocknung); Verarbeitungsspezifische Daten Altbauteile Bremen e.V.
Metallterrasse	1 m	2.091,00	167,64	GEMIS 4.1 (Schnittholz Fichte, Mix Trocknung, Stahlblech Mix D); Verarbeitungsspezifische Daten Altbauteile Bremen e.V.
Röhren-Radiator	1 m <sup>2</sup>	2.085,57	210,12	Umberto 4.1 (Stahlstab, mittel)
Flach-Radiator	1 m <sup>2</sup>	1.176,88	87,32	GEMIS 4.01 (Stahlblech)

## Anhang II: Abriss und Rückbau

Bauteil	funktionelle Einheit	Primärenergie [MJ/fkt. Einheit]	CO <sub>2</sub> -Äquivalente [kg/fkt. Einheit]	Literaturquelle
Falzziegel Beton	1 m <sup>2</sup>	3,39	0,56	Pohlmann 2002
Falzziegel Ton	1 m <sup>2</sup>	10,47	1,11	Pohlmann 2002
Eiche, sägerau	1 m <sup>3</sup>	471,62	52,45	Pohlmann 2002
Nadelholz, sägerau	1 m <sup>3</sup>	299,30	33,28	Pohlmann 2002
Zimmertür, Plattenwerkstoff	1 Tür	4,65	0,53	Pohlmann 2002
Zimmertür, Vollholzrahmen	1 Tür	10,77	0,49	Pohlmann 2002
Haustür, Vollholzrahmen	1 Tür	12,87	0,66	Pohlmann 2002
Isolierfenster, Holzrahmen	1 m <sup>2</sup>	62,57	2,03	Pohlmann 2002
Isolierfenster, Kunststoffrahmen	1 m <sup>2</sup>	68,76	4,04	Pohlmann 2002
Sanitärkeramik	1 kg	0,45	0,03	Pohlmann 2002
Sanitärobjekte aus Stahlmail	1 kg	1,51	0,11	Pohlmann 2002
Sanitäracryl	1 kg	5,84	0,37	Pohlmann 2002
Steinzeug Fliesen	1 m <sup>2</sup>	9,72	0,64	Pohlmann 2002
Parkettboden, Hartholz	1 m <sup>2</sup>	22,75	1,98	Pohlmann 2002
Dielenboden, Massivholzdiele Nadelholz	1 m <sup>2</sup>	9,80	0,79	Pohlmann 2002
Holzterrasse	1 m	109,91	9,75	Pohlmann 2002
Metallterrasse	1 m	104,55	8,38	Pohlmann 2002
Röhren-Radiator	1 m <sup>2</sup>	104,28	10,51	Pohlmann 2002
Flach-Radiator	1 m <sup>2</sup>	58,84	4,37	Pohlmann 2002

### Anhang III: Aufarbeitung Bauteile

Bauteil	funktionelle Einheit	Primärenergie [MJ/fkt. Einheit]	CO <sub>2</sub> -Äquivalente [kg/fkt. Einheit]	Literaturquelle
Falzziegel Beton	1 m <sup>2</sup>			
Falzziegel Ton	1 m <sup>2</sup>			
Eiche, sägerau	1 m <sup>3</sup>			
Nadelholz, sägerau	1 m <sup>3</sup>			
Zimmertür, Plattenwerkstoff	1 Tür			
Zimmertür, Vollholzrahmen	1 Tür			
Haustür, Vollholzrahmen	1 Tür			
Isolierfenster, Holzrahmen	1 m <sup>2</sup>	48,89	1,87	Eyerer et al. 2000
Isolierfenster, Kunststoffrahmen	1 m <sup>2</sup>			
Sanitärkeramik	1 kg			
Sanitärobjekte aus Stahlemail	1 kg			
Sanitäracryl	1 kg			
Steinzeug Fliesen	1 m <sup>2</sup>			
Parkettboden, Hartholz	1 m <sup>2</sup>	26,33	2,67	Nebel 2003
Dielenboden, Massivholzdiele Nadelholz	1 m <sup>2</sup>	7,00	1,67	Nebel 2003
Holztreppe	1 m			
Metalltreppe	1 m			
Röhren-Radiator	1 m <sup>2</sup>			
Flach-Radiator	1 m <sup>2</sup>			

## Anhang IV: Aufbereitung für Verwertung

Bauteil	funktionelle Einheit	Primärenergie [MJ/fkt. Einheit]	CO <sub>2</sub> -Äquivalente [kg/fkt. Einheit]	Literaturquelle
Falzziegel Beton	1 m <sup>2</sup>	1,15	0,07	Q1: Doka 2000 (Energiebedarf stationäre Sortieranlage); Umberto 4.1 (Baumaschine und Strombereitstellung)
Falzziegel Ton	1 m <sup>2</sup>	1,15	0,07	Q1
Eiche, sägerau	1 m <sup>3</sup>	20,68	123,44	Q2: Doka 2000 (Aufbereitung Baustoffe); Umberto 4.1 (Baumaschine, Strombereitstellung, MVA)
Nadelholz, sägerau	1 m <sup>3</sup>	13,12	78,34	Q2
Zimmertür, Plattenwerkstoff	1 Tür	0,45	2,69	Q2
Zimmertür, Vollholzrahmen	1 Tür	0,72	4,10	Q2
Haustür, Vollholzrahmen	1 Tür	1,10	6,14	Q2
Isolierfenster, Holzrahmen	1 m <sup>2</sup>	0,83	0,05	Q2
Isolierfenster, Kunststoffrahmen	1 m <sup>2</sup>	1,07	0,07	Q2
Sanitärkeramik	1 kg	0,03	0,00	Q1
Sanitärobjekte aus Stahlemail	1 kg	0,03	0,00	Q1
Sanitäracryl	1 kg	0,03	0,00	Q2
Steinzeug Fliesen	1 m <sup>2</sup>	0,38	0,02	Q1
Parkettboden, Hartholz	1 m <sup>2</sup>	0,31	1,88	Q2
Dielenboden, Massivholzdiele Nadelholz	1 m <sup>2</sup>	0,29	1,74	Q2
Holztreppe	1 m	2,63	15,68	Q2
Metalltreppe	1 m	2,05	7,46	Q2
Röhren-Radiator	1 m <sup>2</sup>	1,75	0,11	Q1
Flach-Radiator	1 m <sup>2</sup>	1,11	0,11	Q1

## Anhang V: Gutschrift aus Verwertung

Bauteil	funktionelle Einheit	Primärenergie [MJ/fkt. Einheit]	CO <sub>2</sub> -Äquivalente [kg/fkt. Einheit]	Literaturquelle
Falzziegel Beton	1 m <sup>2</sup>	1,97	0,15	Umberto 4.1 (Gewinnung Kalkstein aus Steinbruch; Abbau und Aufbereitung des Gesteins)
Falzziegel Ton	1 m <sup>2</sup>	1,97	0,15	Umberto 4.1 (Gewinnung Kalkstein aus Steinbruch; Abbau und Aufbereitung des Gesteins)
Eiche, sägerau	1 m <sup>3</sup>	3.149,25	194,26	Betz et al. 2002 (durchschnittliche Elementarzusammensetzung Altholz; Heizwert) Umberto 4.1 (Auskoppelung elektrischer Energie aus MVA und Strommix D)
Nadelholz, sägerau	1 m <sup>3</sup>	1.998,56	123,28	Betz et al. 2002 (durchschnittliche Elementarzusammensetzung Altholz; Heizwert) Umberto 4.1 (Auskoppelung elektrischer Energie aus MVA und Strommix D)
Zimmertür, Plattenwerkstoff	1 Tür	68,64	4,23	Betz et al. 2002 (durchschnittliche Elementarzusammensetzung Altholz; Heizwert) Umberto 4.1 (Auskoppelung elektrischer Energie aus MVA und Strommix D)
Zimmertür, Vollholzrahmen	1 Tür	104,57	6,45	Betz et al. 2002 (durchschnittliche Elementarzusammensetzung Altholz; Heizwert) Umberto 4.1 (Auskoppelung elektrischer Energie aus MVA und Strommix D)
Haustür, Vollholzrahmen	1 Tür	156,53	9,66	Betz et al. 2002 (durchschnittliche Elementarzusammensetzung Altholz; Heizwert) Umberto 4.1 (Auskoppelung elektrischer Energie aus MVA und Strommix D)
Isolierfenster, Holzrahmen	1 m <sup>2</sup>	74,40	5,00	Eyerer und Reinhardt 2000
Isolierfenster, Kunststoffrahmen	1 m <sup>2</sup>	62,65	5,22	Eyerer und Reinhardt 2000
Sanitärkeramik	1 kg	0,04	0,00	Umberto 4.1 (Gewinnung Kalkstein aus Steinbruch; Abbau und Aufbereitung des Gesteins)
Sanitärobjekte aus Stahlemail	1 kg	5,79	0,64	Umberto 4.1 (Stahlherstellung; Mix 25 % Elektro Stahl und 75 % Oxygen Stahl). Gutschrift für insgesamt 30,6 % (85 % Verwertungsquote Baustellenabfälle & 36 % Schrottanteil bei der Stahlproduktion)
Sanitäracryl	1 kg	16,47	1,02	Betz et al. 2002 (durchschnittliche Elementarzusammensetzung Altholz; Heizwert) Umberto 4.1 (Auskoppelung elektrischer Energie aus MVA und Strommix D)
Steinzeug Fliesen	1 m <sup>2</sup>	0,66	0,05	Umberto 4.1 (Gewinnung Kalkstein aus Steinbruch; Abbau und Aufbereitung des

Bauteil	funktionelle Einheit	Primärenergie [MJ/fkt. Einheit]	CO <sub>2</sub> -Äquivalente [kg/fkt. Einheit]	Literaturquelle
				Gesteins)
Parkettboden, Hartholz	1 m <sup>2</sup>	47,97	2,96	Betz et al. 2002 (durchschnittliche Elementarzusammensetzung Altholz; Heizwert) Umberto 4.1 (Auskoppelung elektrischer Energie aus MVA und Strommix D)
Dielenboden, Massivholzdiele Nadelholz	1 m <sup>2</sup>	44,45	2,74	Betz et al. 2002 (durchschnittliche Elementarzusammensetzung Altholz; Heizwert) Umberto 4.1 (Auskoppelung elektrischer Energie aus MVA und Strommix D)
Holzterrasse	1 m	400,14	24,68	Betz et al. 2002 (durchschnittliche Elementarzusammensetzung Altholz; Heizwert) Umberto 4.1 (Auskoppelung elektrischer Energie aus MVA und Strommix D)
Metallterrasse	1 m	364,87	31,18	Betz et al. 2002 (durchschnittliche Elementarzusammensetzung Altholz; Heizwert) Umberto 4.1 (Auskoppelung elektrischer Energie aus MVA und Strommix D); Umberto 4.1 (Stahlherstellung; Mix 25 % Elektrostahl und 75 % Oxygenstahl). Gutschrift für insgesamt 30,6 % (85 % Verwertungsquote Baustellenabfälle & 36 % Schrottanteil bei der Stahlproduktion)
Röhren-Radiator	1 m <sup>2</sup>	382,43	42,45	Umberto 4.1 (Stahlherstellung; Mix 25 % Elektrostahl und 75 % Oxygenstahl). Gutschrift für insgesamt 30,6 % (85 % Verwertungsquote Baustellenabfälle & 36 % Schrottanteil bei der Stahlproduktion)
Flach-Radiator	1 m <sup>2</sup>	243,37	27,01	Umberto 4.1 (Stahlherstellung; Mix 25 % Elektrostahl und 75 % Oxygenstahl). Gutschrift für insgesamt 30,6 % (85 % Verwertungsquote Baustellenabfälle & 36 % Schrottanteil bei der Stahlproduktion)

## Anhang VI: Entsorgung

Bauteil	funktionelle Einheit	Primärenergie [MJ/fkt. Einheit]	CO <sub>2</sub> -Äquivalente [kg/fkt. Einheit]	Literaturquelle
Falzziegel Beton	1 m <sup>2</sup>	0,86	0,06	Umberto 4.01 (Hausmülldeponie)
Falzziegel Ton	1 m <sup>2</sup>	0,86	0,06	Umberto 4.01 (Hausmülldeponie)
Eiche, sägerau	1 m <sup>3</sup>	9,33	0,63	Umberto 4.01 (Hausmülldeponie)
Nadelholz, sägerau	1 m <sup>3</sup>	5,92	0,40	Umberto 4.01 (Hausmülldeponie)
Zimmertür, Plattenwerkstoff	1 Tür	0,20	0,01	Umberto 4.01 (Hausmülldeponie)
Zimmertür, Vollholzrahmen	1 Tür	0,32	0,02	Umberto 4.01 (Hausmülldeponie)
Haustür, Vollholzrahmen	1 Tür	0,49	0,03	Umberto 4.01 (Hausmülldeponie)
Isolierfenster, Holzrahmen	1 m <sup>2</sup>	0,37	0,03	Umberto 4.01 (Hausmülldeponie)
Isolierfenster, Kunststoffrahmen	1 m <sup>2</sup>	0,48	0,03	Umberto 4.01 (Hausmülldeponie)
Sanitärkeramik	1 kg	0,01	0,00	Umberto 4.01 (Hausmülldeponie)
Sanitärobjekte aus Stahlemail	1 kg	0,01	0,00	Umberto 4.01 (Hausmülldeponie)
Sanitäracryl	1 kg	0,01	0,00	Umberto 4.01 (Hausmülldeponie)
Steinzeug Fliesen	1 m <sup>2</sup>	0,29	0,02	Umberto 4.01 (Hausmülldeponie)
Parkettboden, Hartholz	1 m <sup>2</sup>	0,14	0,01	Umberto 4.01 (Hausmülldeponie)
Dielenboden, Massivholzdiele Nadelholz	1 m <sup>2</sup>	0,13	0,01	Umberto 4.01 (Hausmülldeponie)
Holztreppe	1 m	1,19	0,08	Umberto 4.01 (Hausmülldeponie)
Metalltreppe	1 m	0,92	0,06	Umberto 4.01 (Hausmülldeponie)
Röhren-Radiator	1 m <sup>2</sup>	0,79	0,05	Umberto 4.01 (Hausmülldeponie)
Flach-Radiator	1 m <sup>2</sup>	0,50	0,03	Umberto 4.01 (Hausmülldeponie)

## Anhang VII: Referenzszenario

Bauteil	funktionelle Einheit	Primärenergie [MJ/fkt. Einheit]	CO <sub>2</sub> -Äquivalente [kg/fkt. Einheit]
Falzziegel Beton	1 m <sup>2</sup>	105,16	17,48
Falzziegel Ton	1 m <sup>2</sup>	324,73	34,38
Eiche, sägerau	1 m <sup>3</sup>	11.501,07	1.555,67
Nadelholz, sägerau	1 m <sup>3</sup>	7.298,76	987,26
Zimmertür, Plattenwerkstoff	1 Tür	76,01	14,92
Zimmertür, Vollholzrahmen	1 Tür	230,32	12,92
Haustür, Vollholzrahmen	1 Tür	243,92	17,02
Isolierfenster, Holzrahmen	1 m <sup>2</sup>	1.866,43	58,00
Isolierfenster, Kunststoffrahmen	1 m <sup>2</sup>	2.070,45	120,04
Sanitärkeramik	1 kg	13,93	0,81
Sanitärobjekte aus Stahlemail	1 kg	41,14	2,79
Sanitäracryl	1 kg	164,46	10,41
Steinzeug Fliesen	1 m <sup>2</sup>	301,33	19,75
Parkettboden, Hartholz	1 m <sup>2</sup>	657,74	60,31
Dielenboden, Massivholzdiele Nadelholz	1 m <sup>2</sup>	259,77	23,34
Holztreppe	1 m	3.010,79	293,20
Metalltreppe	1 m	2.879,15	236,17
Röhren-Radiator	1 m <sup>2</sup>	2.852,74	283,40
Flach-Radiator	1 m <sup>2</sup>	1.582,42	108,47



## Anhang VIII: Alternativszenario

Bauteil	funktionelle Einheit	Primärenergie [MJ/fkt. Einheit]	CO <sub>2</sub> -Äquivalente [kg/fkt. Einheit]
Falzziegel Beton	1 m <sup>2</sup>	37,30	6,21
Falzziegel Ton	1 m <sup>2</sup>	115,21	12,21
Eiche, sägerau	1 m <sup>3</sup>	5.187,85	576,92
Nadelholz, sägerau	1 m <sup>3</sup>	3.292,29	366,12
Zimmertür, Plattenwerkstoff	1 Tür	51,10	5,84
Zimmertür, Vollholzrahmen	1 Tür	118,46	5,41
Haustür, Vollholzrahmen	1 Tür	141,53	7,28
Isolierfenster, Holzrahmen	1 m <sup>2</sup>	737,15	24,20
Isolierfenster, Kunststoffrahmen	1 m <sup>2</sup>	756,36	44,41
Sanitärkeramik	1 kg	4,94	0,29
Sanitärobjekte aus Stahlemail	1 kg	16,64	1,22
Sanitäracryl	1 kg	64,19	4,05
Steinzeug Fliesen	1 m <sup>2</sup>	106,92	7,01
Parkettboden, Hartholz	1 m <sup>2</sup>	276,58	24,45
Dielenboden, Massivholzdiele Nadelholz	1 m <sup>2</sup>	114,80	10,30
Holztreppe	1 m	1.208,98	107,20
Metalltreppe	1 m	1.150,05	92,20
Röhren-Radiator	1 m <sup>2</sup>	1.147,06	115,57
Flach-Radiator	1 m <sup>2</sup>	647,29	48,02

## Anhang IX: Einsparpotenzial absolut durch Wiederverwendung

Bauteil	funktionelle Einheit	Primärenergie [MJ/fkt. Einheit]	CO <sub>2</sub> -Äquivalente [kg/fkt. Einheit]
Falzziegel Beton	1 m <sup>2</sup>	67,86	11,27
Falzziegel Ton	1 m <sup>2</sup>	209,52	22,17
Eiche, sägerau	1 m <sup>3</sup>	6.313,22	978,76
Nadelholz, sägerau	1 m <sup>3</sup>	4.006,47	621,13
Zimmertür, Plattenwerkstoff	1 Tür	24,92	9,08
Zimmertür, Vollholzrahmen	1 Tür	111,86	7,51
Haustür, Vollholzrahmen	1 Tür	102,39	9,75
Isolierfenster, Holzrahmen	1 m <sup>2</sup>	1.129,28	33,80
Isolierfenster, Kunststoffrahmen	1 m <sup>2</sup>	1.314,09	75,63
Sanitärkeramik	1 kg	8,98	0,52
Sanitärobjekte aus Stahlemail	1 kg	24,50	1,57
Sanitäracryl	1 kg	100,27	6,35
Steinzeug Fliesen	1 m <sup>2</sup>	194,41	12,74
Parkettboden, Hartholz	1 m <sup>2</sup>	381,16	35,86
Dielenboden, Massivholzdiele Nadelholz	1 m <sup>2</sup>	144,97	13,04
Holztreppe	1 m	1.801,82	186,00
Metalltreppe	1 m	1.729,10	143,97
Röhren-Radiator	1 m <sup>2</sup>	1.705,68	167,84
Flach-Radiator	1 m <sup>2</sup>	935,13	60,45

## Anhang X: Einsparpotenzial relativ durch Wiederverwendung

Bauteil	funktionelle Einheit	Primärenergie [MJ/fkt. Einheit]	CO <sub>2</sub> -Äquivalente [kg/fkt. Einheit]
Falzziegel Beton	1 m <sup>2</sup>	64,53 %	64,47 %
Falzziegel Ton	1 m <sup>2</sup>	64,52 %	64,49 %
Eiche, sägerau	1 m <sup>3</sup>	54,89 %	62,92 %
Nadelholz, sägerau	1 m <sup>3</sup>	54,89 %	62,92 %
Zimmertür, Plattenwerkstoff	1 Tür	32,78 %	60,88 %
Zimmertür, Vollholzrahmen	1 Tür	48,57 %	58,12 %
Haustür, Vollholzrahmen	1 Tür	41,98 %	57,26 %
Isolierfenster, Holzrahmen	1 m <sup>2</sup>	60,51 %	58,28 %
Isolierfenster, Kunststoffrahmen	1 m <sup>2</sup>	63,47 %	63,00 %
Sanitärkeramik	1 kg	64,50 %	64,47 %
Sanitärobjekte aus Stahlemail	1 kg	59,55 %	56,37 %
Sanitäracryl	1 kg	60,97 %	61,05 %
Steinzeug Fliesen	1 m <sup>2</sup>	64,52 %	64,50 %
Parkettboden, Hartholz	1 m <sup>2</sup>	57,95 %	59,47 %
Dielenboden, Massivholzdiele Nadelholz	1 m <sup>2</sup>	55,81 %	55,87 %
Holztreppe	1 m	59,85 %	63,44 %
Metalltreppe	1 m	60,06 %	60,96 %
Röhren-Radiator	1 m <sup>2</sup>	59,79 %	59,22 %
Flach-Radiator	1 m <sup>2</sup>	59,10 %	55,73 %